



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

FACTIBILIDAD CONSTRUCTIVA DE VIVIENDAS
CON MUROS PORTANTES DE FARDOS DE PAJA
ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES Y SISMO
RESISTENTES EN LA ZONA ANDINA DEL
ECUADOR.

Presenta:

LUISA PAULINA VIERA ARROBA

Directores:

DR. JOSÉ MARÍA MONZÓ BALBUENA

Y

DR. PABLO ENRIQUE CAIZA SÁNCHEZ

Programa de Doctorado en Ingeniería de la Construcción

Equipo de investigación: Sostenibilidad y Gestión de la Construcción

Junio, 2023

Índice

Capítulo 0	10
Objetivos	10
Capítulo 1	11
El problema de la vivienda en el mundo	11
1.1. Introducción	11
1.2. La calidad de vida y su relación con la vivienda.....	13
1.3. La vivienda como un derecho humano.....	17
1.4. La vivienda y el desarrollo sostenible	18
1.5. La industria de la construcción y su relación con el cambio climático.	22
1.6. La vivienda eficiente como aporte al desarrollo de la sociedad.....	30
1.7. La paja una alternativa sustentable para la construcción.....	33
1.8. Revisión de Normativa y experiencias de construcción con fardos de paja alrededor del mundo	36
1.9. Causas de la vivienda inadecuada en América Latina.....	38
1.10.Relación de la calidad constructiva con las condiciones económicas de la población. 39	
1.11.El costo de la vivienda en Latinoamérica.....	41
1.12.Estado situacional de la vivienda en el Ecuador	42
1.13.Revisión de la normativa de construcción vigente en Ecuador	46
1.14.La autoconstrucción en el contexto social ecuatoriano.	50
1.15.La vivienda rural en el Ecuador	54
1.16.Condición socioeconómica de la población del Ecuador.	56
1.17.Déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda rural en el Ecuador.	58
1.18.Conclusiones	59
1.19.Referencias Bibliográficas	62
Capítulo 2.....	78
Establecimiento de zonas con producción de trigo en el Ecuador y la Tipología de vivienda mediante fotografía aérea	78
2.1. Establecimiento de zonas con producción de trigo en el Ecuador	78
2.2. Fundamentos conceptuales.....	79

2.1.1. Sistemas de Información Geográfica	80
2.1.2. Tierra Agropecuaria	80
2.1.3. Cereales.....	80
2.1.4. Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador.....	80
2.1.5. Modelo Digital de Elevación (MDE).....	82
2.1.6. Mapa de Altitudes.....	82
2.1.7. Mapa de Pendientes.....	84
2.3. Metodología utilizada para definir las posibles zonas de estudio.....	84
2.4. Resultados.....	89
2.5. Validación de resultados mediante la tipología de la vivienda en zonas Andinas del Ecuador.....	99
2.6. Conclusiones.....	109
2.7. Referencias Bibliográficas.....	111
Capítulo 3.....	114
Propiedades de los fardos de paja para la construcción	114
3.1. Consideraciones.....	114
3.2. Métodos para la determinación de las características físicas de los fardos obtenidos de la producción de trigo en la provincia de Pichincha e Imbabura-Ecuador: Densidad y Contenido de Humedad, de acuerdo con el “California Residential Code, appendix S”.117	
3.2.1. Muestra	119
3.2.2. Forma.....	119
3.2.3. Tamaño.....	121
3.2.4. Ataduras o Lazos.....	123
3.2.5. Contenido de Humedad.....	124
3.2.6. Densidad.....	126
3.2.7. Resultados.....	127
3.3. Determinación de la conductividad térmica de los fardos de paja producidos en Ecuador.....	138
3.3.1. Metodología.....	140
3.3.2. Conclusión	143

3.3.3. Evaluación Térmica de una vivienda prototipo construida con Muros de Fardos de Paja en San Rafael – Ecuador.....	144
3.4. Determinación de las características mecánicas de los fardos obtenidos de la producción de trigo en la provincia de Pichincha-Ecuador: Capacidad portante y Módulo de elasticidad, mediante pruebas de carga y descarga y la utilización del método de Tangente-Cuerda.....	154
3.5. Conclusión:	161
3.6. Referencias Bibliográficas	162
Capítulo 4.....	170
Diseño y caracterización de un mortero estructural para revoco de muros de fardos de paja.....	170
4.1. Antecedentes	170
4.2. Dosificación del mortero estructural en la fase matriz y dispersa según la normativa INEN y ASTM.....	171
4.2.1. Materiales.....	172
4.2.2. Dosificación del mortero estructural	184
4.3. Realización de probetas para caracterización del mortero según la normativa INEN y ASTM.....	193
4.3.1. Elaboración de probetas según normativa NTE INEN 3124.....	193
4.3.2. Curado de los especímenes	194
4.4. Determinación de las características mecánicas del mortero obtenido. capacidad resistente a la compresión, a la tracción y. módulo de elasticidad. mediante pruebas de carga según la normativa ASTM	194
4.4.1. Ensayos de resistencia a la compresión y tracción.....	194
4.4.2. Ensayos de resistencia a la compresión y tracción.....	202
4.4.3. Ensayo de Módulo Estático de Elasticidad y Poisson en cilindros	205
4.5. Conclusiones	207
4.6. Referencias Bibliográficas	209
Capítulo 5.....	213
Caracterización estructural de muros portantes construidos con fardos de paja producidos en Ecuador.....	213
5.1. Descripción de las características geométricas del ensayo. muro y revoco. elementos de borde y sistemas de carga.	214
5.1.1. Características de los especímenes de prueba	215

5.2. Descripción de las cargas verticales y laterales aplicadas en el ensayo para determinación de características estructurales de las probetas.....	222
5.3. Descripción de los diferentes esquemas de reforzamiento a ser evaluados	225
5.3.1. Fallas presentadas en el muro A	227
5.3.2. Fallas presentadas en el muro B.....	229
5.3.3. Fallas presentadas en el muro C.....	230
5.3.4. Fallas presentadas en el muro D	231
5.3.5. Energía disipada.....	234
5.3.6. Rigidez secante	247
5.3.7. Amortiguamiento viscoso equivalente.....	258
5.3.8. Curva de capacidad envolvente	266
5.3.9. Ductilidad de desplazamiento	270
5.3.10. Derivas	274
5.4. Conclusiones.....	277
5.5. Referencias Bibliográficas	281
Capítulo 6.....	282
Memorias y experiencias constructivas en Ecuador	282
6.1. Socialización Etapa I.....	286
6.2. Socialización Etapa II	289
6.3. Alianzas Estratégicas	290
6.4. Talleres y Construcción	291
6.5. Obtención de Permisos	302
6.6. Conclusiones.....	306
6.7. Referencias bibliográficas.....	307
Capítulo 7 Conclusiones Generales	309
Anexos	313
Anexo 1.....	314
Diseño estructural de la vivienda propuesta con muros portantes de fardos de paja ..	314
Anexo 2: Estudio Presupuestario de la vivienda propuesta	418
Anexo 3: Manual de construcción con fardos de paja.....	423

RESUMEN

La Constitución del Ecuador establece que el acceso a una vivienda digna es un derecho fundamental. Sin embargo, muchos ciudadanos viven en situaciones de riesgo, ya que las edificaciones que habitan no tienen características físicas y/o estructurales adecuadas. Esto se acentúa en la zona rural, en donde la necesidad de casas que cumplan estándares de calidad es en promedio 71.2% más que las ciudades.

En la mayoría de construcciones que se realizan en Ecuador, se usan materiales convencionales como el hormigón, bloques y ladrillos. Por lo que, cubrir la totalidad del déficit de vivienda (665.612 unidades) requiere una gran inversión económica; además, del alto costo ambiental que representaría; ya que, los materiales mencionados tienen consumos energéticos altos desde su producción hasta su puesta en obra. Es evidente entonces que la dotación de vivienda debe hacerse con materiales sustentables y accesibles a la mayoría de la población. Una alternativa es la paja, que es natural, renovable, sumidero de CO₂ y biodegradable.

En Ecuador se obtienen anualmente 28.754,492 toneladas de paja de trigo y cebada. Con este desecho de la cosecha, se podrían hacer fardos, con los cuales construir casas. Sin embargo, en el país existe muy poco conocimiento de este material y el sistema constructivo que se requiere para edificar de forma técnica y segura.

La presente investigación aborda la caracterización física y mecánica de los fardos producidos localmente para determinar su posibilidad de su uso como material de construcción. Además, se realizaron ensayos pseudo-dinámicos a muros portantes realizados con fardos y recubiertos con dos alternativas de mortero. Con los resultados obtenidos, se realizó la modelación estructural de una vivienda tipo, determinando que el desplazamiento lateral relativo de la misma, cumple los estándares de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para edificaciones sismo resistentes.

También se realizó un análisis económico, determinando que el costo de la vivienda tipo es inferior al valor establecido para casas de interés social en el país. Lo que determina su accesibilidad al segmento poblacional más pobre.

Además, se elaboró un manual, que detalla el procedimiento constructivo de la casa tipo, de forma clara y sencilla para hacerlo de fácil entendimiento.

ABSTRACT

The Constitution of Ecuador establishes that access to decent housing is a fundamental right. However, many citizens live in risky situations since their buildings do not have adequate physical and structural characteristics. This is accentuated in rural areas, where the need for houses that meet quality standards is, on average, 71.2% higher than in the cities.

In most constructions in Ecuador, conventional materials such as concrete, blocks, and bricks are used. Therefore, covering the entire housing deficit (665,612 units) requires a significant economic investment, in addition to the high environmental cost, since the materials have high energy consumption from production to installation. It is evident then that housing must be built with sustainable materials accessible to most of the population. One alternative is straw, which is natural, renewable, a CO₂ sink, and biodegradable.

In Ecuador, 28,754,492 tons of wheat and barley straw are obtained annually. With this waste from the harvest, bales could be made with which to build houses. However, there needs to be more knowledge of this material and the construction system required to build technically and safely in the country.

The present research addresses the physical and mechanical characterization of locally produced bales to determine the possibility of their use as a construction material. In addition, pseudo-dynamic tests were carried out on load-bearing walls made with bales

and coated with two mortar alternatives. With the results obtained, the structural modeling of a typical house was carried out, determining that the relative lateral displacement of the house meets the standards of the Ecuadorian Construction Standard for earthquake-resistant buildings.

An economic analysis was also carried out, determining that the cost of the house type is lower than the value established for houses of social interest in the country. This determines its accessibility to the poorest segment of the population.

In addition, a manual was prepared detailing the construction procedure of the house type clearly and straightforwardly to make it easy to understand.

RESUM

La Constitució de l'Equador estableix que l'accés a un habitatge digne és un dret fonamental. No obstant això, molts ciutadans viuen en situacions de risc, ja que les edificacions que habiten no tenen característiques físiques i/o estructurals adequades. Això s'accentua en la zona rural, on la necessitat de cases que complisquen estàndards de qualitat és en mitjana 71.2% més que les ciutats.

En la majoria de construccions que es realitzen a l'Equador, s'usen materials convencionals com el formigó, blocs i rajoles. Pel que, cobrir la totalitat del dèficit d'habitatge (665.612 unitats) requereix una gran inversió econòmica; a més, de l'alt cost ambiental que representaria; ja que, els materials esmentats tenen consums energètics alts des de la seua producció fins a la seua posada en obra. És evident llavors que la dotació d'habitatge ha de fer-se amb materials sustentables i accessibles a la majoria de la població. Una alternativa és la palla, que és natural, renovable, embornal de CO₂ i biodegradable.

A l'Equador s'obtenen anualment 28.754,492 tones de palla de blat i ordi. Amb aquesta deixalla de la collita, es podrien fer fardells, amb els quals construir cases. No obstinate

això, al país existia molt poc coneixement d'aquest material i el sistema de construcció que es requeria per a edificar de manera tècnica i segura.

La present investigació aborda la caracterització física i mecànica dels fardells produïts localment per a determinar la seva possibilitat del seu ús com a material de construcció. A més, es van realitzar assajos pseudo-dinàmics a murs portants realitzats amb fardells i recoberts amb dues alternatives de morter. Amb els resultats obtinguts, es va realitzar el modelatge estructural d'un habitatge tipus, determinant que el desplaçament lateral relatiu d'aquesta, compleix els estàndards de la Norma Equatoriana de la Construcció per a edificacions sísmicament resistents.

També es va realitzar una anàlisi econòmica, determinant que el cost de l'habitatge tipus és inferior al valor establert per a cases d'interès social al país. El que determina la seva accessibilitat al segment poblacional més pobre.

A més, es va elaborar un manual, que detalla el procediment constructiu de la casa tipus, de manera clara i senzilla per a fer-ho de fàcil enteniment.

Capítulo 0

Objetivos

El objetivo de esta investigación es establecer la disponibilidad de los recursos tecnológicos y materiales necesarios, para que puedan desarrollarse en la zona rural andina del Ecuador, viviendas sismo resistentes y energéticamente eficientes, utilizando como material de construcción la paja proveniente de la cosecha del trigo.

Este conocimiento aportará al cambio de la matriz productiva, favoreciendo al desarrollo rural nacional, al añadirle valor a un residuo agroindustrial como es la paja la cual se recoge y comprime en forma de fardos, también llamados pacas, rectangulares que se utilizan en su mayor parte como alimento de animales, para el cultivo de champiñones, como abono o simplemente se quema.

Dado que en el Ecuador no existe estudios que determinen la posibilidad de uso de los fardos de paja producidos localmente como material de construcción esta investigación busca además proponer un modelo de vivienda eficiente y segura, elaborada con muros de fardos de paja producidos localmente, que responda a las especificaciones arquitectónicas y estructurales de la normativa nacional e internacional. Sustentando este planteamiento con pruebas de laboratorio a través de las cuales se establecen las características físicas y la capacidad portante de estructuras realizadas con estos fardos.

A partir de estos hallazgos, y con el fin de incorporar metodología y recomendaciones técnicas, que propicien la construcción sistemática de casas con fardos paja en Ecuador se propone un *Manual* de fácil acceso a la población. Brindando así una alternativa viable para la construcción de viviendas asequibles a la población rural del Ecuador.

Capítulo 1

El problema de la vivienda en el mundo

1.1. INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el ser humano para garantizar su subsistencia se ha visto en la necesidad de la creación de un espacio físico que le permita entre otras, protegerse de las condiciones meteorológicas, del ruido, que brinde descanso, en el que se pueda realizar sus funciones biológicas, compartir familiarmente, proporcionándole una sensación de seguridad, afecto y abrigo. A este espacio físico se le denomina vivienda (Benítez, 2015) (Giglia, 2018). Se puede decir que la vivienda es un sistema integral compuesto por el lugar de ubicación, la estructura, los servicios básicos y su contenido; esta permite a sus habitantes interrelacionarse dentro de un contexto social y económico (Haramoto, 1994). Es decir, la vivienda constituye no sólo una necesidad esencial del ser humano, sino también, uno de los derechos indispensables para su desarrollo.

En el Ecuador, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) define a la vivienda como “un recinto de alojamiento estructuralmente separado y con entrada independiente, construido, edificado, transformado o dispuesto para ser habitado por una persona o un grupo de personas [...]” (INEC, 2022). Adicionalmente, es la primera unidad de la sociedad y de la vida del ser humano. Sin embargo, por efectos de la globalización y falta de políticas adecuadas, sobre todo con el grupo social de recursos económicos limitados, la vivienda se ha visto envuelta en diversas problemáticas (Brkanić, 2017).

Primordialmente, no todos los seres humanos tienen vivienda bajo los conceptos establecidos anteriormente. Muchas de las edificaciones que albergan personas carecen

de estándares de calidad como seguridad estructural, espacio suficiente, iluminación, ventilación, confort térmico, servicios básicos. Estas viviendas vulnerables son un peligro ante eventuales sismos y además pueden constituirse en puntos de proliferación de enfermedades. Las casas de cualidades óptimas requieren el uso de materiales de calidad, caracterizados por su alto costo. Estas viviendas no siempre cuentan con planes de financiamiento asequibles. Por tal motivo, miles de familias prefieren vivir en espacios limitados, arrendados, prestados o abandonados. (Estrella, 1998)(Ruiz,1988)(Velez ,1988)

Esto ha determinado que proliferen la autoconstrucción, sin asesoramiento técnico, ni consideración del riesgo natural del emplazamiento de la vivienda, sin control de calidad de los materiales de construcción, ni una adecuada distribución de espacios habitacionales. Además, no cuentan con un cálculo estructural que brinde seguridad de su uso y ocupación.

En el Ecuador, la necesidad de vivienda ha propiciado a que sea una de las principales ofertas de campaña. Encuestas realizadas por el gremio “Constructores Positivos”, señalan que el mayor anhelo para el 83 % de ecuatorianos es tener una vivienda propia (Coba,2021) , ya que esta representa, no solo un patrimonio personal, sino además, un legado para futuras generaciones. Esta necesidad ha propiciado que el ofrecimiento de un espacio digno donde vivir sea una de las principales promesas en todas las contiendas electorales desde 1981. En los últimos 37 años los diferentes gobiernos han implementado planes de vivienda en el Ecuador como: “Pan, Techo y Empleo” (1984), “Plan Socio Vivienda” (2012), “Casa para Todos” (2017), “Tu vivienda lista” (2021). (Ruiz, 1988).

Como se ve, los gobiernos de turno en sus planes de gobierno contemplan solventar los problemas de vivienda, no obstante, con el pasar de su gestión, este apartado pierde su importancia y se cumplen únicamente en mínimos porcentajes; por ejemplo, el gobierno de Lenin Moreno inició su periodo en 2017 y se propuso como objetivo construir 325 000 viviendas de interés social, sin embargo, al final del mandato en el año 2021, se

reportó que únicamente se realizaron 9 860 viviendas, correspondiente al 5% del total propuesto (Bernardino,R.; Marchan,I., 2021) (El Comercio, 2021).

Cáceres & Viera (2017), en su estudio “Análisis de los Sistemas de Incentivos de Vivienda Impulsados por el Gobierno Central del Ecuador a través de su Ministerio Rector periodo 2007-2016”, señalan que en ese periodo se destinó 1 623 millones de dólares para el desarrollo de vivienda social. Pese a esto, el déficit cuantitativo de vivienda en el año 2021, se ubica en el 42% en el área urbana y el 58% en el área rural (MIDUVI, 2022).

A continuación, se detallan una serie de políticas gubernamentales deficientes que incrementan la problemática de la vivienda: disminución de la vivienda como prioridad política, desigualdad y enfoque en la vivienda propia, especulación y abandono de la vivienda de alquiler, aumento de la dependencia del sector privado, asequibilidad inalcanzable, administración y gestión del suelo, migración, cambio climático y desastres naturales (ONU-HABITAT, 2016).

1.2. LA CALIDAD DE VIDA Y SU RELACIÓN CON LA VIVIENDA



Fuente: Castillo de Herrera, (2004) Fotografías: Alamy Foto de stock/PVE, (2018), Cuevas, (s/f), (Plusvalía, s/f)

Imagen 1.1. Dimensiones de la vivienda. Elaboración propia”

La vivienda provoca un profundo impacto no sólo en la salud, la conducta, sino además en la satisfacción de una persona puesto que, ahí permanece gran parte de su vida, origina a la familia y desarrolla hábitos sociales. (Castillo de Herrera, 2004), (Ismail et al., 2015). Las diferentes dimensiones que alcanza la vivienda se muestran en la [Imagen 1.1](#).

Paralelamente, la vivienda por su interacción con el medio, especialmente en grupos urbanos de clase pobre, envuelve las siguientes problemáticas: aumento del uso del suelo, hacinamientos, asentamientos ilegales, informalidad constructiva y autoconstrucción, deficiencia del total de servicios básicos de saneamiento, deficiente capacidad de regulación termal, especulación de propiedades, falta de escrituras, inseguridad, ocupación de construcciones abandonadas, vivir con mínimos estándares de vida (Giglia, 2018).

Por ejemplo, en la capital del Ecuador, Quito, se estima que entre el 60 y 75% de viviendas son autoconstruidas (Pazmiño, 2021). En la ruralidad, aumenta la autoconstrucción y el déficit de instalaciones destinadas al saneamiento. En efecto, el 13.2% de la población rural del Ecuador no dispone de algún tipo de sistema de alcantarillado, pozo ciego o pozo séptico. (UNICEF Ecuador, 2021)

A pesar de que la vivienda es una necesidad básica del ser humano, en el Ecuador se requieren 240 914 nuevas viviendas en el sector urbano y 342 602 en el sector rural y a nivel país, 1 471 132 edificaciones destinadas a viviendas no cumplen con los estándares de calidad requeridos (MIDUVI, 2022).

La calidad de vida es un término subjetivo e intangible que varía en función del estilo de vida y preferencia de las personas. Adicionalmente, esta cumple parte importante en la toma de decisiones financieras y los factores que la afectan incluyen las condiciones de trabajo, salubridad, educación y la condición de la vivienda. Puede determinarse en función, del acceso a servicios básicos, facilidades educacionales y culturales, calidad constructiva, estado y distribución de las habitaciones (Brkanić, 2017).

Una vivienda deficiente carece de las necesidades más básicas de agua, saneamiento, salud, preparación y almacenamiento seguro de alimentos, y acelera la difusión de problemas físicos y psicológicos. Adicionalmente, la falta del control de temperatura y regulación de humedad al interior de la vivienda, derivan en problemas respiratorios para sus ocupantes. Paralelamente, los hacinamientos generan peligros en sus habitantes (Brown, 2003).

UN-Habitat (2015), establece que los asentamientos informales, también conocidos como “*slums*” en inglés, barrios marginales, tugurios, “*favelas*” en portugués o “*banlieues*” en francés, son áreas urbanas caracterizadas por el carecimiento de las necesidades básicas de una vivienda, la sobrepoblación, condiciones de insalubridad, documentación inexistente que verifique su pertinencia, e incumplimiento de las regulaciones constructivas; específicamente, las personas que viven en estas condiciones se caracterizan por la falta de uno o más de los siguientes servicios: acceso a agua potable, acceso a alcantarillado, espacio libre de hacinamiento, durabilidad y seguridad constructiva o seguridad en la tenencia. En la [Imagen 1.2](#) se puede observar fotografías que reflejan estas realidades.

En efecto, en 2015 se reportó que 863 millones de personas vivían en asentamientos informales, equivalente al 25% de la población urbana en el mundo. En África, el 67% de la población urbana vive en tugurios; en Asia el 30%; en América Latina y el Caribe el 24%. En el Ecuador, 2 861 550 personas viven en asentamientos informales, de esta cifra 1 985 902 (70%) personas viven en zonas urbanas amanzanadas y 875 648 (30%) personas viven en zonas rurales amanzanadas (IADB, 2014) (Secretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos - SHAH, 2015).

a)



b)



c)



d)



e)



f)



Fuente: a) (Dube, 2017) ,b) (The World, 2011),c) (Clever Cities, s/f). d) (Brown, 2003). e) (Friends of Hope International, s/f). f) (Alamy, s/f).

Imagen 1.2. “Asentamientos informales y precariedad de las condiciones de vida dentro de los asentamientos. a) Asentamiento informal en la Ciudad de Alexandria, Sud África.b) El Morro do Alemao asentamiento en Río de Janeiro, Brasil. c) Barrio San Enrique de Velasco, Quito, Ecuador. Sobrepoblación, condiciones de vida precarias, falta de servicios básicos de agua potable y alcantarillado d) en Kenia. e) En Brasil f) En la Isla Trinitaria, Guayaquil, Ecuador.

La Organización de Naciones Unidas (ONU) define al problema de calidad de la vivienda como una epidemia multifactorial, en dónde, para el año 2000, 600 millones de residentes en zonas urbanas y 1 000 millones de habitantes en zonas rurales, vivían en hacinamientos con deficiente calidad de agua, deficiencia sanitaria y sin servicios de recolección de basura. Adicionalmente, señala que algunas personas viven en buses viejos, contenedores, cajas de cartón, aluminio, debajo de puentes, graderíos o techos de plástico. (ONU-Habitat, 2018)

En el año 2010, aproximadamente 980 millones de viviendas urbanas carecieron de condiciones decentes de vida. Adicionalmente, 881 millones de personas para el año 2016, vivían en barrios pobres de los países en desarrollo (ONU-Hábitat, 2016). En el Sur de Asia, Zambia, Lima, Caracas, Ghana, se presentaron las mayores cifras de precariedad de la vivienda. En cambio, en Ecuador, para ese mismo año, según cifras del Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) el déficit cualitativo de vivienda fue de 33.6%, el déficit cuantitativo 12.30% y la tasa de hacinamiento de 11.20%. (Ekos, 2017). En el mundo, se estima que para el 2025, 1 600 millones de personas necesitarán de una vivienda asequible y adecuada (Prieto, 2017), (ONU-HABITAT, 2016).

1.3. LA VIVIENDA COMO UN DERECHO HUMANO

La Declaración Universal de los Derechos Humanos ONU (2015): señala que: “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure a ella y a su familia, entre otros aspectos, la vivienda. Un nivel de vida adecuado implica entonces la posibilidad de contar con salud, alimentación, bienestar y servicios sociales, seguros.” En el mismo sentido, la Constitución del Ecuador en 1998 ya establecía en su inciso 20 del artículo 23 que: “Sin perjuicio de los derechos establecidos en esta Constitución y en los instrumentos internacionales vigentes, el Estado reconocerá y garantizará a las personas los siguientes: El derecho a una calidad de vida que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, saneamiento ambiental; educación, trabajo, empleo, recreación, vivienda, vestido y otros servicios sociales necesarios.” Esto se

ratificó en la actual Constitución de la República del Ecuador (2008), mediante el artículo 30, que indica: “Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica”. Adicionalmente, en el artículo 66, numeral 2, se señala que el Estado reconoce y garantizará: “El derecho a una vida digna, que se asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad y otros servicios sociales necesarios”. Por lo tanto, no sólo la máxima organización gubernamental a nivel mundial (ONU), sino, además, la Constitución del país establece a la vivienda como un derecho humano (Constitución de la República del Ecuador, 2008), (Gago Lorenzo, 2008), (MIDUVI-Ecuador, 2021).

En efecto, la Organización de Naciones Unidas establece como objetivos de desarrollo sostenible: “*Fin de la Pobreza*” (Objetivo 1). “*Reducir la desigualdad en los países y entre ellos*” (Objetivo 10).” *Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles, permitiendo reducir inequidad espacial y la pobreza en la comunidad, mejorando los estándares de vida para todos*” (Objetivo 11). (ONU Hábitat, 2019).

Los países pertenecientes a la ONU, entre ellos Ecuador, en el marco del Hábitat III, firmaron compromisos para apoyar el desarrollo sostenible, en dónde la vivienda se constituye en el centro de desarrollo de una ciudad, país, región, continente y por ende el mundo (ONU-HABITAT, 2016).

1.4. LA VIVIENDA Y EL DESARROLLO SOSTENIBLE

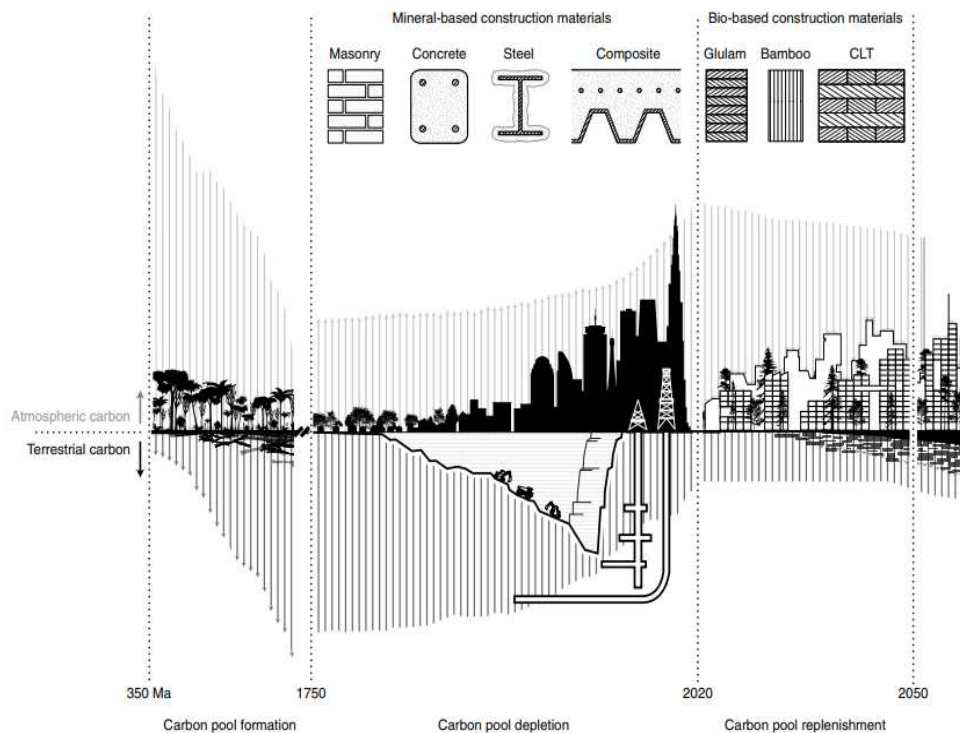
El desarrollo sostenible es aquel que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades, manteniendo siempre la protección ambiental y la generación de oportunidades económicas. Adicionalmente, es necesario reconocer que la naturaleza no es una fuente inagotable de recursos, por lo tanto, se requiere proteger y usar sus recursos

de manera responsable. A lo largo de los años, la actividad humana ha conducido a peligrosos cambios en el clima y la degradación de los ecosistemas, por lo que cada vez, el ser humano se ha aproximado al límite tolerable del planeta, propiciando cambios irreversibles y efectos climáticos devastadores. (La Grange, 2004).

Existen tres elementos centrales en el desarrollo sostenible: inclusión social, crecimiento económico y protección del medio ambiente. En efecto, la dotación de la vivienda se enmarca con estos elementos y con los planteados en los objetivos del desarrollo sostenible. Además, de los ODS 1,10 y 11 detallados anteriormente, la vivienda se relaciona con el ODS 9. *“Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”* y ODS. 15. *“Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad”*.

Actualmente, el mundo entero sufre no sólo una emergencia sanitaria, sino además una emergencia climática. En efecto, los desarrollos tecnológicos iniciados con la revolución industrial, incidieron en la aspiración humana por el dominio de la naturaleza. Luego de la segunda guerra mundial, se ejecutaron planes de desarrollo económicos, debido al crecimiento poblacional acelerado. Sin embargo, empezaron los procesos de urbanización no planificados, sin considerar la protección del ambiente, por consiguiente, se inició con el consumo desmesurado e inconsciente de los recursos naturales no renovable y el uso excesivo del petróleo y sus derivados. (Yılmaz & Bakış, 2015)

Desde la revolución industrial, a mediados del siglo XIX, los depósitos de carbón almacenados por millones de años han sido explotados y consumidos para completar su proceso de industrialización, incidiendo en un aumento substancial de la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂). Esto produce el alargamiento de las sesiones climáticas, temperaturas elevadas, decrecimiento forestal y aumento de la mineralización del nitrógeno, es decir el cambio climático. (Churkina et al., 2020).



Fuente: (Churkina et al., 2020)

Imagen 1.3. “Proceso responsable de la formación, consumo y potencial reposición del carbón terrestre y los cambios en la concentración atmosférica del CO₂”

En la [Imagen 1.3](#) se muestra los procesos a los que el carbón ha sido sometido a lo largo de la historia. En el panel izquierdo, se muestra la formación de una piscina subterránea, con reservas de carbono a través de millones de años, junto con las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, mismas que decrecieron suavemente debido a diferentes procesos que incluyen el entierro del carbono orgánico y meteorización de rocas. En el panel central, se muestra cómo el desarrollo urbano e industrial, han provocado el agotamiento de las reservas de carbono y han aumentado la concentración en la atmósfera del CO₂.

En efecto, la urbanización ha requerido de la elaboración de materiales como mampostería, hormigón y acero, producidos a partir de materia prima como: combustibles extraídos de la corteza terrestre y reservas naturales profundas, respectivamente. Lo anterior, contribuyó al consumo energético y la emisión de gases de efecto invernadero, calentamiento global, reducción de la capa de ozono y reducción de la biodiversidad, generando un impacto global y produciendo un desbalance entre la producción y el consumo de recursos. Por otro lado, el panel derecho muestra a ciudades construidas sustentablemente a partir de materiales bio-energéticos como: madera laminada, bambú, fardos de paja, entre otros; que, en conjunto, permitirán no sólo reducir las emisiones de carbono a la atmósfera, sino además la reposición de cierta cantidad de carbono en la tierra. (Yılmaz & Bakış, 2015) (Churkina et al., 2020).

Actualmente, contrario a lo que pasó con el desarrollo de la era industrial, múltiples naciones realizan acuerdos y reglamentaciones que se enfocan en mantener un balance entre las actividades diarias y los recursos naturales mediante la aplicación de la sostenibilidad. En efecto, el desarrollo sostenible es una acción impulsada por la ONU y tiene como principal objetivo la búsqueda de sociedades equitativas educadas en el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales (Libertun de Duren et al., 2018).

En el Ecuador, en 1984 se publica el primer Plan Nacional de Desarrollo (1980-1984) impulsado por el presidente Jaime Roldós Aguilera, luego tomó la posta el Gobierno de Febres Cordero con su Plan denominado “Pan, Techo y Empleo”, mismos que sirvieron de fundamento para que en año 2009 se implemente el Plan Nacional del Desarrollo “Del Buen Vivir” con el presidente Rafael Correa (2009-2013). Este último contempló estrategias y retos definidos por el Estado y sus instituciones de manera sistemática y organizada, con la finalidad de garantizar los derechos establecidos en la constitución del 2008, planteando el mejoramiento de las condiciones de vida de los ecuatorianos por medio de políticas revolucionarias, a fin de alcanzar el Buen Vivir. “*El Buen Vivir es la forma de vida que permite la felicidad y la permanencia de la diversidad cultural y ambiental, es armonía, igualdad, equidad y solidaridad*”. (SENPLADES, 2013).

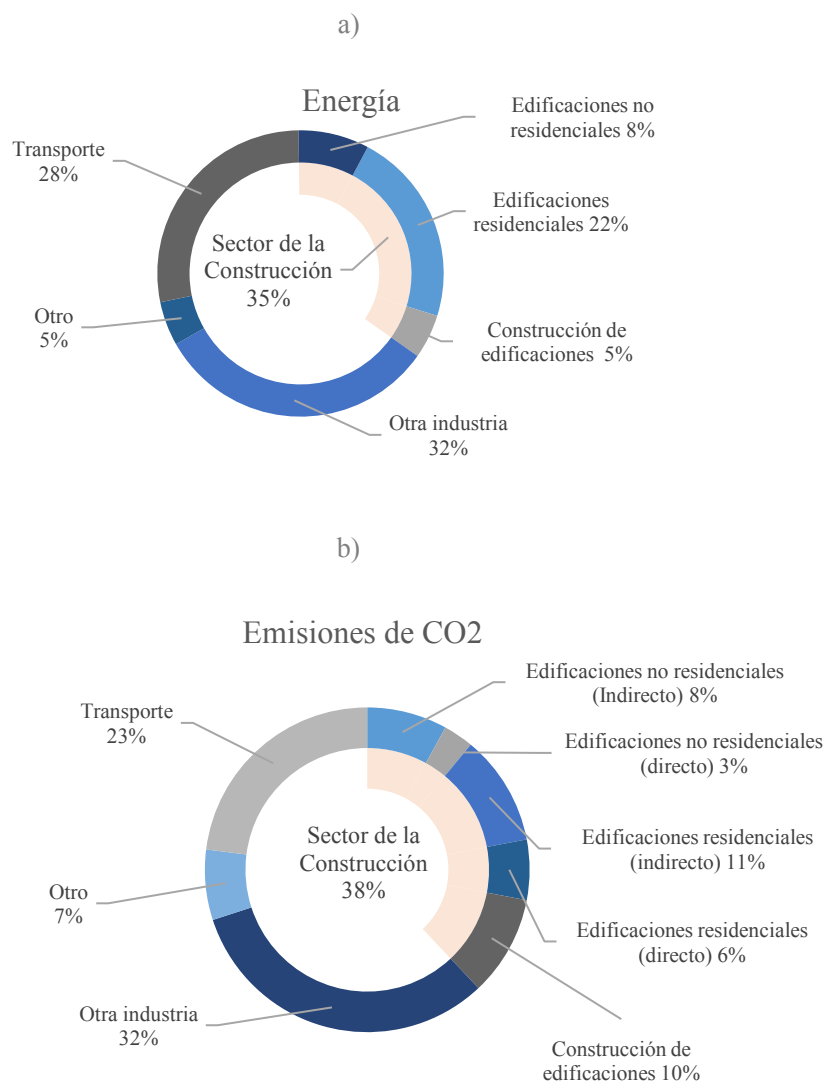
De la misma manera, para el siguiente período de gobierno de Rafael Correa (2009-2013), se ratifican los objetivos del Plan Nacional para el Buen Vivir, con sus estrategias definidas y además adoptan políticas de hábitat y vivienda para reducir el déficit cuantitativo y cualitativo, los asentamientos informales, fortalecer el ordenamiento territorial y garantizar el derecho a la ciudad (SENPLADES, 2013).

En el siguiente período de gobierno, con el presidente Lenin Moreno, el Plan Nacional de Desarrollo, cambió de denominación a “Toda una Vida” (2017-2021). Aquí se plantearon políticas para garantizar el acceso a vivienda, servicios y espacio públicos para todos los ecuatorianos (SENPLADES, 2017).

Finalmente, se encuentra vigente el “Plan Nacional de Desarrollo 2021 – 2025” elaborado e impulsado por el actual gobierno liderado por el presidente Guillermo Lasso. Este plan define tres principales ejes: social, económico e institucional. Con respecto a la vivienda, se propone garantizar el acceso a una vivienda segura y adecuada que incluya la provisión de servicios básicos y conectividad, y con respecto a la sostenibilidad, plantea el aprovechamiento eficiente de la riqueza natural, asegurando la sostenibilidad y protección del ambiente (Primicias, 2021).

1.5. LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN Y SU RELACIÓN CON EL CAMBIO CLIMÁTICO.

El sector de la construcción cumple un rol muy importante frente a la emergencia climática que vive el mundo. En el año 2018 fue responsable del 39% de las emisiones totales de carbono (CO₂) a nivel global (Adams et al., 2019). Al año siguiente, esta industria incrementó su cantidad de emisiones de CO₂ alrededor de 10 GT (Giga toneladas) o su equivalente al 28% de la energía global total. Así, para el 2019 la industria de la construcción fue responsable del 35% del consumo energético y del 38% de las emisiones de dióxido de carbono (UN Environment Programme, 2020). En la [Imagen 1.4](#) se muestran los datos de consumo de energía y emisiones de CO₂ atribuibles a esta actividad.



Fuente: UN Environment Programme (2020)

Imagen 1.4. “Consumo energético y emisiones de CO₂ para el año 2019. La industria de la construcción es la porción estimada por la manufacturación requerida para la producción de los materiales de construcción como acero, cemento y vidrio. Las emisiones indirectas corresponden a la energía generada para la electricidad y la calefacción comercial”

Las emisiones de este sector aumentaron debido al uso continuo, de carbón, aceite y gas natural para la cocción de alimentos y la calefacción de la vivienda, combinado con altos niveles de actividad en regiones donde la electricidad sigue siendo producida a partir de combustibles originados por materiales fósiles (UN Environment Programme, 2020) [\(Ver Tabla 1.2\)](#). En efecto, el IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático), alerta que el consumo de estos combustibles provoca la mayor parte de emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Por otro lado, la energía requerida para la elaboración de los materiales de construcción (energía incorporada., que se expresa en MJ/kg) es bastante alta (Vásquez & Guillén, 2016).

En Ecuador los materiales más utilizados para construir son: el hormigón armado y los ladrillos (Vélez & Contreras, 2021), pese a que estos materiales requieren altas cantidades de energía en su fabricación, por ejemplo, el hormigón utiliza 1.10 MJ/kg y los ladrillos 2.90 MJ/kg (Quishpe, 2016).

Tabla 1.1. Impacto Ambiental de los Principales Materiales de Construcción.

Material	Efecto Invernadero	Acidificación	Contaminación Atmosférica	Ozono	Metales Pesados	Energía	Residuos Sólidos
Cerámica	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+ ⁶
Piedra	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+ ⁶
Acero	++ ⁶	++ ⁶	+ ⁶	+++ ⁶	++ ⁶	++ ⁶	+++ ⁶
Aluminio	+ ⁶	+ ⁶	++ ⁶	+++ ⁶	+ ⁶	+ ⁶	+++ ⁶
PVC	++ ⁶	++ ⁶	+ ⁶	+++ ⁶	++ ⁶	++ ⁶	++ ⁶
Poliestireno	++ ⁶	+ ⁶	+ ⁶	++ ⁶	+ ⁶	+ ⁶	++ ⁶
Poliuretano	+ ⁶	++ ⁶	+ ⁶	+ ⁶	++ ⁶	++ ⁶	+++ ⁶
Pino	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶	+++ ⁶
Cemento	+ ¹	++ ²	+ ²	+ ³	+ ⁴	+++ ⁵	+++ ⁴
Hormigón	+ ⁷	+ ⁷	+++ ⁸	++ ⁹	++ ⁴	++++ ¹⁰	+++ ⁴

Fuente: ⁽¹⁾(BBC News.,2018), ⁽²⁾(Espol,2021), ⁽³⁾(Mora,2008) , ⁽⁴⁾(Sistema Español de Inventario de Emisiones, 2015), ⁽⁵⁾(PCA, 2006) , ⁽⁶⁾(Bautista & Loaiza, 2018), ⁽⁷⁾(García,2021), ⁽⁸⁾(Pescador,2022), ⁽⁹⁾ (Dan & Loredana, 2009), ⁽¹⁰⁾ (Aldana & Serpell, 2012)

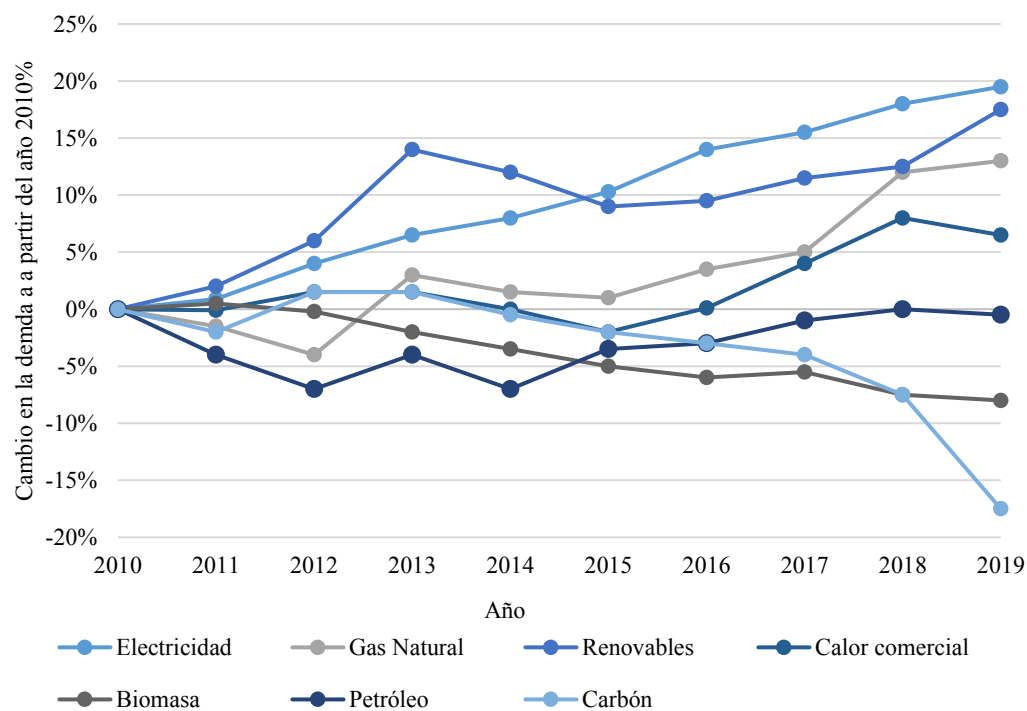
En la [Tabla 1.1](#), se muestra el impacto ambiental de los principales materiales de construcción, así también en la [Tabla 1.2](#) se resumen las emisiones de CO₂ debidas a procesos de operación y construcción de viviendas.

Tabla 1.2. Estimación de las emisiones producidas en los procesos de operación y construcción.

Emisiones debido a las actividades dentro de las viviendas	Carbón	496	9953 (Mt CO ₂)	9 % emisiones directas
	Aceite	939		19% emisiones indirectas
	Gas Natural	1663		
	Electricidad y Calefacción	6855		
Construcción de Viviendas	Uso de energía en el proceso de construcción	130	130 (MtCO ₂)	10% emisiones indirectas
Manufacturación del Material	Cemento y acero para la construcción	2038	3429 (Mt CO ₂)	
	Otros materiales	1391		
Cadena de valor de la industria de la construcción y vivienda		13512		38% de la energía total relacionada a las emisiones

Fuente: IEA UN Environment Programme (2020)

A continuación, en la [Imagen 1.5](#), se muestra el consumo de energía por tipo de combustible en la vivienda. Así, la electricidad es el combustible que desde el 2010 se viene incrementando permanentemente, alcanzando su máximo valor en el año 2019. Un comportamiento similar, registran el gas natural y la calefacción. Además, el consumo energético de aceite ha ido aumentando paulatinamente. Los combustibles renovables por su parte han registrado un aumento considerable en su uso, a partir del año 2015. Por otro lado, el consumo energético del carbón registra un decrecimiento a partir del año 2012, al igual que los combustibles tradicionales (biomasa).

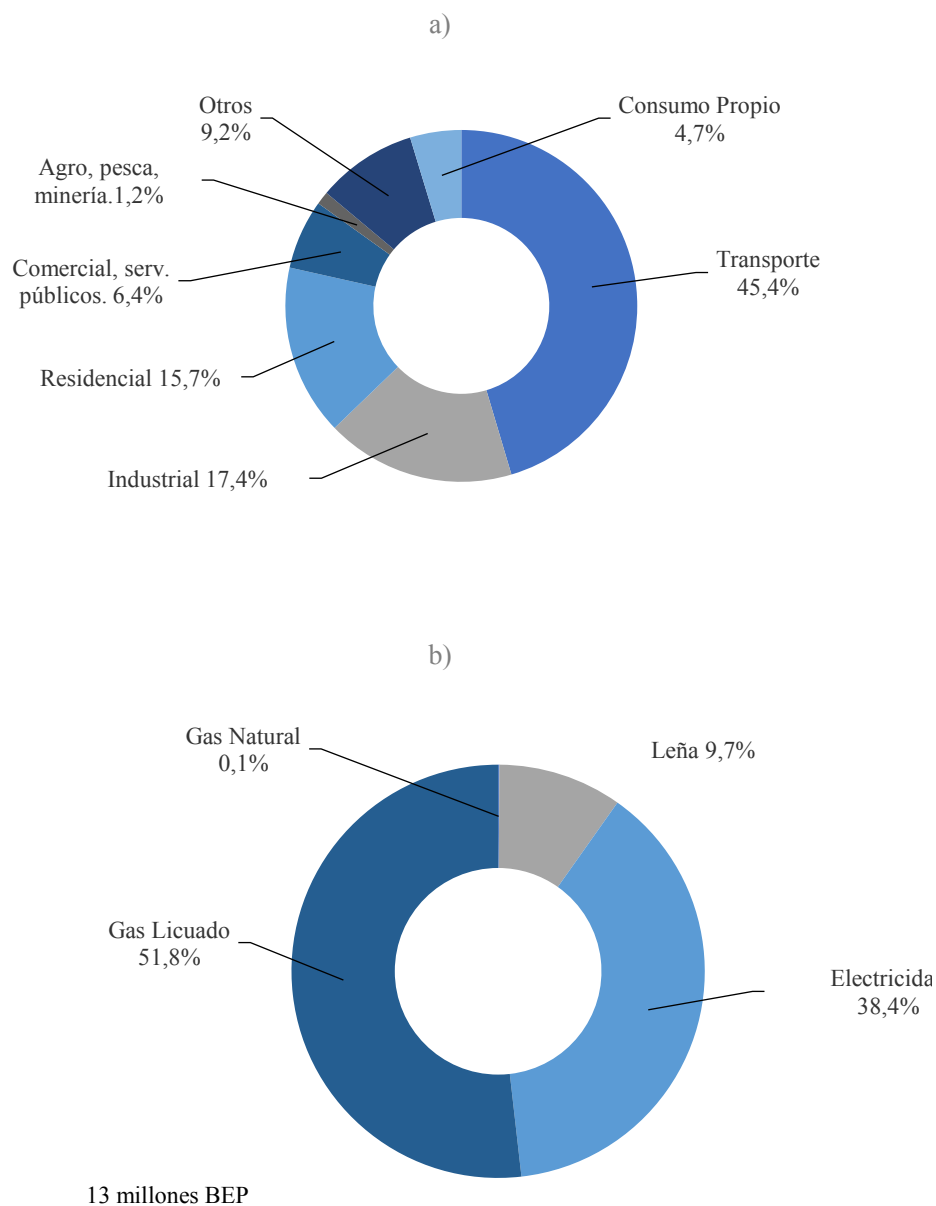


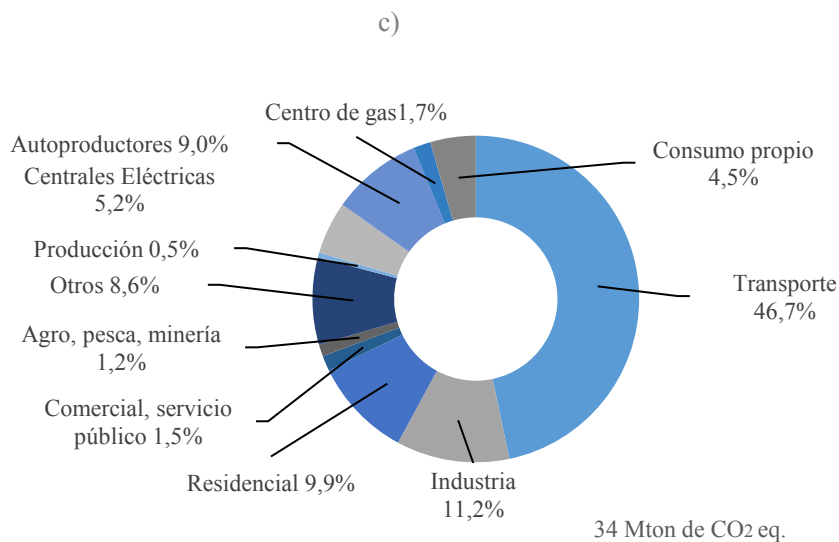
Fuente: (Churkina et al., 2020)

Imagen 1.5. “Proceso responsable de la formación, consumo y potencial reposición del carbón terrestre y los cambios en la concentración atmosférica del CO₂”

Por otro lado, en el Ecuador la demanda energética se incrementó de 72.70 millones de barriles equivalentes de petróleo (BEP), en el año 2010, a 83.10 millones en 2020. En efecto, para este último año, el sector del transporte (45.40%) y la industria (17.40%) son los mayores demandantes de energía en el país, seguidos del sector residencial (15.70%), con un promedio de 11.90 millones de BEP dentro del período 2010 a 2020. En este sector, el consumo energético se debe principalmente, al empleo de gas licuado de petróleo (51.80%), seguido de la electricidad (38.40%), leña (9.70%), y gas natural

(0.1%), estas cifras se pueden apreciar de mejor manera en la [Imagen 1.6](#). (Ministerio de Energía y Recursos No Renovables Ecuador, 2020).





Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos No Renovables Ecuador, 2021)

Imagen 1.6. “a) Demanda energética por sector en porcentaje b) Consumo energético por fuente dentro del sector residencial c) Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por actividad (%) para el año 2020 en Ecuador”

A continuación, en la [Tabla 1.3](#) se muestran algunos problemas de sostenibilidad provocados por la industria de la construcción.

Tabla 1.3. Sostenibilidad y Construcción

Problemas de sostenibilidad y su relación con la industria de la construcción.	
Problema de sostenibilidad	Relación con la industria de la construcción
Calentamiento Global	Es el aumento de la temperatura global del planeta provocado por el aumento de las emisiones de dióxido de carbono. La mayoría de los materiales usados en la construcción para ser fabricados o explotados, requieren del consumo de grandes cantidades de combustible fósiles.

Problemas de sostenibilidad y su relación con la industria de la construcción.	
Pérdida de biodiversidad y hábitat naturales	La pérdida de biodiversidad y el hábitat se produce como resultado de la limpieza y desbroce para la construcción o extracción de materiales. Esto induce a la pérdida de especies de los ecosistemas y a la modificación de los hábitats naturales.
Contaminación del aire	El polvo y gases producidos por los residuos de la construcción y sus procesos inherentes generalmente son menores a 10 micrómetros, por lo que prácticamente son invisibles. Estos residuos constituyen un riesgo para el ambiente y la salud de los humanos. Los contaminantes más comunes en la construcción son: polvo de la trituración de agregados, contaminantes del proceso de transformación de energía hidroeléctrica, operación de maquinaria, procesos de manufacturación y transporte de materiales o productos.
Acidificación y toxicidad	Creación de lluvia ácida debido a la disolución en agua de gases como el azufre y el nitrógeno. Actividades de la construcción que producen este efecto son la combustión de combustibles fósiles para la manufacturación y transporte de materiales.
Deforestación	La urbanización lidera el agotamiento de recursos forestales. Alrededor del mundo, el consumo de madera para la construcción deja secuelas graves en el bosque, actualmente existe menos del 40% de la superficie forestal mundial, sin embargo, la explotación continúa.
Agotamiento de las fuentes naturales de agua	Esto causa afectación en el ciclo hidrológico del agua, reduciendo la cantidad de agua disponible para la disolución de contaminantes y el consumo humano. Las actividades de la construcción y las relacionadas a la extracción de recursos naturales, requieren grandes cantidades de agua para sus procesos. La impermeabilidad de la superficie de construcción reduce la recarga de las fuentes subterráneas de agua.

Fuente: Khatib (2016)

Estudios estiman que las ciudades ocupan únicamente el 2% del territorio continental, sin embargo, estas producen entre el 70% y 80% de las emisiones de gases de efecto invernadero, además consumen el 60% de la energía global y producen el 70% de la basura global; esto se debe a la migración de los habitantes de zona rurales hacia las zonas urbanas, en este sentido, al ser inasequible el precio de la vivienda en el centro urbano “downtown”, la periferia constituye el lugar propicio para la instauración de asentamientos informales (Avis, 2016). Estos, en conjunto con las personas pobres, constituyen la población más vulnerable ante los efectos del cambio climático, así como: desastres naturales, deslizamientos de tierra, tormentas de alta intensidad, elevación del mar por retroceso de los glaciares, sequías extremas e inundaciones, ya que, la vivienda en estos asentamientos es de baja calidad constructiva y sus costos de reparación extremadamente elevados luego de los siniestros. (Weichelt & McKernan, 2020), (Center for Climate and Energy Solutions, s/f)

1.6. LA VIVIENDA EFICIENTE COMO APOORTE AL DESARROLLO DE LA SOCIEDAD.

La vivienda eficiente es producto de la construcción sustentable, es decir, que será construida de tal manera que presente la mayor autosuficiencia posible, usando los recursos de su entorno y aprovechando el viento y la luz natural, reduciendo a su vez, el impacto ambiental y procurando mayor bienestar posible de sus ocupantes. Los beneficios de esta vivienda son: reducción del consumo energético, reducción de costos operativos de la edificación, comodidad visual, confort térmico, mejor calidad de aire, análisis de ciclos de vida de sus materiales, ahorro de agua, uso de biomateriales, reducción de residuos, incremento de la productividad laboral y salud.(Susunaga, 2014)

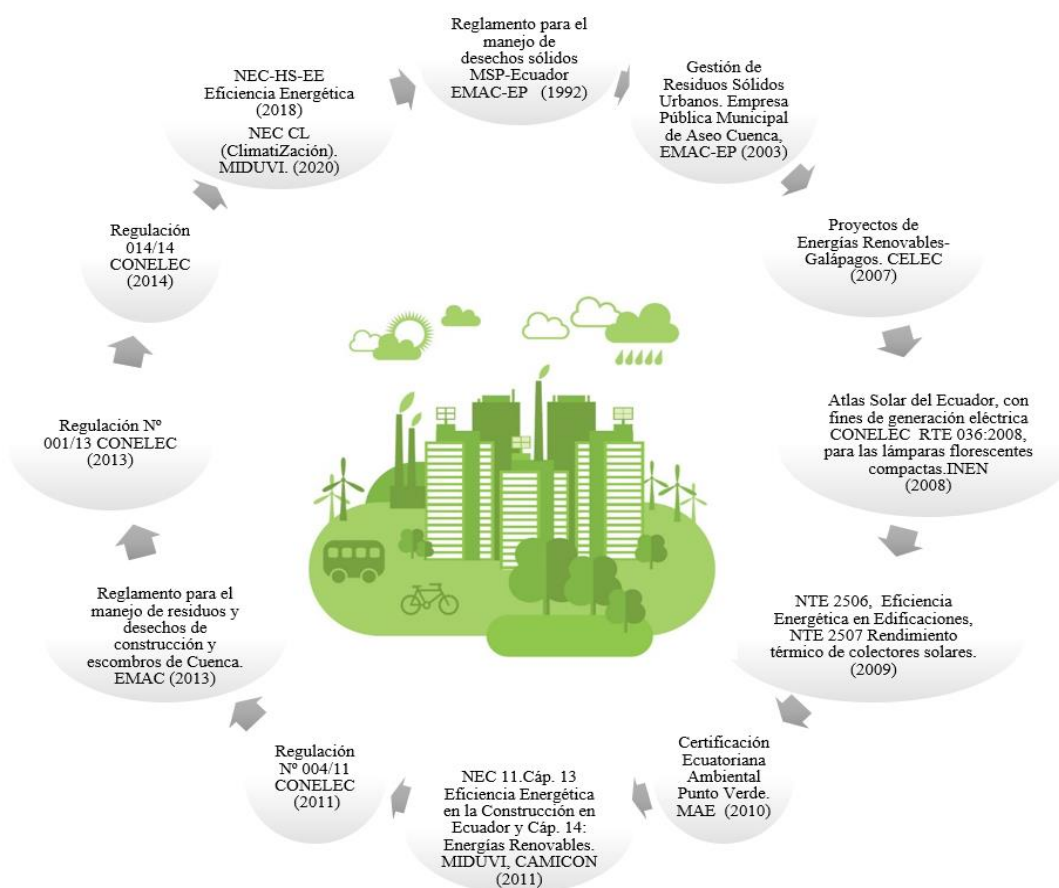
Actualmente, se han desarrollado algunos tipos de viviendas eco eficientes con el ambiente, por ejemplo: viviendas que incorporan elementos prefabricados, viviendas construidas usando estándares rigurosos de eficiencia energética, viviendas con fardos de paja, viviendas con adobe, viviendas hechas a partir de contenedores, viviendas de bambú, todas estas permiten reducir las emisiones de CO₂ en la atmósfera y procurar de

bienestar a sus ocupantes (Nitzkin, R., Maren,T.,2010). En efecto, muchas de las materias primas usadas para este tipo de viviendas provienen del reciclaje y mediante una adecuada distribución espacial y diseño estructural pueden servir además de al ambiente, a la sociedad, por medio de la construcción de viviendas eco-amigables de interés social.

Para determinar si una edificación cumple con requisitos de eficiencia energética, esta se analiza través de criterios emitidos por organizaciones internacionales, recogidos en diversas certificaciones (Susunaga, 2014).

Las certificaciones más conocidas son: BREEAM (1990), desarrollada por el Centro de Investigación de la Construcción (*“Building Research Stablishment” en inglés*) en Reino Unido. Esta certificación promueve el uso de materiales de bajo impacto ambiental durante el ciclo de vida del edificio. Por otro lado, la certificación Liderazgo en Energía y Diseño Medio Ambiental LEED (1993) desarrollada por el Consejo Estadounidense de Construcción Sostenible, propone entre otros aspectos el uso de materiales locales. GRREN STAR (2003) manejada por el Consejo Australiano de Construcción Verde, usa los conceptos establecidos en las anteriores certificaciones y propone también el uso de materiales poco tóxicos para un entorno vital más sano y seguro. Otra certificación, VERDE (Valoración de Eficiencia de Referencia de Edificios), fue creada por el Green Building Council España, para fomentar la construcción sostenible, también procura reducir los impactos asociados a la producción de materiales de construcción (Vélez & Contreras, 2021)

En el caso de Ecuador, el tratamiento del tema ambiental se inició con el Reglamento para el Manejo de Residuos Sólidos en 1992, y a partir de este, mediante una serie de normativas, llegó a consolidarse la Norma Ecuatoriana de la Construcción de Eficiencia Energética (NEC-HS-EE), como se muestra en la [Imagen 1.7](#).



Fuente: Pérez M. (2014)

Imagen 1.7. Elaboración propia. “Desarrollo de la Normativa orientada a la gestión de residuos sólidos y eficiencia energética”.

En el año 2019 se oficializó la Ley de Eficiencia Energética del Ecuador, que en el artículo 13 “Eficiencia Energética en la Construcción” establece que se deben coordinar políticas y normativas orientadas a que las edificaciones de uso industrial, comercial, recreativo y residencial observen el cumplimiento de las metas sectoriales de eficiencia energética. Estas normativas deben ser de cumplimiento obligatorio por parte de los diseñadores, constructores, propietarios y usuarios de las edificaciones. Además, se

indica que debe incluirse en la reglamentación, un proceso de evaluación de cumplimiento y calificación sobre el consumo energético de las edificaciones nuevas y aquellas que se remodelen, amplíen o rehabiliten (*Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 2019*).

A pesar de que existen estas leyes en el Ecuador y que los bancos están dedicando más recursos a la colocación de crédito sostenible, en el año 2021 apenas el 2.20% de esta cartera fue destinada a vivienda (*Tapia, 2022*).

Lo que queda claro es que la vivienda eficiente aporta al desarrollo, ya que consume menos energía y eso determina que se eviten pagos excesivos por consumo innecesario de energía. Además, permite la descarbonización del sector de la construcción, con la finalidad de mitigar los efectos mundiales del cambio climático (*Adams et al., 2019*). Por consiguiente, el material seleccionado para la construcción de una obra civil, el adecuado diseño de espacios y el aprovechamiento energético dentro de una vivienda es indispensable, no sólo para controlar las emisiones del CO₂ sino también para reducir la producción de gases de efecto invernadero. El hormigón, el acero, el aluminio y el vidrio son los cuatro materiales más usados en la construcción y que contribuyen negativamente a la generación de gases de efecto invernadero en todos sus procesos (*Jenkins Swan et al., 2011*), por consiguiente, es necesario plantear estructuras que minimicen el uso de este material y, por el contrario, empleen materiales bio-sostenibles como: bambú, caña guadua, adobe, paja o bahareque, sin dejar de lado a la calidad constructiva y a la calidad de vida de sus ocupantes.

1.7. LA PAJA UNA ALTERNATIVA SUSTENTABLE PARA LA CONSTRUCCIÓN.

Como ya se ha señalado, el sector de la construcción afecta directamente al medio ambiente, desde el instante que se elaboran los materiales necesarios. Por ejemplo, la fabricación de ladrillos contempla el uso de leña involucrando directamente la tala de árboles alterando de forma negativa al medio ambiente. Para evitar el exagerado

consumo de energía que se presenta en diferentes fases de la construcción convencional, investigadores a nivel mundial, se han dedicado a buscar materiales, que en su producción sean menos contaminantes y más eficientes energéticamente (Jiménez, Rocha, 2016). Actualmente existen denominaciones, tales como, construcción ecológica, bio-construcción, construcción sustentable, entre otras. Su objetivo es intervenir en el hábitat de un modo saludable, con alternativas que permitan disminuir el impacto generado.

Una de ellas es la paja, que se obtiene como desecho de la producción agroindustrial de cereales, se recoge del campo y se comprime en formas rectangulares, denominadas fardos, balas o pacas, por medio de máquinas (Nitzkin, R., Maren, T., 2010). Por ejemplo, frente a los materiales de construcción más usuales en el Ecuador, el fardo de paja de trigo tiene 0.7 MJ/kg de energía incorporada, que es aproximadamente 50% menos que el valor que incorpora el hormigón (González, 2014).

Entre las características, como material de construcción, que se pueden destacar de la paja comprimida en fardos con densidad mayor a 80 kg/m³ se tienen:

- Bajo coeficiente de conductividad térmica (perfecto aislante térmico), menor incluso que el del adobe y paneles de madera. (López & Iborra, 2015)
- Alta resistencia al fuego (Paredes, 2020)
- Perfecto aislante de sonidos (Bernal, 2018)
- Alta durabilidad (Minke, 2004)
- Buena capacidad de Carga (López & Iborra, 2015)
- Sumidero de CO₂ (Deposito natural de carbono, al absorberlo del aire contribuye a reducir la cantidad de CO₂) (Cascone et al., 2019)
- Biodegradable (Paredes, 2020)
- Recurso renovable (Secretaria Nacional de Planificación, 2021)



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.8. “Construcción del sistema estructural con fardos de paja”.

En el continente europeo y resto del mundo hay cientos de compañías que se dedican a construir edificaciones usando la paja como materia prima, puesto que este material

permite satisfacer las necesidades de los clientes y constructores, sin limitar la creatividad y el desarrollo de nuevas técnicas. En efecto, los edificios con este material son de bajo impacto ambiental, alta eficiencia energética y por el momento los costes se concentran en la mayor incorporación de mano de obra. (Nitzkin, R., Maren, T., 2010)

La recuperación de la paja como material de construcción para vivienda sismo resistente y energéticamente eficiente en zonas rurales, donde se produce cereales en Ecuador, aportaría a la consecución de los objetivos de desarrollo del gobierno actual.

El “Plan de Creación de Oportunidades 2021-2025” emitido por la Secretaria Nacional de Planificación, manifiesta el compromiso del Gobierno actual en acelerar e intensificar las acciones e inversiones necesarias para un futuro sostenible con bajas emisiones de carbono, a tono con los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU. Así mismo en el literal D2 del objetivo 9, del mencionado plan, se establece que se deben promover estándares de construcción seguros que implementen mejoras de eficiencia en el uso de la energía. También, en el objetivo 12 literal E6 se expresa que se incentivarán los procesos de economía circular para el mejor aprovechamiento de los recursos y generación alternativa de fuentes de empleo. Este plan prioriza la inversión en el sector rural a través del desarrollo de infraestructura productiva. (Secretaria Nacional de Planificación, 2021).

1.8. REVISIÓN DE NORMATIVA Y EXPERIENCIAS DE CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA ALREDEDOR DEL MUNDO.

Actualmente, la construcción con paja se ha desarrollado en algunos países incluyendo: Sudáfrica, Mongolia, Pakistán, Chile, China, Turquía y Francia (Walker et al., 2019).

En el continente europeo y resto del mundo hay cientos de compañías que se dedican a construir edificaciones usando la paja como materia prima, puesto que este material permite satisfacer las necesidades de los clientes y constructores, sin limitar la creatividad y el desarrollo de nuevas técnicas. En efecto, los edificios o construcciones

con este material son de bajo impacto ambiental y alta eficiencia energética. (Nitzkin, R., Maren, T., 2010)

Actualmente, debido al crecimiento del uso de este material para la construcción, los requisitos de diseño y configuración estructural se encuentran detallados en códigos normativos como el IBC (Código de Construcción Internacional) y el IRC (Código Internacional Residencial), que toman como referencia las experiencias de Turquía (Estándar y código de construcción con adobe en Turquía TS 2514), Australia (Estándares Australianos HB 195), Nueva Zelanda (Estándares Neozelandeses NZS 4197, 4298, 4299), Perú (Código Sismorresistente de Construcción con adobe en Perú) y África (Estandarización y Organización regional Africana ARSO) (Jenkins Swan et al., 2011). En la [Tabla 1.4](#), se hace un resumen de las normativas y países donde existe reglamentación que aplica a este tipo de construcción.

Tabla 1.4. Normativas de la construcción con fardos de paja alrededor del mundo.

Construcción con fardos de paja		
Norma	Origen	Resumen
Apéndice del Código Residencial Internacional ("IRC") Strawbale Construction (Appendix of International Residential Code)	Estados Unidos (2018)	El uso de los fardos de paja en la construcción ha tenido un crecimiento importante desde 1980, teniendo como resultado nuevas construcciones en cada estado de los Estados Unidos. Este apéndice prescribe los requisitos para la construcción externa e interna de muros estructurales y no estructurales en edificaciones reguladas por este código.
Compressed Straw Construction Bales (Heat Insulating) - Technical Condition	Bielorrusia	
Sección "Métodos Alternativos" en los códigos de construcción	Países Bajos, Reino Unido, Australia, Sudáfrica	

Fuente: Elaboración propia. (Swan, 2011)

En América, las experiencias constructivas con este material se han dado principalmente en EE.UU., Canadá, Chile y Argentina (Nitzkin, R., Maren, T., 2010). En el Ecuador a pesar de tener un clima frío en la zona andina, donde serían de mucha utilidad las casas térmicamente confortables como aquellas realizadas con fardos de paja, no se tiene registro de que antes de esta investigación se haya intentado indagar acerca de este material y cómo edificar con él, para de esta manera buscar alternativas de solución a la falta de vivienda adecuada.

1.9. CAUSAS DE LA VIVIENDA INADECUADA EN AMÉRICA LATINA

En Latinoamérica se vive un desastre social cuyo centro es el asentamiento informal. En efecto, esta región a pesar de ser la más urbanizada, es la más desigual. Por ejemplo: 104 millones de personas viven en hacinamientos informales, también, 1 de cada 4 habitantes de zonas urbanas viven en villas, tugurios, campamentos o favelas. Adicionalmente, el 25% de los asentamientos no cuenta con acceso continuo a los servicios básicos de agua potable, energía eléctrica, saneamiento (ONU-HABITAT, 2016).

Duncan (2010), establece las siguientes causantes de la vivienda inadecuada en la región:

- Pobreza (bajos ingresos familiares y desempleo).
- Sin acceso a espacio físico para la construcción (terreno).
- Limitaciones en el suministro de vivienda.
- Urbanización/migración rural hacia las zonas urbanas.
- Tenencia incierta de terrenos.
- Políticas gubernamentales o marcos reguladores habitacionales ineficaces.
- Desplazamientos (ocasionados por: desahucios planificados, desastres naturales y conflictos sociales).

- Acceso a financiamiento muy limitado. (Duncan, 2010)

1.10. RELACIÓN DE LA CALIDAD CONSTRUCTIVA CON LAS CONDICIONES ECONÓMICAS DE LA POBLACIÓN.

La pobreza describe una situación en dónde una persona o su hogar, carece de ingresos, bienes materiales y capacidades para suplir sus necesidades básicas (Arriagada, 2015). Además, la pobreza es el resultado de la concurrencia de múltiples enfoques como: el ingreso y el consumo, los activos, la vivienda, la infraestructura pública, seguridad, protección de derechos, voz política, acceso a servicios básicos como: salubridad y educación. (Montgomery, Stren, Cohen y Reed, 2003).

Paralelamente la pobreza es medida en función de 3 aspectos. Parámetros objetivos, como por ejemplo el costo de bienes y servicios. Subjetivos como el confort. Y privación multidimensional como los índices de calidad de vida (De La Paz & Juárez, 2019).

Por otro lado, la vivienda se define como un bien complejo, conformado por la infraestructura física que constituye un hábitat para una persona o la familia que conforma el hogar. Adicionalmente, adquiere la capacidad de “habitar” dentro de una determinada ubicación de una ciudad con los atributos, beneficios, carecimientos y necesidades del entorno. De la misma manera, la vivienda pasa a constituirse como un capital físico y capital financiero que permite sobre todo a los pobres acceder a nuevas oportunidades de superación. Esto consolida a la vivienda como base para definir estrategias políticas y sociales que aporten a la reducción de la pobreza (Sierra & Tarazona, 2011).

La falta de vivienda no es atribuible totalmente a la pobreza, sino a un reducido compromiso estatal y político de los gobiernos de turno (Ziccardi, 2001). En efecto, los planificadores sociales no suelen concebir a la vivienda como una prioridad, debido a su mayor costo de producción, en comparación con la educación y salud. A nivel mundial, únicamente Cuba, Singapur y Hong Kong, aunque con grandes limitaciones de suelo, han planteado programas de vivienda accesibles enfocadas en los que más necesitan. Sin

embargo, en otros países y especialmente en Latinoamérica, los programas de vivienda tienden a ser inalcanzables a los estratos sociales más necesitados, o la vivienda ofertada en estos programas, no satisface el concepto de vivienda adecuada (Di Virgilio, 2021). (Sierra & Tarazona, 2011).

Efectivamente, en el Ecuador, una familia necesita ganar al menos \$854 mensuales para comprar una casa a crédito (La Hora, 2021). Para el año 2023, el salario básico en el país es \$450 mensuales (Coba, 2022) con esta perspectiva es imposible para una familia con dos adultos económicamente activos, que ganan lo mínimo acceder al derecho a una vivienda propia adecuada.

Naciones Unidas, (1991) define el derecho a la vivienda adecuada con siete criterios:

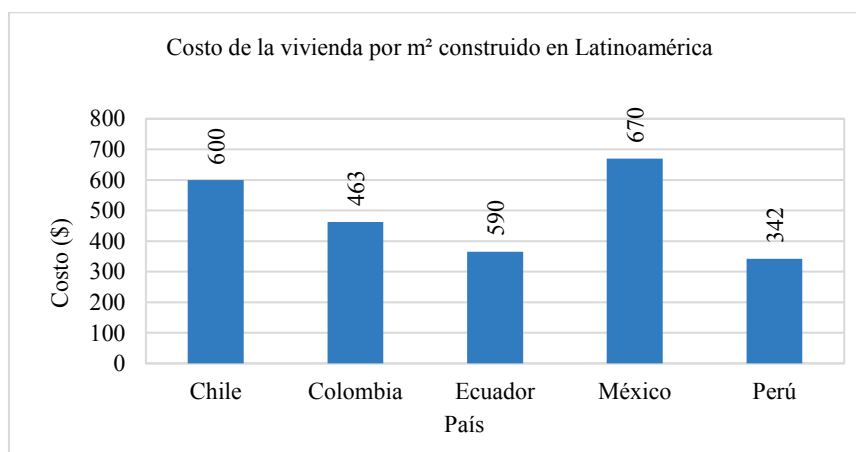
1. Seguridad jurídica de tenencia.
2. Disponibilidad de servicios materiales e infraestructura.
3. Gastos soportables.
4. Habitabilidad.
5. Accesibilidad.
6. Ubicación.
7. Adecuación cultural.

De acuerdo a lo expresado, el simple hecho de poseer una vivienda no garantiza que sea adecuada. Por ejemplo, una infraestructura insuficiente obligará a los hogares a vivir acondicionados a esta realidad. Esto incide en el deterioro de la salud, el desenvolvimiento de sus habitantes en el trabajo, educación y en la sociedad. También, por la precariedad de la construcción, los gastos de mantenimiento pueden ser superiores a los ingresos que generan los habitantes produciéndose otro problema, denominado la pobreza inducida, que básicamente consiste en todas las problemáticas que conlleva la falta de vivienda adecuada. Finalmente, para el caso de Latinoamérica, se evidencia que

ni todos los pobres carecen de una vivienda adecuada, ni todos los hogares que viven inadecuadamente son pobres. (Joan McDonald, 2004) (Sierra & Tarazona, 2011).

1.11. EL COSTO DE LA VIVIENDA EN LATINOAMÉRICA.

El costo de la vivienda varía por los materiales, calidad constructiva, los acabados y la plusvalía. Para efectos de esta investigación no se considera la plusvalía sino sólo el costo de la construcción por metro cuadrado. En Ecuador el precio de la vivienda con acabados de alta calidad varía entre \$590 y \$1 500 por metro cuadrado. Por otro lado, el precio de una vivienda con acabados básicos se encuentra alrededor de \$400.88 por metro cuadrado. En México, el precio por metro cuadrado de una vivienda con acabados medios oscila entre \$645 y \$694, en Colombia \$463, en Perú \$342 y en Chile el precio está alrededor de \$600, como se detalla en la [Imagen 1.9](#).

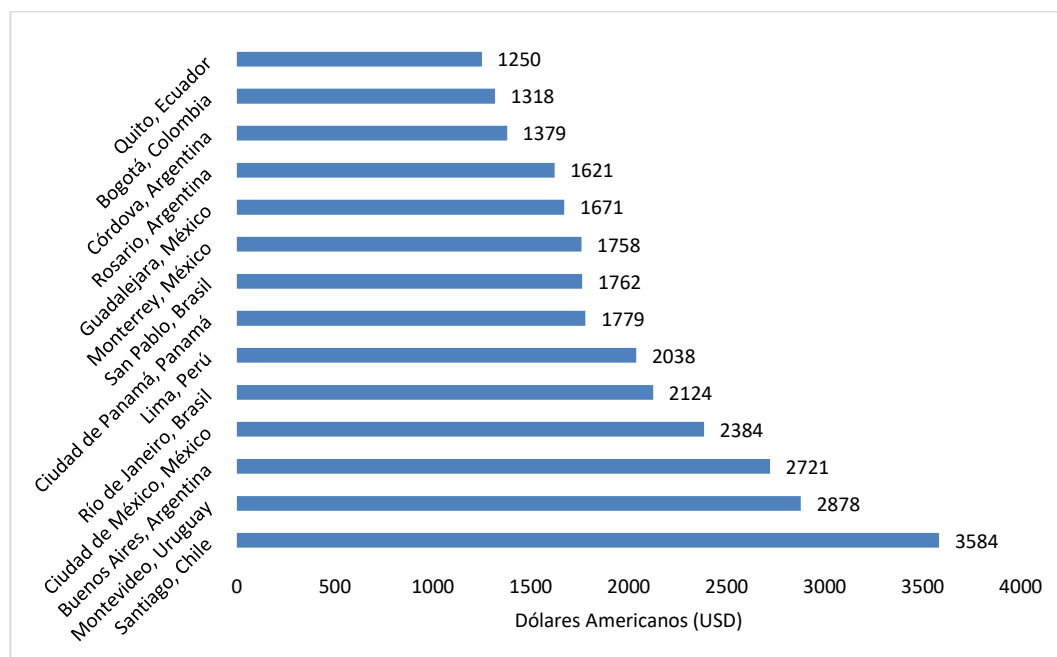


Fuente: Arquitectos en Manta (2021)

Imagen 1.9. “Costo por metro cuadrado construido en viviendas de Latinoamérica con terminados medios”.

Por otro lado, en la [Imagen 1.10](#), se muestran los precios por metro cuadrado de un departamento adecuado a las necesidades básicas de la población de clase media, ubicado en zonas concurridas principalmente por jóvenes profesionales. Se puede evidenciar que

el costo de compra de un departamento principalmente en Chile y Uruguay son los más caros de la región, en contraste con el costo en Quito y Bogotá, que son los más baratos de la región (Auguste, S. et al., 2021).



Fuente: (Auguste, S. et al., 2021)

Imagen 1.10. “Costo por metro cuadrado construido en viviendas de Latinoamérica con terminados medios”.

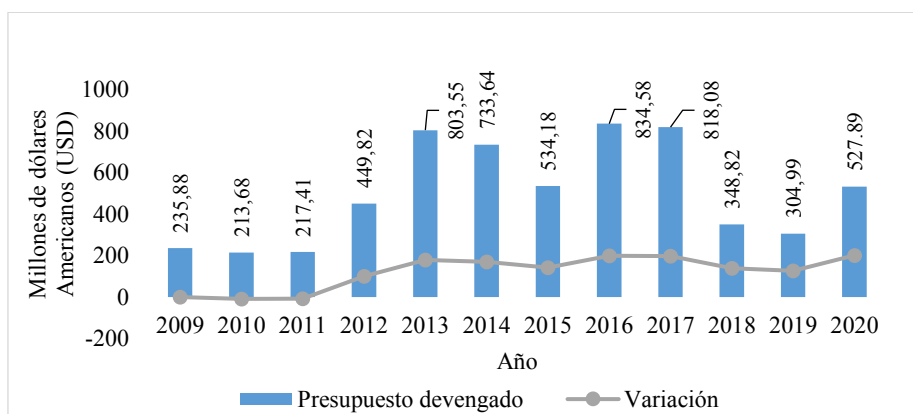
1.12. ESTADO SITUACIONAL DE LA VIVIENDA EN EL ECUADOR

En el Ecuador existen habitantes que viven en lugares inadecuados de subsistencia, cuyas edificaciones presentan un déficit, tanto cualitativo como cuantitativo. El déficit cuantitativo: determina las viviendas en estado inadecuado y en condiciones irreparables adicionalmente, *“es el número de viviendas cuyas condiciones habitacionales se consideran irrecuperables a partir de la combinación, materiales predominantes y el*

estado de estos, expresado como porcentaje del total de viviendas” (INEN, ENEMDU, 2018).

Paralelamente, el déficit cualitativo se refiere a viviendas no legalizadas, construidas usando materiales inadecuados, o viviendas cuyo piso de tierra, carecen de servicios de saneamiento apropiado, agua potable y sus habitantes comparten una habitación con tres o más personas, conocido como hacinamiento. Es decir que, *“hace referencia a las viviendas particulares que presentan carencias habitacionales en los atributos referentes a la estructura, espacio y a la disponibilidad de servicios públicos domiciliarios y, por tanto, requieren mejoramiento o ampliación de la unidad habitacional en la cual viven.”* Adicionalmente, la vivienda irrecuperable es *“aquella unidad habitacional que necesita ser reemplazada por una nueva”* (INEN, ENEMDU, 2018).

La [Imagen 1.11](#) y la [Tabla 1.5](#) demuestra que la inversión del estado para brindar solución al déficit habitacional, no ha generado el impacto suficiente como para reducirlo, al contrario, en los últimos años se ha mantenido constante y con tendencia al aumento.



Fuente: (Cáceres & Viera, 2017),(Ministerio de Economía & Finanzas Ecuador, 2021)

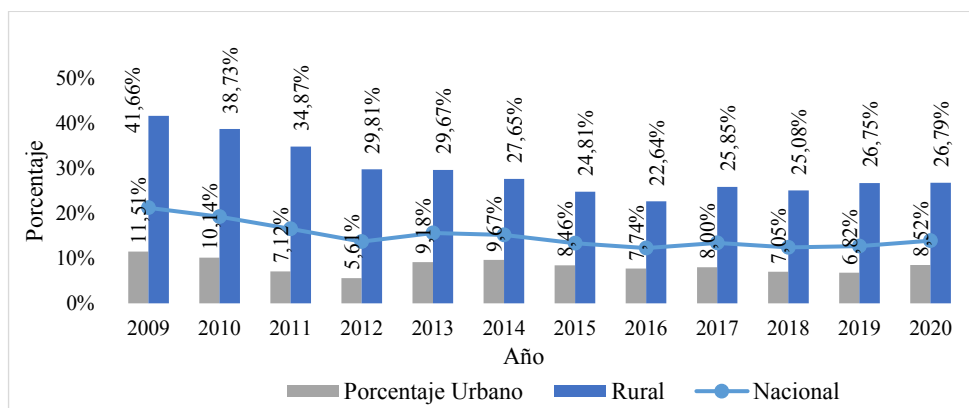
Imagen 1.11. “Presupuesto devengado para el desarrollo urbano y vivienda en Ecuador”.

Tabla 1.5. Déficit habitacional cuantitativo de la vivienda en Ecuador

Año	Porcentaje		
	Nacional	Urbano	Rural
2009	21.22%	11.51%	41.66%
2010	19.29%	10.14%	38.73%
2011	16.54%	7.12%	34.87%
2012	13.70%	5.61%	29.81%
2013	15.64%	9.18%	29.67%
2014	15.21%	9.67%	27.65%
2015	13.38%	8.46%	24.81%
2016	12.28%	7.74%	22.64%
2017	13.40%	8.00%	25.85%
2018	12.46%	7.05%	25.08%
2019	12.74%	6.82%	26.75%
2020	13.92%	8.52%	26.79%

Fuente: INEC-ENEMDU (2021)

Los datos de la [Tabla 1.5](#) y la [Imagen 1.12](#) permiten apreciar que el déficit de vivienda rural siempre ha sido mucho mayor que el urbano. Alcanzando en el año 2012 su cenit donde el déficit rural es 531% mayor que el urbano. La diferencia promedio de variación en los 12 años de análisis es de 71.20%. Con esto es evidente que en la ruralidad del Ecuador se ha mantenido una precariedad muchísimo mayor, en cuanto a la necesidad de nuevas unidades habitacionales.



Fuente: Elaboración propia.

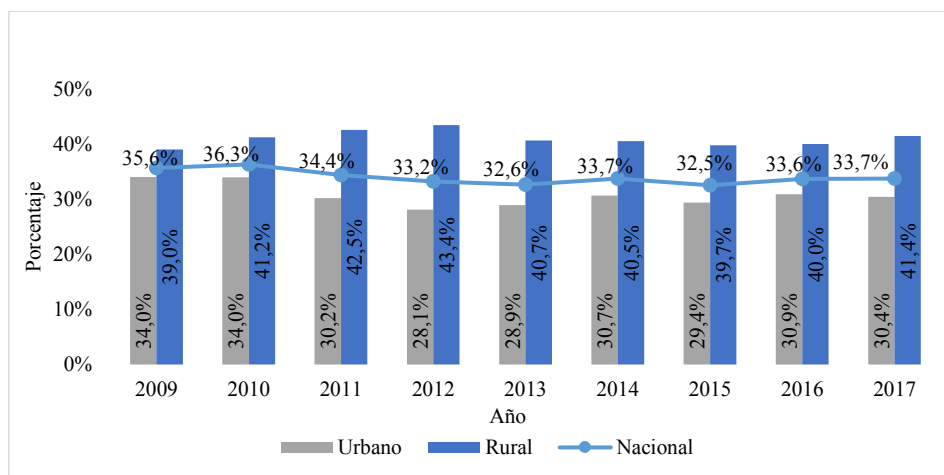
Imagen 1.12. “Déficit habitacional cuantitativo a nivel nacional”.

En la [Imagen 1.13](#) y en la [Tabla 1.6](#) se muestra el desarrollo del déficit habitacional cualitativo de vivienda. Se observa que como ocurrió con el déficit cuantitativo, la ruralidad requiere un mayor porcentaje (24.77% en promedio) de intervención en la vivienda existente para adecuarla a condiciones mínimas de habitabilidad. Esta necesidad se ha mantenido en el tiempo, más o menos, igual en los 12 años de estudio.

Tabla 1.6. Déficit habitacional cualitativo de la vivienda en Ecuador

Año	Porcentaje		
	Nacional	Urbano	Rural
2009	35.60%	34.00%	39.00%
2010	36.30%	34.00%	41.20%
2011	34.40%	30.20%	42.50%
2012	33.20%	28.10%	43.40%
2013	32.60%	28.90%	40.70%
2014	33.70%	30.70%	40.50%
2015	32.50%	29.40%	39.70%
2016	33.60%	30.90%	40.00%
2017	33.70%	30.40%	41.40%

Fuente: Ecuador en cifras (2018)



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.13. “Déficit cualitativo de la vivienda en Ecuador desde 2009 a 2017”.

1.13. REVISIÓN DE LA NORMATIVA DE CONSTRUCCIÓN VIGENTE EN ECUADOR.

El diseño y la construcción a nivel mundial a partir de los sismos de: México 8.1 Mw (1985), Kobe 6.9 Mw 1995, Northridge 6.7 Mw (1996), Bahía de Caráquez 7.1 Mw (1998) y otros siniestros que causaron grandes pérdidas económicas y sociales, incorporaron dentro de sus códigos normativos los conceptos de diseño sismo resistente y análisis por desempeño. En efecto, en Estados Unidos se definieron estos criterios en el denominado Libro Azul Visión 2000.

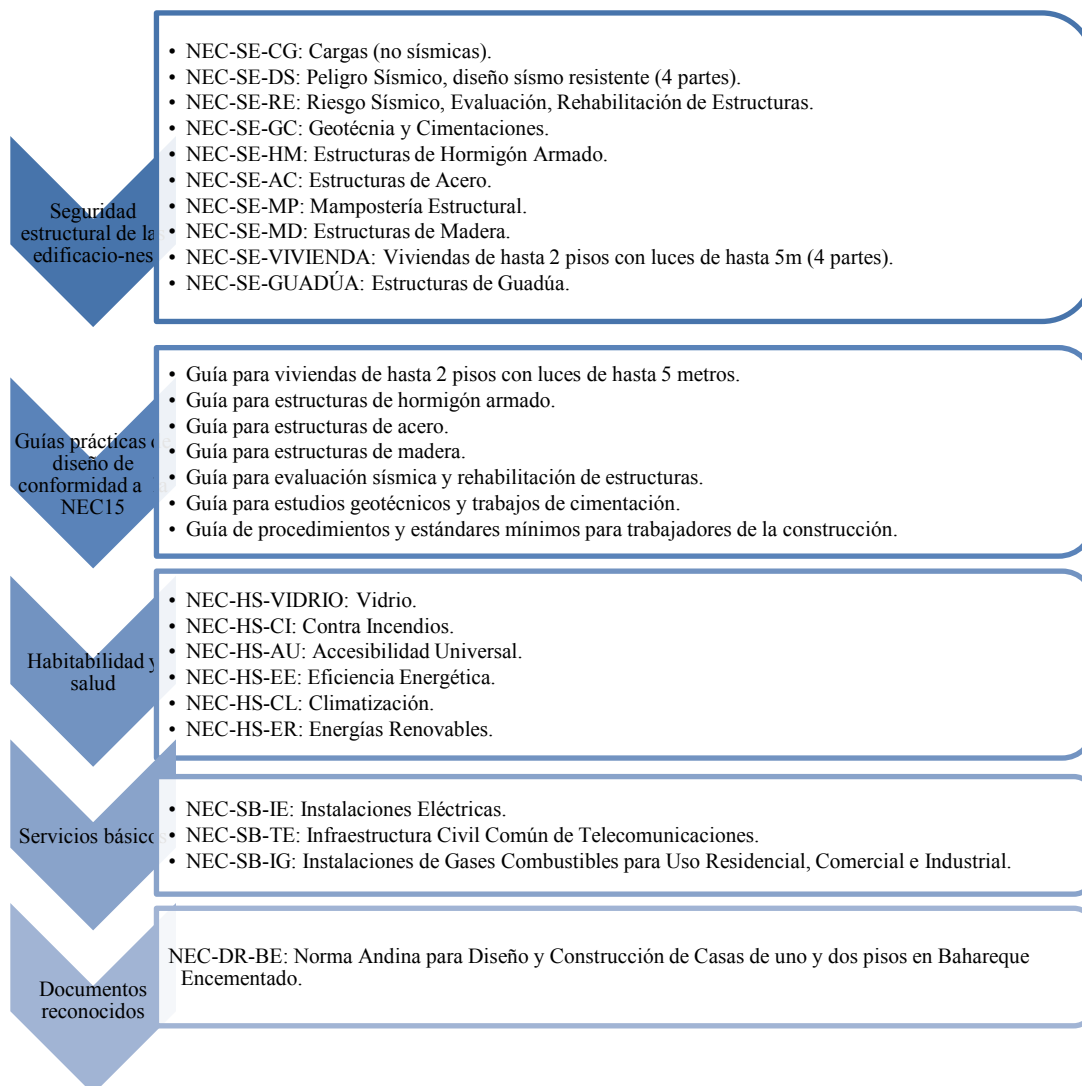
Por otro lado, en Ecuador se emitió el primer código de construcción en año de 1951 y se denominó “Código Nacional de Construcción”. Se lo realizó como un esfuerzo para mejorar la tecnología constructiva de las edificaciones debido a las grandes pérdidas en infraestructura sufridas a consecuencia del sismo ocurrido en la ciudad de Ambato, dos años antes.

La primera normativa de construcción sismo resistente en el Ecuador, fue emitida por el Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN en el año de 1976 con el nombre de “Guía

Popular de Construcción Sismo Resistente”. En este documento se emitieron requisitos mínimos para evitar fallas comunes en la construcción de edificaciones de hasta 3 pisos. No se hacía referencia a elementos prefabricados o pre esforzados.

Posteriormente, en el año 1977, pasó a denominarse Código Ecuatoriano de la Construcción CEC. En 2001 se emite una modificación a la normativa y se hace obligatorio su uso desde el 2 de agosto de 2001. Las principales modificaciones en estos años a la norma han sido en la forma en cómo se calcula el cortante basal, incorporando factores de reducción, como los que tienen que ver con la presencia de irregularidades en planta y elevación de las edificaciones.

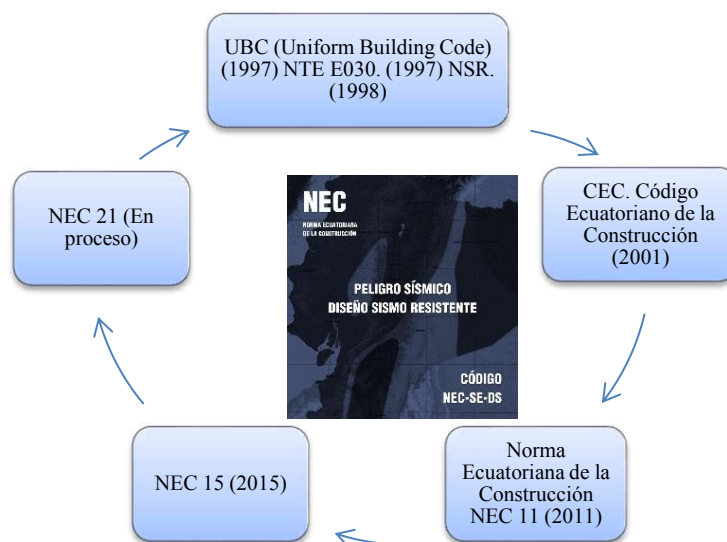
En 2011 se adopta la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11 (2011) que establece y detalla ampliamente las consideraciones para el diseño y análisis sismo resistente. Finalmente, el MIDUVI presenta la NEC 15 (2015), que se encuentra en vigencia. Esta norma abarca recomendaciones para construcciones sismo resistentes de acero, madera, bambú, hormigón armado y bahareque. Además, contiene la norma de eficiencia energética NEC-HS-EE, que da recomendaciones arquitectónicas y de uso de materiales para reducir el consumo de electricidad en las viviendas. En general, esta normativa nacional se compone de los capítulos mostrados en la [Imagen 1.14](#).



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.14. “Componentes de la Norma Ecuatoriana de la Construcción”.

Actualmente la academia y el gremio constructor se encuentran trabajando en la NEC 21. Una reseña de la evolución de la normativa puede observarse en la [Imagen 1.15](#)



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.15. “Reseña Histórica de Normas de construcción sismo resistente en el país”.

Cabe señalar que las normativas están direccionadas a que las edificaciones sean capaces de resistir sismos con un nivel de daño aceptable. Sin embargo, ninguna de ellas hace referencia al uso de los fardos de paja como material de construcción.

La última Norma Ecuatoriana de la Construcción establece procedimientos de cumplimiento obligatorio a nivel nacional. Para ello, define los requisitos mínimos de seguridad y calidad, con el objetivo de garantizar que, si una estructura experimenta el sismo de diseño, esta no colapse y más bien, se comporte de manera dúctil. Adicionalmente, establecen requisitos para el diseño sismo resistente como: seguridad de vida, limitación de daños por medio del control de la deriva de piso (menor al 2%),

ductilidad por medio del uso del diseño por capacidad, la correcta ubicación de rótulas plásticas o el uso de dispositivos de control sísmico. (Haro, 2019)

La normativa en el país está, en su mayoría, direccionada a edificaciones realizadas con hormigón armado y con un sistema estructural de marcos planos resistentes a momento (pórticos) siendo que este material y sistema estructural requiere para su buena ejecución una supervisión técnica especializada y rigurosa (NEC-SE-HM, 2015).

1.14. LA AUTOCONSTRUCCIÓN EN EL CONTEXTO SOCIAL ECUATORIANO.

A pesar de la existencia de la NEC. En el Ecuador la construcción informal (diseño y construcción auto gestionada, realizada por personas con conocimientos empíricos) es de casi el 70%, siendo este el mayor riesgo en un terremoto (Vizúete, V., 2011).

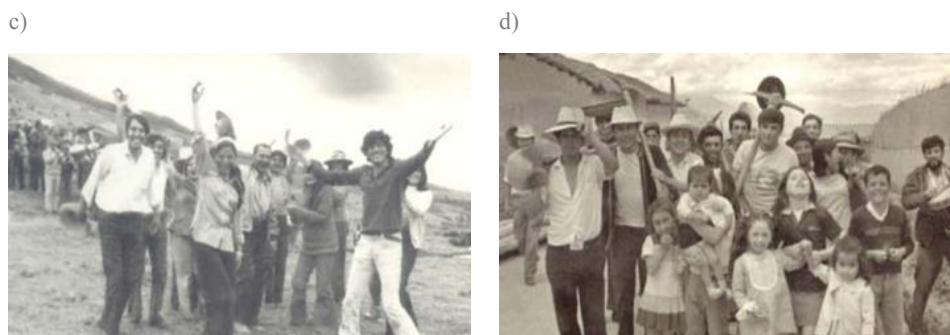
Una de las formas de construcción auto gestionada y comunitaria es la “minga”, esta constituye una costumbre arraigada especialmente en los pueblos ancestrales y población rural. Con el fin de no sólo reunirse, compartir, dialogar, sino además construir obras básicas y necesarias, esta tradición permitió la realización de caminos vecinales, acequias de regadíos, escuelas, iglesias y casas, en donde la mano de obra proviene de familiares, vecinos o moradores, motivados para la actividad social. (Guevara, 1957) (Buitrón et al., 2020). En la [Imagen 1.16](#) se muestran ejemplos de mingas realizadas en el país.

a)



b)





Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.16. “Mingas realizadas en el país para generar progreso y beneficio comunitario”.

Por lo tanto, la minga es una acción de colaboración y reciprocidad de un grupo de personas hacia otras para realizar un trabajo determinado, representando solidaridad espontánea, compañerismo, colaboración, trabajo en equipo y liderazgo. Ante la convocatoria de una minga, buena parte de la población acude al llamado, se moviliza y organiza de tal manera que el esfuerzo físico se convierte en una celebración de vida y de amor. (Sevillano, 2016).

Las construcciones en zonas rurales se realizan de manera comunitaria “mingas”. Que se puede clasificar de dos tipos, familiares y oficiales (convocadas por alguna autoridad). A lo largo de la historia el Estado Inca realizaba mingas para trabajos en beneficio de la comunidad, posterior a ello se brindaba alimentos suficientes y de ser necesario alojamiento a los mingueros, fomentando la solidaridad y compromiso por parte de los habitantes (Lozano, 2016).

Las mingas familiares ([Imágenes 1.17.a y 1.17.b](#)) principalmente son para la edificación de viviendas y por lo general no cubren todo el proceso constructivo. El tiempo que tarda depende de la situación económica de la familia. Muchas veces hacen interrupciones de hasta un año para continuar la construcción y una vez que la vivienda está completamente terminada los dueños y colaboradores hacen una fiesta (Vázquez et al., 2018).

Por otro lado, las mingas oficiales son organizadas por las autoridades de la comunidad, en la que se construyen caminos, casas comunales, escuelas, letrinas, etc. En el caso de las zonas rurales la mayor parte de las construcciones son elaboradas por los mismos moradores sin esperar nada a cambio, únicamente por el bien de toda la comunidad. En muchos casos las mismas autoridades brindan alimentos, esta costumbre en los pueblos ancestrales se denomina “pamba mesa” (en Kichwa). (Vázquez et al., 2018)

a)



b)



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 1.17. “Minga familiar para la elaboración de la losa”.

La [Imagen 1.18](#) muestra una minga oficial desarrollada para la construcción de la casa comunal en la parroquia del pueblo Saraguro, Loja, Ecuador.

a)



b)



c)



d)



Fuente: (GAD Parroquial San Lucas, 2020), (La pamba mesa, s/f)

Imagen 1.18. “Minga para construir la casa comunal en la parroquia San Lucas, perteneciente al cantón Loja, Ecuador. En la parroquia se desarrollan las costumbres del pueblo Saraguro, en dónde, se detalla: a) Replanteo y nivelación del terreno b) Fundición de cadenas de amarre c) Fundición de contrapiso d) Pamba mesa luego de realizar la fundición”.

1.15. LA VIVIENDA RURAL EN EL ECUADOR

Generalmente la calidad de las viviendas rurales es inferior a las urbanas. Aproximadamente, medio millón de viviendas rurales no reúnen las condiciones de habitabilidad necesarias para garantizar la calidad de vida a sus ocupantes. Las zonas rurales han sido tradicionalmente relegadas por las políticas públicas. Dada la complejidad de la problemática campesina caracterizada por: dispersión de los asentamientos, pobreza endémica, degradación ambiental, alta migración, baja productividad. (Pinto & Ruiz, 2009).

El censo realizado por el INEC reflejó datos de la tipología de materiales de: paredes, techo, y piso de viviendas en las zonas rurales. En cuanto a las paredes, se las clasificó de forma general de la siguiente manera: hormigón, ladrillo bloque, adobe o tapia, madera, caña. En techo se consideró: hormigón, asbesto, zinc, teja, palma o paja. En el piso se determinó: duela, parquet o tablón, tabla sin tratar, cerámica o baldosa, ladrillo, cemento, caña, tierra. (INEC, 2022).

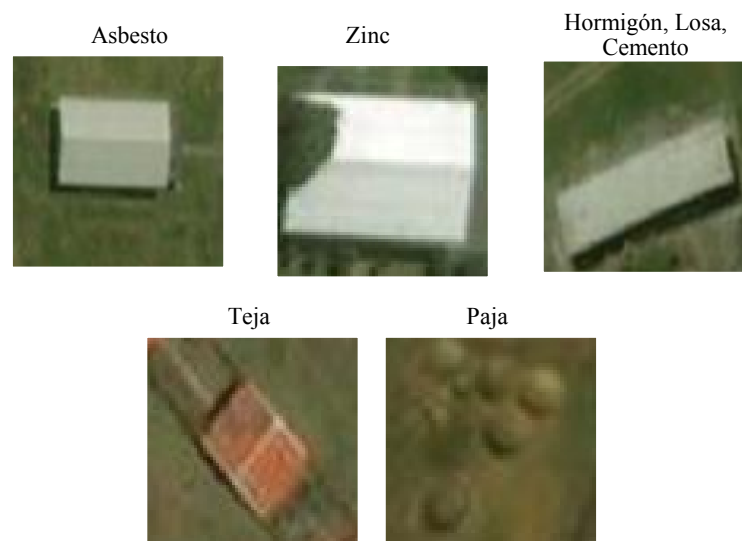
En la [Imagen 1.19](#), se muestra la tipología de vivienda característica en las zonas rurales del Ecuador por regiones. En Galápagos, se evidencia la construcción, con paredes de madera y techo de zinc. En cambio, en la costa, predominan paredes de caña guadua y techo de zinc, en la región sierra prevalecen las casas de hormigón armado, con paredes de bloque y techo de teja. Finalmente, en la región amazónica son típicas las paredes de madera y techo de zinc.



Fuente: Elaboración propia mediante fotos tomadas de Morocho (2018)

Imagen 1.19. “Tipo de vivienda rural a nivel regional”.

Viera, en el 2018, plantea una forma rápida para la determinación de la tipología de la vivienda en zonas rurales, para lo cual usan como ejemplo cantones del Ecuador donde típicamente se produce trigo y cebada. Mediante el uso de los datos del censo de 2010, determinaron una correlación entre el material de los techos y las paredes de las casas. Luego se usó esta correlación y con el uso de fotografías aéreas más recientes (Ortofotos, escala 1:20000 proporcionadas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería) y el software ArcGIS, obtuvieron que los materiales más utilizados para hacer techos, en la zona de estudio, son en orden descendente los siguientes: asbesto, zinc, hormigón y teja ([Imagen 1.20](#)). De la misma forma para las paredes son ladrillo o bloque, adobe o tapia, hormigón y madera (Viera et al., 2018).



Fuente: Viera y otros (2018)

Imagen 1.20. “Tipología de la vivienda en la zona rural del Ecuador”.

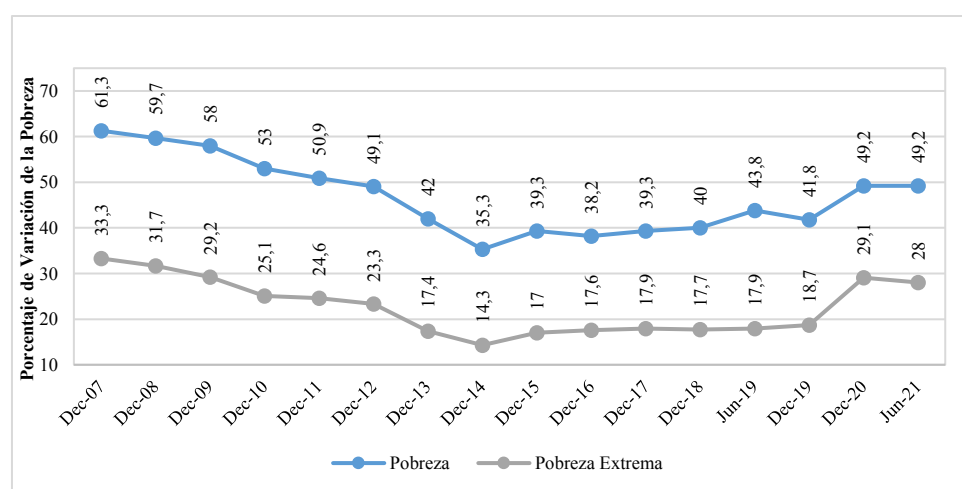
Estos resultados muestran que las viviendas en las zonas de producción de cereales están construidas con materiales de aislación térmica baja (Pérez, J. et al., 2011) (Rodríguez, G., 2014). Dado que, en estos sitios el clima es frío (Pourrut, P., 1983), y la población es pobre (INEC, 2021) los aspectos mencionados pueden determinar la presencia de enfermedades respiratorias y pulmonares (Hábitat para la humanidad, 2021).

1.16. CONDICIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA POBLACIÓN DEL ECUADOR.

Históricamente el Ecuador ha sido un país agrícola. Según las bases de datos del INEC, en el 2001 cerca de la tercera parte de la población económicamente activa se dedicaba a la agricultura, ganadería, caza y pesca. El 41.20% de la población vivía en el campo o en centros poblados con menos de 10.000 habitantes (Chiriboga, 2005). En el 2022 el 29.90% de la población se dedica a la agricultura, silvicultura, ganadería o pesca, actividades íntimamente ligadas a la ruralidad (Ministerio de Producción, Comercio

Exterior, Inversiones y Pesca, 2022). La población rural sufría las peores condiciones de pobreza, desigualdad y opresión política. El 77.5% se encontraba en situación de pobreza y 50.5% en la indigencia, con una concentración mayor de ambos fenómenos en las provincias de alto porcentaje de población indígena y afrodescendientes. Las cifras urbanas para ambas situaciones (pobreza e indigencia) eran también alarmantes, 51.6 y 24.7% respectivamente, pero considerablemente más bajas que las del campo (Larrea, 2004).

En la [Imagen 1.22](#), se muestra la evolución de la condición socioeconómica de la población rural del Ecuador, en donde se puede evidenciar que la tendencia es de reducción de la pobreza, hasta el 2014. A partir de ese año aumentan progresivamente hasta llegar a su pico máximo en el año 2020, siendo, 49.20% y 29.10%, para pobreza y pobreza extrema respectivamente. Al siguiente año, estos mismos, tienen una reducción muy limitada. Por consiguiente, estos valores indican que actualmente, alrededor de la mitad de la población rural existente (49.20%), sufre de pobreza y más de un cuarto de población rural (28%), de pobreza extrema.



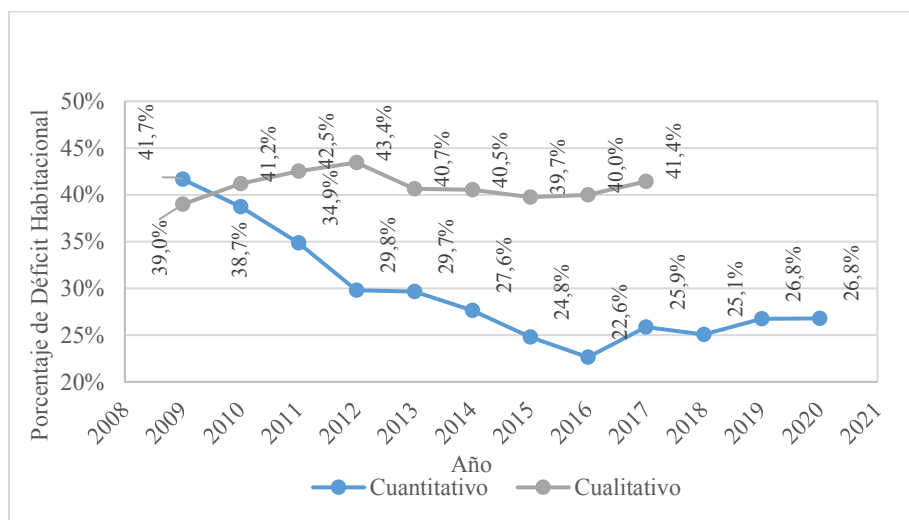
Fuente: Ecuador en cifras (2021)

Imagen 1.21. “Variación histórica de la pobreza y de la pobreza extrema desde el 2007 hasta el 2021”.

1.17. DÉFICIT CUANTITATIVO Y CUALITATIVO DE VIVIENDA RURAL EN EL ECUADOR.

La Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador define como déficit cuantitativo al número de viviendas cuyas condiciones habitacionales se consideran irrecuperables, expresado como porcentaje del total de viviendas. Así mismo, el déficit cualitativo se refiere a viviendas que presentan carencias habitacionales, en cuanto a estructura, espacio y disponibilidad de servicios públicos domiciliarios, por lo que requieren mejoramiento o ampliación (Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador, 2021).

En Ecuador hay un déficit aproximado de 500 mil viviendas (Ocampo L, 2020). En efecto, el problema del déficit de vivienda radica en la demagogia de los principales actores políticos, es decir que, por ganar más adeptos, un partido político cuantifica el número de viviendas que se deben construir en un determinado lugar, pero únicamente queda en el número, sin definir aspectos propios del sitio, como el clima, los procesos constructivos, los documentos legales a generar, la cobertura de servicios básicos, las vías de acceso a las mismas, un análisis de precios unitarios, el financiamiento, etc. Por lo que, una vez que se asumen las funciones legislativas y con la finalidad de alcanzar el número de viviendas determinado en la propuesta electoral, las viviendas se realizan sin verificar y cumplir los mínimos estándares constructivos nacionales, ofreciendo una calidad de habitabilidad muy limitada. (Murillo, 2021).



Fuente: Ecuador en cifras (2021)

Imagen 1.22. “Variación histórica del déficit habitacional rural en el Ecuador desde el 2007 hasta el 2021”.

La [Imagen 1.23.](#), muestra el déficit habitacional cuantitativo a nivel rural desde el año 2009 a 2020. En dónde se evidencia que este déficit se ha ido reduciendo desde 41.70 % con en el inicio de este periodo hasta 26.80%, sin embargo, durante el pasado lustro, este valor se ha mantenido constante y con una tendencia de aumento. Por otro lado, el déficit habitacional cualitativo se ha mantenido constante, alrededor del 41% sin reducción ni aumento significativo a lo largo del periodo de análisis.

1.18. Conclusiones

La calidad de la vivienda se relaciona con las condiciones socioeconómicas de la población y su construcción afecta aspectos ambientales, culturales y productivos.

La dotación de un sitio digno dónde habitar para las personas de escasos recursos económicos es una problemática que, en Ecuador se acentúa en las zonas rurales y en las periferias de las ciudades y evidencia muchas construcciones carentes de técnica,

insalubres e inseguras, que vulneran los derechos de los habitantes. A pesar de que han existido planes de vivienda de bajo coste, la mayoría se construyeron sin considerar aspectos del entorno, como por ejemplo el clima. Cuentan con los estándares mínimos establecidos en norma, sin un estudio técnico de las necesidades particulares de cada familia. Lo que genera que las viviendas terminen siendo inadecuadas.

Las causas de vivienda inadecuada en América Latina en general, obedecen principalmente a la inoperancia de los gobiernos de turno. En efecto, la falta de políticas adecuadas, limitada accesibilidad a planes de vivienda, déficit en la instalación de servicios de saneamiento y luz eléctrica por parte de las entidades estatales hacia sus pobladores, provocan el incremento de tugurios y por consiguiente condiciones deplorables de vida y afectaciones constantes en la salud de las personas, inclusive la proliferación de enfermedades.

Actualmente, para edificar, se usan materiales que requieren altos consumos energéticos. La crisis ambiental que vive el mundo determina reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, como el CO₂. Es evidente entonces que la construcción de vivienda debe hacerse con materiales sustentables como la paja. Esta alternativa ha demostrado tener características adecuadas de aislamiento térmico y acústico, lo que ha propiciado su uso en varios países. Logrando casas adecuadas en términos de ahorro energético y que además responden a códigos de construcción, que garantizan su seguridad estructural.

En Ecuador las propuestas del gobierno y academia, para cubrir el déficit cuantitativo y cualitativo de vivienda deben responder a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Además, deben enfocarse, prioritariamente, en la ruralidad, ya que es ahí donde se concentran los índices más altos de pobreza. Contemplando primero el uso de materiales locales, sostenibles y apropiados para realizar una construcción con base en las costumbres y cultura de la población beneficiada, como lo es la minga.

Como respuesta a lo expuesto, en este estudio doctoral se realizó el presupuesto de una vivienda prototipo con fardos de paja producidos en el campo ecuatoriano ([Ver anexo](#)

2), obteniéndose que el costo de construcción está dentro de lo que se considera como “vivienda de interés social” para los segmentos de la población con menos recursos, según el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). Además, se construyeron, de forma comunitaria, edificaciones en la zona rural y urbana de la sierra ecuatoriana utilizando este material ([Ver capítulo 6](#)). Logrando espacios confortables térmicamente debido a las propiedades aislantes de los fardos de paja ([Ver capítulo 3](#)).

1.19. Referencias Bibliográficas

- Adams, M., Burrows, V., & Richardson, S. (2019). Bringing embodied carbon upfront: Coordinated action for the building and construction sector to tackle embodied carbon. World Green Building Council, 35. Recuperado el 2 de enero del 2021 de <https://worldgbc.org/article/bringing-embodied-carbon-upfront/>
- Arriagada, I. (abril de 2015). Revista de la CEPAL. Dimensiones de la pobreza y políticas desde una perspectiva de género. Recuperado el 12 de enero del 2021 de https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/11002/085101113_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arquitectos en Manta. (2021). Costos de la construcción por m² en Ecuador. Recuperado el 7 de enero del 2021 de <https://arquitectomanta.wordpress.com/2021/01/30/valor-del-m2-de-construccion-de-vivienda-en-ecuador-2021-cuanto-cuesta-construir-una-casa-en-ecuador-2021-costo-de-metro-cuadrado-de-construccion-en-obra-gris-ecuador-2021-costo-de-construccion-p/>
- Auguste, S., Cruces, J., Gonzáles, M., Merener, N., Zerda, A., Franco, F., Rodriguez, J., Liwski, J. & Torchia, N. (2021). Relevamiento Inmobiliario De América Latina (Rial). 54 11, 1–8. Recuperado el 3 de enero del 2022 de https://img.lalr.co/cms/2021/11/22162536/2021_09.RIAL-Informe.pdf
- Avis, W. R. (2016). Urban governance (Topic Guide). Gsdrc, November, 1–57. Recuperado el 4 de enero del 2021 de <https://gsdrc.org/topic-guides/urban-governance/key-policy-challenges/cities-and-climate-change/>
- Barrero, N., & Gaitan, M. (2021). Ciencia Unisalle. Obtenido de Ciencia Unisalle: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=2983&context=ing_ambiental_sanitaria
- BBC NEWS(2018) La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>

- Benítez, C. (2015). VIVIENDA Y CALIDAD DE VIDA. UNA APLICACIÓN DEL ENFOQUE DE AMARTYA SEN EN EL SECTOR DE POTRERO GRANDE EN CALI. UNIVERSIDAD DEL VALLE SANTIAGO DE CALI. Recuperado el 16 de enero del 2021 de <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/9983/CB-0550327.pdf?sequence=1>
- Bernal, M. (2018). Uso de la Paja en la Construcción de Paneles Aislantes o Estructurales, Aprovechamiento de Residuos de Cereales de la Agricultura. Recuperado el 17 de febrero del 2021 de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/17851/BernalPe%C3%B1aMariaSol2018.pdf?isAllowed=y&sequence=3>
- Bernardino Rambay, A. L., & Indio Merchán, G. M. (2021). El rol del estado en la evolución de los indicadores sociales: pobreza y desigualdad, bajo el marco del plan de desarrollo “toda una vida” periodo 2017-2020 (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas).
- Brkanić, I. (2017). Housing Quality Assessment Criteria. *Elektronički časopis građevinskog fakulteta Osijek*, 14, 37–47. <https://doi.org/10.13167/2017.14.5>
- Brown, V. J. (2003). The problem of inadequate or nonexistent housing. *Environmental Health Perspectives*, 111(2), 92–99. <https://ehp.niehs.nih.gov/doi/pdf/10.1289/ehp.111-a92>
- Buitrón, B., Díaz, L., Cahuasquí, J. (2021). Diseño de un aplicativo Web para enseñar lengua Kichwa. Recuperado el 7 de julio del 2021 de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-74672020000200149
- Cáceres, P. & Viera, P. (2017). Análisis de los sistemas de incentivos de vivienda impulsados por el Gobierno Central del Ecuador a través de su ministerio rector periodo 2007-2016. *METANOIA*, 3(4), 9-22. Recuperado el 2 de febrero del 2021 de

https://www.researchgate.net/profile/Luisa-Viera/publication/339098072_Analisis_de_los_sistemas_de_incentivos_de_vivienda_impulsados_por_el_Gobierno_Central_del_Ecuador_a_traves_de_su_ministerio_rector_periodo_2007-2016/links/5e3d588b299bf1cdb915a8c9/Analisis-de-los-sistemas-de-incentivos-de-vivienda-impulsados-por-el-Gobierno-Central-del-Ecuador-a-traves-de-su-ministerio-rector-periodo-2007-2016.pdf

Cascone, S., Rapisarda, R. & Cascone, D. (2019). Physical Properties of Straw Bale as a Construction Material: A Review. Recuperado el 15 de febrero del 2021 de https://www.researchgate.net/publication/333888661_Physical_Properties_of_Straw_Bales_as_a_Construction_Material_A_Review

Castillo de Herrera, M. (2004). Anotaciones sobre el problema de la vivienda en COLOMBIA. *Revista Bitácora Urbano Territorial*, 1(8), 15–21.

Center for Climate and Energy Solutions. (s/f). Climate can affect housing costs, communities. Recuperado el 1 de marzo del 2021 de <https://www.c2es.org/2021/04/climate-can-affect-housing-costs-communities/>

Chiriboga, M. (2005). “El sector agropecuario rural de Ecuador: Situación y Alternativas”, en ALAS- RU, Análisis latinoamericano de medio rural, No. 1, México DF, Universidad Autónoma Chapingo, 1 de mayo de 2005, pp. 299-300. Recuperado el 17 de enero del 2021 de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjpg_7X_aj5AhUXSDABHe2tC0MQFnoECCkQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.uasb.edu.ec%2Findex.php%2Fcomentario%2Farticle%2Fdownload%2F123%2F131&usg=AOvVaw174vwq_Cpg8G_m6AhtU9R8

Churkina, G., Organschi, A., Reyer, C. P. O., Ruff, A., Vinke, K., Liu, Z., Reck, B. K., Graedel, T. E., & Schellnhuber, H. J. (2020). Buildings as a global carbon sink. *Nature Sustainability*, 3(4), 269–276. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>

Coba, G. (2021). Primicias. Las tasas de interés y los precios frenan la idea de tener casa

propia. Recuperado el 22 de mayo del 2021 de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/ecuatorianos-busqueda-inmueble-propiedad-compra/#:~:text=Ocho%20de%20cada%2010%20ecuatorianos,quiere%20una%20propiedad%20para%20alquiler.>

Coba, G. (2022). Primicias. El gobierno establece un salario básico de USD 450 para 2023. Recuperado el 17 de diciembre del 2022 de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/salario-basico-2023/>

Constitución de la República del Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador 2008 [Constitution of the Republic of Ecuador 2008]. Incluye Reformas, 1–136. Recuperado el 7 de enero del 2021 de <https://n9.cl/hd0q>

Construcciones de paja Una antigua técnica que renace en nuestros días. (2010). Recuperado el 6 de febrero del 2021 de <http://www.ideassonline.org/public/pdf/construccionespajadocumentesp.pdf>

De La Paz, P. T., & Juárez, F. (2019). Pobreza Y Vivienda En España: 2004-2011. 2004–2011. https://doi.org/10.15396/lares_2014_1097-1097-1-dr

Desempeño Ambiental del cemento y del concreto en el Ecuador: Una puerta a la construcción sostenible (2021). Escuela Superior politécnica del Litoral. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/52614/1/T-88998%20DANIEL%20PETROCHE%20S%C3%81NCHEZ.pdf>

Di Virgilio, M. M. (2021). Desigualdades, hábitat y vivienda en América Latina. Nueva Sociedad | Democracia y política en América Latina. Recuperado el 5 de julio del 2021 de <https://nuso.org/articulo/desigualdades-habitat-y-vivienda-en-america-latina/>

Duncan, J. (2010). Vivienda Inadecuada en América Latina y el Caribe. 1–22. Recuperado el 16 de enero del 2021 de

http://www.habitat.org/lc/lac/pdf/causas_de_la_vivienda_inadecuada_en_lac.pdf

El Comercio. (01 de Septiembre de 2021). Lenín Moreno solo dejó 35 482 viviendas, según el Miduvi. Obtenido de El Comercio. Recuperado el 23 de octubre del 2021 de <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/casas-viviendas-miduvimoreno-resultados.html>

Ekos (2017). Desarrollo de Viviendas: alternativa social y económicamente necesaria. Recuperado el 1 de febrero del 2021 de <https://ekosnegocios.com/articulo/desarrollo-de-vivienda-alternativa-social-y-economicamente-necesaria#:~:text=Este%20d%C3%A9ficit%20fue%20de%2033%2C6%25%20para%202016.&text=D%C3%A9ficit%20habitacional%20cuantitativo%20de%20la,12%2C3%25%20para%202016>

Estrella Rosero, E. (1998). Vivienda de interés social-evolución de los costos [Instituto de Altos Estudios Nacionales]. Recuperado el 27 de enero del 2021 de <https://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4410>

GAD Parroquial San Lucas. (2020). EN MINGA SE CONSTRUYE LA CASA COMUNAL PARA PICHIG; El Gobierno Parroquial de San Lucas en coordinación. [Publicación de Estado] Facebook. Recuperado el 12 de febrero del 2021 de [https://www.facebook.com/GAD-Parroquial-San-Lucas-2275297049398013/?__cft__\[0\]=AZWrjhPxxkTRVHjJ9vBdeQ5--ja4oG4y9pN5X6cp5-g3vxLKfpyO1Dzisfwith4dBJVBtpORabExg4L5cLECeME14nL5UuA28qadpUtnuJi0RRdh158s8CLYFv-oIjKiRsg2YVO9dA6KTE31pFqxAvUWdT&__tn__=UC%2CP-R](https://www.facebook.com/GAD-Parroquial-San-Lucas-2275297049398013/?__cft__[0]=AZWrjhPxxkTRVHjJ9vBdeQ5--ja4oG4y9pN5X6cp5-g3vxLKfpyO1Dzisfwith4dBJVBtpORabExg4L5cLECeME14nL5UuA28qadpUtnuJi0RRdh158s8CLYFv-oIjKiRsg2YVO9dA6KTE31pFqxAvUWdT&__tn__=UC%2CP-R)

Gago Lorenzo, P. (2008). Reflexiones sobre el derecho a la vivienda en el Ecuador: Una revisión desde la realidad urbana y el derecho a la ciudad. *Inter/secciones urbanas: origen y contexto en América Latina*, 21, 137–153. Recuperado el 8 de febrero del

2021 de <https://www.flacsoandes.edu.ec/agora/reflexiones-sobre-el-derecho-la-vivienda-en-el-ecuador-una-revision-desde-la-realidad-urbana-y>

García, J. (2021). Análisis de impacto ambiental del hormigón estructural fabricado con árido reciclado. Obtenido de Análisis de impacto ambiental del hormigón estructural fabricado con árido reciclado: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/373257/TFG%20juan%20garcia%20palacios.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Giglia, A. (2018). Housing. The Wiley Blackwell Encyclopedia of Urban and Regional Studies, 2, 74–76. <https://doi.org/10.1002/9781118568446.eurs0142>

Guevara, D. (1957). Las mingas en el Ecuador: orígenes, tránsito, supervivencia. Recuperado el 25 de febrero del 2021 de <https://docplayer.es/74104025-Dario-guevara.html>

Hábitat para la humanidad México (2021). Enfermedades más comunes a causa de una vivienda inadecuada. Recuperado el 17 de enero del 2021 de <https://www.habitatmexico.org/article/enfermedades-mas-comunes-a-causa-de-una-vivienda-inadecuada>

Haramoto, E. (1994). Incentivo a la calidad de la Vivienda Social. Recuperado el 29 de marzo del 2021 de <https://revistainvi.uchile.cl/index.php/INVI/article/view/62027>

Haro, A. G. (2019). NEC-15 AND.

IADB. (6 de octubre de 2014). Ciudades sostenibles, desarrollo urbano. Obtenido de Favelas, tugurios y barriadas. Recuperado el 10 de febrero del 2021 de <https://blogs.iadb.org/ciudades-sostenibles/es/favelas-tugurios-y-barriadas-que-sabes-de-ellas/>

INEC, (2021). Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo 2021 (ENEMDU). Recuperado el 17 de enero del 2022 de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/POBREZA/2021/Junio->

2021/202106_PobrezayDesigualdad.pdf

INEC (2022). Estadística de Edificaciones (ESED), 2021 Minería, Manufactura y Construcción. Recuperado el 30 de octubre del 2022 de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2021/3.%202021_ESED_Boletin_tecnico.pdf

INEN EDEMDU. (2018). Encuesta Nacional de empleo, desempleo y subempleo. Recuperado el 30 de enero del 2021 de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2018/Septiembre-2018/ENEMDU_Metodologia%20Encuesta%20Nacional%20de%20Empleo%20Desempleo%20y%20Subempleo.pdf

Ismail, F., Jabar, I. L., Janipha, N. A. I., & Razali, R. (2015). Measuring the Quality of Life in Low Cost Residential Environment. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 168(March), 270–279. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.10.232>

Jenkins Swan, A., Rteil, A., & Lovegrove, G. (2011). Sustainable Earthen and Straw Bale Construction in North American Buildings: Codes and Practice. <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000241>

Jiménez, V., & Rocha, L. (2016). Departamento de procesos y técnicas de realización. Eficiencia energética en la edificación. Recuperado el 3 de marzo del 2021 de https://administracionytecnologiaparaeldiseno.azc.uam.mx/publicaciones/anuario_2016/02.pdf

Khatib, J. (2016). Sustainability of construction materials. Woodhead Publishing.

La Grange, A. (2004). Sustainable development and housing. *Sustainable Development in Hong Kong*, September, 323–352

La Hora. (23 de noviembre del 2021). Una familia necesita ganar al menos \$854 mensuales

para comprar una casa a crédito. Recuperado el 27 de noviembre del 2021 de <https://www.lahora.com.ec/pais/casa-ingreso-familia-financiamiento-ecuador/>

La pamba mesa: Tradición para compartir en comunidad. (s/f). La pamba mesa: Tradición para compartir en comunidad. Recuperado el 22 de agosto de 2021. de <https://lahora.com.ec/noticia/1101867812/la-pamba-mesa-tradicin-para-compartir-en-comunidad- donde está citado?>

Laboratorio de Energía Sostenible. (2010). *HUELLA ECOLÓGICA DEL CEMENTO*. Coruña: Laboratorio de Energía Sostenible.

Lanas, E. (2013). Universidad Andina Simón Bolívar. Evolución del Concepto de Trabajo en las comunidades de la Sierra Norte del Ecuador. Aportes para un Enfoque Amplio. Recuperado el 28 de febrero del 2021 de <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/3358/1/CON-PAP-Lanas%2c%20E-Trabajo.pdf>

Larrea, C. (2004). Pobreza, dolarización y crisis en el Ecuador, Quito, ILDIS / Abya-Yala / IE / FLACSO, p. 50 Recuperado el 3 de enero del 2021 de https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjpg_7X_aj5AhUXSDABHe2tC0MQFnoECCkQAQ&url=https%3A%2F%2Frevistas.uasb.edu.ec%2Findex.php%2Fcomentario%2Farticle%2Fdownload%2F123%2F131&usg=AOvVaw174vwq_Cpg8G_m6AhtU9R8

Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 19 de marzo del 2019. [consulta: 19 de enero del 2023]. Recuperado el 22 de marzo del 2021 de <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-cotent/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf>

Libertun de Duren, N., Vera, F., Donovan, M. G., Adler, V., Wainer, L. S., Roquero, P., Poskus, M. A., Valenzuela, L., Letelier, M., Olivares, P., Treimun, J., Gamboa, A., Canales, K., Guajardo, J., Davis, D. E., Claramunt Torche, P., & Silva, M. P. (2018).

Vivienda ¿Qué viene?: De pensar la unidad a construir la ciudad. Vivienda ¿Qué viene?: De pensar la unidad a construir la ciudad. <https://doi.org/10.18235/0001594>

- Lopez, A. & Iborra, M. (2015). Parámetros y Paneles Modulares Prefabricados con Paja para la Construcción de Viviendas y Rehabilitación Energética de Edificaciones, II International and IV National Congress on Sustainable Construction and EcoEfficient Solutions, Chapter III – Energy Efficiency. Recuperado el 30 de marzo del 2021 de <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/59665/68.pdf;jsessionid=BA9A86CDC6141EBF4E806664137D18B7?sequence=2>
- Mac Donald, J. (2012). Mejoramiento de asentamientos precarios. https://issuu.com/unhabitat/docs/1709_alt
- MIDUVI-Ecuador. (2021). Acuerdo Ministerial Nro. 021-21. Recuperado el 21 de enero del 2022 de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2021/06/Acuerdo_Ministerial_021-21_VIS-signed.pdf
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda del Ecuador, (diciembre del 2020). Plan Nacional de Hábitat Plan Nacional de Hábitat y Vivienda. Recuperado el 2 de enero del 2021 de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2021/11/PNHV_GAD_LOW.pdf
- Ministerio de Economía & Finanzas Ecuador. (2021). Ejecución General del Estado DICIEMBRE 2020. Recuperado el 16 de febrero del 2021 de https://www.finanzas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/Presupuesto-Ciudadano-31-dic-2020_OK.pdf
- Ministerio de Energía y Recursos No Renovables Ecuador, Recursos y energía. (01 de septiembre de 2021). Balance energético Nacional. Obtenido de Energía, sociedad y ambiente: Recuperado el 13 de febrero del 2021 de <https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2021/09/01-CAPI%CC%81TULO-01BEN-2020-Web-17-46.pdf>

- Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca. (julio 2022). Boletín de cifras del sector productivo. Recuperado el 23 de agosto del 2022 de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/07/Boletin-Cifras-Productivas-JUL2022.pdf>
- Minke, G. (2004). Manual de Construcción con Fardos de Paja. Editorial fin de Siglo.
- Montgomery, M.; Stren, R.; Cohen, B. y Reed, H. (eds.), (2003). Diversity and inequality. En: Cities transformed: Demographic change and its CUADERNOS DE VIVIENDA Y URBANISMO. ISSN 2027–2103. Vol. 4, No. 8, Julio-diciembre 2011: 224-246 246 implications in the developing world. Londres: EARTHSCAN.
- Monterrey, M.,Stren, R.,Cohen, B., Reed, H. (2013). Cities transformed: Demographic change and its implications in the developing world. Recuperado el 25 de marzo del 2021 de https://www.researchgate.net/publication/293090297_Cities_transformed_Demographic_change_and_its_implications_in_the_developing_world
- Murillo, S. (2021). El déficit de vivienda en Ecuador, no solo es un problema numérico sino de calidad. El Telégrafo. Recuperado el 12 de febrero del 2021 de <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/actualidad/44/deficit-vivienda-ecuador-problema-numeric-calidad>
- Naciones Unidas (1991). Observación general No. 4 al Pacto Internacional de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales: el derecho a una vivienda adecuada. Recuperado el 4 de enero del 2021 de [http://www.unhcr.ch/tbs/doc.nsf/\(Symbol\)/469f4d91a9378221c12563ed0053547e?](http://www.unhcr.ch/tbs/doc.nsf/(Symbol)/469f4d91a9378221c12563ed0053547e?)
- NEC-SE-HM (2015). Estructuras de Hormigón Armado. https://cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_HM_Hormigon_Armado.pdf
- ONU Hábitat (2019). Elementos de una Vivienda Adecuada. Recuperado el 11 de enero

del 2021 de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/elementos-de-una-vivienda-adecuada>

ONU-HABITAT. (2016). Reporte Ciudades del Mundo 2016: urbanización y desarrollo. futuros emergentes. En Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Habitat). Recuperado el 7 de febrero del 2021 de <https://publicacionesonuhabitat.org/onuhabitatmexico/Reportedelasciudades2016.pdf>.

ONU-HABITAT. (2018). Por un mejor futuro urbano, Vivienda inviable para la mayoría. Recuperado el 11 de febrero del 2021 de <https://onuhabitat.org.mx/index.php/vivienda-inviable-para-la-mayoria?fbclid=IwAR2w4Y7dYh42EpU6InoGfQEcGHBIE1hUIiMoY8nhcaydNwEdgZMapUSGOqE>

ONU. (2015). Declaración Universal de los Derechos Humanos. Recuperado el 17 de febrero del 2021 de https://www.un.org/es/documents/udhr/UDHR_booklet_SP_web.pdf

Paredes, Y. (2020). Escuela de Diseño Industrial. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Morfología, Tendencias, Normativas y/o Gestión de Diseño y Aplicaciones. Recuperado el 13 de enero del 2021 de <https://repositorio.pucesa.edu.ec/bitstream/123456789/3024/1/77196.pdf>

Pazmiño, L. (4 de junio de 2021). Quito como vamos. Obtenido de Cómo se arma, qué falta y cuál es el futuro de la vivienda Quito. Recuperado el 3 de julio del 2021 de <https://quitocomovamos.org/como-se-arma-que-falta-y-cual-es-el-futuro-de-la-vivienda-en-quito/>

Pérez, J., Cabanillas, R., Hinojosa, J. & Borbón, A. (2011). Estudio Numérico de la Resistencia Térmica en Muros de Bloques de Concreto Hueco con Aislamiento Térmico. Recuperado el 7 de marzo del 2021 de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v22n3/art05.pdf>

- Pescador, D. (31 de Diciembre de 2022). *El hormigón provoca el 8% de las emisiones mundiales de CO2 ¿Que alternativas existen?* Obtenido de El hormigón provoca el 8% de las emisiones mundiales de CO2 ¿Que alternativas existen?: https://www.eldiario.es/consumoclaro/hormigon-provoca-8-emisiones-mundiales-co2-alternativas-existen_1_9827092.html#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20de%20hormig%C3%B3n%20es,libera%20CO2%20a%20la%20atm%C3%B3sfera.
- Pinto, V., & Ruiz, S. (2009). La vivienda rural en el Ecuador: desafíos para procesos sustentables e incluyentes. Recuperado el 3 de febrero del 2021 de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/catalog/resGet.php?resId=42929>
- Prieto, S. (2017). Hábitat para la humanidad. El estado de las microfinanzas para vivienda 2016-2017, 11. Recuperado el 5 de enero del 2021 de https://www.habitat.org/sites/default/files/documents/El-estado-de-las-microfinanzas-para-vivienda-2016-17_0.pdf
- Primicias. (2021). Los 11 objetivos del Plan Nacional del Desarrollo de Lasso. Recuperado el 22 de marzo del 2021 de <https://www.primicias.ec/noticias/politica/ejecutivo-objetivos-plan-nacional-desarrollo/>
- Portland Cement Association (2006). Concrete Thinking for a Sustainable World. <http://www.cement.org/concretethinking/>
- Pourrut, P. (1983). Los climas del Ecuador Fundamentos Explicados. Recuperado el 18 de febrero del 2021 de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-10/21848.pdf
- Ramos, L., & Quijia, J. (2021). Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED). INEC, 1, 1–10. Recuperado el 11 de marzo del 2022 de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2020/3.2020_ENED_Boletin_tecnico.pdf

- Rikki Nitzkin Maren Termens, P. (2010). Casas de Paja Una guía para autoconstructores EcoHabitar ediciones. Recuperado el 28 de marzo del 2021 de <https://ecohabitar.org/producto/casas-de-paja-nueva-edicion-actualizada-y-ampliada/>
- Rodríguez, G., Peña, J. & Gómez, A. (2014). Determinación Experimental de la Conductividad Térmica Efectiva en Bloques Extinguidos de Arcilla Roja. Recuperado el 24 de marzo del 2021 de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882014000100002
- Ruiz Cevallos, J. (1988). xv [Instituto de Altos Estudios Nacionales]. Recuperado el 1 de febrero del 2021 de <https://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4530>
- Secretaría de Hábitat y Asentamientos Humanos - SHAH . (diciembre de 2015). Informe nacional del Ecuador. Obtenido de Tercera conferencia de las Naciones Unidas sobre la vivienda y el desarrollo urbano sostenible habitat III: Recuperado el 4 de febrero del 2021 de https://amevirtual.gob.ec/wp-content/uploads/2017/05/Informe-Pais-Ecuador-Enero-2016_vf.pdf
- Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador. (2021). Ficha Metodológica Plan Nacional de Desarrollo 2021 - 2025. Recuperado el 27 de marzo del 2023 de https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/12/ANEXO1_FICHA-METOLOGICA_de%CC%81ficit-de-vivienda_5.4.1_PND2125.pdf
- Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador. (2021). Plan de Creación de oportunidades 2021-2025. Recuperado el 29 de marzo del 2023 de https://observatorioplanificacion.cepal.org/sites/default/files/plan/files/Plan-de-Creaci%C3%B3n-de-Oportunidades-2021-2025-Aprobado_compressed.pdf
- SENPLADES. (2013). Plan Nacional para el Buen vivir. En Educational Research (Vol. 1, p. 600). Recuperado el 8 de enero del 2021 de

<http://ftp.eeq.com.ec/upload/informacionPublica/2013/PLAN-NACIONAL-PARA-EL-BUEN-VIVIR-2013-2017.pdf>

SENPLADES. (2017). Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021-Toda una Vida. 84. Recuperado el 30 de marzo del 2021 de http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/PNBV-26-OCT-FINAL_0K.compressed1.pdf

Sierra, A. P. C., & Tarazona, A. H. (2011). Housing and Poverty: A Complex Relationship. Conceptual framework and characterization. Cuadernos de Vivienda y Urbanismo, 4(8). Recuperado el 27 de febrero del 2021 de <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/cvyu/article/view/5474>

Susunaga, J. (2014). Construcción Sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y proritario. En Trabajo de Grado para obtener el título de especialista en Gerencia de Obras. Universidad Católica de Colombia.

Swan, A., Rteil, A.& Lovegrove,G. (2011), Sustainable Earthen and Straw Bale Construction in North American Buildings: Codes and Practice.

Tapia E. ,(2022). Primicias. Banca ecuatoriana destina más fondos para el crédito sostenible. Recuperado el 5 de julio del 2022 de <https://www.primicias.ec/noticias/economia/financiamiento-sostenible-crece-ecuador/>

UN-Habitat. (2015). Temas Hábitat III: Asentamientos Informales. Naciones Unidas, 10. Recuperado el 2 de enero del 2021 de http://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-22_ASENTAMIENTOS-INFORMALES-SP.pdf

UN Environment Programme. (2020). 2020 Global Status Report for Buildings and Construction. Global Status Report, 20–24. Recuperado el 23 de febrero del 2021 de www.iea.org

UNICEF. (2021). Artículo DCI Agua y saneamiento. Recuperado el 20 de septiembre del 2021 de <https://www.unicef.org/ecuador/sites/unicef.org.ecuador/files/2021->

05/Ecuador_DCI_Agua_Saneamiento-001.pdf

- Vásquez, K. G., & Guillén, V. F. (2016). Análisis del inventario del ciclo de vida en la determinación de la energía contenida y las emisiones de CO2 en el proceso de fabricación del hormigón premezclado; caso de estudio: planta premezcladora de la ciudad de Cuenca. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Maestría en Construcciones, Tercera Cohorte. Recuperado el 27 de febrero del 2021 de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/26618/5/MC3-KGVC-NOV2016.JBV.pdf>
- Velez Andrade, J. (1988). El Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social frente al problema de la vivienda [Instituto de Altos Estudios Nacionales]. En Instituto de Altos Estudios Nacionales. Recuperado el 27 de enero del 2021 de <https://repositorio.iaen.edu.ec/handle/24000/4551>
- Vélez, V. & Contreras, C. (2021). Instituto Geofísico. La informalidad en la Construcción es el mayor riesgo en un terremoto. Recuperado el 17 de octubre del 2021 de <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/381-la-informalidad-en-la-construcci%C3%B3n-es-el-mayor-riesgo-en-un-terremoto#:~:text=La%20construcci%C3%B3n%20informal%20en%20el%20pa%C3%ADs%20es%20casi%20del%2070%25>
- Viera, P., Monzó, J., Caiza, P., Pulles, L. & Segura, M. (2018). Tipología de la vivienda en zonas andinas rurales del Ecuador por medio de la fotografía aérea. Artículos del Congreso REDU VI 2019, Quito, Ecuador, pp. 508.518. Recuperado el 4 de febrero del 2021 de https://issuu.com/utnuniversity/docs/ebook_libro_congreso_redu_-_2018
- Vizueté, V., (2011). Modelo de Evaluación en la intervención de Espacios Comerciales, Bajo criterios de construcción sustentable (pp. 66 - 110). Daya (Diseño, Arte y Arquitectura). Recuperado el 10 de febrero del 2021 de https://revistas.uazuay.edu.ec/html/revistas/DAYA/10/articulo04/uazuay.modelo_d

e_evaluacion_en_la_intervencion_de_espacios_comerciales_bajo_criterios_de_construccion_sustentable.html

Walker, P., Thomson, A., & Maskell, D. (2019). Straw bale construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications* (pp. 189–216). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00009-3>

Weichelt, C.-L., & McKernan, L. (2020). Luchas locales por el derecho a vivienda en el contexto del cambio climático, la urbanización y la degradación del medio ambiente. Recuperado el 12 de marzo del 2021 de https://www.misereor.org/fileadmin/user_upload_misereororg/publication/es/climatechange_energy/summary-report-local-struggles-for-housing-rights-es.pdf

Yılmaz, M., & Bakış, A. (2015). Sustainability in Construction Sector. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 195, 2253–2262. Recuperado el 21 de marzo del 2021 de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187704281503791X>

Ziccardi, A. (2001). Pobreza, Desigualdad Social y Ciudadanía. Los límites de las Políticas Sociales en América Latina. Recuperado el 3 de enero del 2021 de <http://biblioteca.clacso.edu.ar/gsd/collect/clacso/index/assoc/D2911.dir/ziccardi2.pdf>

360 En Concreto (2020). Caracterización de Impactos ambientales en la industria de la construcción. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/impactos-ambientales-en-la-industria-de-la-construccion/>

Capítulo 2

Establecimiento de zonas con producción de trigo en el Ecuador y la Tipología de vivienda mediante fotografía aérea

2.1. ESTABLECIMIENTO DE ZONAS CON PRODUCCIÓN DE TRIGO EN EL ECUADOR

Debido a que la paja se obtiene como desecho agroindustrial de la producción de trigo y cebada, es importante conocer las características geográficas y de vivienda de las zonas donde se producen estos cereales en el Ecuador.

El estudio se concentró en 3 provincias de la zona andina: Bolívar, Carchi y Chimborazo, donde se cultivan cereales, con base en la información obtenida de los mapas de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental a escala 1:100 000 y 1:25 000.

Los mapas posibilitaron conocer el uso de la tierra mediante un sistema jerarquizado por niveles donde las zonas de “Tierra Agropecuaria” son segregadas con el fin de conocer los cultivos de cereales como el maíz, trigo, arroz, cebada, avena y quinua.

El uso de los sistemas de información geográfica (SIG) permitió analizar, almacenar y difundir datos geoespaciales. En efecto, a partir de los modelos digitales de elevación, vías estatales de acceso, cabeceras provinciales, cantonales, parroquiales y la información agrícola, se generaron los mapas mostrados en el presente capítulo.

Adicionalmente, se utilizaron los mapas de cereales de las provincias de Bolívar y Carchi, donde los primeros resultados evidenciaron la existencia de zonas de cultivo con predominio de pendiente fuerte en la provincia de Bolívar, lo que implica que, en esa zona, la obtención de los fardos de paja mediante el uso de máquinas enfardadoras que requieran un vehículo motorizado para su funcionamiento, se dificultaría.

La temporalidad de los datos agrícolas fue tomada del año 2015, por lo que es poco probable que las zonas significativas hayan cambiado en su totalidad el uso de suelo agrícola; sin embargo, para la provincia del Carchi, resultó complicado reconocer una zona importante para realizar el estudio, ya que las parcelas dedicadas al cultivo de cereales se sitúan de forma muy dispersa.

En una segunda evaluación, en la provincia de Chimborazo se encontraron 2 posibles zonas de estudio que aglomeran considerables áreas de cultivo de cebada y trigo.

Como resultado se establecieron 3 zonas de estudio; la primera ubicada en la provincia de Bolívar (Noreste de la ciudad de Guaranda y la localidad Guanujo) y las dos restantes en la provincia de Chimborazo (localidad Santiago de Quito y localidad Tixán).

2.2.FUNDAMENTOS CONCEPTUALES

Con la finalidad de comprender algunos términos que se tratarán en el presente capítulo, a continuación se detallan algunos conceptos.

2.1.1. Sistemas de Información Geográfica.

Un SIG es un conjunto de software diseñado específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos que permiten analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre (Tomlin, 2013). Es decir, son plataformas que permiten crear, analizar, almacenar y difundir datos geoespaciales, para resolver problemas complejos con fines geográficos.

2.1.2. Tierra Agropecuaria

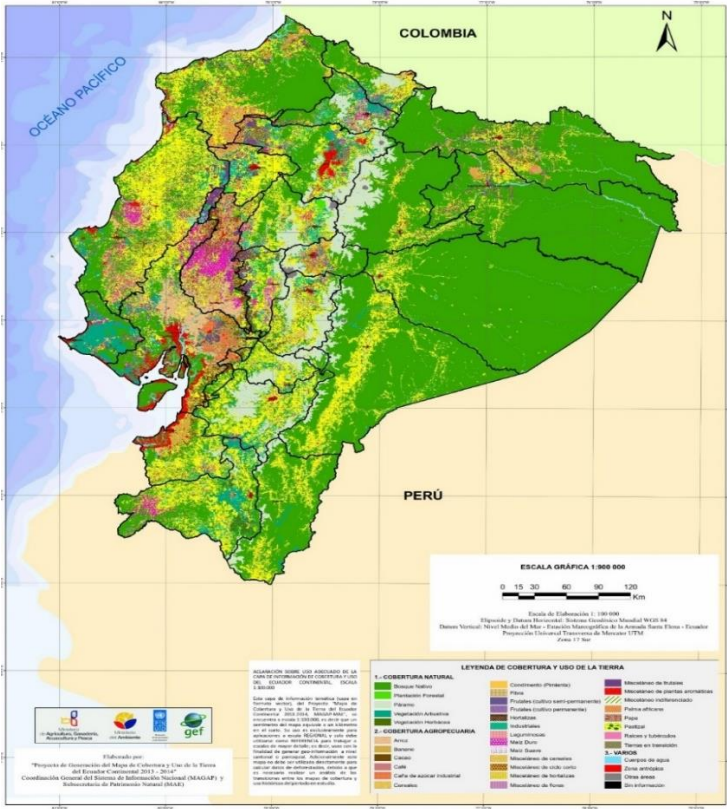
Área bajo cultivo agrícola y pastos plantados, o que se encuentran bajo una rotación entre estos (MAE-MAGAP, 2015).

2.1.3. Cereales

Los cereales pertenecen por lo general a la familia de las gramíneas y, según el concepto de la (FAO, 2015), se refieren solamente a los cultivos recolectados para obtener granos secos como: maíz, trigo, arroz, cebada, avena, quínoa, entre otros.

2.1.4. Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador

En el año 2015, el Ministerio del Ambiente (MAE) y el Ministerio de Agricultura, Acuicultura, Ganadería y Pesca (MAGAP) (MAE-MAGAP, 2015), publicaron el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del Ecuador Continental representado a una escala nacional de 1:100 000. La [Imagen 2.1](#) presenta el Mapa de Cobertura y Uso de la Tierra del país, en donde resaltan los tipos de cobertura en tres tipos definidos.



Fuente: (MAE-MAGAP, 2015)

Imagen 2.1. Mapa de cobertura y uso de la Tierra del Ecuador Continental Escala 1: 100 000, año 2013-2014.

El mapa de la [Imagen 2.2](#), permite conocer el uso de la tierra mediante un sistema jerarquizado por niveles de información. El primer nivel muestra información general como “Bosque”, “Tierra Agropecuaria”, “Vegetación Arbustiva”, “Cuerpos de Agua”, entre otros; los niveles subsiguientes fraccionan la información anterior de acuerdo con el interés y requerimientos del MAE (Nivel II) y MAGAP (Niveles III y IV). Las plantaciones de trigo o cebada se encuentran en el nivel IV, correspondiente a un uso de suelo agrícola, en un mapa a escala 1:25 000. La [Tabla 2.1](#), detalla únicamente los niveles para tierras agropecuarias.

Tabla 2.1. Leyenda temática de tierras agropecuarias de cultivo anual

Niveles						
Nivel I	Tierra Agropecuaria					
Nivel II	Cultivo Anual					
Nivel III	Cereales	Leguminosas	Raíces y Tubérculos	Hortalizas	Industriales, (tabaco)	Medicinales (chía)
Nivel IV	Arroz		Papa			
	Maíz Duro					
	Maíz Suave					

Fuente: Adaptación propia de MAE-MAGAP, (2015).

2.1.5. Modelo Digital de Elevación (MDE)

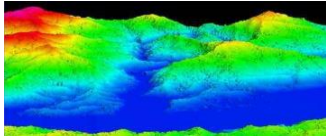
Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve (INEGI, 2016). A partir de cotas y curvas de nivel obtenidas del Instituto Geográfico Militar (IGM), Pronareg / Ingala / Orstom y PetroEcuador, se obtienen modelos con una resolución de 30, 50, 100, 200 y 450 m de resolución por píxel (Souris, 2018).

Una de las formas más comunes para representar un MDE son los mapas de sombras, que resaltan las características del relieve mediante la iluminación de la superficie del terreno, de acuerdo con una determinada posición del sol en el cielo, como se muestra en la [Imagen 2.2 a\), b\)](#). Adicionalmente, se detallan en esta imagen los conceptos fundamentales para el procesamiento de imágenes mediante SIG.

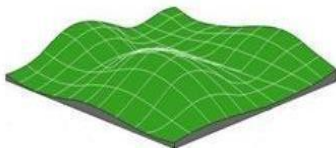
2.1.6. Mapa de Altitudes

La altitud es la distancia vertical entre un punto dado y otro punto considerado como nivel cero, que es el nivel medio del mar. La altimetría se representa clasificando los MDE en distintas categorías con el fin de mostrar una tercera dimensión: la altitud.

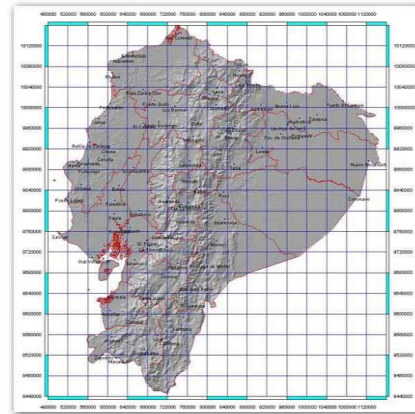
a)



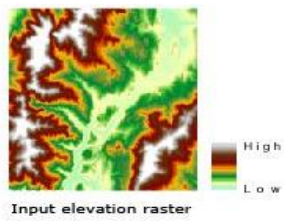
b)



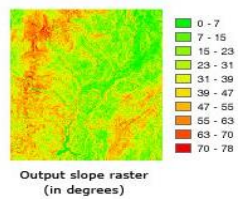
c)



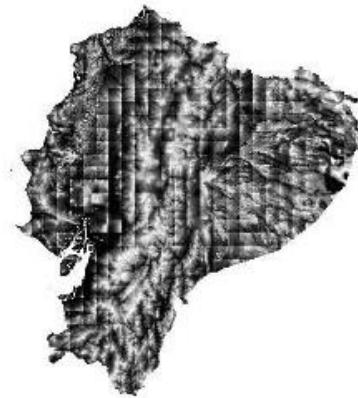
d)



e)



f)



Fuente: (Souris, 2018)

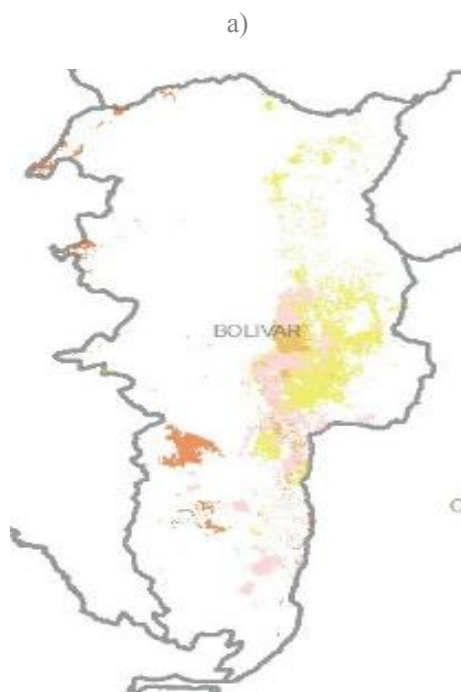
Imagen 2.2. a) y b) Modelo Digital de Elevación con vista en prospectiva. c) Mapa de sombras Ecuador. d) y e) Generación de mapa de pendientes f) Modelo Digital de Elevación del Ecuador, resolución de 30m.

2.1.7. Mapa de Pendientes.

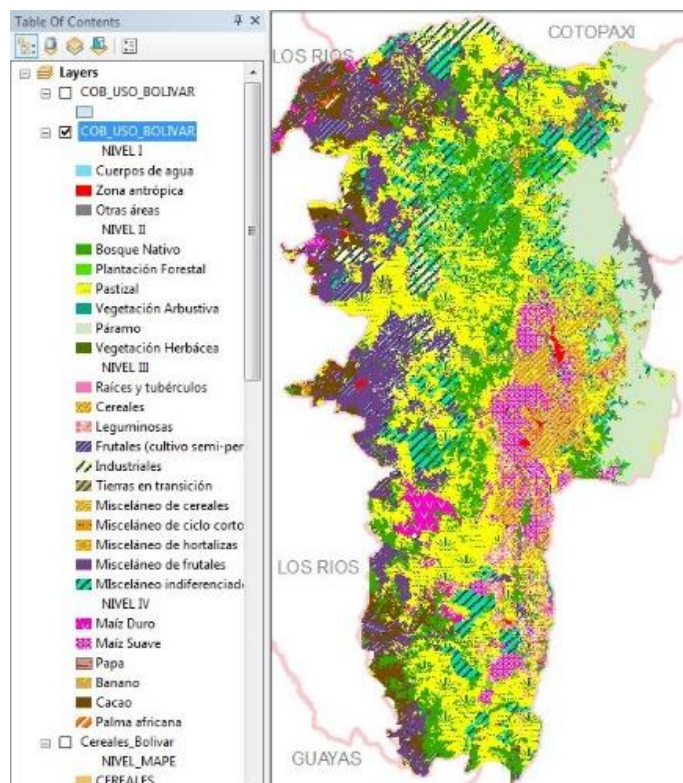
El cambio máximo en la elevación sobre la distancia entre la celda y sus ocho celdas colindantes identifica la pendiente y la orientación de esta (ArcGIS for Desktop, 2016). En efecto, mientras menor sea el valor de la pendiente, más plano será el terreno; mientras más alto sea el valor de la pendiente, más empinado será el terreno. Este proceso se muestra en la [Imagen 2.2 d\), e\).](#)

2.3.METODOLOGÍA UTILIZADA PARA DEFINIR LAS POSIBLES ZONAS DE ESTUDIO.

La cobertura y uso agrícola del suelo es mostrada en 26 diferentes tipos de acuerdo con el nivel de información; para efectos del presente estudio toda la información presentada en los niveles I y II, diferente de tierra agropecuaria, fue desestimada. En la [Imagen 2.3](#) se detalla el mapa de la provincia de Bolívar y su información de tierra agropecuaria en distintos niveles.



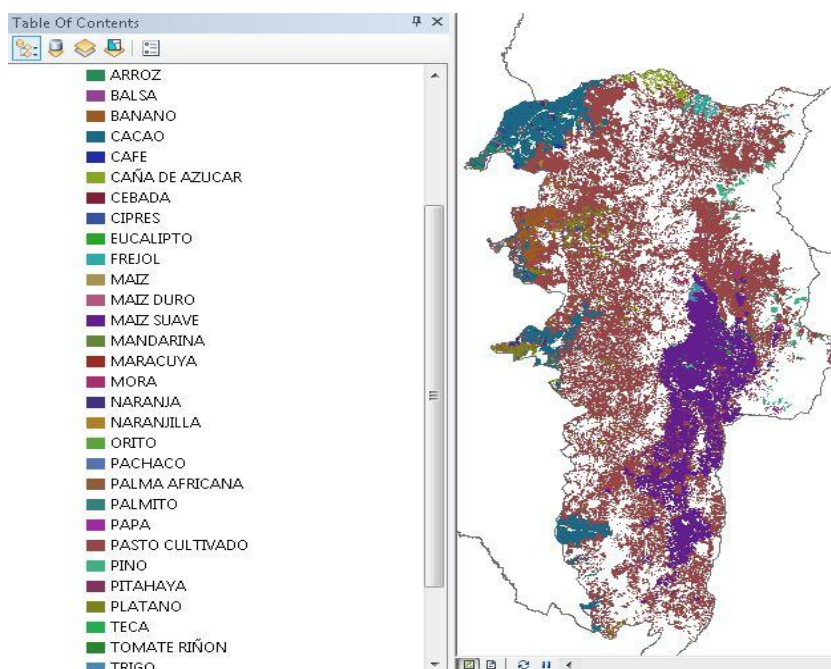
b)



Fuente: Elaboración propia

**Imagen 2.3. Cobertura del Uso de Suelo de la Provincia de Bolívar (Escala 1: 100 000).
Cereales y Misceláneos de Cereales en la Provincia de Bolívar.**

Adicionalmente, para la determinación del área de estudio, fue necesario segregar la información de tierra agropecuaria; por lo tanto, se seleccionó únicamente las áreas determinadas en un nivel III de información como cereales y misceláneo de cereales como lo muestra la [Imagen 2.4](#). Seguidamente, los cultivos de trigo y cebada especificados en la información agrícola a escala 1:25 000 permitieron conocer con mayor detalle las grandes parcelas específicas de este tipo de cultivo como se muestra en la misma imagen.

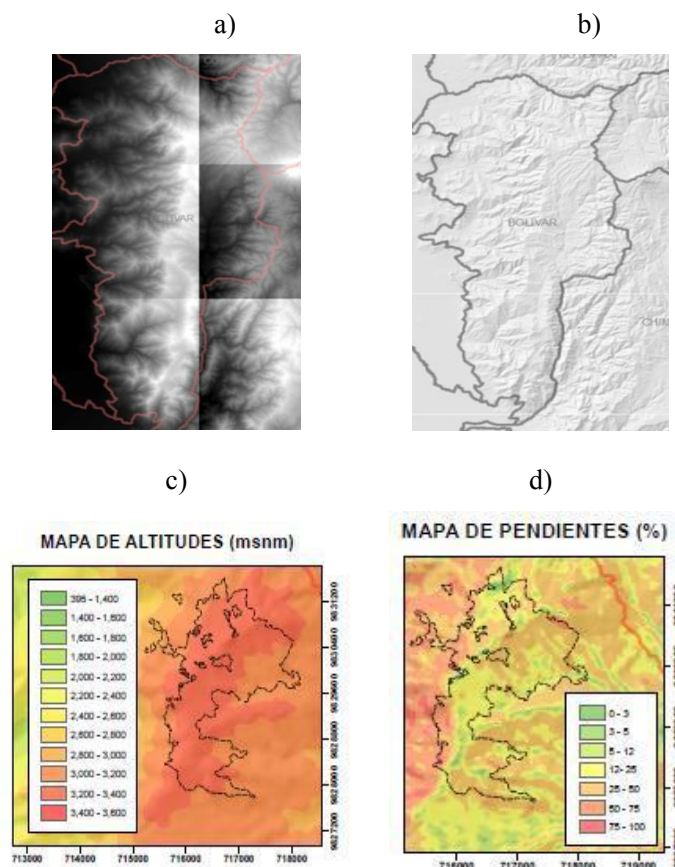


Fuente: Elaboración propia

Imagen 2.4. Cobertura del uso del suelo de la Provincia de Bolívar (Escala 1:25 000)

También, se utilizaron modelos digitales de elevación (MDE), estos reflejan la distribución espacial de la altitud, superficie del terreno y características geomorfológicas simples como la orientación y la pendiente. Posteriormente, a partir de un MDE se generó el mapa de sombras, mismo que al presentar aristas más precisas, mejoraron la lectura del terreno. Los MDE y el mapa de sombras generado para la provincia de Bolívar, se muestra en la [Imagen 2.5 a\) y b\)](#) respectivamente.

Seguidamente, se utilizó la información altitudinal (msnm), misma que permitió conocer los diferentes tipos de clases de zonas andinas en la posible zona de estudio. A continuación, se convirtieron los MDE en información porcentual de pendientes, es posible realizar una completa lectura de la morfología del terreno. Estos mapas de altitudes tanto en m s.n.m, como en porcentaje de pendientes, se detalla en la [Imagen 2.5 c\) y d\).](#)



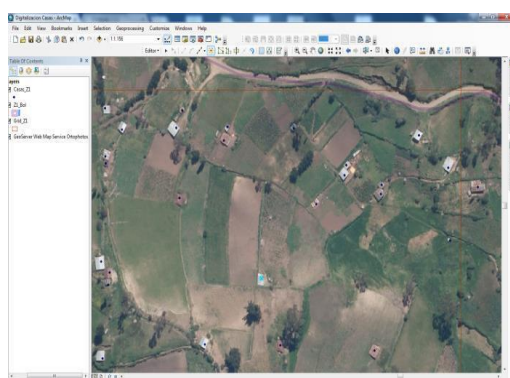
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.5. . a) MDE de la provincia de Bolívar (resolución de 30m). b) Mapa de Sombras de la provincia de Bolívar. c) Mapa de Altitudes en una posible zona de estudio de la provincia de Bolívar. d) Mapa de Pendientes en una posible zona de estudio de la provincia de Bolívar.

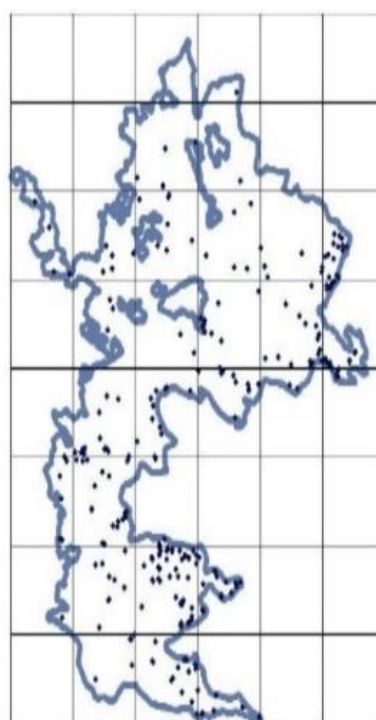
Posteriormente, se identificó las construcciones mediante ortofotos a escala 1:20 000 proporcionadas por el MAGAP en su portal (SIGTIERRAS, 2018) a través de un servicio WMS (Web Map Service). La concentración o dispersión de construcciones, así como el

tipo de techos de las mismas, permitió tomar decisiones sobre los sitios adecuados para definir la zona de estudio.

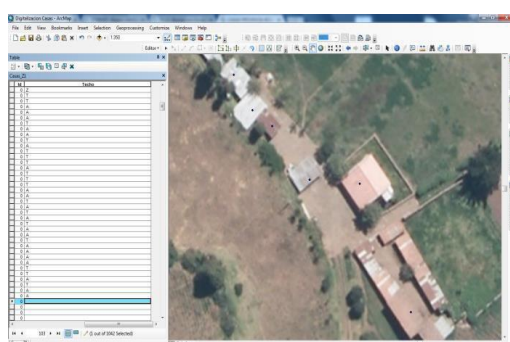
a)



b)



c)



Fuente: Arc Gis for Desktop, Elaboración propia

Imagen 2.6. a) Identificación de construcciones. b) Concentración de construcciones c) Identificación de techos. Para una posible zona de estudio en la Provincia de Bolívar.

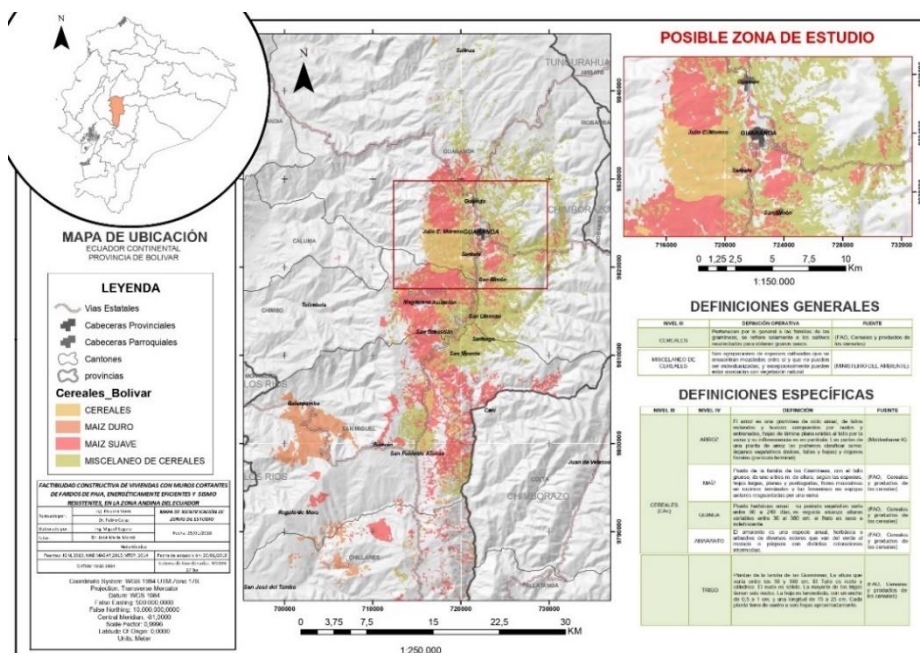
En efecto, la determinación de los diferentes tipos de techos correspondientes a las construcciones presentadas en las ortofotos, fue realizada por medio de la aplicación de técnicas de fotointerpretación basadas en la clasificación de techos en las zonas rurales del

país, publicadas por la OMS (OPS-OMS, 2001). La ubicación, concentración e identificación de techos en la posible zona de estudio para la provincia de Bolívar, se detalla en la [Imagen 2.6 a\), b\) y c\)](#) respectivamente.

2.4.Resultados

Se generaron mapas en las provincias de Bolívar, Chimborazo y Carchi, a partir de la información agrícola superpuesta sobre la información geográfica (altitud, vías estatales de acceso y cabeceras provinciales, cantonales y parroquiales). Estos posibilitan la toma de decisiones para realizar una primera evaluación de las posibles zonas de análisis.

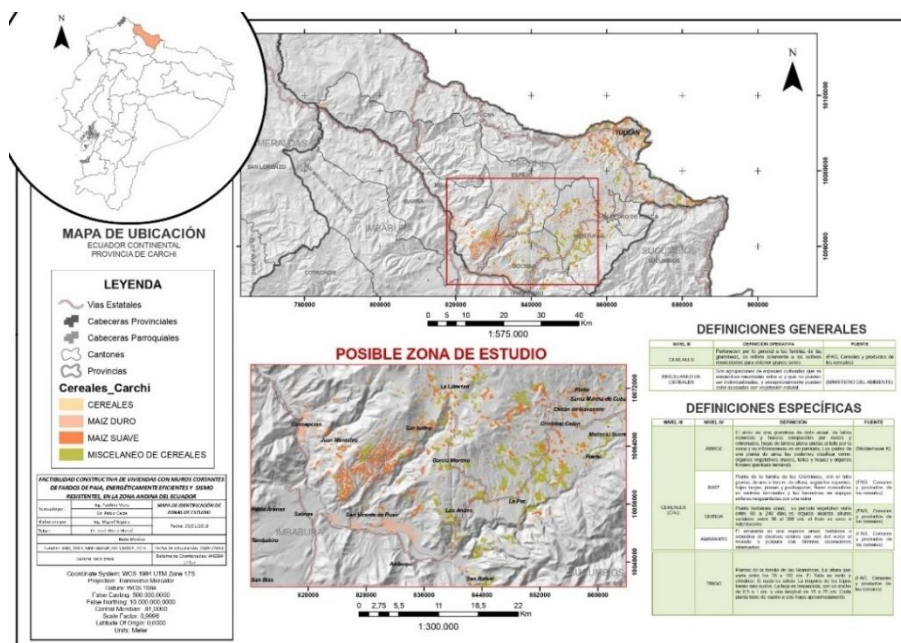
En la provincia de Bolívar, las parroquias de Guaranda, Julio E. Moreno, Santa Fe, San Simón, San José de Chimbo, Asunción, San Lorenzo, Santiago, San Sebastián y La Magdalena, acaparan un área de cultivo de cereales importante en relación con el resto de la provincia como se detalla en la [Imagen 2.7](#). Inicialmente, se utilizó un mapa a escala 1:150 000, además, se evidenció que la asociación de áreas relevantes en la provincia de Bolívar, se sitúa principalmente en zonas con pendiente fuerte.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.7. Áreas de cultivos de cereales en la provincia de Bolívar.

Por otro lado, en la provincia del Carchi, el cultivo de cereales se evidenció de manera notable al nororiente y suroriente de la provincia. A pesar de que la mayoría de las áreas dedicadas al cultivo de cereales se localizan en zonas con pendientes moderadas, resultó difícil asociar grandes parcelas ya que la ubicación de estas son dispersas a lo largo de la provincia, como se detalla en la [Imagen 2.8](#)



Fuente: Elaboración propia.

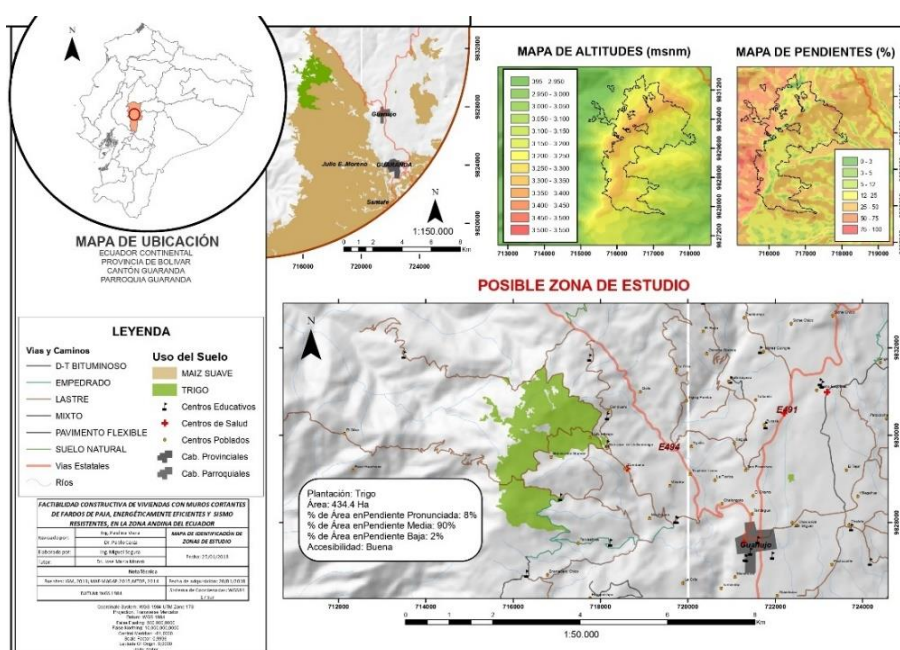
Imagen 2.8. Áreas de cultivos de cereales en la provincia de Carchi.

Posteriormente, en base a la información agrícola a escala 1:25 000 se generaron los mapas en base a 3 principales zonas de estudio que acaparan grandes extensiones de cultivos de cebada y trigo; una en la provincia de Bolívar y los dos restantes, en la provincia de Chimborazo.

En efecto, en la provincia de Bolívar se definieron 434.40 ha de cultivos de trigo al noroeste de la ciudad de Guaranda, en la localidad de Guanujo, dentro de las cuales, la mayor cantidad del área, presenta pendientes onduladas (entre el 15 y 50%) y altitudes que oscilan entre los 2 600 y 3 600 m s.n.m., como se muestra en la [Imagen 2.9](#) Adicionalmente, en una posible zona de estudio localizada en la provincia de Chimborazo, al suroeste de la ciudad de Riobamba en la localidad de Santiago de Quito, se determinaron 1432.20 ha de cultivos de Cebada y 518.37 ha de cultivos de Trigo, de las cuales la mayor

cantidad del área presenta pendientes medias (entre el 15 y 50%) y altitudes que oscilan entre los 3 300 y 3 600 m s.n.m., como se detalla en la [Imagen 2.10](#).

Otra posible zona de estudio dentro de la provincia de Chimborazo se ubica al sur de la ciudad de Riobamba en la localidad de Tixán. En esta, se identificaron 9067 ha de cultivos de Cebada y 782.42 ha de cultivos de Trigo, de las cuales la mayor cantidad del área presenta pendientes medias (entre el 15 y 50%) y bajas (<15%) y altitudes que oscilan entre los 2.600 y 3.600 msnm como se detalla en la [Imagen 2.11](#).

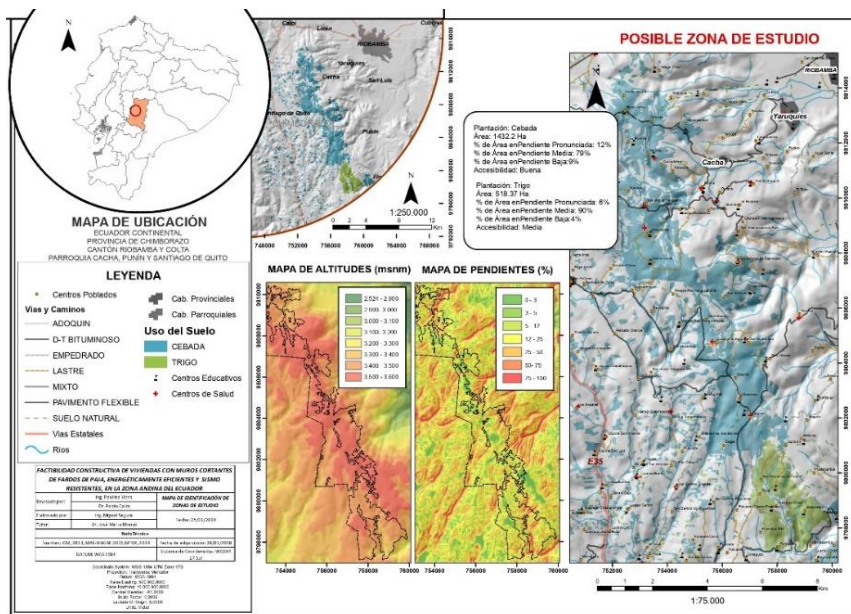


Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.9. Posible zona de estudio de la provincia de Bolívar.

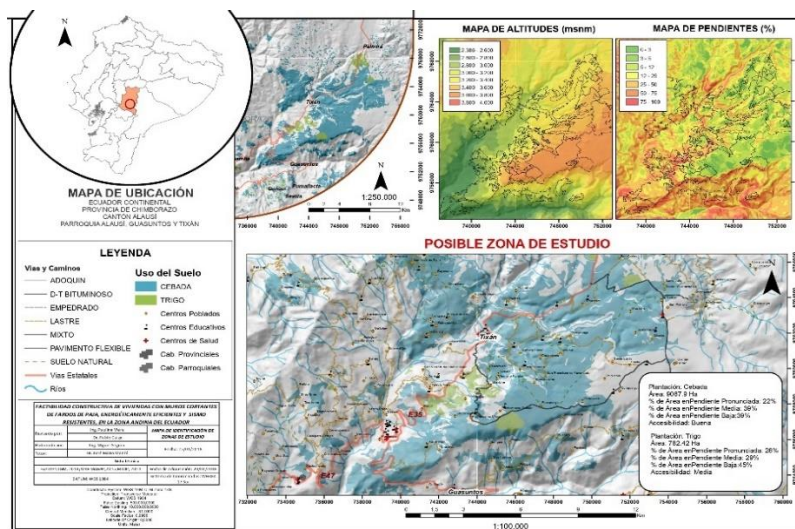
Seguidamente, en la posible zona de estudio para la provincia de Bolívar, se identificó un total de 1 035 construcciones, donde el 40% muestra techos correspondientes a teja, un 39% techos de asbesto, 11% techos de paja, 7% techos de zinc y un 2% techos de hormigón, losa o cemento, como se muestra en la [Imagen 2.12](#)

Luego, en una de las posibles zonas de estudio de la provincia de Chimborazo, sector Santiago de Quito, se identificaron un total de 1 790 construcciones donde el 24% muestra techos correspondientes a teja, un 48.80% techos de asbesto, 1.70% techos de paja, 15.60% techos de zinc y un 8.40% techos de hormigón, losa o cemento, como se encuentra detallada en la [Imagen 2.13](#).



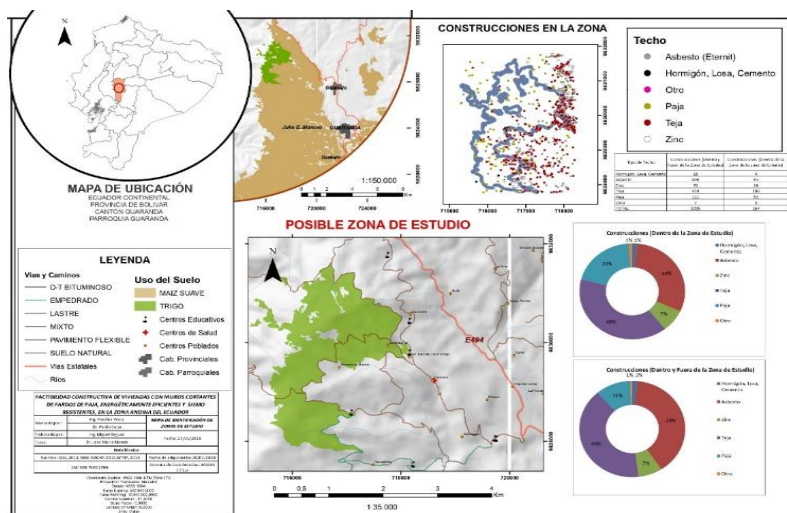
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.10. Posible zona de estudio de la provincia de Chimborazo (Santiago de Quito).



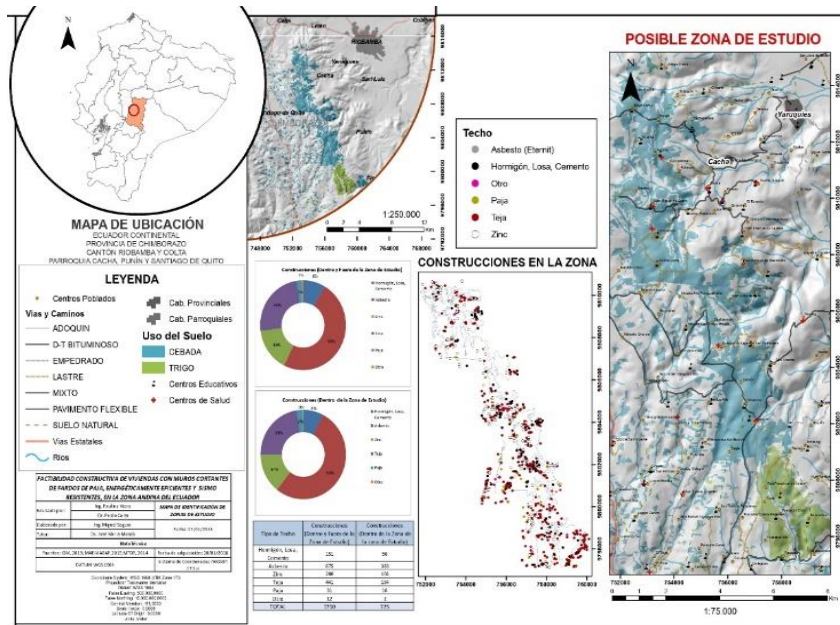
Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.11. Posible zona de estudio de la provincia de Chimborazo (sector de Tixán).



Fuente: Elaboración propia.

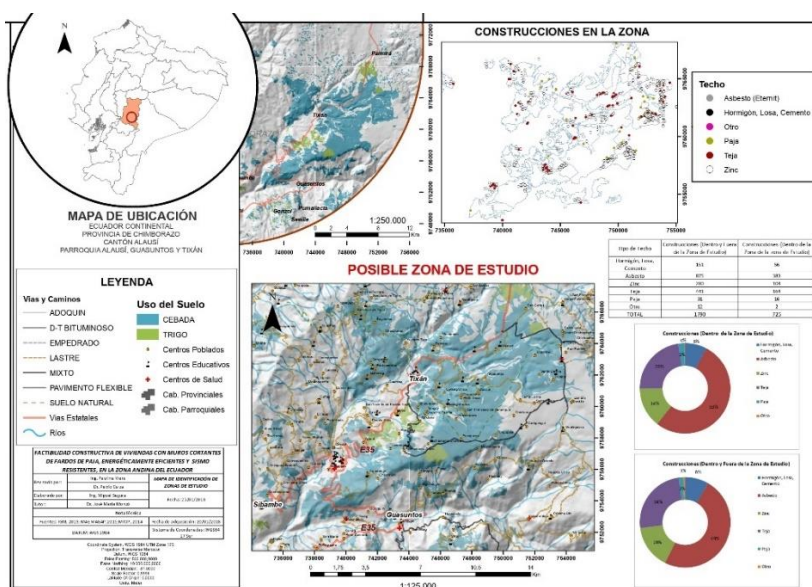
Imagen 2.12. Concentración de construcciones y tipos de techo en una posible zona de estudio de la provincia de Bolívar.



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.13. Concentración de construcciones y tipos de techo en una posible zona de estudio de la provincia de Chimborazo (sector de Santiago de Quito).

Paralelamente, en la posible zona de estudio de la provincia de Chimborazo, sector Tixán, se identificaron un total de 2 192 construcciones, de las cuales el 5.50% muestra techos correspondientes a teja, un 43.9% techos de asbesto, 1.70% techos de paja, 26.40% techos de zinc y un 22.30% techos de hormigón, losa o cemento, como se detalla en la [Imagen 2.14](#).



Fuente: Elaboración propia.

Imagen 2.14. Concentración de construcciones y tipos de techo en una posible zona de estudio de la provincia de Chimborazo (sector de Tixán).

Con lo anteriormente presentado, se demostró que existen algunas posibles zonas destinadas al cultivo de cereales principalmente en las provincias de Bolívar y Chimborazo. En la provincia del Carchi sí se presentan zonas similares, pero se sitúan de forma dispersa. En efecto, dentro de la provincia de Bolívar se localizan en total 434.40 ha de cultivos de Trigo al noroeste de la ciudad de Guaranda, en la localidad de Guanujo, de las cuales la mayor cantidad del área presentó pendientes onduladas (entre el 15 y 50%) y altitudes que oscilan entre los 2 600 y 3 600 msnm; además la posible zona de estudio alberga un total de 1 035 construcciones donde el 40% muestra techos correspondientes a teja, un 39% techos de asbesto, 11% techos de paja, 7% techos de zinc y un 2% techos de hormigón, losa o cemento.

En la primera posible zona de estudio definida en la provincia de Chimborazo se localizan 1 432.20 ha de cultivos de Cebada y 518.37 ha de cultivos de Trigo, al suroeste de la

ciudad de Riobamba en la localidad de Santiago de Quito, dentro de estas zonas, la mayor cantidad del área presenta pendientes medias (entre el 15 y 50%) y altitudes que oscilan entre los 3 300 y 3 600 m s.n.m.; además, la posible zona de estudio alberga un total de 1 790 construcciones donde el 24% muestra techos correspondientes a teja, un 48.80% techos de asbesto, 1.70% techos de paja, 15.60% techos de zinc y un 8.40% techos de hormigón, losa o cemento.

En la segunda posible zona de estudio en la provincia de Chimborazo se localizan 9067. ha de cultivos de Cebada y 782.42 ha de cultivos de Trigo, al sur de la ciudad de Riobamba en la localidad de Tixán, en las cuales la mayor cantidad del área presenta pendientes medias (entre el 15 y 50%) y bajas (<15%) y altitudes que oscilan entre los 2 600 y 3 600 m s.n.m. Además, esta zona alberga un total de 2 192 construcciones donde el 5.50% muestra techos correspondientes a teja, un 43.90% techos de asbesto, 1.70% techos de paja, 26.40% techos de zinc y un 22.30% techos de hormigón, losa o cemento.

En total dentro de las zonas de estudio en las provincias de Bolívar y Chimborazo se evidencia la presencia de aproximadamente 4 800 viviendas, donde los tipos de techos predominantes son Asbesto, Zinc, Cemento y Teja.

En la [Imagen 2.15](#) se muestran cómo son típicamente las zonas de producción de trigo en el Ecuador, y la forma en cómo se cosecha, en la figura a) de forma manual y en la figura b) con equipo mecánico.

a)



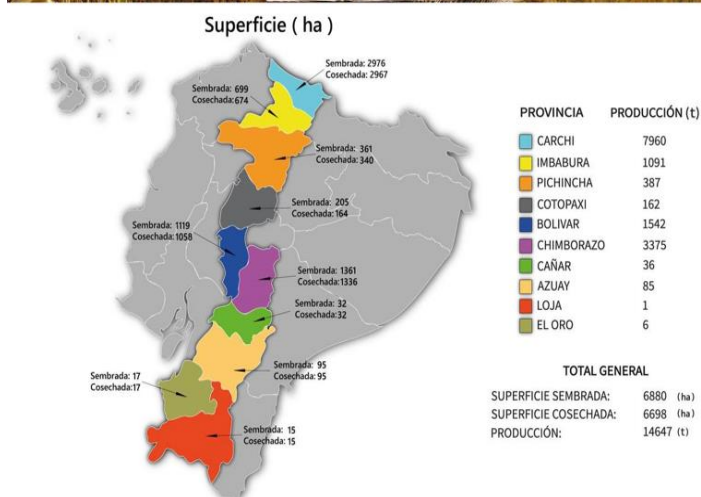
b)



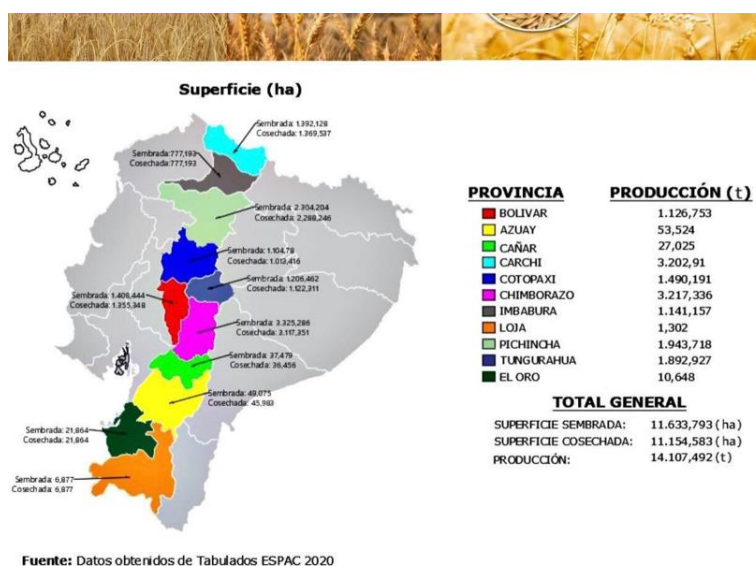
Imagen 2.15. Zonas de producción de trigo durante el proceso de cosecha. a) Cosecha manual. b) Máquina trilladora.

Con lo anterior, se demostró que, para zonas de acceso limitado o complicado, el uso de estas técnicas de procesamiento de datos mediante Sistemas de Información Geográfica definió regiones de estudio en base a criterios establecidos por la presente investigación. Siendo necesario, una validación mediante datos existentes. Por lo tanto, en el numeral 2.5 se determinará de manera analítica la obtención de los valores alcanzados.

a)



b)



Fuente: ESPAC, 2020

Imagen 2.16. Mapa de producción en de trigo y cebada para provincias de la Sierra.

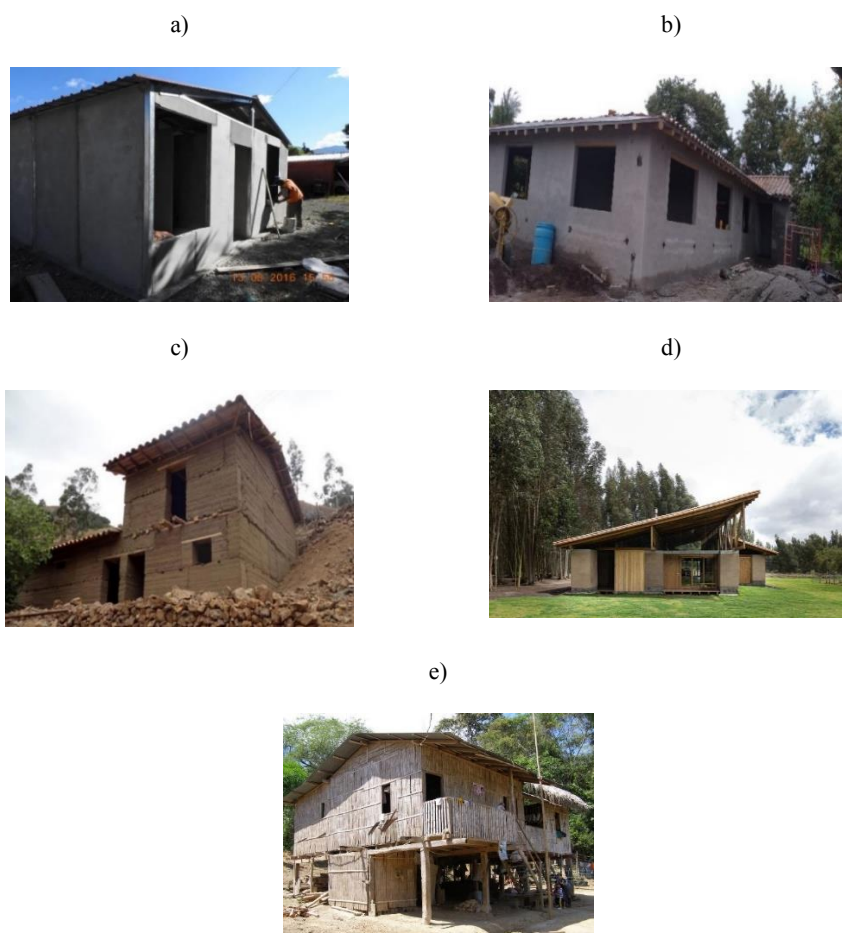
Con la finalidad de complementar este estudio, se muestra la producción en toneladas por provincias y las superficies, tanto sembradas como cosechadas, para la cebada y el trigo en la [Imagen 2.16](#).

2.5.VALIDACIÓN DE RESULTADOS MEDIANTE LA TIPOLOGÍA DE LA VIVIENDA EN ZONAS ANDINAS DEL ECUADOR.

El 37% de las familias ubicadas en áreas urbanas y el 60% de las rurales, habitan en viviendas que carecen de alguna de las necesidades básicas del ser humano según lo indica el censo 2010. (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI, 2015)(Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, 2011).

El censo ofrece datos sobre la tipología de materiales, no solo de las paredes y techo, sino además del piso de la vivienda. Para las paredes se estableció la siguiente clasificación de

manera generalizada: hormigón, ladrillo o bloque, adobe o tapia, madera y caña; como se detalla en la [Imagen 2.17](#). Para el techo, se definió: hormigón, asbesto, zinc, teja y palma o paja. En cambio, para el piso se estableció: duela, parquet o tablón, tabla sin tratar, cerámica o baldosa, ladrillo o cemento, caña y tierra.



Fuente: INEC (2011)

Imagen 2.17. Tipos de paredes establecidas en el Censo de la Vivienda 2010. a) Hormigón. b) Bloque c) Tapia d) Madera e) Caña.

Seguidamente, en la [Tabla 2.2](#) se detalla el estado de conservación de estos tres elementos en las viviendas de las parroquias rurales del país, donde, se evidencia que 35.20% de las paredes, 34.00% del techo y 32.70% del piso se encuentran en estado “Bueno”.

Tabla 2.2. Estado de paredes, techo y cubierta de viviendas en la zona rural del Ecuador.

Ecuador					
Parroquias Rurales					
Estado de las paredes Censo INEN 2010	Estado de las paredes (%)	Estado del techo (Censo INEN 2010)	Estado del techo (%)	Estado de piso (Censo INEN 2010)	Estado de piso (%)
Bueno	35.20	Bueno	34.00	Bueno	32.70
Regular	47.80	Regular	45.30	Regular	47.80
Malo	17.00	Malo	20.80	Malo	19.50
Total	100.00	Total	100.00	Total	100.00

Fuente: (Viera et al., 2018)

Por otro lado, de acuerdo con los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC, recopilados en la “Encuesta Nacional de Edificaciones” (Guerrero et al., 2016), (Ramos & Quijia, 2021), se evidenció que para el año 2015, de todos los permisos de construcción registrados, el 88.60% fueron destinados a edificaciones. De igual manera para el 2016 el 86.30% de los permisos de construcción otorgados fueron a edificaciones. Así también, en el año 2020 se mantuvo esta tendencia con el 89.50 %.

Los Censos proporcionan datos de gran importancia, sin embargo, presentan la siguientes limitaciones: la falta de actualización y la de flexibilidad para tomar en cuenta los requerimientos de proyectos en menores divisiones políticas como las parroquias (Valdivia et al., 2013).

Por lo tanto, una alternativa de solución a este particular es la implementación de la fotografía aérea (Arriola Valverde et al., 2018), en la que se define el área de estudio sin

tomar en cuenta a las divisiones políticas, por lo que su clasificación puede ser realizada a partir de la identificación de techos y su tipología de vivienda sobre todo con la finalidad de proponer viviendas de interés social aprovechando los materiales propios de las zonas rurales y de difícil acceso. (Viera et al., 2018)

Para validar esta metodología, se utilizó tres zonas que se detallan en la [Tabla 2.3](#). La primera zona comprende a la Parroquia de Guaranda ubicado en la provincia de Bolívar. Y las parroquias de Santiago de Quito (Cantón Colta), Cacha, Punín, Flores (Cantón Riobamba), y Guasuntos, Tixán Alausí (Cantón Alausí), pertenecientes a la provincia de Chimborazo. Estas constituyen zonas cerealeras en las que para futuras investigaciones se propondrá la construcción de viviendas económicas con fardos de paja.

Tabla 2.3. Zonas rurales del Ecuador estudiadas

Zonas Rurales del Ecuador					
Zona	Provincia	Cantón	Parroquia	Área total (km ²)	Área estudiada (km ²)
1	Bolívar	Guaranda	Guaranda	5 1948.33	952
2	Chimborazo	Colta	Santiago de Quito	1 6721.33	5000
		Riobamba	Cacha		
			Punín		
			Flores		
3	Chimborazo	Alausí	Guasuntos	2 5461.79	1 9500
			Tixán		
			Alausí		

Fuente: (Viera et al., 2018)

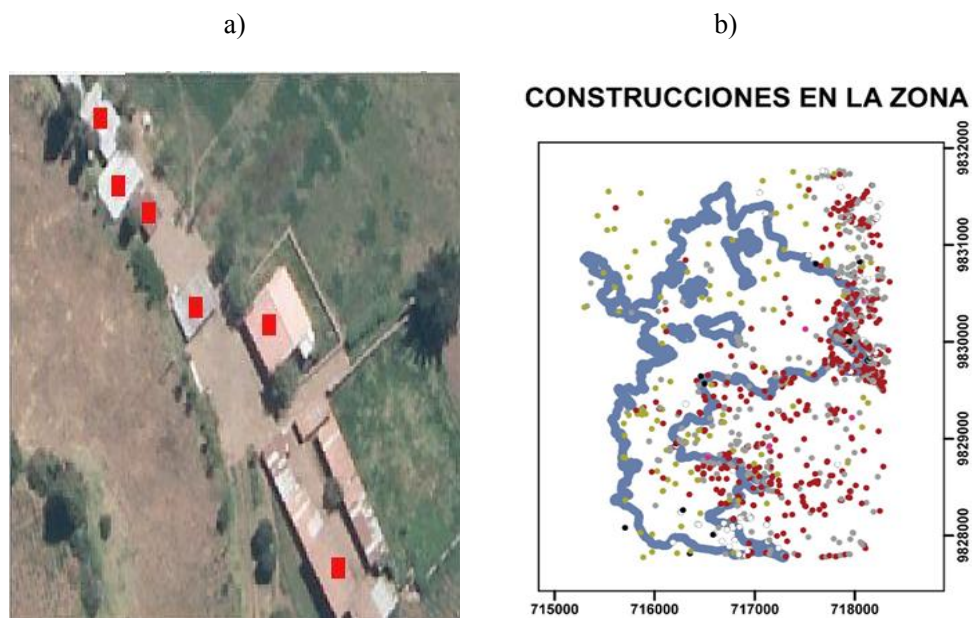
Seguidamente, se ingresó la zona de muestreo, mediante la configuración de ortofotos coincidentes con bloques detallados anteriormente. Luego, se definió la concentración y tipología de techos a través del software. A continuación, se definieron distintas capas de trabajo, en función de los materiales de los cuales están compuestos dichos techos, usando los parámetros de clasificación visual definidos en la [Tabla 2.4](#). Luego se los clasificó y por último se aplicó el análisis estadístico incorporado en el software ArcGIS con la finalidad de no solo identificar, sino, además, confirmar la concordancia de los patrones espaciales con los datos ingresados, como lo representa la [Imagen 2.18](#) (Viera et al., 2018).

Tabla 2.4. Texturas para la identificación de techos en las zonas de estudio.

Texturas para la identificación de Techos					
Material del techo o cubierta	Hormigón, Losa, Cemento	Asbesto	Zinc	Teja	Paja
Textura					

Fuente: (Viera et al., 2018)

La [Imagen 2.18 a](#)), muestra una de las fotografías aéreas que contiene la vista de los techos, luego de que se le ha asignado la capa base correspondiente a su material. También, en la [Imagen 2.18 b](#)) se muestra la concentración de techos usando el software.

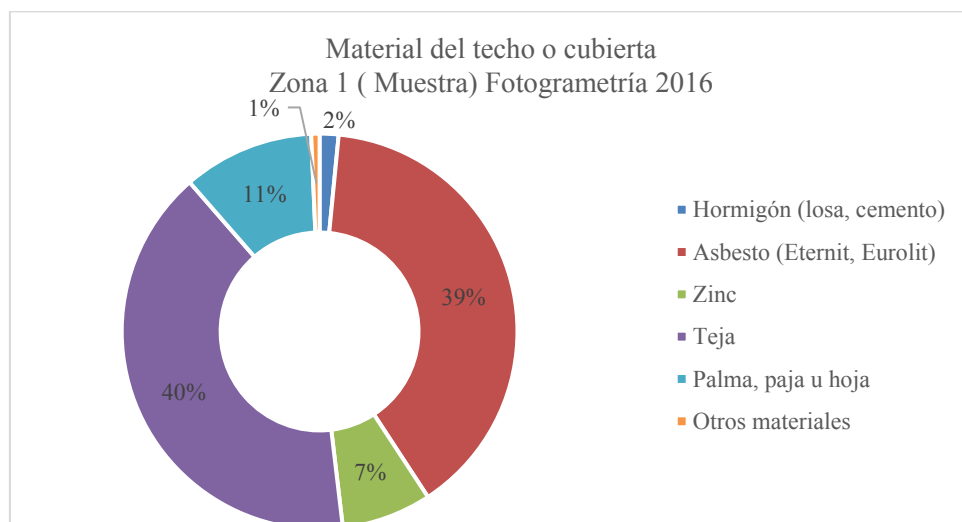


Fuente: (Viera et al., 2018)

Imagen 2.18. a) Identificación de construcciones b) Concentración de viviendas en una zona de estudio.

Los datos identificados del número de techos pertenecientes a la zona de estudio se denominaron “muestra”, en cambio a los datos proporcionados por el censo, correspondientes a las parroquias involucradas, se denominó “censo”. Se determinó índices muestrales y censales, cabe mencionar que a pesar de que no concuerden en su totalidad los datos comparados, se determinaron índices que permiten validar este estudio.

La concentración de viviendas definidas para la zona 1, se detalla en la [Imagen 2.19](#). En donde se evidencia que asbesto (39%) y teja (40%)



Fuente: (Viera et al., 2018)

Imagen 2.19. Concentración de viviendas en la zona 1 (Parroquia Guaranda).

La clasificación de los techos en las zonas estudiadas, se detallan en la [Tabla 2.5](#)

Tabla 2.5. Clasificación de los techos incorporados en el estudio por zonas.

Clasificación por zonas						
Parámetro	1		2		3	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Hormigón (Losa, cemento)	16	1.50	134	8.50	481	22.30
Asbesto (Eternit, Eurolit)	406	39.20	766	48.70	944	43.70
Zinc	76	7.30	254	16.20	561	26
Teja	419	40.50	283	24.40	118	5.50
Palma, paja u hoja.	111	10.70	23	1.50	35	1.60
Otros Materiales	7	0.70	12	0.80	20	0.90
Total	1035	100	1472	100	2159	100

Fuente: (Viera et al., 2018)

Con la finalidad de validar los resultados anteriores, estos se compararon con los datos del Censo 2010, como se detalla en la [Tabla 2.6](#)

Tabla 2.6. Comparación entre la muestra y el censo.

Clasificación por zonas						
Material del Techo o Cubierta	1		2		3	
	Muestra	Censo	Muestra	Censo	Muestra	Censo
Hormigón (Losa, cemento)	16	799	134	962	481	322
Asbesto (Eternit, Eurolit)	406	1929	766	3807	944	954
Zinc	76	2786	254	1810	561	2243
Teja	419	1739	283	424	118	361
Palma, paja u hoja.	111	160	23	150	35	275
Otros Materiales	7	25	12	8	20	6
Total	1035	7438	1472	7161	2159	4161

Fuente: (Viera et al., 2018)

Los valores de la [Tabla 2.6](#) indican que los totales censales son superiores a los muestrales, donde la Zona 3 presenta la mejor aproximación. Adicionalmente, para obtener un índice que permita relacionar de mejor manera estos datos, se los divide para su número respectivo de hectáreas en la muestra y censo, como se detalla en la [Tabla 2.7](#) (Viera et al., 2018)

La [Tabla 2.7](#). Refleja diferencias entre los índices muestrales y censales relativamente importantes. La mejor aproximación se presenta en la zona 3.

Tabla 2.7. Índices obtenidos por zona de estudio.

Clasificación por zonas						
	1		2		3	
	Muestra	Censo	Muestra	Censo	Muestra	Censo
Hectáreas	925	51948.33	5000	16721.33	19500	25461.79
Material del Techo o cubierta						
Hormigón (Losa, cemento)	0.02	0.02	0.03	0.06	0.02	0.01
Asbesto (Eternit, Eurolit)	0.44	0.04	0.15	0.23	0.05	0.04
Zinc	0.08	0.05	0.05	0.11	0.03	0.09
Teja	0.45	0.03	0.08	0.03	0.01	0.01
Palma, paja u hoja.	0.12	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Otros Materiales	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	1.12	0.14	0.31	0.44	0.11	0.16

Fuente: (Viera et al., 2018)

Para lograr que la muestra y el censo coincidan en tamaños relativos se combinó los techos de hormigón y asbesto, obteniendo los detallado en la [Tabla 2.8](#)

Tabla 2.8. Índices ordenados mediante el tamaño relativo.

Clasificación por zonas						
Material de Techo o Cubierta	1		2		3	
	Muestra	Censo	Muestra	Censo	Muestra	Censo
Asbesto + Zinc	46.50	63.40	64.90	78.50	69.70	76.80
Teja	42.10	34.10	32.90	19.30	27.80	16.40
Palma, paja u hoja.	10.70	2.20	1.50	2.10	1.60	6.60
Otros Materiales	0.70	0.30	0.80	0.10	0.90	0.10
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Fuente: (Viera et al., 2018)

En conclusión, se precisa que el tipo de material de las paredes exteriores se encuentra relacionado con el tipo de techo y que su combinación, define un tipo de vivienda. Esto se

basa en la experiencia de los estudios planteados por (Viera et al., 2018) en donde se señala que los techos de hormigón o de teja son relacionados con paredes de ladrillo o bloque, de igual manera a los de asbesto, Eternit y zinc; sin embargo, la palma/paja y “otros materiales”, son relacionados con adobe o tapia. La [Tabla 2.9](#), detalla un ejemplo de lo planteado anteriormente. En efecto, la zona 2 se comparó con los porcentajes de tipos de materiales en paredes exteriores y en techo o cubierta.

Tabla 2.9. Porcentaje de tipos de materiales en paredes exteriores y techo o cubierta.

Provincia de Chimborazo			
Cantones: Riobamba y Colta			
Parroquias: Cacha, Flores, Santiago de Quito, Punín			
Material de paredes exteriores	% de casas Censo INEN 2010	Material del techo o cubierta	% de casas Censo INEN 2010
Hormigón	1.50	Hormigón (losa, cemento)	13.40
Ladrillo o bloque	82.20	Asbesto (Eternit, Eurolit)	53.20
Adobe o tapia	15.80	Zinc	25.30
Madera	0.30	Teja	5.90
Caña revestida o bahareque	0.10	Palma, paja u hoja	2.10
Otros materiales	0.20	Otros materiales	0.10
Total	100.00	Total	100.00

Fuente: (Viera et al., 2018)

Se evidencia una relación entre la tipología de paredes y cubiertas en concordancia a estudios como “Automatic Identification of Building Types Based on Topographic

Databases - a Comparison of Different Data Sources” (Hecht et al., 2015), y “Object-Based Land-Cover Mapping with High Resolution Aerial Photography at a County Scale in Midwestern USA” (Li et al., 2014), mismos que establecen la posibilidad de relacionar tipologías de elementos constitutivos de las edificaciones con un 90 por ciento de precisión. Además, estos autores proponen realizar estudios posteriores con técnicas adicionales que corroboren los resultados.

2.6.Conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos (ESPAC, 2020), existen 6 880 ha de trigo y 11 633 ha de cebada sembradas en Ecuador. Al ser la paja el desecho resultante de la cosecha de trigo, es factible utilizarlo como material de construcción. Según Lee, C. y Grove, J. (2005), se puede obtener aproximadamente 3 t de paja por cada hectárea de cultivo. Con la producción mencionada por las estadísticas del ESPAC se obtendría alrededor de 55 539 toneladas de paja. Con lo cual se garantiza una provisión permanente de material que se puede utilizar para edificar viviendas.

Los resultados del estudio realizado demuestran que en la zona 1, el 40.15% de las viviendas tienen techos de teja y paredes de madera, el 39.12% de tejados son de asbesto y paredes de ladrillo o bloque y 10.70% fueron de palma, paja u hoja y mampostería de caña revestida o bahareque.

En la zona 2, Chimborazo, la mayoría de tejados (48.70%) son de asbesto con paredes de ladrillo o bloque, 24.40% de teja con mampostería de madera, 16.20% tienen cubierta de zinc y tapial o adobe.

En la zona 3, al igual que en la zona 2, predomina la techumbre de asbesto; es así que, el 26% de las residencias tienen cubiertas de zinc y adobe o tapial, casi a la par, el 22.30% de casas tienen losas de hormigón y paredes de hormigón.

Se ha determinado que, en las viviendas que actualmente existen en las zonas donde hay gran producción de trigo, se han utilizado materiales tradicionales de construcción como;

ladrillos y bloques en las paredes y chapa metálica y de asbesto en el techo. Al ser materiales poco aislantes térmicos (Rivera, et al., 2021) se incrementa el riesgo de los usuarios a contraer enfermedades (Hábitat para la humanidad, 2021), para prevenir este riesgo se requiere que la morada alcance temperaturas de confort térmico, para lo cual se suele consumir importantes cantidades de energía. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que en estas zonas rurales existe concentración de pobreza ([ver capítulo 1, apartado 1.16](#)), por lo cual los usuarios no podrían costear los costos extras de energía.

Las provincias donde se siembra el trigo, como las que se ha estudiado en este capítulo, (Bolívar, Chimborazo y Carchi) pertenecen a la región andina, zona de clima frío, por lo que la construcción con un material aislante de producción local, proveería de viviendas que requieran poca energía para mantener una temperatura ambiental agradable para las personas que las habiten.

2.7. Referencias Bibliográficas

- ArcGIS for Desktop. (2016). Cómo funciona la pendiente Ayuda. Recuperado el 10 de abril del 2021 de <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.5/tools/3d-analyst-toolbox/how-slope-works.htm#:~:text=La%20herramienta%20Pendiente%20identifica%20la,m%C3%A1s%20empinado%20ser%C3%A1%20el%20terreno.>
- Arriola Valverde, S., Ferencz Appel, A., Cr, A., & Rimolo-Donadio, R. (2018). Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados. *Investiga TEC*, 9–11. Recuperado el 12 de mayo del 2021 de https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/3475/3144
- FAO. (2015). Cereales, raíces feculentas y otros alimentos con alto contenido de carbohidratos. Recuperado el 2 de abril del 2021 de <https://www.fao.org/3/w0073s/w0073s0u.htm>
- Guerrero, J. G., Naranjo, L., Vélez, D., Chaves, R., & Vera, D. (2016). Encuesta Anual de Edificaciones 2016 (Permisos de Construcción) Gestión de Estadísticas Estructurales.
- Hecht, R., Meinel, G., & Buchroithner, M. (2015). Automatic identification of building types based on topographic databases – a comparison of different data sources. *International Journal of Cartography*, 1(1), 18–31. <https://doi.org/10.1080/23729333.2015.1055644>
- INEGI. (2016). Modelos Digitales de Elevación (MDE)-Descripción. Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 1–14. Recuperado el 23 de mayo del 2021 de <https://www.inegi.org.mx/contenidos/temas/mapas/relieve/continental/metadatos/mde.pdf>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC. (2011). Censo de Población y Vivienda

2010. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- Li, X., Shao, G., Li, X., & Shao, G. (2014). Object-Based Land-Cover Mapping with High Resolution Aerial Photography at a County Scale in Midwestern USA. *Remote Sensing*, 6(11), 11372–11390. <https://doi.org/10.3390/rs61111372>
- Lee, C., Grove, J. (2005). Straw Yields From Six Small Grain Varieties. Recuperado el 3 de junio del 2021 de <https://wheatscience.ca.uky.edu/sites/wheatscience.ca.uky.edu/files/rr04-05pg3.pdf>
- MAE-MAGAP. (2015). Protocolo metodológico para la elaboración del mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador Continental 2013 -2014, Escala 1: 100 000. Ministerio del Ambiente del Ecuador y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 1–49.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda MIDUVI. (2015). Proyecto Programa Nacional de Vivienda.
- OPS-OMS. (2001). Desigualdades en el acceso, uso y gasto con el agua potable en América Latina y el Caribe: Ecuador. OPS. Serie informes Técnicos Desigualdades en el acceso, uso y gasto con el agua potable en América Latina y el Caribe, 5, 102. Recuperado el 1 de abril del 2021 de https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/45992/InfomeTec5ecu_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ramos, L., & Quijia, J. (2021). Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED). INEC, 1, 1–10. Recuperado el 4 de diciembre del 2021 de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2020/3.2020_ENED_Boletin_tecnico.pdf
- SIGTIERRAS. (2018). Geoportal-Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura. Recuperado el 12 de mayo del 2021 de <https://www.sigtierras.gob.ec>

- Souris, M. (2018). DEM's for Ecuador. Recuperado el 17 de mayo del 2021 de <http://www.savgis.org/ecuador.htm>
- Tomlin, C. D. (2013). GIS and cartographic modeling / C. Dana Tomlin. En GIS and cartographic modeling. Esri Press.
- Valdivia, C., Rivadeneira, L., & Zumárraga, M. (2013). Evolución de las variables investigadas en los censos de población y vivienda del Ecuador 1950,1962,1974,1982,1990,2001 y 2010. Recuperado el 23 de abril del 2021 de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Publicaciones/Evolucion_variiables_1950_2010_24_04_2014.pdf
- Viera, P., Monzó, J., Caiza, P., Pulles, L. & Segura, M. (2018). Tipología de la vivienda en zonas andinas rurales del Ecuador por medio de la fotografía aérea. Artículos del Congreso REDU VI 2019, Quito, Ecuador, pp. 508.518. Recuperado el 4 de febrero del 2021 de https://issuu.com/utnuniversity/docs/ebook_libro_congreso_redu_-_2018
- Viera, P., Rivera, J., Coox, O. & Monzó, J. (2021). Conductividad térmica de fardos de paja y otros materiales usados para realizar mampostería en Ecuador por el método de la aguja térmica. *RIOC*, 11(1), 7-13. Recuperado el 23 de septiembre del 2021 de <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/2546>

Capítulo 3

Propiedades de los fardos de paja para la construcción

3.1. CONSIDERACIONES.

La industria de la construcción es un sector muy importante para muchos países, ya que marca el nivel de desarrollo económico (Murtazona & Aliyev, 2021), pero también, es una de las industrias que más contamina al ambiente como afirma el informe “Hacia un sector de edificios y construcción con cero emisiones, eficiente y resiliente” elaborado por la Agencia Internacional de Energía (AIE) y ONU Medio Ambiente. Según datos de este documento, la construcción es responsable del 38% de las emisiones totales de CO₂ por procesos constructivos y producción de materiales (ONU, 2020). Esto se debe en gran medida a que los componentes tradicionales usados en obra, tales como la madera, el hormigón y el acero deben ser extraídos u obtenidos de uno o varios sitios, para ser transportados a su lugar de procesamiento y una vez listos se los traslada al emplazamiento de la obra, lo que determina que tengan gran cantidad de energía incorporada (Jenkins Swan et al., 2011).

Actualmente en Ecuador, el sector de la construcción aporta con aproximadamente 116 901 empleos para mano de obra calificada y no calificada, generando \$4 937.37 millones de dólares americanos de valor agregado bruto, lo que representa el 7.53% del PIB total del país (Corporación Financiera Nacional (CFN), 2021). Dado que existe una relación de causalidad entre el PIB y las emisiones de CO₂ (Arroyo & Miguel, 2019), se puede intuir

que, en nuestro país, la edificación también es generadora de contaminación ambiental. Si sectores como el transporte o la industria mantienen una tendencia a consumir más energía de origen fósil, para el año 2030, en el Ecuador las emisiones llegarían a 46.54 (MtCO₂) (Arroyo & Miguel, 2019)

El material más utilizado para estructuras, es el hormigón, que predomina en el 86% de las edificaciones de Ecuador (Ramos & Quijia, 2021). Para elaborar hormigón se requiere un conglomerante capaz de unir los demás elementos que forman parte de este, siendo el cemento el más utilizado para esta función, ya que fragua en un período relativamente corto, en comparación a la cal, y por lo tanto aporta resistencia mecánica en menor tiempo. Sin embargo, la producción de cemento es responsable del 8% de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) en el mundo (Rodgers Lucy, 2018).

Una alternativa a la construcción con hormigón es la utilización de fardos de paja, barro, guadua y cal [Imagen 3.1](#). Al ser la paja un desecho de la cosecha de cereales y la tierra de fácil accesibilidad y disposición, posee considerablemente menor energía incorporada que los materiales anteriormente mencionados; además, es energéticamente más eficiente ya que posee mayor resistencia térmica y por ende es mejor aislante ante las variaciones de temperatura (Ponce, 2017).

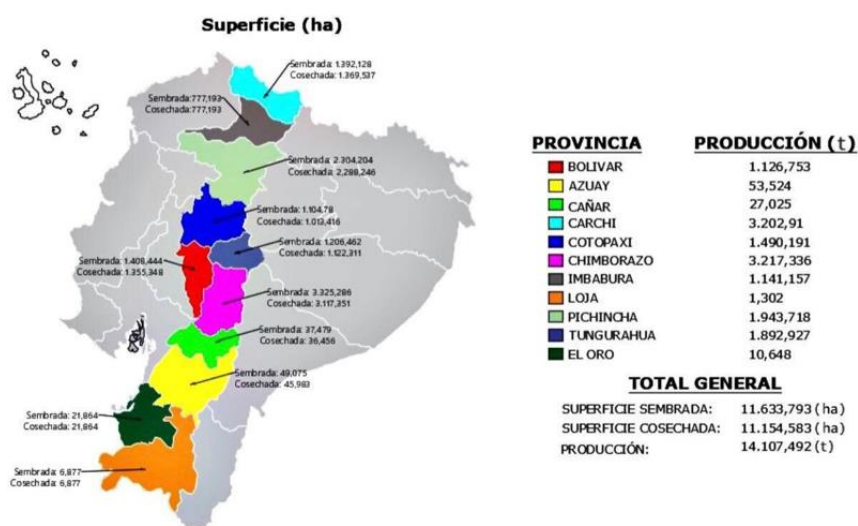
Los tipos de paja permitidos a usarse en construcción son: paja de trigo, paja de arroz, paja de centeno, paja de cebada y paja de avena. Si se dispone de otro tipo de paja, esta será aceptable siempre y cuando el fiscalizador (funcionario) de la obra lo apruebe (Inciso AS103.8 del código CEBC).

Así también, las pruebas sísmicas demuestran que las estructuras elaboradas con fardos de paja son dúctiles y absorben energía, lo que les da características sismorresistentes, convirtiéndolas en una gran alternativa ante la construcción con materiales como el hormigón y acero en lugares de alta peligrosidad sísmica (Bruce, 2003) (Donovan et al., 2009) (Romans Irene, 2014).



Imagen 3.1. “Materiales para elaborar una vivienda de fardos de paja (Riobamba-Ecuador, 2020)”

Se entiende por paja al tallo de un cereal, es decir a la estructura vegetal ubicada entre la raíz y la espiga. (Rikki Nitzkin Maren Termens, 2010). En el mundo, el trigo es el segundo cereal más cultivado, mientras que en Ecuador se posiciona como el cuarto; y es cosechado entre los 2 000 a 3 000 metros de altitud. Las provincias que más lo producen son Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Bolívar [Imagen 3.2](#) (Ponce, 2017).



Fuente: Datos obtenidos de Tabulados ESPAC 2020

Imagen 3.2. “Mapa de producción de trigo en el Ecuador elaborado con datos recopilados por la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2020”

En el presente capítulo se expondrán los métodos que se utilizaron para la determinación de las características físicas de fardos de paja de trigo obtenidos en Pichincha e Imbabura, también se abordará la determinación de las características mecánicas y su conductividad térmica.

3.2. MÉTODOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FARDOS OBTENIDOS DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA E IMBABURA-ECUADOR: DENSIDAD Y CONTENIDO DE HUMEDAD, DE ACUERDO CON EL “CALIFORNIA RESIDENTIAL CODE, APPENDIX S”.

Debido a la crisis ambiental mundial (Chomsky & Pollin, 2020), la sostenibilidad y sustentabilidad se está implementando en varias industrias y el sector de la construcción no es la excepción (Sarria & Lopez, 2012). En muchos países alrededor del mundo se está popularizando la construcción con paja, [Imagen 3.3](#), por ello actualmente existen algunas normas y códigos que la regulan. (Carro & Souto, 2007 actualizar).



Imagen 3.3. Izquierda “Fardos de Paja Zuleta- Ecuador (2020)” Derecha “Fardos de Robamba Zuleta- Ecuador (2019)”

Para tener una referencia normativa de cómo se debe proceder para caracterizar fardos de paja con propósitos constructivos, se realizó una investigación bibliográfica encontrando que entre los países que poseen códigos específicos sobre construcción con paja dentro de

sus respectivas normas técnicas, se tiene a Francia, Estados Unidos, Bielorrusia, Australia y Alemania (Romans Irene, 2014). En los Países Bajos y Sudáfrica, el método de construcción puede utilizarse bajo el diseño y supervisión de un ingeniero guiado por el código de construcción local (Jenkins Swan et al., 2011).

En California el código de construcción (CEBC), sirve para regular la edificación, ampliación, alteración, reparación, mudanza, remoción, demolición, conversión, uso ocupacional, altura máxima, área y mantenimiento de todos los edificios y/o estructuras en California. En el Apéndice S se considera la construcción con fardos de paja. Para este trabajo se decidió tomar como referencia este apartado, ya que California es una zona sísmica (Jones & Benthien, 2007), tal como lo es Ecuador (MIDUVI, 2015).

El código estadounidense “California Residential Code, appendix S”, establece parámetros físicos mínimos necesarios para considerar apto a un fardo de paja previsto a ser usado en construcción. A continuación, se presenta un resumen de los requisitos establecidos en esta normativa en la [Imagen 3.4](#).

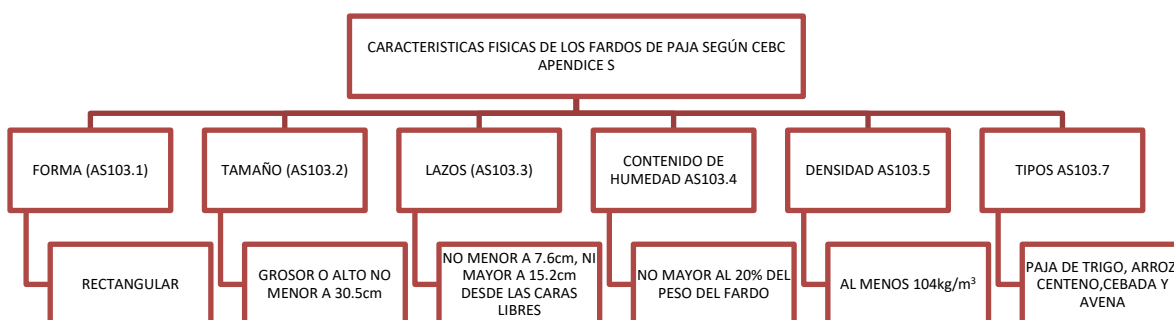


Imagen 3.4. Resumen de Características físicas que deben cumplir los fardos de paja para ser considerados aptos para la construcción, según el Código de California-apéndice S (2016)

3.2.1. Muestra

Para determinar las características físicas de los fardos producidos en Ecuador, se visitaron tres zonas de producción de cereales durante la época de cosecha. En Pichincha, la localidad Calacalí y Machachi y en Imbabura, la localidad Zuleta. En estos sitios se recogieron los fardos directamente de los terrenos en donde se hizo la cosecha.

Se caracterizó una muestra de al menos 10 fardos en cada sitio, como lo establece el Código CEBC inciso AS103.4 y Rikki Nitzkin Y Maren Termens en su libro “Casas de paja, una guía para auto constructores” (Rikki Nitzkin Maren Termens, 2010).

A continuación, en la [Tabla 3.1](#), se muestra el número de fardos de los cuales se obtuvo datos de forma, dimensiones, contenido de humedad y densidad.

Tabla 3.1. Tamaño de la Muestra

Lugar	Tamaño de la muestra
Machachi	69
Calacalí	56
Zuleta	10
TOTAL	135

Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Forma.

El inciso AS103.1 del mencionado código, especifica que las balas o fardos de paja deben tener forma rectangular. Al analizar los fardos de la muestra se apreció que todos poseen la forma especificada como se aprecia en la [Imagen 3.5. a y b](#)

a)



b)



Imagen 3.5. “Elaboración de fardos de paja”

Es importante señalar que la forma final que obtiene el fardo depende mayormente de la forma que posee la caja de la máquina enfardadora. Cuando la cosechadora recoge las espigas del trigo, deja tendidas en el campo hileras de paja. [Imagen 3.6. a y b](#). Luego una enfardadora, que se acopla a un tractor, [Imagen 3.6.c](#), levanta la paja a través de dedos metálicos conectados a un cilindro recogedor [Imagen 3.6.d](#) para hacerla pasar a un canal, en donde, mediante un pistón, se la comprime y luego mediante un sistema, se ata la paja, con 2 o 3 hilos, formando los fardos (INTA, 2013).



Imagen 3.6. a. “Cosecha de trigo” b. “Tendido de paja después de la cosecha” c. “Máquina enfardadora” d. “Cilindro recogedor de paja”

3.2.3. *Tamaño.*

En el inciso AS103.2 se especifica que los tamaños de los fardos de paja deben garantizar la continuidad de la pared, como se muestra en la [Imagen 3.7](#), a fin de que la distribución de cargas sea uniforme. También se especifica que los fardos no deben tener ni una altura ni un grosor menor a 30.5 cm ([Tabla 3.2](#), [3.3](#), [3.4](#))



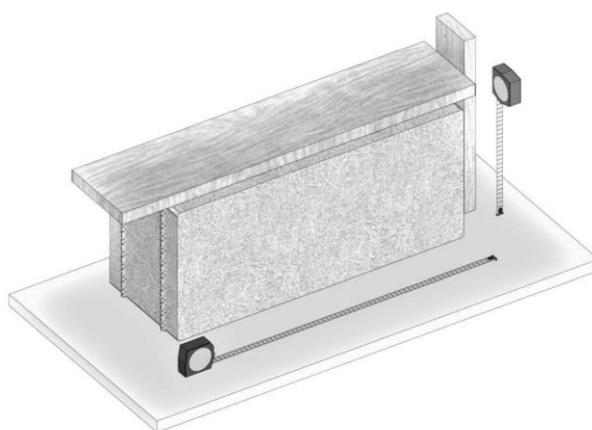
Imagen 3.7. “Pared de fardos de paja”

La maquinaria existente en Ecuador ([Imagen 3.8](#)) permite obtener fardos de paja de longitud regulable (generalmente de entre 0.75 y 1.80 m), mientras que el ancho y alto son invariables, siendo las dimensiones fijas de 30 x 45 cm o 35 x 45 cm dependiendo de la marca de la maquinaria.



Imagen 3.8. “Caja de enfardadora”

El dimensionamiento de los fardos de paja ([Imagen 3.9](#)) suele ser complicado debido a la superficie irregular que poseen. Por ello el procedimiento correcto para la toma de mediciones del fardo consiste en colocar en sus caras superficies planas, por ejemplo, tabloncillos que nos brinden una superficie firme y regular desde la cual se colocará el flexómetro como se aprecia en las [Imágenes 3.10. a, b y c](#)



Fuente: Viera, P. (2022)

Imagen 3.9. “Esquema representativo del dimensionamiento del fardo de paja”

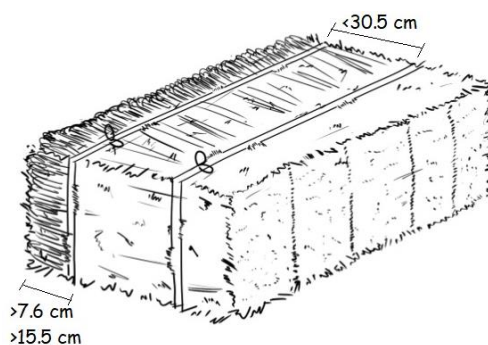


Fuente: Viera, P. (2022)

Imagen 3.10. a. “Dimensionamiento del ancho del fardo” b. “Dimensionamiento del largo del fardo” c. “Dimensionamiento del alto del fardo”

Al medir el ancho y largo de los fardos de paja obtenidos de Machachi, Calacalí (Pichincha) y Zuleta (Ibabura) se concluyó que los 135 fardos cumplían con la dimensión mínima ([Imagen 3.11](#)) establecida en el código CEBC. ([Tabla 3.2](#), [3.3](#), [3.4](#))

3.2.4. *Ataduras o Lazos.*

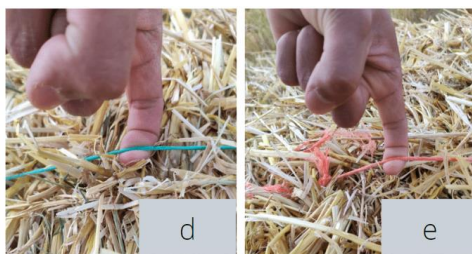


Fuente: Viera, P. (2022)

Imagen 3.11. “Dimensiones mínimas para ataduras”

En el Apéndice AS103.3 se menciona que las ataduras de los fardos de paja pueden elaborarse con fibras sintéticas, fibras naturales o bridas metálicas siempre que estas mantengan la suficiente tensión que garantice la correcta densidad del fardo. En cuanto a la separación máxima desde las caras libres (sin lazos) hasta las bridas, no debe ser mayor a 15.2 cm pero tampoco debe ser inferior a 7.6 cm. La distancia máxima entre lazos siempre debe ser menor a 30.5 cm, esto se puede apreciar en las [Imágenes 3.12.a, b y c](#)





Fuente: Viera, P. (2022)

Imagen 3.12. a. “Dimensionamiento del filo del fardo a la primera cuerda” b. “Dimensionamiento entre cuerdas” c. “Dimensionamiento desde la segunda cuerda al filo del fardo” d. “Tensión de la cuerda 1 del fardo” e. “Tensión de la cuerda 2 del fardo”

3.2.5. *Contenido de Humedad.*



Imagen 3.13. “Toma de la humedad de fardos”

La paja es un material higroscópico, es decir que absorberá el vapor de agua del aire y el agua líquida cuando se exponga a una fuente; por lo que, la exposición prolongada a condiciones excesivamente húmedas puede causar degradación en el material y crecimiento de moho (Walker et al., 2019). El código de California en el apéndice S, Sección AS103.4, establece que el contenido de humedad no debe ser mayor al 20% del peso del fardo; sin embargo, varios autores recomiendan que este contenido de humedad no exceda el 15% (Viera et al., 2021)(Resa, 2014).



Imagen 3.14. “Medidor Delmhorst”

En esta investigación, se determinó el contenido de humedad de los fardos en campo ([Imagen 3.13](#)), mediante un medidor diseñado para paja o heno embalado ([Imagen 3.14](#)), equipado con una sonda de dimensión suficiente para que alcance el centro del fardo. En este caso se utilizó el medidor F2000 de la casa Delmhorst (Delmhorst, 2011). La normativa CEBC especifica que se medirá la humedad de al menos el 5% del total de la muestra o en su defecto no menos de 10 fardos. En la [Imagen 3.15](#) se detallan los pasos a seguir para la medición de la humedad de los fardos.



Imagen 3.15. “Pasos para la medición de la humedad en fardos de paja”

3.2.6. Densidad.

La Red de Construcción con Paja de España recomienda el uso de fardos con una densidad mínima de 90 kg/m^3 y hasta 120 kg/m^3 para sistemas autoportantes (Termens, 2014) (Blender, M., 2007). Por otro lado, el apéndice AS103.5., indica que los fardos deben tener una densidad seca de al menos 104 kg/m^3 . Se deberá probar al azar al menos el 2% de la muestra. Nunca se probarán menos de 5 fardos (California Building Code, 2018).



Imagen 3.16. “Construcción autoportante de fardos de paja, Otavalo – Ecuador, 2019”

Para conocer la densidad de un fardo in situ se requiere una pesa (en esta investigación se utilizó una báscula digital para equipaje mostrada en la [Imagen 3.17](#)) y un instrumento de medición lineal (flexómetro). Se tomó la masa y las dimensiones de alto, ancho y espesor de cada fardo con el fin de determinar su volumen.



Imagen 3.17. “Medición del peso del fardo de paja”

Según el apéndice AS103.5, la expresión matemática para determinar la densidad seca de los fardos es:

$$\text{Densidad Seca} = \frac{\text{Peso real del fardo (kg)} - \text{peso de la humedad (kg)}}{\text{Volumen del fardo (m}^3\text{)}} \quad \text{Ecuación 3.1.}$$



Imagen 3.18. “Pasos para la medición de la densidad seca”

Si los fardos requiriesen ser modificados en dimensiones, debido a las características arquitectónicas específicas de las edificaciones, estos deben poseer la misma densidad y tensión de ataduras que los originales, según lo estipula la sección A103.3 del “California Residential Code, appendix S”. La [Imagen 3.18](#), detalla los pasos a seguir para la medición de la densidad seca de los fardos.

3.2.7. Resultados

La [Imagen 3.19](#) representa las medidas obtenidas de 135 fardos, cuyos resultados se muestran en las [Tablas 3.2](#), [3.3](#) y [3.4](#)

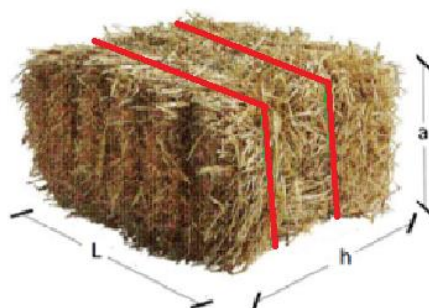


Imagen 3.19. “Esquema representativo de las dimensiones de un fardo”

Tabla 3.2. Caracterización de los fardos obtenidos en Machachi - Pichincha

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
Nº	cm	cm	cm	kg/m ³	kg/m ³	%
1	65	45	33	99.76	87.29	12.50
2	65	45	34	105.86	94.75	10.50
3	64	45	40	102.22	89.54	12.40
4	62	45	38	93.65	82.42	12.00
5	60	48	38	98.48	87.35	11.30
6	58	46	38	94.49	84	11.10
7	62	45	37	114.07	101.63	10.90
8	61	43	40	99.87	88.48	11.40
9	60	43	36	102.61	90.91	11.40
10	60	46	37	93.32	81.47	12.70
11	60	45	37	108.88	96.47	11.40
12	62	46	37	90.78	79.89	12.00
13	63	46	36	97.56	87.03	10.80
14	65	46	34	104.54	88.23	15.60
15	66	43	36	128.93	108.82	15.60
16	60	45	36	104.21	90.55	13.10

**Caracterización de los fardos obtenidos en Machachi – Pichincha (Continuación
tabla página anterior)**

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
Nº	cm	cm	cm	kg/m ³	Nº	cm
17	62	46	35	99.47	86.94	12.60
18	65	46	35	112.04	97.93	12.60
19	62	46	34	110.11	98.11	10.90
20	70	45	36	101.2	87.94	13.10
21	68	46	38	88.57	76.08	14.10
22	63	45	35	101.07	89.65	11.30
23	64	45	38	104.86	91.12	13.10
24	62	45	35	117.52	103.77	11.70
25	70	45	36	91.96	81.94	10.90
26	60	44	34	123.4	105.76	14.30
27	60	45	35	102.43	89.83	12.30
28	64	46	35	92	81.61	11.30
29	62	45	36	108.79	95.41	12.30
30	60	45	34	102.73	90.4	12.00
31	65	45	35	109.66	96.94	11.60
32	60	46	35	98.65	88.3	10.50
33	60	48	37	89.43	78.08	12.70
34	62	47	34	95.18	82.24	13.60
35	62	45	35	106.28	82.37	22.50
36	67	46	35	112.86	95.26	15.60
37	60	44	34	115.62	102.44	11.40
38	63	44	34	108	95.04	12.00
39	58	45	34	127.07	109.92	13.50
40	66	50	37	91.02	78	14.30
41	75	48	37	76.28	67.97	10.90
42	70	50	39	77.43	66.28	14.40

**Caracterización de los fardos obtenidos en Machachi – Pichincha (Continuación
tabla página anterior)**

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
N°	cm	cm	cm	kg/m ³	N°	cm
43	75	48	37	85.47	74.28	13.10
44	64	49	36	93.21	80.54	13.60
45	68	47	35	87.99	69.78	20.70
46	68	47	36	83.18	72.7	12.60
47	73	50	39	70.74	63.03	10.90
48	71	50	38	83.05	72.34	12.90
49	69	47	39	82.13	71.62	12.80
50	71	47	37	81.92	72.09	12.00
51	68	47	37	79.78	69.73	12.60
52	66	49	36	84.54	74.40	12.00
53	70	48	39	75.81	66.41	12.40
54	66	51	39	82.58	71.52	13.40
55	68	48	39	79.46	69.53	12.50
56	60	47	38	87.62	76.58	12.60
57	69	48	40	79.43	69.58	12.40
58	65	47	37	83.07	73.85	11.10
59	67	49	38	75.99	66.34	12.70
60	70	50	37	77.06	67.35	12.60
61	67	47	39	76.82	68.07	11.40
62	62	49	37	87.97	76.09	13.50
63	69	49	41	72.97	63.85	12.50
64	70	50	39	89.72	78.96	12.00
65	70	48	40	91.12	80.19	12.00
66	66	49	40	72.93	64.18	12.00
67	70	49	37	74.34	65.72	11.60
68	65	48	39	77.16	67.67	12.30

Caracterización de los fardos obtenidos en Machachi – Pichincha (Continuación tabla página anterior)

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
Nº	cm	cm	cm	kg/m ³	Nº	cm
69	63	47	39	81.31	70.98	12.70
PROM.	64.97	46.65	36.77	94.21	82.25	12.65

La [Imagen 3.20](#) corresponde a un diagrama de caja y bigotes, en donde se representa visualmente la distribución y asimetría de los valores obtenidos de la densidad seca de los fardos de Machachi. Se aprecia que la densidad más alta es de 109.92 kg/m³ y la más baja es de 63.03 kg/m³. La mayoría de los fardos poseen una densidad que se ubica en un rango de 71.57 kg/m³ a 90.48 kg/m³.

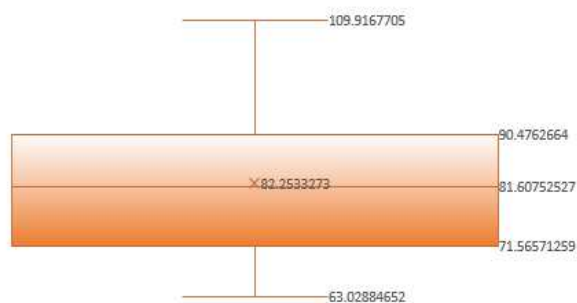


Imagen 3.20. “Diagrama Caja y Bigotes- Densidad seca de fardos caracterizados en Machachi”

Así mismo, en la [Imagen 3.21](#) “Diagrama Caja y Bigotes- contenido de humedad de fardos en Machachi”, se aprecia que la mayoría de los fardos tiene un contenido de humedad entre 10.5% a 15.6%. Sin embargo, también existen fardos con contenidos de humedad atípicos en la muestra llegando hasta 22.50%.

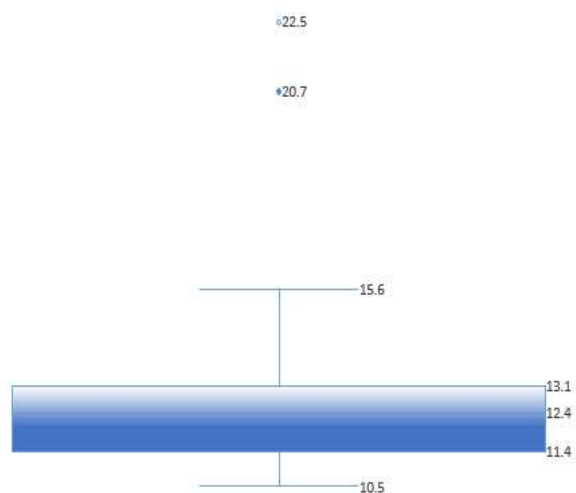


Imagen 3.21. “Diagrama Caja y Bigotes- contenido de humedad de fardos en Machachi”

Tabla 3.3. Caracterización de los fardos obtenidos en Calacalí – Pichincha

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
Nº	cm	cm	cm	kg/m ³	kg/m ³	%
1	65	45	33	70.02	61.27	12.40
2	65	45	34	51.54	46.13	11.10
3	64	45	40	102.22	89.54	13.00
4	64	47	36	92.57	81.46	12.00
5	63	46	37	87.99	78.75	10.50
6	65	46	38	83.04	72.74	12.40
7	65	48	38	85.7	74.56	13.00
8	59	47	35	73.84	64.24	13.00
9	71	46	40	74.65	67.11	10.10
10	61	49	34	90.61	79.10	12.70
11	61	45	35	86.4	76.81	11.10
12	65	46	37	75.85	66.37	12.50
13	65	49	35	84.64	73.8	12.80

Caracterización fardos Calacalí Pichincha (Continuación tabla página anterior)

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
N°	cm	cm	cm	kg/m ³	kg/m ³	%
14	68	48	34	84.20	74.94	11.00
15	61	48	35	90.29	78.56	13.00
16	73	48	39	74.68	65.42	12.40
17	56	46	38	77.38	68.56	11.40
18	64	45	36	85.31	76.61	10.20
19	56	48	32	93.87	82.7	11.90
20	68	48	34	70.71	61.38	13.20
21	65	46	38	76.25	66.72	12.50
22	63	48	37	74.19	65.66	11.50
23	61	49	37	73.83	64.6	12.50
24	66	47	38	72.34	63.3	12.50
25	68	47	38	78.43	69.49	11.40
26	63	45	35	90.06	78.35	13.00
27	61	47	37	85.52	75.26	12.00
28	57	46	38	81.94	73.75	10.00
29	61	48	39	84.21	75.45	10.40
30	60	48	38	91.60	80.15	12.50
31	60	46	34	87.97	77.94	11.40
32	60	44	35	92.78	81.37	12.30
33	62	48	38	76.61	66.88	12.70
34	60	50	37	76.42	66.86	12.50
35	56	46	36	95.38	84.51	11.40
36	62	46	36	83.94	74.62	11.10
37	56	44	36	93.58	81.41	13.00
38	61	44	32	106.15	92.99	12.40
39	55	44	35	108.18	94.01	13.10
40	61	46	34	92.24	81.72	11.40

Caracterización fardos Calacalí – Pichincha (Continuación tabla página anterior)

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
N°	cm	cm	cm	kg/m ³	kg/m ³	%
41	57	45	37	87.46	78.28	10.50
42	61	47	35	85.89	76.01	11.50
43	58	45	36	99.45	88.11	11.40
44	58	44	34	87.82	78.6	10.50
45	58	48	37	74.86	64.83	13.40
46	58	47	38	75.75	65.83	13.10
47	58	47	34	89.07	77.05	13.50
48	60	46	35	77.95	69.45	10.90
49	60	47	38	80.00	68.80	14.00
50	59	50	37	77.71	69.09	11.10
51	63	46	37	77.84	69.74	10.40
52	61	47	37	87.66	77.84	11.20
53	66	47	37	79.83	70.65	11.50
54	61	49	36	77.14	67.04	13.10
55	68	52	36	71.62	61.95	13.50
56	64	51	37	67.98	60.91	10.40
PROM.	61.91	46.82	36.23	83.13	73.2	11.95

La [Imagen 3.22](#). “Diagrama Caja y Bigotes- Densidad seca de fardos caracterizados en Calacalí” refleja que la densidad más alta obtenida de la muestra de 56 fardos de paja obtenidos de Calacalí fue de 94 kg/m³, el valor más bajo fue de 60.91 kg/m³. La mayoría de los fardos poseen una densidad entre 66.76 kg/m³ y 74.18 kg/m³. También existen fardos con densidades de hasta 78.59 kg/m³.

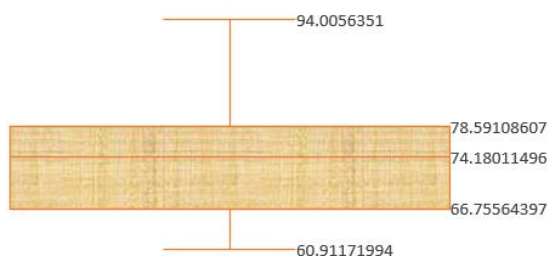


Imagen 3.22. “Diagrama Caja y Bigotes- Densidad seca de fardos caracterizados en Calacalí”

En la [Imagen 3.23](#). “Diagrama Caja y Bigotes- contenido de humedad de fardos en Calacalí” se aprecia que la mayoría de los fardos tiene un contenido de humedad entre 11.10% a 12.95%. Sin embargo, también existen fardos con contenidos de humedad atípicos en la muestra, con valores de 10% y 14%.

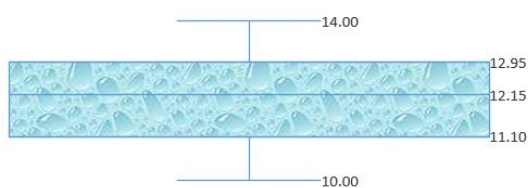


Imagen 3.23. “Diagrama Caja y Bigotes- contenido de humedad de fardos en Calacalí”

Tabla 3.4. Caracterización de los Fardos obtenidos en Zuleta - Pichincha

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
Nº	cm	cm	cm	kg/m ³	kg/m ³	%
1	120	50	33	90.00	71.10	21.00
2	110	45	35	112.00	95.20	15.00
3	114	47	33	102.22	88.93	13.00

Caracterización de Fardos Zuleta – Pichincha (Continuación tabla página anterior)

Fardos	Tamaño			Densidad	Densidad Seca	Humedad
	L	h	a			
N°	cm	cm	cm	kg/m ³	kg/m ³	%
4	118	50	35	92.57	79.85	13.74
5	75	47	36	90.62	72.74	18.00
6	68	46	37	77.76	71.46	15.00
7	68	48	34	65.78	75.52	13.00
8	70	47	36	108.07	84.24	13.87
9	73	47	36	94.72	89.70	10.10
10	71	50	35	90.61	75.20	17.00
PROM.	88.7	47.7	35	92.44	80.40	14.97

La [Imagen 3.24](#) “Diagrama Caja y Bigotes- Densidad seca de fardos caracterizados en Zuleta” se aprecia que la densidad más alta obtenida de la muestra de 10 fardos de paja obtenidos de Zuleta fue de 95.20 kg/m³, el valor más bajo fue de 71.10 kg/m³. La mayoría de los fardos poseen una densidad entre 73.35 kg/m³ y 87.75 kg/m³. También existen fardos con densidades menores a 73.35 kg/m³, llegando en su límite inferior hasta a 71.10 kg/m³.

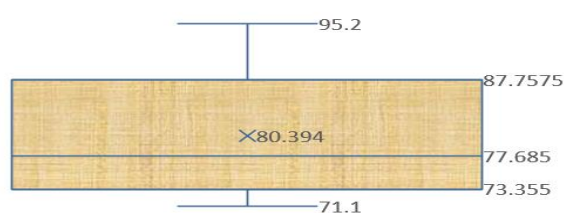


Imagen 3.24. “Diagrama Caja y Bigotes- Densidad seca de fardos caracterizados en Zuleta”

En la [Imagen 3.25](#) “Diagrama Caja y Bigotes- contenido de humedad de fardos en Zuleta” se aprecia que la mayoría de los fardos tiene un contenido de humedad entre 13% y

17.25%. Sin embargo, también existen fardos con contenidos de humedad atípicos de 10.1% y 21%.

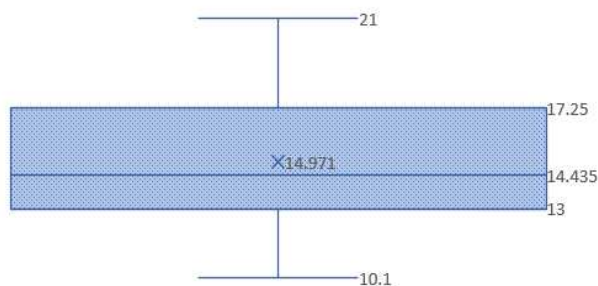


Imagen 3.25. “Diagrama Caja y Bigotes- contenido de humedad de fardos en Zuleta”

En cuanto al contenido de humedad de los fardos ensayados, se obtuvieron los siguientes resultados: el 92.75% de la muestra de Machachi ([Tabla 3.2](#)), el 100% de Calacalí ([Tabla 3.3](#)) y el 50% de Zuleta ([Tabla 3.4](#)), tuvieron un contenido de humedad inferior al 15%. Lo cual concuerda con lo recomendado por el CEBC. Sin embargo, se ha de tener en cuenta que la muestra de Zuleta es considerablemente inferior a la obtenida en Machachi y Calacalí.

En lo que corresponde a la densidad seca de los fardos pesados y medidos en el campo, el 74% de la muestra de Machachi ([Tabla 3.2](#)) no sobrepasó los 90 kg/m^3 de densidad, que es lo mínimo que refieren autores como Nitzkin y Maren ([Rikki Nitzkin Maren Termens, 2010](#)) y el 4.35% de la muestra superó los 104 kg/m^3 . De la muestra de Calacalí ([Tabla 3.3](#)) el 3.57% superó los 90 kg/m^3 y ningún fardo obtuvo una densidad mayor a 104 kg/m^3 . Finalmente, las densidades obtenidas de los fardos de Zuleta ([Tabla 3.4](#)) son en promedio de 80.39%, con el 10% de fardos superando los 90 kg/m^3 . Se hace referencia al valor de los 104 kg/m^3 , porque es el valor que menciona el CEBC, como densidad seca mínima que deben tener los fardos para formar parte de una estructura.

3.3. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE LOS FARDOS DE PAJA PRODUCIDOS EN ECUADOR.

“Las ciudades del mundo ocupan solo el 3% del planeta Tierra, pero representan entre el 60% y el 80% del consumo de energía y el 75% de las emisiones de carbono.” Por ello en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU se plantea el aumento considerable del número de ciudades y asentamientos humanos que adopten el uso eficiente de los recursos (ONU, n.d). La normativa ecuatoriana de construcción NEC11, Capítulo 13 “Eficiencia energética en la construcción”, considera este principio dándole importancia a la reducción del consumo energético en las edificaciones. Para ello esta normativa indica una serie de parámetros de diseño, principalmente arquitectónicos, que deben ser considerados. En el Ecuador, tradicionalmente en el diseño estructural de la gran mayoría de viviendas se prioriza, para el escogimiento de los materiales, sus propiedades mecánicas, pasando por alto otras condiciones, como la capacidad de aislamiento térmico de los mismos (Bustamante, 2018).

En marzo del 2019, en Ecuador se aprobó la “Ley Orgánica de Eficiencia Energética”. En el artículo 13 de esta ley “Eficiencia energética en la construcción”, se indica que el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) en coordinación con el Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN y los Gobiernos Descentralizados GAD’s deben emitir políticas y normativas orientadas a que las edificaciones de uso residencial observen el cumplimiento de metas sectoriales de eficiencia energética. Además, indica que estas normativas serán de obligatorio cumplimiento por parte de diseñadores, constructores, propietarios y usuarios de las edificaciones. (*Ley Orgánica de Eficiencia Energética*, 2019)

Para acatar lo establecido en la mencionada ley, es necesario conocer la conductividad térmica de los materiales utilizados en la construcción local, ya que para mantener estabilidad y confort térmico dentro de las edificaciones es necesario utilizar en la envolvente de la edificación materiales con alta inercia térmica, alta densidad y baja conductividad térmica. (Palomo, 2017).

La conductividad térmica de los materiales es una medida de su capacidad para transferir calor a través de ellos al verse expuestos a gradientes de temperatura, y es independiente al espesor del material (Lira Cortés et al., 2008)

Existen varias metodologías normalizadas para determinar la conductividad térmica, sin embargo, en este trabajo se plantea el uso del método de la aguja térmica, el cual tiene sus lineamientos en la normativa ASTM D5334 “Método estándar de ensayo para la determinación de la conductividad térmica de suelos y rocas suaves por el procedimiento de la sonda de aguja térmica”. Este método se adoptó debido a que no se cuenta con otro equipamiento en el laboratorio de la Universidad Central del Ecuador, ni en otros laboratorios de la ciudad de Quito, para determinar la conductividad térmica de los materiales.

De manera general el método de la aguja térmica consiste en insertar una sonda generadora de calor al medio en estudio y registrar la variación de temperatura de dicho medio. En la [Imagen 3.26](#) se muestra el esquema eléctrico del equipo utilizado para el ensayo, donde se observa que se trata de un dispositivo que capta variaciones de temperatura, las que se transforman en señales digitales por medio de una placa Arduino.

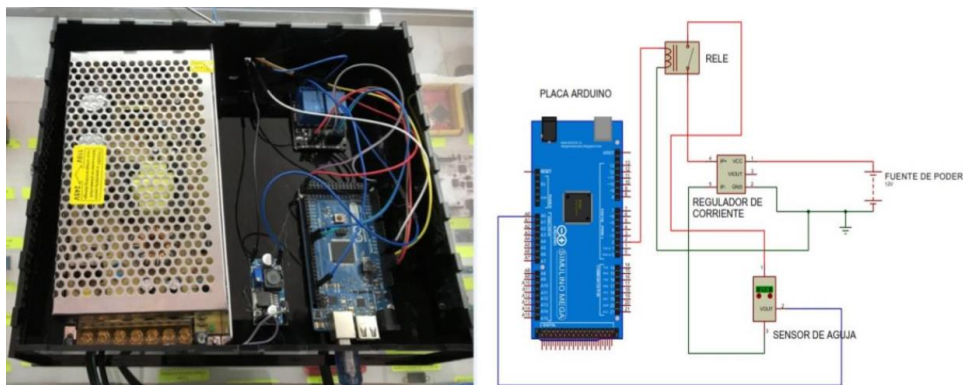


Imagen 3.26. “Aguja térmica”

3.3.1. Metodología

Antes de empezar los ensayos se precisó que las muestras se encontraran en equilibrio térmico con el medio en el que iban a ser ensayadas, por este motivo reposaron durante 24 horas previas al ensayo en el laboratorio, que este presentó una temperatura promedio de 19.64°C y una humedad relativa de 59.91%. Se ensayaron 13 fardos de paja de trigo obtenidos del cantón de Mejía provincia de Pichincha.

El método para determinar la transmitancia térmica fue el de la aguja térmica, cumpliendo la norma ASTM D5334.

En forma general, el método de aguja térmica consiste en una sonda en forma de aguja que tiene una gran relación longitud contra diámetro para simular las condiciones de una fuente de calor de longitud infinita y extremadamente delgada. El diámetro de la aguja es de 1 mm. La aguja debe calentar al medio en estudio y registrar la variación de temperatura del medio.

La aguja se calentó durante 120 segundos: 30 segundos iniciales, que no se toman en cuenta en el registro de datos, por ser el tiempo requerido para que la muestra entre en equilibrio térmico con el ambiente y 90 segundos, en el que se tomaron datos de un promedio de 46 mediciones por muestra.

Partiendo del dato de que la conductividad térmica de la glicerina es de 0.286 w/mK (según norma ASTM), se utilizó para calibrar la aguja térmica una probeta cilíndrica de glicerina anhídrida de 7.20 cm de longitud y 4 cm de diámetro ([Imagen 3.27](#)) y se obtuvo un factor de calibración “C”, conductividad obtenida a esperada, de 0.9698.



Imagen 3.27. “Probeta de Calibración”

Para el caso del fardo de paja la aguja fue simplemente hundida en cada muestra (13 fardos de paja de trigo, de 68.15 kg/m^3 de densidad promedio). Para garantizar el contacto entre la aguja y la paja, y por tanto la transmisión del calor al medio en estudio, se utilizó una grasa térmica (thermal paste/grease) de alta conductividad.

Una vez se ingresa la aguja, se aplica una corriente constante, de tal manera que los cambios de temperatura registrados sean menores a $10 \text{ }^\circ\text{K}$ (grados kelvin) en 1 000 segundos. Se utilizaron 3.20 voltios para el ensayo, este valor se obtuvo relacionando la corriente con el valor del voltaje (ley de Ohm). Las [Imágenes 3.28](#) y [3.29](#) muestran el momento del ensayo de aguja térmica en los fardos de paja.

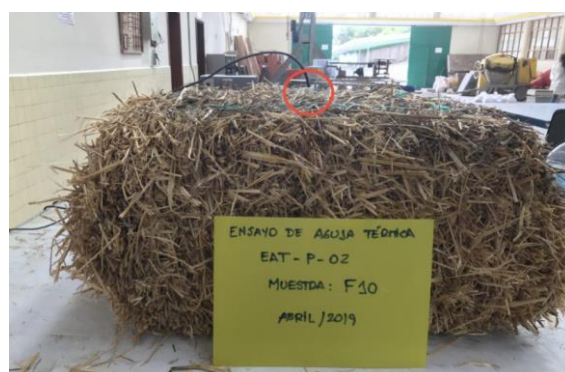


Imagen 3.28. “Ensayo de aguja térmica en fardos de paja”

Para poder hallar el valor de conductividad térmica se requiere elaborar la curva temperatura vs. logaritmo natural del tiempo y obtener la pendiente del mismo (S), posteriormente se relaciona la entrada de calor (Q) y el factor de calibración (C). Obteniendo la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V^2}{R \cdot L} \quad \text{Ecuación 3.2.}$$

$$I = \frac{C \cdot Q}{4 \cdot \pi \cdot S} \quad \text{Ecuación 3.3.}$$

Donde:

Q = Entrada de calor

V = Voltaje

R = Resistencia característica de la aguja (69.90 ohms, proporcionado por el fabricante)

L = Longitud de la aguja (6 cm)

I = Conductividad térmica

C = Factor de calibración

Después de aplicar la fórmula antes mencionada a un total de 13 fardos de paja, se obtuvo una media de 0.045 W/mK, al comparar este resultado con los datos bibliográficos se observa que las variaciones en la conductividad térmica son menores a 0.025 W/mK.



Imagen 3.29. Ensayo de aguja térmica en laboratorios Universidad Central del Ecuador, 2020

A continuación, en la [Tabla 3.5](#), se muestra una comparación de los resultados de conductividad térmica de diferentes autores.

Tabla 3.5. Conductividad térmica de los Fardos

Material	Conductividad Térmica (W/m.K)				
Fardo de Paja	0.045 ¹	0.070 ²	0.0487 ³	0.050 ³	0.067 ⁴

Fuente: ⁽¹⁾(Viera et al., 2018) ⁽²⁾(Costes et al., 2017), ⁽³⁾(Gurskis & Skominas, 2013, p.49) y ⁽⁴⁾(Cuitiño, Esteves, Maldonado, & Rotondaro, 2015, p.3).

Como se aprecia en la tabla anterior, existe variabilidad en cuanto a los resultados. Esto según (Abdou, Budaiwi, 2005, p.171) se debe principalmente a factores como: la densidad, porosidad, contenido de humedad y temperatura media del material ensayado.

3.3.2. Conclusión

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 11, capítulo 13 “Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador” se considera material aislante térmico a aquel cuyo coeficiente de conductividad térmica es inferior a 0.085 kcal/m² °C medido a 20°C (obligatorio) o 0.10 W/mK. También son considerados aislantes todos aquellos materiales con una conductividad térmica menor a 0.05 W/mK (Cox; Rivera; Viera, 2020). Por ende,

y según los resultados mostrados en la [Tabla 3.5](#), el fardo de paja producido en Ecuador podría ser considerado un material aislante.

El hecho de que el fardo de paja producido en Ecuador cumpla con los estándares para ser considerado un aislante térmico, representa un enorme potencial, ya que las paredes que se construyan con este material pueden aislar los ambientes interiores de modo que se disminuyan los gastos por climatización.

A continuación, en el acápite 3.3.3 se muestra la experiencia de la medición del comportamiento térmico de una de las viviendas que se construyeron en Ecuador a partir de esta investigación ([Capítulo 6](#))

3.3.3. *Evaluación Térmica de una vivienda prototipo construida con Muros de Fardos de Paja en San Rafael – Ecuador.*

La crisis energética mundial conlleva la escasez de recursos energéticos y un incremento notable en sus precios, incremento que se traslada a las demás industrias, lo que desemboca en una espiral inflacionista que puede generar una crisis económica. (Puyana,2008)

La crisis energética de 2021 generada tras la pandemia del Covid 19, ha empeorado con el escenario ambiental y geopolítico de 2022. (Puyana,2008). Actualmente el petróleo es la principal fuente de energía (Burgos, J.& García, P.; 2002), produce cerca del 80% de la que se consume mundialmente (Ferrari, 2013), pero también es responsable de 4.5 Mil muertes anuales (Farrow, E. & Myllyvirta, L., 2020).

Actualmente el 40% de la energía total producida en Unión Europea es destinada al funcionamiento adecuado de las edificaciones (Ossio, F., De Herde, A., & Veas, L.,2012). En USA 73% del consumo energético de los hogares es destinado a calefacción, climatización y agua caliente (Ministerio de Energía de Chile, 2019).

En el caso de Ecuador, se espera que para el año 2030, el 35% de las construcciones usen sistemas de climatización activa (Restrepo, H. et al., 2020). Esto implicaría un incremento en el valor de las facturas mensuales de consumo eléctrico.

En el año 2014, 144 456 hogares ecuatorianos no fueron capaces de pagar a tiempo esas facturas, solo el 76% de estas familias pudieron cancelar su deuda 2 o 3 meses después. (Sinailin, P., 2019). En el 2020 la Empresa Eléctrica Quito (empresa pública que brinda el servicio eléctrico a la capital del Ecuador), registró que el 63% de los abonados tuvieron retrasos en el pago del servicio, de más de 90 días (Morocho, 2021).

Por lo expuesto y con el afán de contribuir a la reducción del consumo de electricidad por concepto de climatización, las paredes de las viviendas deberían cumplir también la función de aislante térmico, para atenuar las inclemencias climáticas del exterior y mantener una temperatura agradable en el interior.

Las temperaturas de las provincias de mayor producción de trigo del Ecuador no son estables, por lo que pueden alcanzar un promedio de 17.38 °C en el día y de 7.25 °C en la noche, teniendo una amplitud térmica considerable de 10.13°C. (Rodrigo,2015).

Con estos argumentos es necesario considerar el fardo de paja como material de construcción para viviendas, especialmente en estas zonas. Para comprobar el potencial aislante de los fardos de paja producidos en Ecuador, se monitoreó el comportamiento térmico de la vivienda construida en San Rafael ([Capítulo 6](#)).

A continuación, se muestra la distribución arquitectónica de la vivienda estudiada:

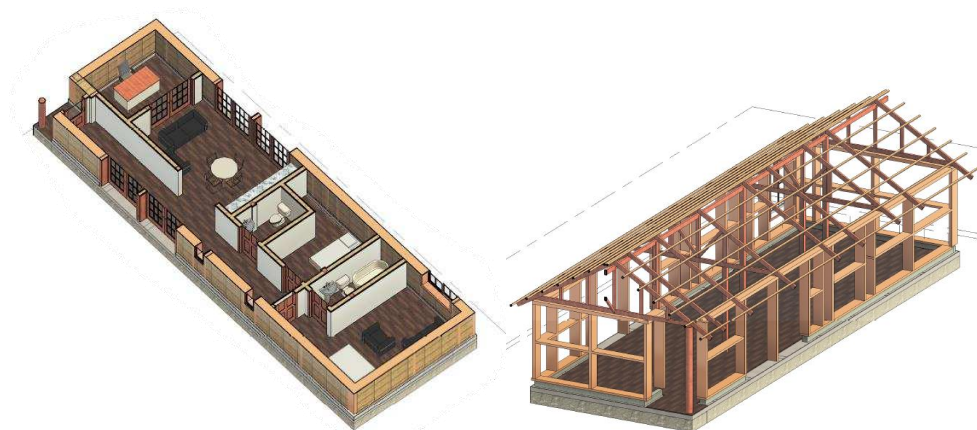




Imagen 3.30. “Materiales para elaborar una vivienda de fardos de paja (Riobamba-Ecuador, 2020)”

Se colocaron 6 sensores de temperatura, con precisión de $\pm 0.21^{\circ}\text{C}$ con capacidad de medición de 0 a 50°C , y 2 sensores de humedad relativa, con precisión de $\pm 3.5\%$. La medición se realizó durante 7 días, desde el 12 de mayo al 19 de mayo del 2021. ([Imagen 3.31](#))



Imagen 3.31. “Materiales para elaborar una vivienda de fardos de paja (Riobamba-Ecuador, 2020)”

Según el método de John Martin Evans, se consideran de los siete días medidos, los tres días con mayor temperatura (pico); con base en los resultados obtenidos en estos tres días se obtiene un promedio de humedad relativa (Schiller, S., Evans, J.,2015). En la [Imagen 3.32](#) se aprecia que la humedad relativa promedio, tanto exterior como interior, permanece en un rango semejante desde las 10:30 de la mañana hasta las 1:30 de la tarde. Durante esas horas los muros reciben radiación solar directa por lo que se cargan energéticamente y emiten calor, evaporándose así el agua superficial suspendida en el aire.

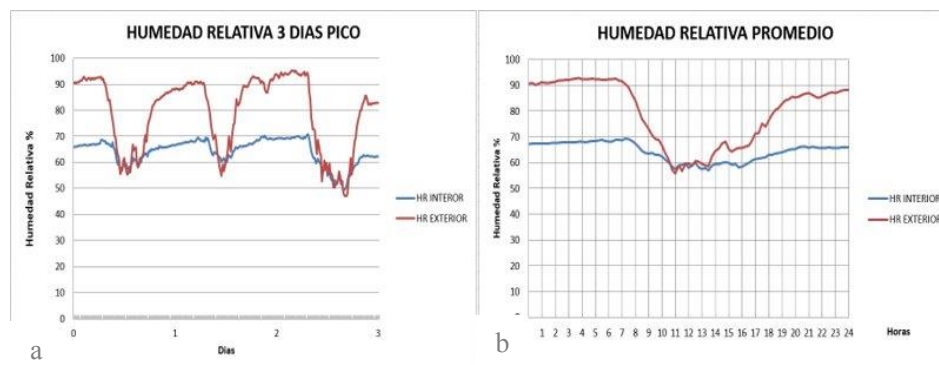


Imagen 3.32. “Humedad relativa 3 días pico” b. “Promedio de humedad relativa de cada hora durante los 3 días pico”

Es importante notar en la [Imagen 3.32.b](#), que el flujo de humedad relativa interna permanece en un rango de 58% a 70%, a diferencia de la humedad relativa externa que fluctúa entre 48% y 97%, esto quiere decir, que la humedad que se encuentra en el interior de la vivienda está regulada en parte por el comportamiento térmico de los muros.

También se observa en [Imagen 3.32.b](#) que la variación de humedad relativa entre ambientes es mínima, ya que el volumen de aire se encuentra intercomunicado a nivel superior, en la cubierta, como se observa en la [Imagen 3.33](#). Esta comunicación hace que la humedad relativa se auto regule.



Imagen 3.33. “Cubierta de la vivienda en estudio”

También se analizó la temperatura por ambiente, y al igual que con la humedad relativa se tomaron los 3 días pico para realizar el promedio por entornos. ([Imagen 3.34](#))

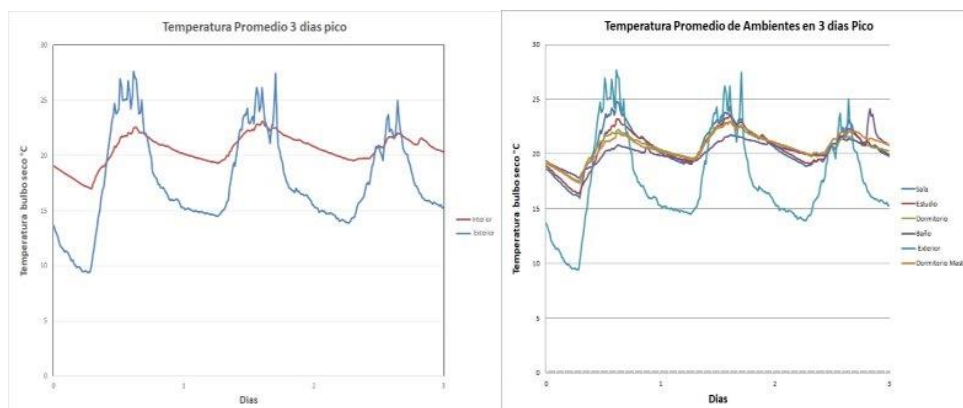


Imagen 3.34. “Temperatura 3 días pico” b. “Promedio Temperatura durante los 3 días pico por ambientes”

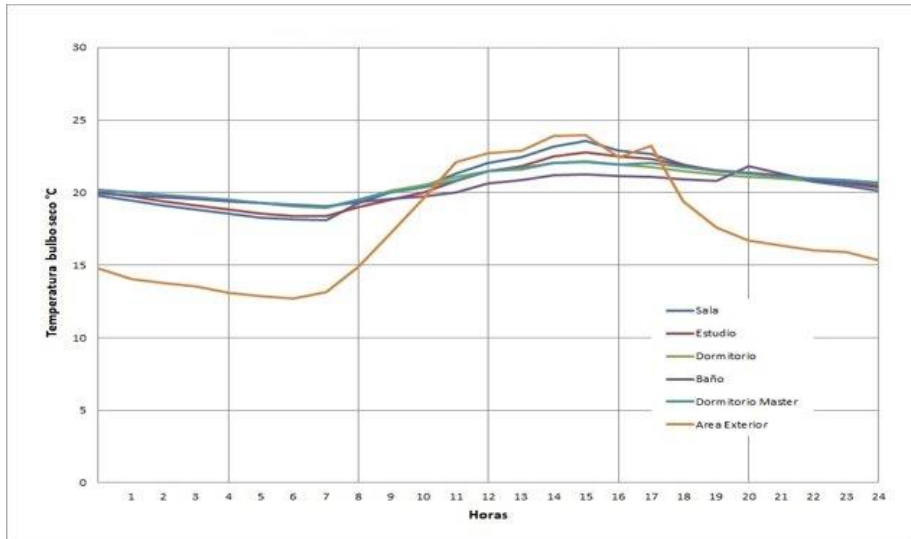


Imagen 3.35. “Promedio temperatura interna de cada hora durante los 3 días pico”

En la [Imagen 3.35](#) se puede observar que existen variaciones de mayor amplitud entre las 12:00 am y las 4:00 pm, donde la sala registra la mayor temperatura, en relación a los demás ambientes, esto se debe a la morfología de la vivienda estudiada, ya que la superficie de cobertura de los muros expuestos a radiación solar es mayor en el área de la sala, permitiendo más carga de temperatura en el ambiente, como muestra en la [Imagen 3.36](#).

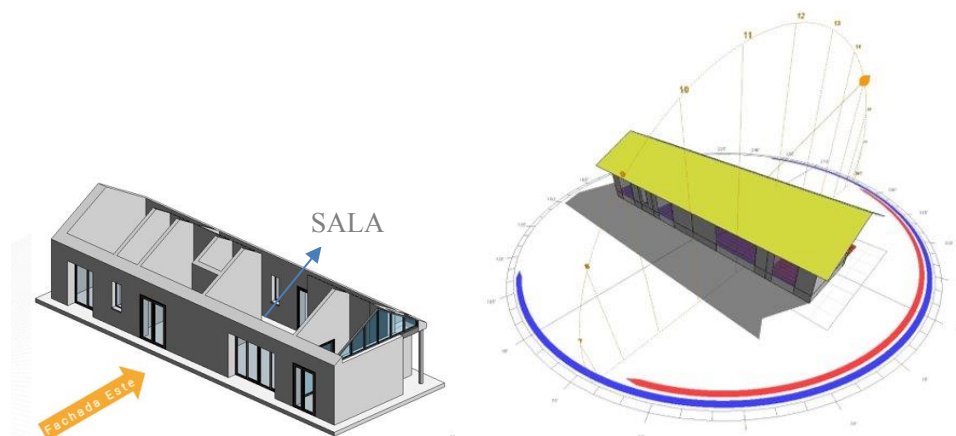




Imagen 3.36. "Orientación de la vivienda estudiada"

Además, para determinar el potencial de la paja como material de construcción, frente a otros tradicionalmente usados en Ecuador, como son: hormigón, ladrillo y tapial se realizaron simulaciones de confort térmico mediante un software especializado (Ecotect Analysis) (ASIDEK, s.f.),

La [Imagen 3.37](#) muestra la comparación entre los resultados experimentales, es decir los resultados obtenidos por medio del sensor de temperatura colocado en la vivienda elaborada con fardos de paja, y las simulaciones.

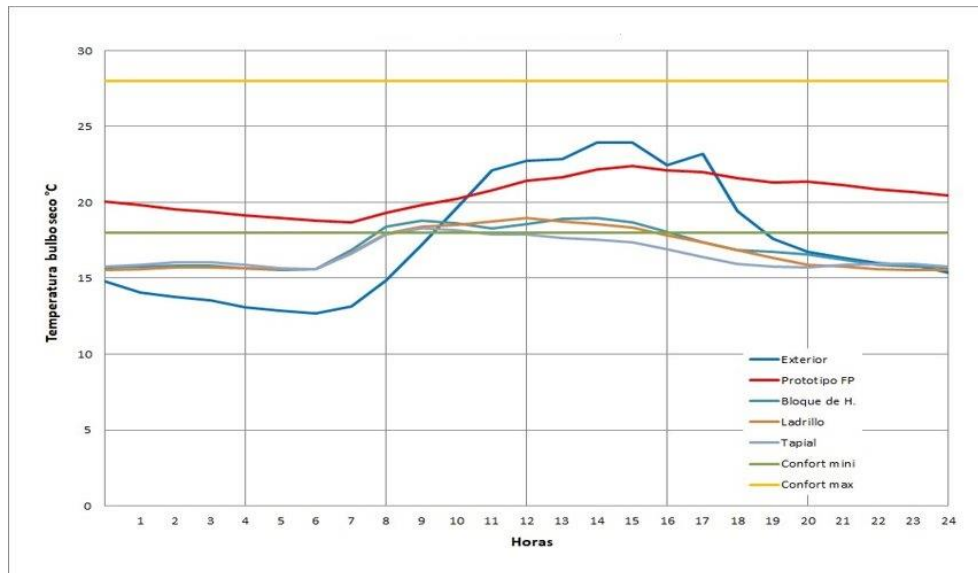


Imagen 3.37. “Temperatura de diferentes materiales y límites de confort térmico”

Como se observa en la [Imagen 3.37](#), la vivienda de fardos de paja se encuentra dentro del rango de confort térmico, que va desde los 20 °C a los 21 °C, durante 24 horas. La vivienda elaborada con bloques de hormigón de 20 cm de espesor se encuentra en el rango de confort térmico desde las 7:30 am hasta las 4:00 pm. Al utilizar el ladrillo como material de simulación, se notó que la vivienda tipo se encuentra en el rango de confort térmico desde las 8:30 am hasta las 3:30 pm. Finalmente, el tapial permitió a la vivienda entrar en el rango de confort térmico desde las 8:00 am hasta las 12 pm.

John Martin Evans, propuso una herramienta de análisis, llamado “Triángulo de Confort” mismo que relaciona las variables de temperatura y amplitud térmica (Arauz, 2010), la cual indica cuántos grados de diferencia hay entre el instante más frío y el momento más cálido del día dentro de la vivienda (Brunet, et al., 1999). Con los datos obtenidos se realizó la [Imagen 3.38](#).

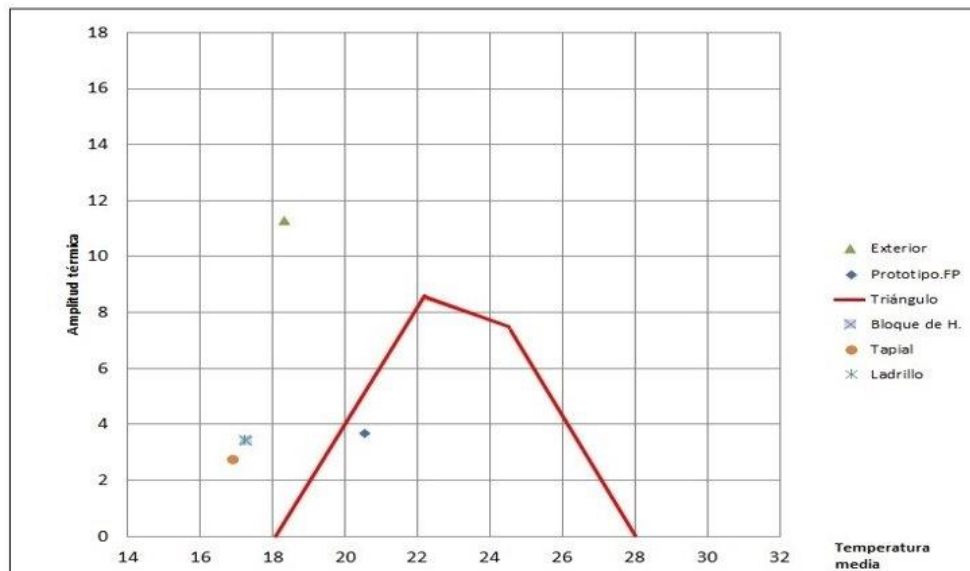


Imagen 3.38. “Triángulo de confort térmico y amplitud térmica de los diferentes materiales simulados”

La [Imagen 3.38](#) indica que las viviendas de fardos de paja son las únicas dentro del triángulo de confort térmico. El bloque de hormigón y el ladrillo se encuentran fuera del triángulo de confort térmico en un rango promedio de 17.50 °C y una amplitud térmica de 3.50 °C y el tapial se encuentra fuera del triángulo de confort a más o menos 17 °C con una amplitud térmica de 2.80 °C.

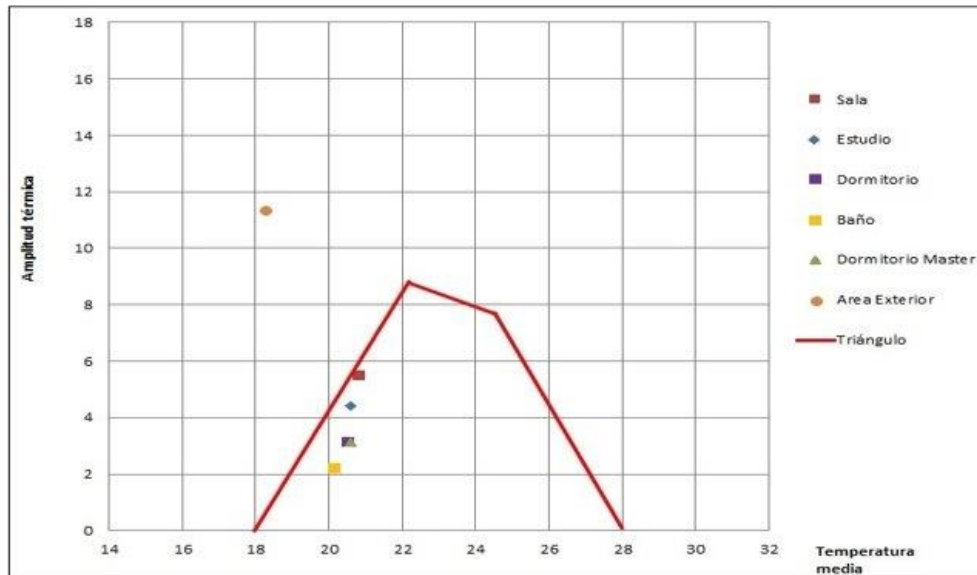


Imagen 3.39. “Triángulo de confort y amplitud térmica de los ambientes internos”

La [Imagen 3.39](#) muestra que todos los ambientes interiores del prototipo se encuentran dentro del área del triángulo de confort para ambientes de actividad pasiva. El área del dormitorio master y dormitorio 1, están dentro del mismo valor de rango de confort de más o menos 20.5 °C. Por otro lado, la sala que presenta un mayor volumen de aire, se encuentra casi al límite

El comportamiento térmico de los ambientes de la casa realizada con fardos de paja se encuentra dentro del triángulo de confort durante las 24 horas del día, esto permite tener una temperatura ambiental saludable.

La morfología de la casa estudiada guarda una relación adecuada con la disposición de aperturas /puertas y ventanas) en la envolvente, para obtener un confort térmico adecuado.

El uso de materiales ecológicos aislantes y termo regulables, además de los sistemas de control térmico ambiental pasivo (aperturas de ventana, puertas, la comunicación de los volúmenes de aire) permiten una construcción energéticamente eficiente.

3.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE LOS FARDOS OBTENIDOS DE LA PRODUCCIÓN DE TRIGO EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA-ECUADOR: CAPACIDAD PORTANTE Y MÓDULO DE ELASTICIDAD, MEDIANTE PRUEBAS DE CARGA Y DESCARGA Y LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE TANGENTE-CUERDA.

El módulo de elasticidad, E , representa la rigidez del material en estudio, es decir, es un indicador de la resistencia que presenta el material ante deformación elástica y se manifiesta como la cantidad de deformación durante su uso por debajo de su límite elástico y también como el grado de recuperación elástica del material (Carvajal & González, 2012). Conocer el módulo de elasticidad de los materiales en estudio es muy importante para realizar un adecuado cálculo estructural, puesto que influye en las deflexiones, derivas y rigidez de una estructura.

Vardy y MacDougall (2005), proponen un esquema de ensayo del fardo de paja revocado, para obtener su módulo de elasticidad. Los autores buscaron que la transmisión de carga se reparta tanto en el revoco como en el fardo, por lo que determinaron el módulo de elasticidad mediante gráficas: “Esfuerzo vs Deformación” ([Imagen 3.40](#)).

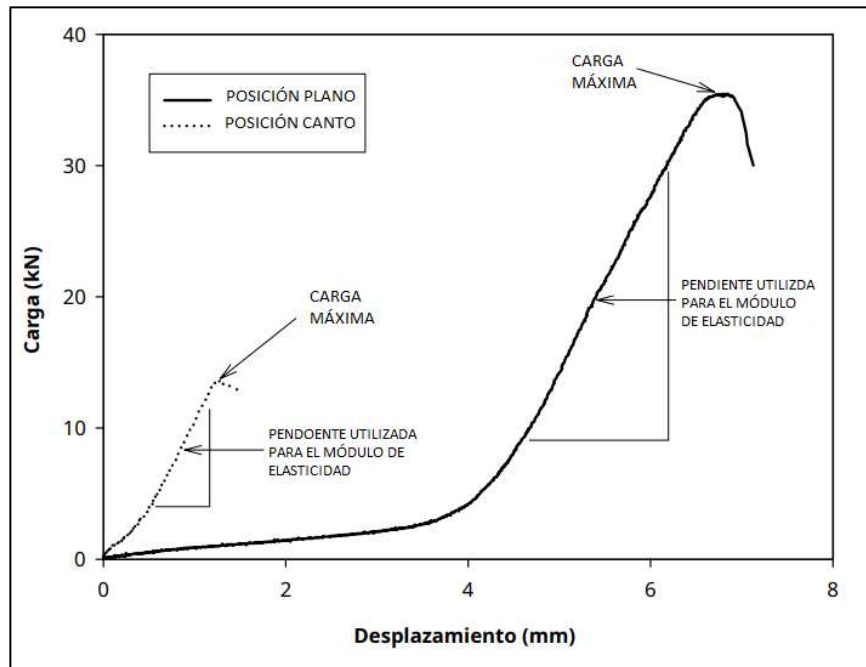


Imagen 3.40. Gráfica Carga vs Desplazamiento

Al crear una línea de tendencia con el promedio de las lecturas de los ensayos, Vardy y MacDougall observaron que la curva se vuelve lineal antes de la rotura ([Imagen 3.40](#)), a partir de esto propusieron que la pendiente de dicha recta representa la rigidez del fardo de paja revocado (m). También, al dividir este valor por el área del fardo revocado (A_f) y multiplicando por el espesor del recubrimiento (r_f) ([Ecuación 3.4.](#)), se obtiene el Módulo de elasticidad

$$E = \frac{m}{A_f} * r_f \quad \text{Ecuación 3.4.}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad

m = Pendiente de la zona lineal en la gráfica “Esfuerzo vs Deformación”

A_f = Área del fardo

r_f = Altura del recubrimiento del fardo

Estos autores también afirman que se obtienen mayor carga de falla cuando los fardos de paja son ensayados en posición de plano.

Por otro lado, Maraldi, Molari, Molari, y Regazzi (2017), concluyen de su estudio “Straw bales for buildings: mechanical behaviour under compression” que el módulo de elasticidad, tanto en posición plano como en canto, es similar y los resultados obtenidos son proporcionales al cuadrado de la densidad de los fardos de paja ($E \propto \rho^2$).

En Ecuador, se ha realizado la caracterización de las propiedades mecánicas de fardos de paja producidos localmente, estudiando al material con y sin revoco. Considerando la orientación del fardo, espesor de revoco y resistencia del mortero (Viera et al., 2020a).



Imagen 3.41. “Revoques en fardos de paja”

El revoco utilizado ([Imagen 3.41](#)) se hizo con cemento hidráulico, cal hidratada, arena graduada y fibras naturales de yute. Este mortero se dosificó para que tenga características estructurales de modo que proporcione rigidez a un muro de fardos de paja y pueda aportar absorbiendo también esfuerzos y cargas aplicadas (Ash et al., 2003). El mortero alcanzó una resistencia final de 14.10 MPa, cumpliendo así con lo mínimo establecido por la normativa estadounidense RB473 (Hammer, 2013) (6.89 MPa) y 8 MPa establecida por Avon y Solé (Avon & Swartchick, 2014) (Solé, 2014)

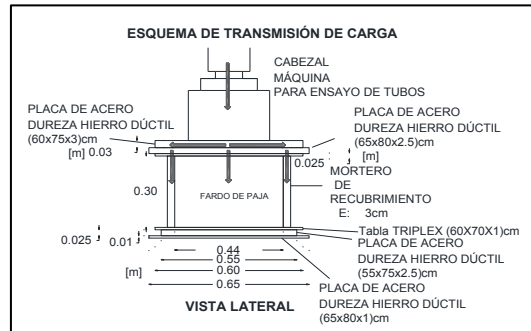


Imagen 3.42. “Esquema de transmisión de carga”(Viera et al., 2020b)

Para la determinación del módulo estático de elasticidad se emplearon 2 deformímetros ubicados a cada lado del fardo de paja revocado, como se aprecia en la [Imagen 3.42](#) y [3.43](#). Sin embargo, se obtuvieron deformaciones distintas en la cara delantera y opuesta, como consecuencia se generaron 2 diagramas “Esfuerzo vs Deformación”.

También es importante mencionar que se realizaron ensayos con 3 y 4 cm de revoco, a fin de determinar la incidencia del espesor de éste en la resistencia del conjunto fardo - revoco.



(Viera et al., 2020b)

Imagen 3.43. “Compresión en fardos, laboratorio de materiales UCE”

Posteriormente con el método de la tangente cuerda (ecuación 3.5) se encontró el módulo elástico. Se utilizó dicho método debido a que considera el mayor número de variables en comparación a otros, también maneja la deformación longitudinal de 5 millonésimos MPa, que es el valor más real para obtener el módulo de elasticidad. (Viera et al., 2020b)

$$E = \tan\left(\frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\varepsilon_2 - 0.00005}\right) [MPa] \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

Donde:

E = módulo de elasticidad [MPa].

σ_2 = esfuerzo correspondiente al 40% de la carga de rotura.

σ_1 = esfuerzo correspondiente a una deformación longitudinal ε_1 de 5 millonésimos [MPa].

ε_2 = deformación longitudinal producida por el esfuerzo σ_2 .



Imagen 3.44. “Fardo de Paja revocado tras ensayo de compresión”

A continuación, en la [Tabla 3.44](#), se presentan de manera resumida los resultados del estudio “Determination of the characteristics of the wheat straw bale, as an agro-industrial waste for use as a construction material” (Viera et al., 2020), donde se determina las

dimensiones y pesos de los fardos de paja revocados. Es decir, cada fardo con su recubrimiento en dos caras opuestas es tratado como una unidad ([Imagen 3.44](#)).

Tabla 3.6. Módulo de Elasticidad de los Fardos de Paja Revocados

POSICIÓN	N	DIMENSIONES			ESPESOR [cm]	ESFUERZO A COMPRESIÓN [MPa]	M.E [MPa]	DENSI DAD [kg/m ³]
		L (cm)	A (cm)	H mortero (cm)				
PLANO	1	60	48	34.00	3	0.44	12.43	186.89
	2	60	50	34.00	4	0.52	13.21	196.57
	3	62	50	35.00	4	0.38	13.41	198.62
	4	60	46	32.00	3	0.41	12.61	208.90
	5	62	48	35.50	3	0.45	14.17	216.28
	6	72	48	35.00	3	0.44	15.09	221.15
	7	62	50	35.00	4	0.46	13.58	200.46
	8	64	50	33.00	4	0.43	14.10	222.06
	9	62	48	34.00	4	0.6	13.99	218.91
	10	61	50	33.00	3	0.4	12.4	180.83
CANTO	11	63	38	45.00	4	0.38	17.47	297.51
	12	63	38	50.00	4	0.4	16.83	265.25
	13	60	38	47.50	4	0.58	15.53	262.70
	14	62	38	47.00	3	0.4	15.9	255.57
	15	62	40	46.00	4	0.38	15.14	242.37
	16	61	40	45.00	4	0.39	16.53	264.34
	17	62	38	47.50	3	0.36	13.12	212.22
	18	62	38	47.50	3	0.37	13.21	220.71
	19	62	38	47.00	3	0.42	15.66	248.80
	20	62	38	47.50	3	0.31	11.63	179.16

Fuente: Aguirre (2021)

Es importante mencionar que los resultados de ese estudio fueron limitados por el modo de aplicación de la carga del cabezal en la máquina universal. El funcionamiento no fue equilibrado y nivelado, lo que provocó que la carga se aplique primero en el lado derecho

del fardo ([Imagen 3.45](#)), activando su deformímetro antes que el deformímetro ubicado en el lado izquierdo. Por esta razón, para poder validar los resultados, se obtuvo un módulo de elasticidad para el lado derecho y luego para el lado izquierdo del fardo. Luego se hizo un promedio representativo (M.E) de todo el elemento ([Tabla 3.6](#)).



Imagen 3.45. “Deformaciones distintas en cara posterior y delantera del fardo”

De los datos mostrados en la [Tabla 3.6](#), se puede inferir que la densidad del fardo revocado, como unidad, es directamente proporcional a su módulo de elasticidad ($E \propto D$). Debido a que los fardos en posición canto, requirieron mayor cantidad de revoco, poseen densidades más altas, por ello poseen mayor módulo de elasticidad. También se comprobó que a mayor espesor de revoque el mampuesto presentará mayor resistencia a la compresión. Debido al área de aplicación de la carga, los fardos en posición plano alcanzaron resistencias más altas con respecto a los fardos en posición canto, lo que hace nos permite confirmar la utilización de fardos en posición plano para sistemas autoportantes.

Así mismo, [Maraldi et al. \(2017\)](#) obtuvieron que el módulo de elasticidad para fardos de trigo en posición plano es 26.25 veces su densidad al cuadrado. Aplicando esta expresión y utilizando los datos de densidad de los fardos de trigo producidos en Ecuador ([Tabla 3.2](#), [3.3](#), [3.4](#)) se obtienen los módulos de elasticidad que se muestran en la [Tabla 3.7](#).

Tabla 3.7. Módulo de Elasticidad de los Fardos Revocados y no Revocados.

LUGAR	DENSIDAD	MODULO ELASTICIDAD (sin revoco)	MODULO ELASTICIDAD (con revoco) MPa	
	kg/m ³	MPa	Plano	Canto
Machachi	94.21	0.23	13.50	15.10
Calacalí	83.13	0.18		
Zuleta	92.44	0.24		

Fuente: Elaboración propia

3.5. Conclusión:

De forma general se puede concluir que los fardos de paja producidos en Ecuador tienen características físicas, acordes con el California Residential Code, appendix S (CEBC). El promedio de densidad seca obtenido es muy próximo a 90 kg/m³, que es el mínimo requerido por varios autores, aunque es 13.46% menor de lo recomendado por el citado código.

Se determinó el módulo de elasticidad de los fardos estudiados, con y sin revoco, lo que permitiría a cualquier diseñador modelar una estructura realizada con fardos de paja en un software de diseño estructural y así verificar, el comportamiento de la edificación ante la acción de cargas de servicio y cargas sísmicas. De esta forma se determinaría si es necesario el uso de refuerzo adicional, como podrían ser revocos realizados con fibras [\(Tabla 3.7\)](#).

Luego de hallar la conductividad térmica de los fardos, se determinó que cumplen con los requerimientos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para material aislante. Esto beneficia la construcción energéticamente eficiente, ya los muros de fardos de paja mantienen por más tiempo el calor generado dentro de la edificación. Esto minimizaría la necesidad de utilizar calefacción activa, en zonas frías del país como lo es la sierra ecuatoriana, para mantener una temperatura de confort térmico en el interior de las viviendas.

3.6. Referencias Bibliográficas

- Abdou, A. & Budaiwi, I., (2005). Comparison of Thermal Conductivity Measurements of Building Insulation Materials under Various Operating Temperatures. *Journal of Building Physics - J BUILD PHYS.* 29. 171-184. 10.1177/1744259105056291.
- Arauzo Franco, M. (2010). Adecuación de los triángulos de confort, para las condiciones climatológicas dominantes en la República Mexicana (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Recuperado el 27 de septiembre del 2021 de <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/5541>
- Arroyo, F. R., & Miguel, L. J. (2019). Análisis de la variación de las emisiones de CO₂ y posibles escenarios al 2030 en Ecuador Analysis of the variation of CO₂ emissions and possible scenarios to 2030 in Ecuador. *Espacios*, 40, 5–23. Recuperado el 2 de julio del 2021 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/18142/1/2019%20ANALISIS%20DE%20LA%20VARIACION%20DE%20LAS%20EMISIONES%20DE%20CO2%20POSIBLES%20ESCENARIOS%202030%20EN%20ECUADOR.pdf>
- Ash, C., Aschheim, M., & Mar, D. (2003). IN-PLANE CYCLIC TESTS OF PLASTERED STRAW BALE WALL ASSEMBLIES. Recuperado el 7 de agosto del 2021 de http://www.ecobuildnetwork.org/images/straw_bale_papers/In_Plane_Cyclic_Tests_of_Plastered_Straw_Bale_Wall_Assemblies_Ash_Aschheim_Mar_2003_Large.pdf
- ASIDEK. (s.f.) Autodesk Ecotect Analysis. Recuperado el 22 de septiembre del 2021 de <https://www.asidek.es/arquitectura-e-ingenieria/autodesk-ecotect-analysis/>
- Avon, B., & Swartchick, B. (2014). Scholar Commons Straw bale seismic design capacities 2. Recuperado el 12 de agosto del 2021 de https://scholarcommons.scu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1037&context=ceng_senior
- Blender, M. (2007). Construir en Chile, con fardos de paja. Recuperado el 17 de julio del 2021 de <http://www.mariablender.com/Construirconfardosdepaja.pdf>

- Bruce, K. (2003). Load-bearing straw bale structures-a summary of testing and experience to date LOAD-BEARING STRAW BALE CONSTRUCTION Load-bearing straw bale structures-a summary of testing and experience to date 2. Recuperado el 3 de julio del 2021 de https://www.ecobuildnetwork.org/images/straw_bale_papers/Load-Bearing_SB_Construction_King_2003.pdf
- Brunet, M., Aguilar, E., Saladié, Ó., Sigró, J., & López, D. (1999). Variaciones y tendencias contemporáneas de la temperatura máxima, mínima y amplitud térmica diaria en el NE de España. Recuperado el 5 de agosto del 2021 de http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0010_PU-SA-I-99-M_BRUNET.pdf
- Burgos, J.& García,P., (2002). EL PETRÓLEO EL RECORRIDO DE LA ENERGÍA (1.a ed., Vol. 1). Recuperado el 2 de septiembre del 2021 de <https://www.fenercom.com/wp-content/uploads/2019/05/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>
- Bustamante, M. (2018). Análisis del desempeño energético del Adobe como material de construcción de viviendas en el Ecuador. Recuperado el 8 de agosto del 2021 de <https://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/2764/2/TESIS%20MARIO%20BUSTAMANTE%20.pdf>
- California Building Code. (2018). Appendix S: Strawbale Construction, California Residential Code 2019 | UpCodes. Recuperado el 9 de julio del 2021 de <https://up.codes/viewer/california/irc-2018/chapter/S/strawbale-construction#S>
- Carro, F., & Souto, V. (2007). ESCUELA UNIVERSITARIA DE ARQUITECTURA TÉCNICA DE A CORUÑA Departamento de Construcciones Arquitectónicas PROYECTO FIN DE CARRERA CONSTRUCCIÓN CON BALAS DE PAJA. Estudio de las propiedades de la paja embalada y su utilización como material de construcción. Recuperado el 5 de septiembre del 2021 de https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24450/CarroCastro_FranciscoJavier_TFC_2007.pdf

- Carvajal, M. Gonzales, E.(2012). comparación de los módulos de elasticidad del concreto normal, con el ensayo de compresión y flexión. Universidad Pontificia Bolivariana. Recuperado el 19 de agosto del 2021 de Colombia.https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/1744/digital_22715.pdf?sequence=1
- Chomsky, N., & Pollin, R. (2020). Cambiar o morir: Capitalismo, crisis climática y el Green New Deal - Noam Chomsky, Robert Pollin - Google Libros (C. Alfieri, Ed.). Recuperado el 9 de agosto del 2021 de https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=5Sr_DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=crisis+climatica+%2B+contaminaci%C3%B3n+&ots=IJPctor5I5&sig=cxywSSrFflx1-7wQpjGo74HUyXw#v=onepage&q=crisis%20climatica%20%2B%20contaminaci%C3%B3n&f=false
- Corporación Financiera Nacional (CFN). (2021). FICHA SECTORIAL CONSTRUCCIÓN SUBGERENCIA DE ANÁLISIS DE PRODUCTOS Y SERVICIOS. Recuperado el 18 de julio del 2021 de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Construccion.pdf>
- Costes, J. P., Evrard, A., Biot, B., Keutgen, G., Daras, A., Dubois, S., Lebeau, F., & Courard, L. (2017). Thermal Conductivity of Straw Bales: Full Size Measurements Considering the Direction of the Heat Flow. *Buildings* 2017, Vol. 7, Page 11, 7(1), 11. <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS7010011>
- Del Pozo, H., Rocha, M. (2019). Ley Orgánica de Eficiencia Energética, (2019). Recuperado el 9 de septiembre del 2021 de <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf>
- Delmhorst. (2011). F-2000 | Moisture Meters | Delmhorst. Recuperado el 1 de julio del 2021 de <https://www.delmhorst.com/moisture-meters/f-2000>

- Donovan, D., Whitnack, S., Khan, S., & Donovan, B. (2009). SEISMIC PERFORMANCE OF INNOVATIVE STRAW BALE WALL SYSTEMS Pakistan Straw Bale and Appropriate Building (PAKSBAB). Recuperado el 13 de agosto del 2021 de <https://www.unr.edu/cceer/projects/straw-house>
- Farrow, E. & Myllyvirta, L. (2020). TOXIC AIR: THE PRICE OF FOSSIL FUELS. Greenpeace. Recuperado el 4 de julio del 2021 de <https://es.greenpeace.org/es/sala-de-prensa/documentos/aire-toxico-el-precio-de-los-combustibles-fosiles-2>.
- Hammer, M. (2013). Appendix R-Strawbale Construction as approved for inclusion in the 2015 International Residential Code.
- INTA. (2013). Tecnologías de henificación. Recuperado el 2 de julio del 2021 de https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_henos/60-Tecnologias-Henificacion-Residuos-Cosecha-Cana-Azucar.pdf
- Jenkins Swan, A., Rteil, A., & Lovegrove, G. (2011). Sustainable Earthen and Straw Bale Construction in North American Buildings: Codes and Practice. <https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29MT.1943-5533.0000241>
- Jones, L., & Benthien, M. (2007). Echando raíces en tierra de terremotos. California Earthquake Authority. Recuperado el 21 de agosto del 2021 de https://www.earthquakecountry.org/library/RootsSoCal_2007Spanish.pdf
- Lira Cortés, L., Gonzáles Rodríguez, O., & Méndez-Lango, E. (2008). Medición de la Conductividad Térmica de Algunos Materiales Utilizados en Edificaciones. Recuperado el 2 de septiembre del 2021 de https://www.cenam.mx/simposio2008/sm_2008/memorias/s4/sm2008-s4c2-1100.pdf
- Maraldi, M., Molari, G., Molari, L., & Regazzi, N. (2017). Straw bales for buildings: mechanical behaviour under compression. *Academic Journal of Civil Engineering*, 35(2), 300-305. <https://doi.org/10.26168/icbbm2017.45>

MIDUVI. (2015). NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC.

Ministerio de Energía de Chile. /Ministerio de Energía. (2019) Estudio revela que el 73% del consumo energético de los hogares se destina a calefacción/climatización y agua caliente. Recuperado el 19 de julio del 2021 de <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/estudio-revela-que-el-73-del-consumo-energetico-de-los-hogares-se-destina-calefaccionclimatizacion-y-agua-caliente>

Morocho, M. (2021). Impacto de la situación económica durante la emergencia sanitaria en la Empresa Eléctrica Quito en la recaudación de facturas de consumo de luz. Recuperado el 4 de agosto del 2021 de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21856/1/MSQ305.pdf>

Murtazona, K., & Aliyev, S. (2021). Vista de Estado actual y perspectivas de desarrollo de la industria de la construcción. Nexo Revista Científica, 916–925. Recuperado el 8 de agosto del 2021 de <https://www.camjol.info/index.php/NEXO/article/view/11619/13431>

ONU. (n.d). Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Recuperado el 10 de agosto del 2021 de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/#:~:text=Las%20ciudades%20del%20mundo%20ocupan,vida%20y%20la%20salud%20p%C3%BAblica>.

ONU. (2020). Emisiones del sector de los edificios alcanzaron nivel récord en 2019: informe de la ONU. Recuperado el 11 de julio del 2021 de <https://www.unep.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/emisiones-del-sector-de-los-edificios-alcanzaron-nivel>

Ossio, F., De Herde, A., & Veas, L. (2012). Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile. Revista de la Construcción, 11(1), 54-63. Recuperado el 13 de agosto del 2021 de https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-915X2012000100006

- Palomo, M. (2017). Aislantes Térmicos Criterios de selección por requisitos energéticos [Universidad Politécnica de Madrid]. Recuperado el 16 de septiembre del 2021 de https://oa.upm.es/47071/1/TFG_Palomo_Cano_Marta.pdf
- Ponce, V. (2017). “ÁNÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGETICA DE MURO CON FARDOS DE PAJA Y REVOQUES DE TIERRA CRUDA” VÍCTOR EDUARDO PONCE YÁÑEZ MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TITULO DE CONSTRUCTOR CIVIL PROFESOR GUIA: GUSTAVO SARABIA. Recuperado el 11 de julio del 2021 de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/23506/3560900232475UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Puyana, A. (2008). La guerra del fuego: políticas petroleras y crisis energética en América Latina. Flacso-Sede Ecuador. Recuperado el 9 de septiembre del 2021 de <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/46306.pdf>
- Rodrigo E. (2015). MANEJO DE CULTIVOS ANDINOS DEL ECUADOR. Recuperado el 12 de julio del 2021 de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/10163/4/Manejo%20Cultivos%20Ecuador.pdf>
- Ramos, L., & Quijia, J. (2021). Encuesta Nacional de Edificaciones (ENED), INEC, 1, 1–10. Recuperado el 20 de septiembre del 2021 de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Encuesta_Edificaciones/2020/3.2020_ENED_Boletin_tecnico.pdf
- Resa, F. (2014). Propuesta de técnicas de autoconstrucción sostenible en la comunidad Tupí Guaraní Río Blanco Banda Sur Iguopeigenda (Argentina). Recuperado el 1 de septiembre del 2021 de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/21181/Flavia_Resa_Infante.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Restrepo Guerrero, H. F., Rodríguez López, J. I., Fajardo, V., Nope Bernal, A., Sandoval, S., Aponte Franco, S. M. & Muñoz Beltrán, E. (2020). Hospitales verdes: un nuevo desafío para América Latina. Recuperado el 21 de agosto del 2021 de <https://digitk.areandina.edu.co/bitstream/handle/areandina/3825/Hospitales%20verdes.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Rikki Nitzkin Maren Termens, P. (2010). Casas de Paja Una guía para autoconstructores EcoHabitar ediciones. Recuperado el 14 de septiembre del 2021 de <https://ecohabitar.org/producto/casas-de-paja-nueva-edicion-actualizada-y-ampliada/>
- Rodgers Lucy. (2018). La enorme fuente de emisiones de CO2 que está por todas partes y que quizás no conocías - BBC News Mundo. Recuperado el 30 de septiembre del 2021 de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46594783>
- Romans Irene. (2014). estudio y análisis de la construcción con balas de paja. . in a construcción con balas de paja y su incorporación a las normativas. (pp. 17–19). Recuperado el 29 de septiembre del 2021 de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/48222/TFG_IBORRA_LUCAS_ROMANS_TORRES.pdf?sequence=1
- Sarria, F., & Lopez, E. (2012). desarrollo sustentable & construcción sustentable resumen. ARCUS , 19–26. Recuperado el 7 de agosto del 2021 de www.fotografiaurbana.rd/fotograf
- Schiller, S., & Evans, J. (2015). Diseño bioclimático, eficiencia energética y energía solar en proyectos de vivienda social de argentina. Perspectiva. Recuperado el 21 de septiembre del 2021 de <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/perspectiva/article/view/19720>
- Sinailin, P. (2019). Pobreza y Vivienda en Ecuador: Tres análisis desde la economía (Doctoral dissertation, Universitat d'Alacant-Universidad de Alicante). Recuperado el 18 de agosto del 2021 de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/110477>

- Solé, A. (2014). Murs estructurals de bales de palla. Recuperado el 13 de agosto del 2021 de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/23406>
- Termens Maren. (2014). Red de Construcción con Paja - El Fardo de Paja. Recuperado el 10 de agosto del 2021 de <https://ecohabitar.org/producto/casas-de-paja-nueva-edicion-actualizada-y-ampliada/>
- Vardy, S., MacDougall, C., (2006) “Compressive Testing and Analysis of plastered Straw Bales,” *Journal of Green Building*, vol. 1, no. 1, pp. 63–79
- Viera, P., Aguirre, D., & Monzó, J. (2020). Determinación de las características del fardo de paja de trigo, como desecho agroindustrial para su aprovechamiento como material de construcción / Determination of the characteristics of the wheat straw bale, as an agro-industrial waste for use as a construction material. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 304-318. Recuperado el 10 de agosto del 2021 de https://redib.org/Record/oai_articulo3382503-determinaci%C3%B3n-de-las-caracter%C3%ADsticas-del-fardo-de-paja-de-trigo-como-desecho-agroindustrial-para-su-aprovechamiento-como-material-de-construcci%C3%B3n
- Viera, P., Rivera, J., Coox, O. & Monzó, J. (2021). Conductividad térmica de fardos de paja y otros materiales usados para realizar mampostería en Ecuador por el método de la aguja térmica. *RIOC*, 11(1), 7-13. Recuperado el 16 de agosto del 2021 de <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/2546>
- Walker, P., Thomson, A., & Maskell, D. (2019). Straw bale construction. In *Nonconventional and Vernacular Construction Materials: Characterisation, Properties and Applications* (pp. 189–216). Recuperado el 12 de julio del 2021 de Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102704-2.00009-3>

Capítulo 4

Diseño y caracterización de un mortero estructural para revoco de muros de fardos de paja

4.1. ANTECEDENTES

El revoco es un mortero que sirve para cubrir las paredes conformadas por fardos de paja. Cumple la función de: proteger a las paredes de agentes externos y aportar resistencia a la estructura (Torres, 2015).

La paja al ser un desecho agroindustrial no se encuentra exenta de humedad y por ende microorganismos presentes en los fardos, los cuales podría ocasionar la pudrición de los mismos. Es aquí en donde el revoco actúa sellando las juntas e impermeabilizando las paredes exteriores. Sin embargo, el fardo de paja no presenta degradación incluso superando el 25% de humedad (Robinson, Klalib, & Davison, 2016). Otros autores recomiendan un máximo de 15% (Downtown, 2013) (Fao, 2003). De acuerdo con Wihan (2007), la humedad relativa de la atmósfera no tiene mayor influencia en la variación de humedad en los fardos de paja, pero es la lluvia impulsada por la acción del viento lo que aumenta la humedad en los fardos.

No debe existir ninguna membrana impermeabilizante entre la paja y el revoco, esto para facilitar la transpiración de los muros y evitar que humedad se quede atrapada en ellos, permitiendo el apareamiento de bacterias que propicien la pudrición (Lima & Pacheco, 2021).

Además el revoco también puede ser considerado como parte del sistema estructural conformando con los fardos una pared tipo sandwich. Al tener tener una mayor rigidez aporta como elemento resistente ante esfuerzos cortantes, producidos por cargas laterales (sismicas) (King, 1998). Para ello el mortero debe cumplir con características mínimas de resistencia a la compresión (Navas & Arias , 2021).

En el artículo titulado “Diseño y caracterización de un compósito a base de cal, cemento y fibras naturales para edificaciones” (Viera, et al., 2019) se plantea un mortero de resistencia suficiente, para ser utilizado en la construcción de viviendas con muros estructurales de fardos de paja. Esta resistencia se obtuvo con la máxima cantidad de cal posible. Para lo cual, partiendo de un mortero normalizado de cal y arena de dosificación 1:3, se fue sustituyendo parcialmente la cal por cemento, hasta obtener la resistencia objetivo. Se usó cal dado que, en comparación con el cemento, es menos contaminante en su producción. También se determinó el uso de fibras naturales y sintéticas en morteros y como aportan a su resistencia a la tracción y compresión.

En los siguientes acápites se detalla el procedimiento seguido, en la mencionada investigación, para la obtención de este compuesto.

4.2.DOSIFICACIÓN DEL MORTERO ESTRUCTURAL EN LA FASE MATRIZ Y DISPERSA SEGÚN LA NORMATIVA INEN Y ASTM.

La norma NTE INEN 2518 denominada “Morteros para unidades de mamposterías. Requisitos”, referenciando a la norma ASTM-c270, especifica cinco tipos de morteros, dos de los cuales considera la cal como aglomerante (NTE INEN 2 518, 2010)

Con respecto a mortero estructural el Código Internacional Residencial (IRC), en el apéndice R, referido a la construcción con fardos de paja, menciona requerimientos mínimos de resistencia a la compresión, que se muestran en la [Tabla 4.1](#)

Tabla 4.1. Resistencia mínima a la compresión de revocos para muros estructurales de fardos de paja

Tipo de revoco	Resistencia mínima	
	[MPa]	[kg/cm ²]
Arcilla	0.69	7.03
Suelo – cemento	6.89	70.30
Cal	4.14	42.18
Cemento - Cal	6.89	70.30
Cemento	9.65	98.42

Fuente: IRC, (2015)

4.2.1. Materiales

A continuación, se detallan los materiales empleados para la dosificación del mortero estructural en su fase matriz y dispersa.

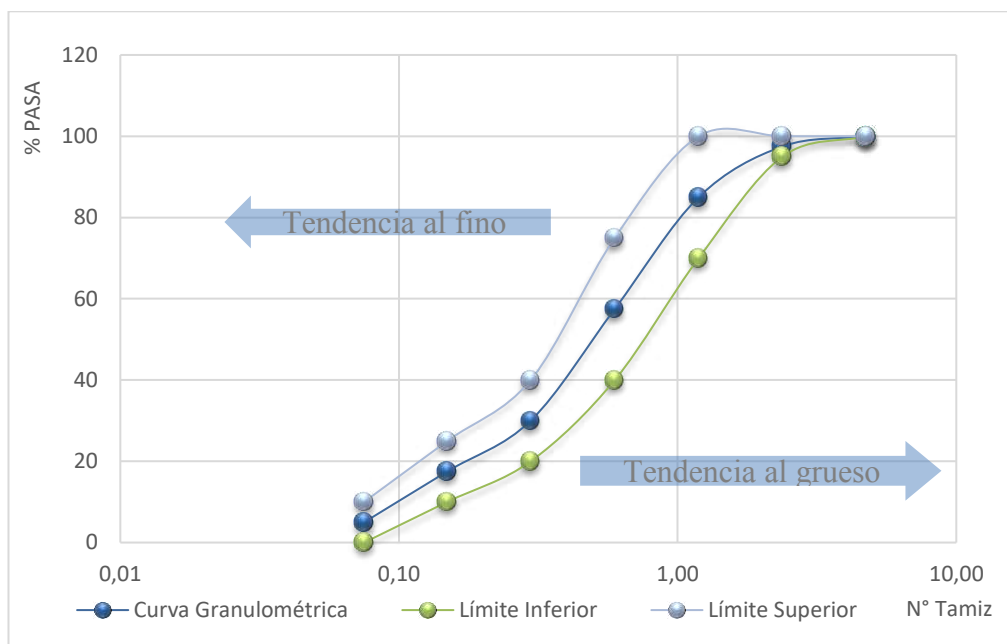
a) Arena

La arena empleada procede de la cantera Fucusucu III, ubicada en la parroquia San Antonio de Pichincha, es una arena triturada con alta presencia de finos y una coloración azulada (Viera, Morales, & Monzó, 2020).

Granulometría de la arena

La arena es el componente con mayor cantidad dentro de la dosificación del mortero. Se siguió la normativa NTE INEN 696. Con una muestra representativa seca se realizó la separación de las partículas mediante una serie de tamices, para determinar la curva granulométrica. La norma NTE INEN 2536, indica los límites granulométricos de acuerdo con la naturaleza de la arena. En el caso de Fucusucu III es arena triturada, por ende, su referencia es de acuerdo a dicha condición.

A continuación, la [Imagen 4.1](#), muestra la distribución granulométrica de la arena utilizada, observándose que se encuentra dentro de los límites correspondientes.



Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

Imagen 4.1. “Curva granulométrica del agregado fino”

De este ensayo también se determinó el módulo de finura según la norma NTE INEN 696 empleando la [ecuación 4.1](#). Este valor debe encontrarse en un rango de 2.3 a 3.1, ya que depende en gran medida de la granulometría de la arena. Se determinó un módulo de finura de 2.13 con lo que se puede constatar que es una arena triturada con alta presencia de finos, y se aprecia que su valor no difiere en gran medida del rango mencionado. Por ende, su uso es apto para la elaboración del mortero.

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Ret. Acum. } (3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100} \quad \text{Ecuación 4.1.}$$

Densidad aparente suelta y compactada de la arena

El procedimiento de la densidad aparente se lo realizó de acuerdo con la normativa NTE INEN 858.

Se colocó el árido en un recipiente de volumen conocido para determinar su peso volumétrico ([Imagen 4.2](#)). La diferencia entre la determinación de la densidad suelta y compactada es principalmente que en la densidad suelta se llena el recipiente sin ningún método de compactación. Es decir, no se reduce el porcentaje de vacíos. Por otra parte, en el proceso para la densidad compactada el llenado es mediante 3 capas compactadas cada una mediante 25 golpes con una varilla de punta redondeada. La fórmula empleada para su determinación es la siguiente:

$$D_{ap} = \frac{M}{V_a} \quad \text{Ecuación 4.2.}$$

Dónde:

M = masa del agregado

V_a = volumen del recipiente que contiene al agregado



Imagen 4.2. “Peso específico de la arena”

Se determinó un valor de 1.59 [g/cm³] como densidad aparente suelta.

Peso específico de la arena

Para determinar el peso específico se utilizó el método gravimétrico del picnómetro ([Imagen 4.3](#)). Descrito en la normativa NTE INEN 856. Este valor relaciona la masa del agregado en condición saturado superficie seca por unidad de volumen, no incluye poros entre partículas. Se determinó un valor de 2.49 [g/cm³].



Fuente: Aguirre, D (2021)

Imagen 4.3. “Peso específico de la arena”

De acuerdo a la normativa para este ensayo se debe emplear arena en estado saturado superficie seca (SSS). Se coloca la muestra del árido en el picnómetro y se añade agua hasta la marca de calibración del picnómetro. Se registra los diferentes pesos y del picnómetro calibrado (únicamente con agua). Calcular el valor del peso específico con la fórmula siguiente:

$$\text{Peso específico (gravedad específica)}(sss) = \frac{A}{B+A-C} * 1g/cm^3 \quad \text{Ecuación 4.3.}$$

Dónde:

A = masa de muestra saturada superficialmente seca (g)

B = masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración (g)

C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua hasta la marca de calibración (g)

Capacidad de absorción de la arena

Representa el aumento de la masa del agregado por el ingreso del agua en los poros de las partículas, en un período de tiempo. Este procedimiento se lo realizó también según lo descrito en la norma NTE INE 856, en el cual se toma una muestra del agregado en estado SSS ([Imagen 4.4](#)), y se procede a secar registrando sus respectivos pesos. Se obtuvo un porcentaje de 6.11 [%] de capacidad de absorción, mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad \text{Ecuación 4.4.}$$

Dónde:

A = masa de la muestra seca al horno (g)

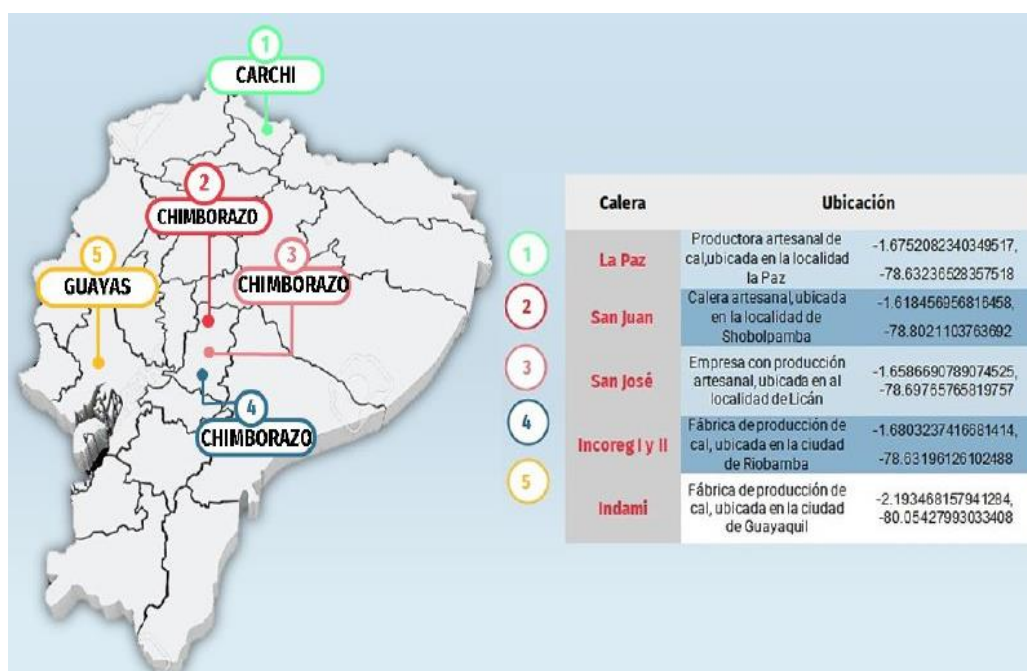
S = masa de muestra saturada superficialmente seca (g)



Imagen 4.4. “Secado al horno para determinación de capacidad de absorción”

b) Cal

En el Ecuador no se ha podido localizar empresas expendedoras de cal hidráulica (Acero & Viera, 2022). Por lo que para el diseño del mortero se emplea cal hidratada. Se ubicó 5 empresas entre artesanales e industriales como se observa en la siguiente [Imagen 4.5](#).



Fuente: Acero & Viera (2022)

Imagen 4.5. “Ubicación de las caleras”

Las caleras de La Paz, San Juan y San José utilizan procesos artesanales. En cambio, Indami e Incoreg, son industriales. Todas ellas proveen de cal hidratada a lugares alejados a su planta de producción. Sin embargo, Incoreg ([Imagen 4.6](#)) cuenta con una sucursal en Quito lo que la hace de mayor accesibilidad.



Imagen 4.6. “Saco de cal Incoreg”

De acuerdo a Acero & Viera (2022), los morteros realizados con la cal de Incoreg tienen un mejor desempeño en cuanto a resistencia a la compresión, alcanzando un valor de 0.30 MPa (Viera & Acero, 2022).

Incoreg Cía. Ltda., es una empresa ecuatoriana que ofrece al mercado cal hidratada $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Es un producto fino de color blanco y se encuentra a la venta en sacos laminados de polipropileno de 25 kg (Incoreg. 2022).

La cal hidratada utilizada para el estudio fue la T-30 Tipo B. En la [tabla 4.2](#), se muestra las características químicas y físicas proporcionadas por el fabricante.

Tabla 4.2. Características químicas de cal Incoreg T-30 Tipo B

Descripción	Rango	Unidad
Óxido de calcio total	mínimo 60	%
Óxido de calcio aprovechable	mínimo 55	%
Hidróxido de calcio	70	%
Composición Física		
Humedad	Máximo 5	%
Peso volumétrico	650	kg/cm ³

Fuente: Incoreg, 2021

Los procedimientos para la caracterización física y química de la cal hidratada se encuentran estipulados en la norma NTE INEN 2589 [ASTM C110]. Los resultados obtenidos de la aplicación de la norma en ensayos respectivos para la caracterización física de la cal T30 – tipo B, se muestran en la [Tabla 4.3](#).

La densidad de la cal se determina mediante el procedimiento del frasco de Le Chatelier ([Imagen 4.7](#)), se empleó como guía la norma NTE INEN 2589, este valor representa la relación de la masa por unidad de volumen.

Para ello se coloca el líquido reactivo (alcohol etílico absoluto) en el frasco Le Chatelier, y se registró el volumen ocupado. Posteriormente se colocó la muestra de cal y se determinó el volumen del líquido desplazado.



Imagen 4.7. “Ensayo de densidad de la cal con el frasco Le Chatelier”

La obtención del residuo se llevó a cabo siguiendo el procedimiento indicado en la norma NTE INEN 244, mediante lavado por dos tamices uno de $600\mu\text{m}$ (N°30) colocado sobre otro de $63\mu\text{m}$. Según la norma NTE INE 247, el porcentaje retenido en el tamiz N° 30, no debe superar el 0.5% y en el caso que sobrepase este valor, la cal no debe presentar erupciones o descamaciones durante el proceso. ([Imagen 4.8](#))



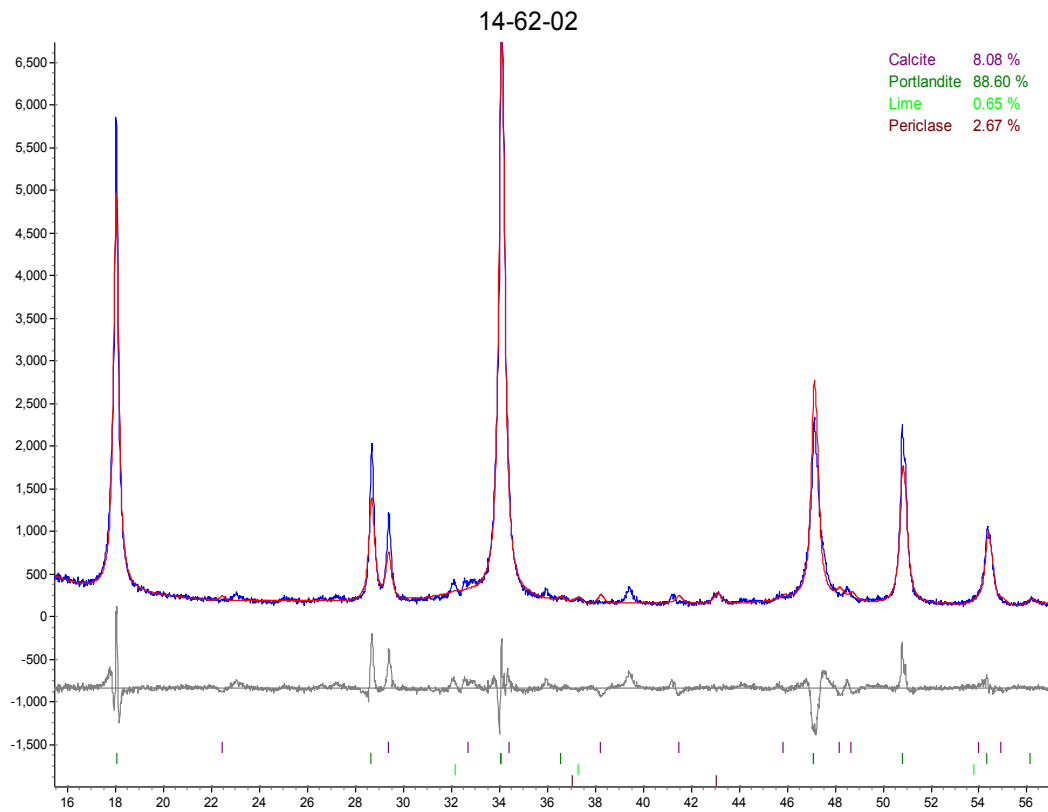
Imagen 4.8. “Ensayo de determinación de residuo mediante lavado”

Tabla 4.3. Características físicas de la cal

Parámetro	Valor	Unidad
Densidad real	2505	kg/m ³
% Retenido en el tamiz N°30	13.90	%
Consistencia Normal	42	%
Densidad aparente suelta	790	kg/m ³
Densidad aparente compactada	1191	kg/m ³

Fuente: Viera & Acero (2021)

También se realizó la comprobación de las características química de la cal Incoreg T30 - tipo B, mediante el ensayo de Difracción de Rayos X. Se obtuvieron valores de 88.60 [%] de hidróxido de calcio y un 2.67 [%] de óxidos de magnesio ([Imagen 4.9](#)). La norma NTE INEN 247 estipula un porcentaje mínimo del 95 [%] de óxidos de calcio y magnesio.



Fuente: Viera & Aguirre (2021)

Imagen 4.9. “Espectro de difracción de rayos x de la cal Incoreg”

c) Cemento

El cemento empleado en el diseño del mortero fue Holcim Fuerte tipo GU, que ofrece altas resistencias a edades tempranas. De igual manera el cemento cumple la normativa correspondiente al material NTE INEN 2380 denominada “Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos”.

La [Tabla 4.4](#) muestra las características físicas y mecánicas del cemento Holcim Fuerte tipo GU y los valores referenciales de la norma. Así también se emplea su densidad aparente proporcionada por la misma empresa con un valor de 1400 [kg/m³].

Tabla 4.4. Requisitos físicos del cemento HOLCIM GU

Requisitos físicos				Requisitos mecánicos			
Especificación	Cambio de longitud por autoclave, máximo [%]	Tiempo de fraguado inicial, método de Vicat [min]	Contenido de aire del mortero, en volumen [%]	Resistencia a la compresión mínima [MPa],			
				1 día	3 días	7 días	28 días
INEN 2380	0.8	45-420	A	A	13	20	28
Valor referencial	-0.06	190	3	9	17	22	31

(A) Límite no especificado por la NTE INEN 2380. Resultado reportado sólo como información.

Fuente: HOLCIM, (2015)

d) Fibras naturales y sintéticas

En el estudio se usaron dos tipos de fibra (natural y sintética), para determinar con cuál se podría obtener una mejor resistencia a compresión y tracción.

Las fibras empleadas son fibras de yute (naturales) y fibras sintéticas ([Imagen 4.10](#)). Las fibras naturales tienen una longitud máxima de 1.50 cm para garantizar una adecuada incorporación en el mortero.



Imagen 4.10. “Fibras de yute”

La fibra sintética es EPS FIBRATEX ([Imagen 4.11](#)), que se comercializa en el mercado por la empresa ecuatoriana Tespecon. De acuerdo a su fabricante son fibras de 100% de polipropileno virgen y proporciona ventajas como inhibir rajaduras, proporciona refuerzo a tracción (TESPECON, 2021).



Fuente: TESPECON (2021)

Imagen 4.11. “Fibras EPS FIBRATEX”

Se determinó la densidad aparente de la fibra sintética y de yute mediante el método gravimétrico (diferencia de volúmenes) ya que se consideró como el método más factible. Para ello se usó un vaso de precipitación y agua destilada. Se colocó una muestra de peso conocido de fibras en el recipiente y se añade el agua destilada ([Imagen 4.12](#)). La densidad se obtuvo mediante la relación entre el peso y la diferencia de volúmenes del vaso, lleno solamente con agua destilada, y con la adición de las fibras.



Imagen 4.12. “Determinación de densidad de la fibra sintética por método gravimétrico”

Se obtienen los siguientes valores expresados en la [Tabla 4.5](#):

Tabla 4.5. “Densidad aparente para fibras sintéticas y de yute”

Material	δ ap. Suelta (g/cm ³)
Fibra sintética	0.91
Fibra de yute	0.908

Fuente: Aguirre, D (2021)

Para determinar el peso específico de las fibras de yute, se empleó el proceso estándar del método del picnómetro (descrito en la norma NTE INEN 856), con la diferencia que el reactivo para las fibras fue gasolina de 85 octanos, tipo “Extra”. Ya que, si se emplease agua las fibras flotarían por sus densidades similares.

Se obtuvo un valor de 0.87 [gr/cm³] para la fibra de yute. El peso específico de la fibra sintética fue proporcionado por el fabricante y es de 0.91 [gr/cm³].

4.2.2. Dosificación del mortero estructural

Para la dosificación se empleó el método de los coeficientes de aporte. Que establece factores de reducción para calcular la cantidad de los materiales de una mezcla establecida, considerando las pérdidas que se producen durante el proceso de elaboración.

Existen diferentes formas para determinar el valor de los coeficientes, considerando las características propias de la zona y la naturaleza del material. Se escoge el método de Goldenhom (Aguirre, 2021). Para ello, se emplean los valores del peso específico y el peso volumétrico (densidad suelta).

El coeficiente de aporte se lo calcula de acuerdo con la [ecuación 4.5](#).

$$C.A = \frac{PV}{PE} \leq 1$$

Ecuación 4.5

Dónde:

C.A=Coeficiente de aporte

PV = Peso Volumétrico

PE = Peso específico

En la [Tabla 4.6](#) se muestran los valores calculados de los coeficientes de aporte para la cal y arena. En el caso del cemento se utilizó 0.47, que es el que recomienda Goldenhorn (Aguirre, 2021).

Tabla 4.6. Coeficientes de aporte y densidades de los materiales del mortero

Materiales	Densidad aparente suelta (Peso Volumétrico)	[Peso Específico	Coeficiente de aporte
	[kg/m ³]	[kg/m ³]	--
Cal Hidráulica	532.06	950	0.56
Arena	1599.11	2490	0.64

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

a) Fase matriz

La norma INEN 247, en su apartado 4.1, indica proporciones del mortero base en una relación de 1:3 (una parte de cal y tres de arena). Partiendo de esto, se reemplaza la cal por cemento en diferentes proporciones y se dosificó por el método del coeficiente de aporte, para obtener las cantidades necesarias de material para realizar los morteros de prueba.

Se evalúa su desempeño en cuanto a compresión axial siguiendo el procedimiento descrito en la norma NTE INEN 488. Se elaboraron cubos de mortero de 50 mm de arista (108 en total, 9 por edad y por mezcla), que posteriormente fueron sometidos a carga de compresión axial a los 7, 14 y 28 días de edad ([Imagen 4.13](#)).

Sobre la base de la dosificación mencionada, se reemplaza la cal por cemento en diferentes proporciones, obteniendo los resultados de la [Tabla 4.7](#). (Viera, Morales, & Monzó, 2020).



Fuente: Viera, Morales & Monzó (2020)

Imagen 4.13. “Ensayo a Compresión axial de los cubos de mortero”

Tabla 4.7. Valores de compresión axial en cubos de mortero con diferente proporción de material cementante

Dosificación	Esfuerzo a compresión axial					
	[kg/cm ²]			[MPa]		
	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
1 cal: 0 cemento	6.65	8.70	14.36	0.65	0.85	1.41
0.75 cal: 0.25 cemento	19.80	25.89	38.42	1.94	2.54	3.77
0.50 cal: 0.50 cemento	29.71	40.48	65.30	2.91	3.97	6.40
0.25 cal: 0.75 cemento	60.61	77.74	131.77	5.94	7.62	12.92

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

Como se observa, la mezcla 4 supera por mucho lo mínimo establecido por la norma IRC (70.30 kg/cm²). Sin embargo, las mezclas 1,2 y 3 no llegan a este valor. Por lo que la

mezcla (0.25 partes de cal, 0.75 partes de cemento, 3 partes de arena y 20% de agua) es establecida como base para la adición posterior de fibras (fase dispersa).

Es importante mencionar que, conocida la naturaleza de la cal, el curado de un mortero compuesto únicamente por arena y cal, se lo realiza al aire para que ocurra la carbonatación, que es lo que favorece su resistencia (Viera, Morales, & Monzó, 2020).

b) Fase dispersa

Empleando la mezcla base mencionada en el apartado anterior, se elaboraron 10 cilindros por mezcla (20 cm de alto y 10 cm de diámetro), con adiciones de 0.5 % y 1% de fibras naturales y sintéticas. Este porcentaje es en relación al volumen total de la mezcla.

Los cilindros se realizaron siguiendo la norma ASTM C31 (2018). Fueron ensayados 3 cilindros a compresión y 3 a tracción a los 7 días, para los 14 y 28 días se ensayaron 2 cilindros a compresión por cada edad.

Para obtener la resistencia del mortero a compresión axial (norma ASTM C109) y los esfuerzos a tracción indirecta (ASTM C496-17). A continuación, se muestra en la [Tabla 4.8](#), los resultados obtenidos.

Tabla 4.8. Ensayos a compresión y tracción en cilindros con fibras

Detalle	Dosificación Mezcla 4 +	Esfuerzo a compresión axial [kg/cm ²]			Esfuerzo a tracción indirecta [kg/cm ²]		
		7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
Mezcla 5	0.5% fibra sintética	69.78	83.94	150.59	9.26	11.98	18.15
Mezcla 6	1% fibra sintética	71.86	92.53	159.58	11.34	14.28	21.00
Mezcla 7	0.5% fibra natural	68.09	81.44	135.51	9.63	12.64	18.86
Mezcla 8	1% fibra natural	74.12	85.96	143.88	11.51	15.35	22.14

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

Como se observa en la [tabla 4.8](#), se obtiene un mejor desempeño al adicionar el 1% de fibra. Los valores de resistencia están por encima de lo que establece la norma IRC ([ver tabla 4.3](#)) y la CEBC para morteros de cemento y cal.

A la edad de 7 días la mezcla 8 (0.25 partes de cal, 0.75 partes de cemento, 3 partes de arena y 20% de agua más 1% de fibra natural) supera, en aproximadamente 5% y a los 28 días en 104.70% lo mínimo requerido (70.30 kg/cm²).

Con estos ensayos preliminares se obtuvo como conclusión que el porcentaje óptimo de fibra es del 1%. A partir de aquí, se decidió dosificar 8 mezclas adicionales con proporciones cemento: arena de 1:3 y 1:4, en donde se iría reemplazando cemento por cal, para optimizar la mezcla obtenida. Las dosificaciones se muestran en la [tabla 4.9](#). Dónde C corresponde a las partes en volumen de cemento, A: arena, CAL: cal hidratada, FY: fibras de yute, FS: fibra sintética y H₂O: el porcentaje de agua empleada en las mezclas.

Tabla 4.9. Identificación de las mezclas y su respectiva dosificación

Identificación de la mezcla	Dosificación
M1	1C 3A 1%FS 20% H ₂ O
M2	0.75C 0.25CAL 3A 1%FS 20%H ₂ O
M3	1C 3A 1%FY 20%H ₂ O
M4	0.75C 0.25CAL 3A 1%FY 20%H ₂ O
M5	1C 4A 1%FS 20%H ₂ O
M6	0.75C 0.25CAL 4A 1%FS 20%H ₂ O
M7	1C 4A 1%FY 20%H ₂ O
M8	0.75C 0.25CAL 4A 1%FY 20%H ₂ O

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

Con estas dosificaciones se aplica los coeficientes de aporte para determinar las cantidades respectivas de material necesarias en la elaboración de 10 probetas cilíndricas por cada mezcla (Norma NTE INEN 3124) ([ver tabla 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 y 4.17](#)).

Tabla 4.10. Volumen total del mortero para elaborar 10 probetas cilíndricas

Número de probetas	10	
Diámetro Ø	0.1000	[m]
Altura h	0.2000	[m]
Volumen	0.0157	[m ³]
Factor de desperdicios	10.0000	[%]
Volumen final a dosificar	0.0173	[m ³]

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

Tabla 4.11. Volumen real para M1 y M2, método de coeficientes de aporte

Componente	Coeficiente de aporte	Mezcla M1		Mezcla M2	
		Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]	Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]
Cemento	0.47	1	0.47	0.75	0.35
Cal Hidráulica	0.56	0	0	0.25	0.14
Arena	0.64	3	1.92	3	1.92
Fibra de yute	-	-	.	-	.
Fibra sintética	-	1%	-	1%	-
Agua	1	20%	0.80	20%	0.80
Volumen real			3.19		3.21

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

Tabla 4.12. Volumen real para M3 y M4, con el método de coeficientes de aporte

Componente	Coeficiente de aporte	Mezcla M3		Mezcla M4	
		Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]	Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]
Cemento	0.47	1	0.47	0.75	0.35
Cal Hidráulica	0.56	0	0	0.25	0.14
Arena	0.64	3	1.92	3	1.92
Fibra de yute	-	1%	.	1%	.
Fibra sintética	-	-	-	-	-
Agua	1	20%	0.80	20%	0.80
Volumen real			3.19		3.21

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Tabla 4.13. Volumen real para M5 y M6, con el método de coeficientes de aporte

Componente	Coeficiente de aporte	Mezcla M5		Mezcla M6	
		Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]	Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]
Cemento	0.47	1	0.47	0.75	0.35
Cal Hidráulica	0.56	0	0	0.25	0.14
Arena	0.64	4	2.56	4	256
Fibra de yute	-	-	.	-	.
Fibra sintética	-	1%	-	1%	-
Agua	1	20%	0.80	20%	0.80
Volumen real			4.03		4.05

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Tabla 4.14. Volumen real para la mezcla M7 y M8. con el método de coeficientes de aporte

Componente	Coeficiente de aporte	Mezcla M7		Mezcla M8	
		Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]	Dosificación al volumen	Volumen real [cm ³]
Cemento	0.47	1	0.47	0.75	0.35
Cal Hidráulica	0.56	0	0	0.25	0.14
Arena	0.64	3	1.92	3	1.92
Fibra de yute	-	1%	.	1%	.
Fibra sintética	-	-	-	-	-
Agua	1	20%	0.80	20%	0.80
Volumen real			3.19		3.21

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Tabla 4.15. Volumen total del mortero para elaborar 10 probetas cilíndricas

Descripción	Mezcla M1		Mezcla M2		Mezcla M3	
	[g]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[kg]
Volumen real	3.19	[m ³]	3.21	[m ³]	3.19	[m ³]
Materiales	Cantidades en masa					
	[g]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[kg]
Cemento	7583.15	7.58	5647.53	5.65	7583.15	7.58
Cal Hidráulica	0.00	0.00	715.43	0.72	0.00	0.00
Arena	25984.93	25.98	25802.93	25.80	25984.93	25.98
Fibra sintética	157.24	0.16	157.24	0.16	-	-
Fibra natural	-	-	-	-	156.89	0.16
Agua	3455.75	3.46	3455.75	3.46	3455.75	3.46
Total	37181.07	37.18	35778.89	35.78	37180.72	37.18

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Tabla 4.16. Volumen total del mortero para elaborar 10 probetas cilíndricas

Descripción	Mezcla M4		Mezcla M5		Mezcla M6	
	[g]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[kg]
Volumen real	3.21	[m ³]	4.03	[m ³]	4.05	[m ³]
Materiales	Cantidades en masa					
	[g]	[kg]	[g]	[kg]	[g]	[kg]
Cemento	5647.53	5.65	6002.55	6.00	4883.91	4.88
Cal Hidráulica	715.43	0.72	0.00	0.00	618.70	0.62
Arena	25802.93	25.80	27424.95	27.42	29752.02	29.75
Fibra sintética			157.24	0.16	171.53	0.17
Fibra natural	156.89	0.16	-	-	-	-
Agua	3455.75	3.46	3455.75	3.46	3769.91	3.77
Total	35778.54	35.78	37040.49	37.04	39196.07	39.20

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Tabla 4.17. Volumen total del mortero para elaborar 10 probetas cilíndricas

Descripción	Mezcla M7		Mezcla M8	
	[g]	[kg]	[g]	[kg]
Volumen real de la mezcla	4.03	[m ³]	4.05	[m ³]
Materiales	Cantidades en masa			
	[g]	[kg]	[g]	[kg]
Cemento	6548.23	6.55	4476.91	4.48
Cal Hidráulica	0.00	0.00	567.14	0.57
Arena	29918.13	29.92	27272.68	27.27
Fibra sintética	-	-	-	-
Fibra natural	171.15	0.17	156.89	0.16
Agua	3769.91	3.77	3455.75	3.46
Total	40407.43	40.41	35929.38	35.93

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

4.3. REALIZACIÓN DE PROBETAS PARA CARACTERIZACIÓN DEL MORTERO SEGÚN LA NORMATIVA INEN Y ASTM

4.3.1. *Elaboración de probetas según normativa NTE INEN 3124.*

Se realiza el mezclado de manera manual ([Imagen 4.14](#)), primero se coloca el agregado fino y se añade el cementante, se mezcla hasta obtener una mezcla homogénea y se coloca parte del agua para aportar humedad. Finalmente se coloca el resto de agua conjuntamente con las fibras.



Imagen 4.14. “Mezclado manual del mortero”

La norma NTE INE 3124, menciona que para cilindros (especímenes) de 100 [mm] de diámetro, el llenado se lo realiza en dos capas ([Imagen 4.15](#)), compactando 25 veces en forma de espiral.



Imagen 4.15. “Llenado de los cilindros de mortero”

El proceso de desencofrado se lo realiza antes de las 24h, transcurrido este tiempo los especímenes deben iniciar su proceso de curado.

4.3.2. Curado de los especímenes

El curado de las probetas se lo realizó en base a la normativa *NTE INEN 2528*. Sumergiendo a las probetas en un tanque con agua saturada con cal (3 g/l) ([Imagen 4.16](#)). Controlando que la temperatura del agua se encuentre en todo momento entre $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (NTE INEN 2528. 2010).



Imagen 4.16. “Proceso de curado de los especímenes”

Los especímenes permanecieron en la cámara de curado hasta el día que fueron ensayados.

4.4.DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL MORTERO OBTENIDO. CAPACIDAD RESISTENTE A LA COMPRESIÓN. A LA TRACCIÓN Y. MÓDULO DE ELASTICIDAD. MEDIANTE PRUEBAS DE CARGA SEGÚN LA NORMATIVA ASTM

Previo a los ensayos, se expusieron los especímenes al sol. Luego se registró su peso seco.

4.4.1. Ensayos de resistencia a la compresión y tracción

Este ensayo es en base a la norma NTE INEN 1573. Se lo realizó en una máquina de compresión universal en la cual se coloca el espécimen para aplicarle carga axial hasta que

falle ([Imagen 4.17](#)). El esfuerzo de resistencia a la compresión es como lo expresa la ecuación siguiente.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad \text{Ecuación 4.6.}$$

Dónde:

P : Carga aplicada a compresión.

A : Sección del cilindro de aplicación de carga.

σ_c : Esfuerzo a compresión.



Imagen 4.17. “Ensayo de compresión simple”

A continuación, se muestra el esfuerzo promedio a compresión para cada una de las mezclas realizadas, ([Tabla 4.18](#))

Tabla 4.18. Esfuerzo a compresión a 7 y 28 días de los cilindros de las diferentes mezclas

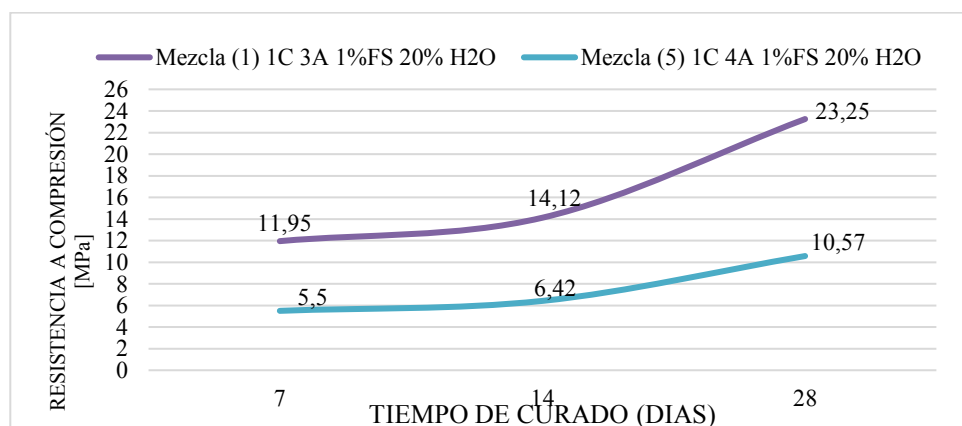
Mezcla	Resultado promedio a compresión [MPa]		
	7 días	14 días	28 días
M1	11.95	14.12	23.25
M2	7.04	9.07	15.65
M3	8.68	10.61	17.46

**Esfuerzo a compresión a 7 y 28 días de los cilindros de las diferentes mezclas
(Continuación tabla página anterior)**

Mezcla	Resultado promedio a compresión [MPa]		
	7 días	14 días	28 días
M4	7.45	8.43	14.11
M5	5.50	6.42	10.57
M6	6.12	8.14	12.89
M7	7.74	10.36	17.05
M8	3.98	4.67	9.79

Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

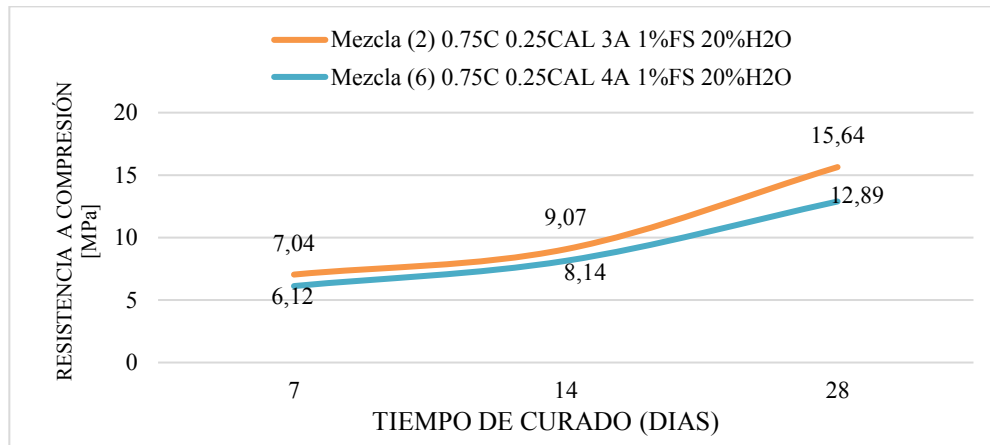
Dado las diferentes dosificaciones de las mezclas y sus variaciones de arena, cal y fibras se establece diferentes comparaciones entre las mezclas para evaluar los resultados obtenidos con cada uno de ellas. En las [Imágenes 4.18, 4.19, 4.20, 4.21](#) se busca establecer la influencia de la cantidad de cemento en las mezclas. Por otro lado, en las [Imágenes 4.22, 4.23, 4.24, 4.25](#) se determina la influencia del uso de fibra natural y sintética



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.18. “Resistencia a compresión Vs Edad (M1-M5)”

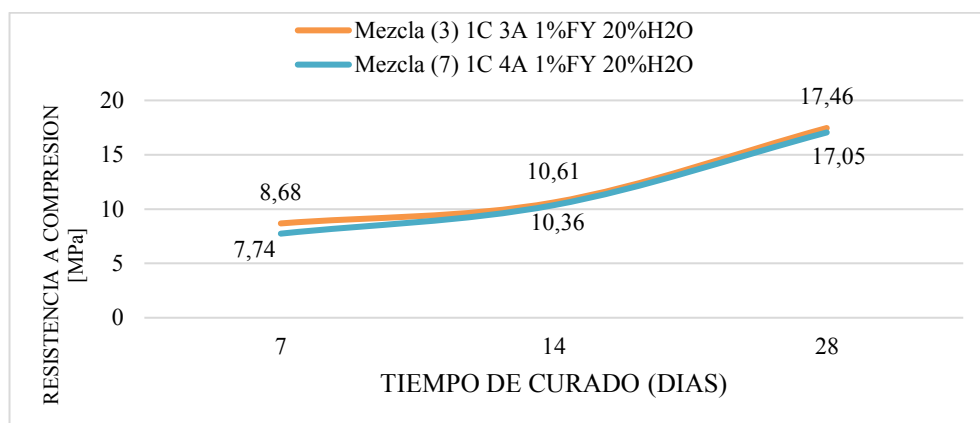
Como era de esperar, en la [imagen 4.18](#), se observa que la mezcla con más cantidad de cemento por unidad de volumen (mezcla 1) tiene la mayor resistencia. Casi el doble.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.19. “Resistencia a compresión Vs Edad (M2-M6)”

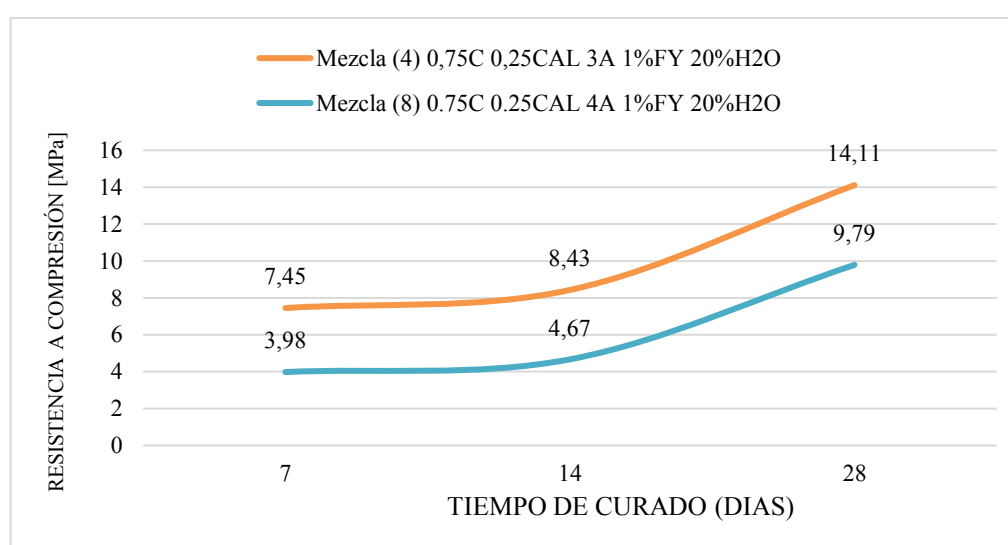
En la [imagen 4.19](#), se muestra que la presencia de cal redujo la resistencia del mortero con mayor cantidad de cemento (mezcla 2) en aproximadamente 33%. Sin embargo, es interesante notar que, en la mezcla que tiene más arena (mezcla 6) la presencia de cal aumenta la resistencia con respecto a la mezcla 5 en aproximadamente el 22%.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.20. “Resistencia a compresión Vs Edad (M3-M7)”

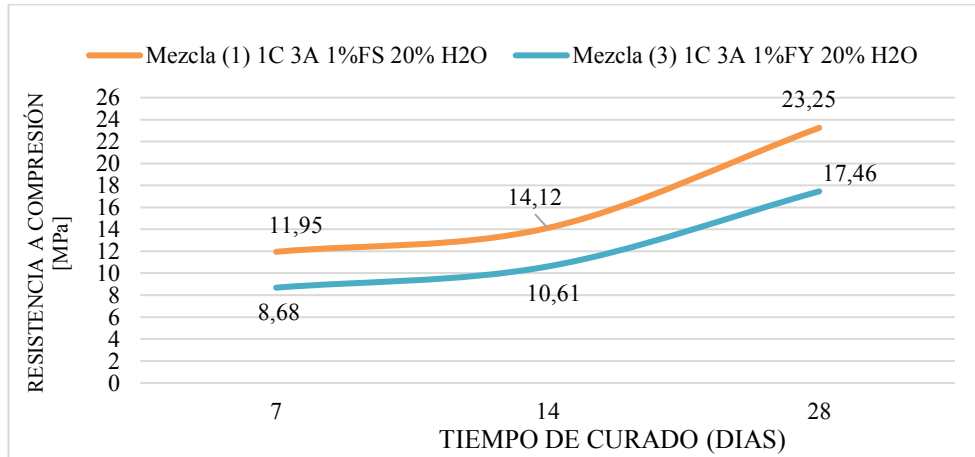
En cambio, cuando se usa fibra de yute, la resistencia a la compresión casi no varía, independientemente de que la mezcla 3 tiene más cemento, que la mezcla 7. Esto podría deberse a que la fibra natural aporta a la resistencia en mayor medida, cuando la cantidad de cemento es menor ([imagen 4.20.](#)). Habría que analizar en futuras investigaciones hasta que porcentaje de cemento y fibra, esto se cumple.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.21. “Resistencia a compresión Vs Edad (M8-M4)”

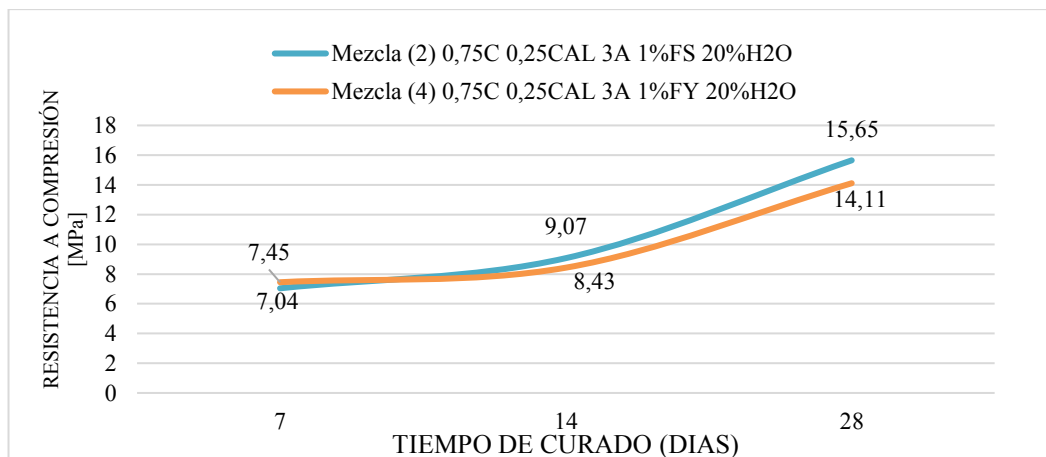
En la [imagen 4.21](#) se observa que cuando se añade cal, la resistencia baja en ambos morteros. La pérdida más significativa es en el mortero 8 que tiene menos cemento, casi del 43% frente al 20% del mortero con más cemento (mezcla 4). Esto ratifica la idea de que la cantidad de cemento es directamente proporcional a la resistencia a la compresión de los morteros.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.22. “Resistencia a compresión Vs Edad (M1-M3)”

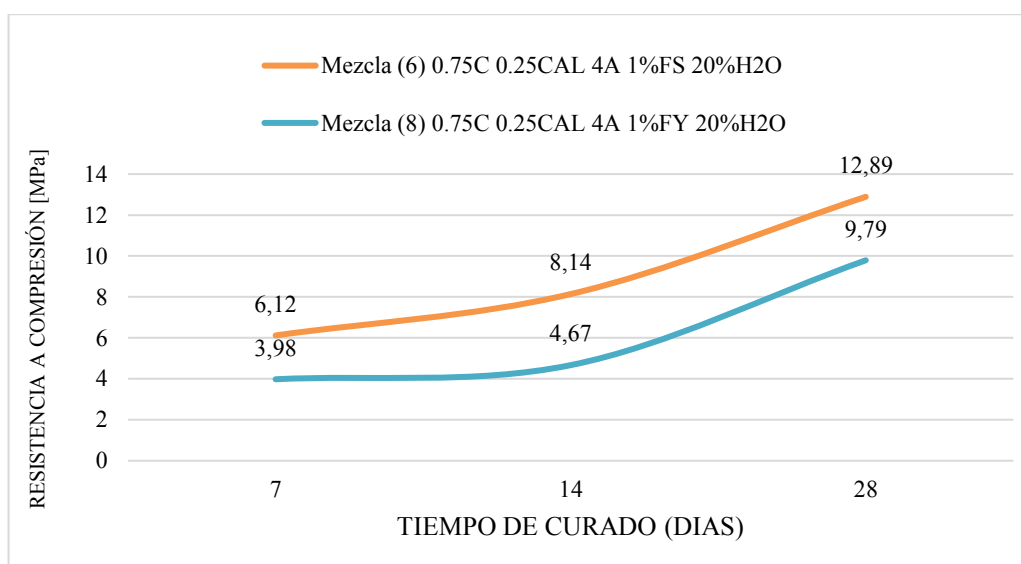
En la [imagen 4.22](#) se observa que usando fibra sintética se obtiene 25% más de resistencia que con la fibra natural.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.23. “Resistencia a compresión Vs Edad (M2-M4)”

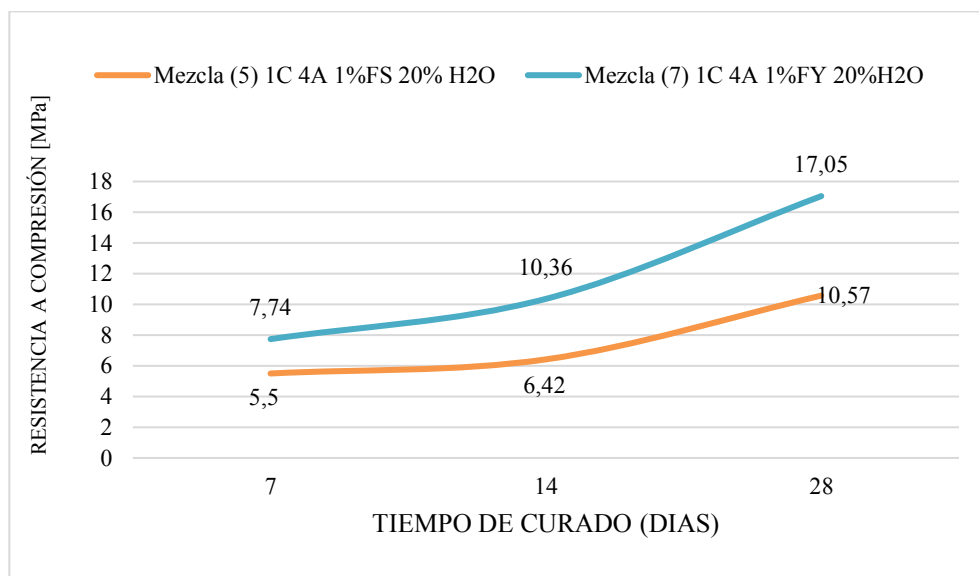
La [figura 4.23](#) muestra que al añadir cal la resistencia a la compresión de los morteros disminuye en 33% y 20% para el que contiene fibras sintéticas y de yute respectivamente. También se observa que esta disminución iguala el comportamiento de los morteros, independientemente del tipo de fibra que se use. Esto haría pensar que la cal tiene un mejor comportamiento como aglomerante cuando la mezcla tiene fibras de yute antes que plásticas.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.24. “Resistencia a compresión Vs Edad (M6-M8)”

En la [imagen 4.24](#) se visualiza el comportamiento de los morteros que tienen menos cemento, manteniéndose que el mortero con fibra sintética tiene mejor resistencia que el que tiene yute, siendo la diferencia de 3.1 MPa a los 28 días. Sin embargo, con mayor cantidad de cemento en los morteros ([imagen 4.23](#)) la diferencia se acorta a 1.54 MPa. Esto haría pensar que en morteros ricos en cemento el tipo de fibra que se use (natural o sintética) no incide demasiado en la resistencia a la compresión.



Viera. Morales. y Monzo. (2020)

Imagen 4.25. “Resistencia a compresión Vs Edad (M5-M7)”

En la [Imagen 4.25](#), se muestra el comportamiento de los morteros sin cal, pero más arena, respecto de las mezclas 1 y 3. En este caso la fibra de yute ayuda a obtener mayor resistencia a la compresión que la fibra sintética. Parecería que con menor cantidad de cemento trabaja mejor la fibra de yute. Sin embargo, esto cambia, cuando se sustituye un porcentaje de cemento por cal ([ver Imagen 4.24](#)). En este caso, la fibra sintética actuó solo un poco mejor que la de yute, con una diferencia de resistencia de 3.1 MPa frente a 6.48 MPa obtenidos sin la adición de cal.

Como se observa en la [Tabla 4.19](#), la influencia de la variación de arena es muy notable en la comparación I y IV. Sin embargo, en la comparación I no se incluye cal y tienen adiciones de fibra sintética, en cambio, en la comparación IV las mezclas incluyen cal y tiene adiciones de fibra de yute. Deduciendo así que. la fibra de yute tiene un mejor comportamiento en presencia de cal.

Tabla 4.19. Resumen de las comparaciones realizadas con las diferentes mezclas

Comparación	Variante	Mezcla	Dosificación	FIBRA		Resultado a compresión [MPa]	Diferencia [%]
			C: CA: A	FS	FY	28 días	
I	ARENA	M1	1:0:3	X		23.25	54.54
		M5	1:0:4			10.57	
II	ARENA	M2	0.75:0.25:3	X		15.65	17.64
		M6	0.75:0.25:4			12.89	
III	ARENA	M3	1:0:3		X	17.46	2.35
		M7	1:0:4			17.05	
IV	ARENA	M4	0.75:0.25:3		X	14.11	30.62
		M8	0.75:0.25:4			9.79	
V	FIBRA	M1	1:0:3	X		23.25	24.90
		M3	1:0:3		X	17.46	
VI	FIBRA	M6	0.75:0.25:4	X		12.89	24.05
		M8	0.75:0.25:4		X	9.79	
VII	FIBRA	M2	0.75:0.25:3	X		15.65	9.84
		M4	0.75:0.25:3		X	14.11	
VIII	FIBRA	M5	1:0:4	X		10.57	38.01
		M7	1:0:4		X	17.05	

Nota: La dosificación se presenta de la siguiente manera: C=partes de cemento. CA=partes de cal.

A=partes de arena y la cantidad de fibra corresponde al 1% del volumen del mortero.

4.4.2. Ensayos de resistencia a la compresión y tracción

El ensayo a tracción se hizo en base a la norma ASTM C-496: “Método de ensayo indirecto de tracción o hendimiento”. Para ello se utiliza el método brasileño, que consiste en aplicar una carga uniforme en el eje longitudinal de la probeta ([Imagen 4.26](#)). La acción de esta carga produce un esfuerzo a tracción uniforme en el diámetro del espécimen (Hevia, 2017).

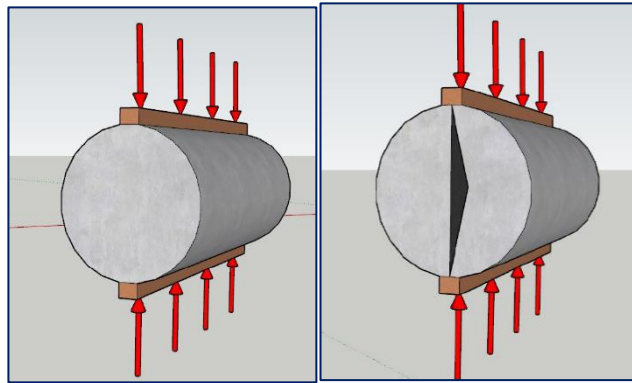


Imagen 4.26. “Descripción gráfica del ensayo y su falla típica”

Para el cálculo del valor del esfuerzo a tracción indirecta se cuenta con la siguiente fórmula, mencionada en la norma ASTMc-496.

$$\sigma_t = \frac{2 * P}{\pi * \phi * h * 100}$$

Ecuación 4.7.

Dónde:

P : Carga aplicada a tracción.

ϕ : Diámetro de cilindro.

h : Altura de cilindro.

σ_t : Esfuerzo a tracción, método brasileño.

Nota: El diámetro y la altura corresponde a un promedio de 3 valores medidos en los cilindros.

En la [Tabla 4.20](#) se muestra los valores promedio de los resultados del ensayo a tracción indirecta.

Tabla 4.20. Esfuerzos a compresión y tracción indirecta promedio a los 7 días

Mezcla	Dosificación	Compresión		Tracción	
		[MPa]	[kg/cm ²]	[MPa]	[kg/cm ²]
		7 días	7 días	7 días	7 días
M1	1C 3A 1%FS 20% H2O	11.95	121.86	1.72	17.49
M2	0.75C 0.25CAL 3A 1%FS 20%H2O	7.04	71.79	1.11	11.34
M3	1C 3A 1%FY 20%H2O	8.68	88.51	1.24	12.65
M4	0.75C 0.25CAL 3A 1%FY 20%H2O	7.45	75.97	1.13	11.51
M5	1C 4A 1%FS 20% H2O	5.50	56.08	0.95	9.67
M6	0.75C 0.25CAL 4A 1%FS 20%H2O	6.12	62.41	0.91	9.26
M7	1C 4A 1%FY 20%H2O	7.74	78.93	1.32	13.47
M8	0.75C 0.25CAL 4A 1%FY 20%H2O	3.98	40.58	0.73	7.41

Fuente: Viera, Morales, & Monzó (2020)

En la [tabla 4.20](#) se observa que la resistencia mayor tanto a compresión como a tracción la tienen los morteros sin cal. El mortero M1 y M3 (1.72 MPa y 1.24 MPa a tracción) tienen la mayor cantidad de cemento de todas las mezclas. El primero, que contiene fibra sintética, es aproximadamente 28% más resistente que el segundo, con fibra de yute. Con esto se confirma que la fibra sintética trabaja mejor con morteros de cemento.

Observando el comportamiento del mortero M1 y M2, se evidencia que la sustitución de 0.25 partes de cemento por cal hidratada, disminuye la resistencia a la compresión del mortero en 41% y a la tracción en casi el 35%.

Por otro lado, en el mortero M8, que es el que tiene menor cantidad de cemento, tiene la más baja resistencia.

El mortero con presencia de cal con mejores cualidades mecánicas es el M4, que también contiene fibras de yute.

4.4.3. *Ensayo de Módulo Estático de Elasticidad y Poisson en cilindros*

El ensayo se determina empleando la norma ASTM c496 (2014a), la cual define al módulo de elasticidad como la pendiente de la recta, entre dos puntos, de la parte elástica de la curva esfuerzo-deformación.

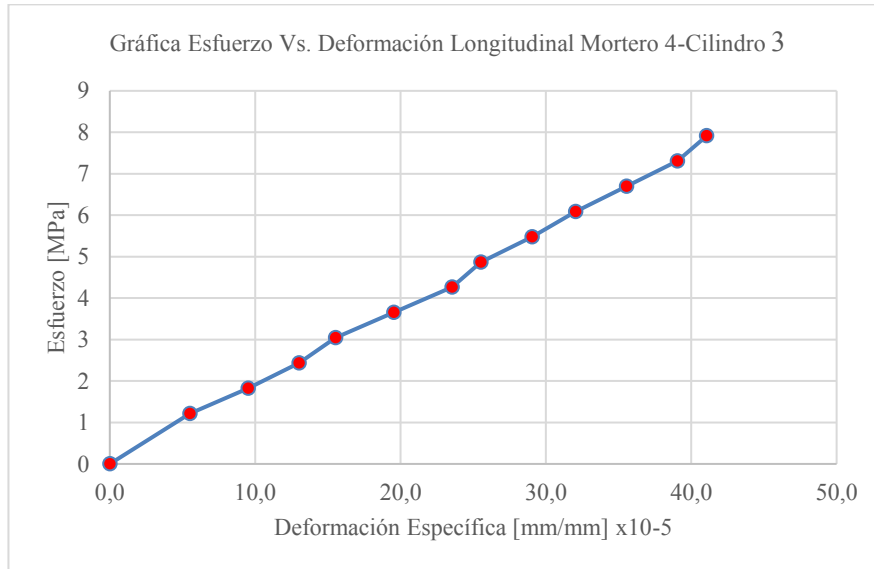
Primero se determina el peso y dimensiones (diámetro y longitud) de los cilindros y se coloca el anillo de deformación encerado y nivelado ([Imagen 4.27](#)). Luego, se ubica el espécimen en la máquina de ensayo y se aplica ciclos de carga (3 en este estudio), tomando lectura de las deformaciones.



Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

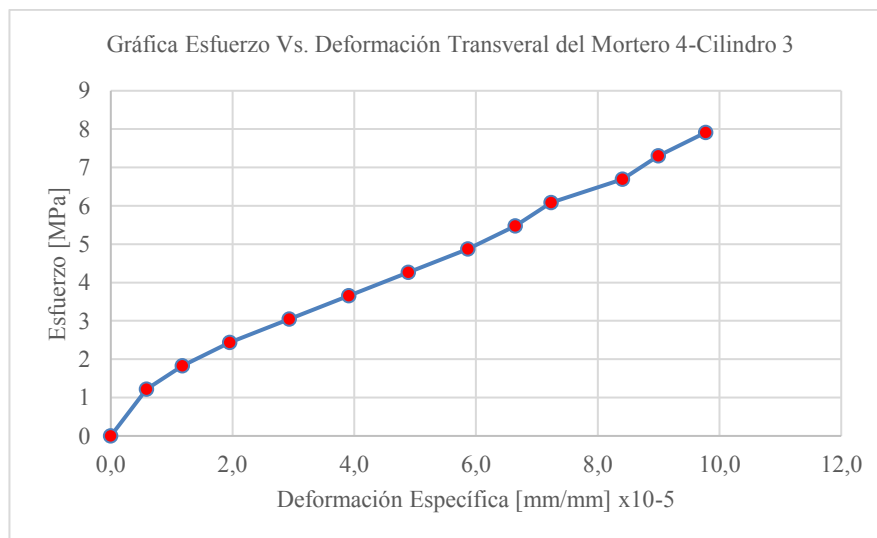
Imagen 4.27. “Ensayo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson”

La relación entre las deformaciones longitudinales y transversales representa el coeficiente de Poisson.



Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Imagen 4.28. “Ensayo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson”



Fuente: Viera. Morales. & Monzó (2020)

Imagen 4.29. “Ensayo de módulo estático de elasticidad y coeficiente de Poisson”

El primer ciclo se estableció para el 40 % de la resistencia final, el segundo para el 70 % y el último hasta la rotura. Para el mortero M4 los resultados de módulo de elasticidad y módulo de Poisson, se muestran en la [tabla 4.21](#).

Tabla 4.21. Resumen de ensayos de módulo de elasticidad y Poisson en cilindros de mortero

Ident.	Dosificación	Resistencia 28 días [MPa]	M. Elasticidad	M. Poisson	N. ciclo
			[MPa]		
M4-C3	0.75C 0.25CAL 3A 1%FY 20%H2O	14.00	33477.90	0.21	2
M4-C3	0.75C 0.25CAL 3A 1%FY 20%H2O	14.00	18240.26	0.21	3
Promedio			25859.08	0.21	

Fuente: Viera, Morales. & Monzó (2020)

4.5. Conclusiones

En este capítulo se muestra el diseño de un mortero con resistencia a la compresión dentro de lo que establece la norma mencionada. Para lograr esta resistencia se usó la mayor cantidad posible de cal hidratada, adicionando cemento y fibras.

El mortero en cuestión está compuesto por 0.75 partes de cemento, 0.25 partes de cal, 3 partes de arena, 1% de fibras de yute y 20% de Agua ([tabla 4.21](#)). Y tiene una resistencia a la compresión a los 28 días de 14.11 MPa, que supera en más del 100% el límite señalado en el Código Internacional Residencial ([ver tabla 4.1](#)), de 6.89 MPa. Además, datos como esfuerzo a la tracción de 2.56 MPa, módulo de elasticidad 25859.08 MPa, módulo de Poisson de 0.27, fueron insumos para obtener el módulo de elasticidad del fardo de paja revocado ([ver capítulo 3](#)).

Además, otros autores como Rikki Nitzkin y Maren Termens recomiendan en su libro “Casas de Paja”; que si se usa hidróxido de calcio como aglomerante se debe adicionar cemento para la realización del mortero de revoco (Nitzkin & Termens. 2010).

En el Ecuador no se comercializa cal hidráulica, solamente cal hidratada (hidróxido de calcio). Dado que la cal nacional tiene baja calidad debido al poco contenido de óxidos de calcio y magnesio (Viera. P. & Acero. M. .2022), es conveniente mezclarla con cemento para mejorar la resistencia de los morteros.

Ashour, et al (2010) concluyeron en su artículo “Compressive strength of fibre reinforced earth plasters for straw bale buildings” que el esfuerzo a la compresión de los morteros es directamente proporcional a la cantidad de fibra añadida a la mezcla, lo cual es coherente con lo presentado en este capítulo. Además, el mencionado estudio manifiesta que las fibras mejoran su ductilidad y aumentan la deformación a la rotura; con lo cual, se justifica la selección del mortero M4, con contenido de fibra natural.

Al utilizar 25% de cal como material cementante se disminuye el impacto ambiental generado por el uso de cemento (Viera. Morales & Monzó. 2020). La fibra de yute, que se obtiene de la corteza de la planta del mismo nombre, contribuye con la resistencia y es de uso común entre las comunidades de la sierra ecuatoriana (El Diario Ecuador. 2015).

Los muros de fardos de paja ensayados a carga lateral (ver capítulo 5), revestidos con este mortero (M4), resistieron cargas entre 17 y de 92kN. También se ensayó un muro revocado únicamente con arcilla, arena y cal, el cual alcanzó 10.34kN. Pese a que la resistencia de este muro disminuyó considerablemente respecto de los otros, se determinó mediante modelación estructural que es suficiente para una casa de un piso, cumpliendo los parámetros establecidos por la Normativa de Construcción Ecuatoriana (ver anexo 7.1). Al respecto (Taylor. B. et al.. 2006) en su estudio “Compressive Strength Testing of Earthen Plasters for Straw Bale Wall Application” concluyeron que la respuesta esfuerzo – deformación de un enlucido de tierra, es similar a la de un enlucido cemento – cal; así como, que el aumento del contenido de arcilla incrementa significativamente la resistencia del enlucido de tierra.

4.6. Referencias Bibliográficas

- Aguirre, Z. (2021, 3 agosto). Repositorio Digital: Determinación del módulo de elasticidad de fardos de paja. para definir su comportamiento estructural como material de construcción alternativo. Recuperado el 2 de octubre del 2021 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24057>
- American Society for Testing and Materials. (2021). ASTM.
- ASTM c110. Standard Test Methods for Physical Testing of Quicklime, Hydrated Lime, and Limestone
- ASTM c270. Standard Specification for Mortar for Unit Masonry
- ASTM c496. Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- Consejo Internacional de Códigos ICC. (2015). International Residential Code IRC.
- Downtown, P. (2013). Straw bale-The build process. Recuperado el 29 de noviembre del 2021 de <https://www.yourhome.gov.au/materials/straw-bale#:~:text=The%20bales%20must%20have%20a.from%20rain%2C%20fire%20and%20pests.>
- Hevia, M. (25 de 07 de 2017). Análisis de la tensión de una grieta en un disco brasileño. Recuperado el 2 de diciembre del 2021 de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/handle/10651/43588/TFGMariaHeviaRUO.pdf?sequence=3&isAllowed=y#:~:text=El%20ensayo%20brasile%C3P%B1o%20es%20un.es%20comprimido%20hasta%20que%20falla.>
- Holcim. (2015). Holcim Fuerte. Cemento hidráulico Tipo GU para la construcción en general. https://www.portaldirecta.com/portaldirecta/ec/CEMENTO_GU_G.pdf

INCOREG (2021). Ficha técnica de cal hidratada. Nombre comercial del producto Cal T-30. Tipo II. Recuperado el 3 de octubre del 2021 de https://38e87eb9-c7e6-461e-bd1f-9474f80a03ca.filesusr.com/ugd/c8ac60_6328c65506d543719486de9c5f9f87d2.pdf

Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana NTE.

King B (1998). Straw-bale Construction. Recuperado el 16 de noviembre del 2021 de http://dcat.net/resources/buildingstandards_sepoct98_strawbale.pdf

Rikki Nitzkin Maren Termens. P. (2010). Casas de Paja Una guía para autoconstructores EcoHabitar ediciones. Recuperado el 4 de diciembre del 2021 de <https://ecohabitar.org/producto/casas-de-paja-nueva-edicion-actualizada-y-ampliada/>

Navas & Arias. (2022. 31 marzo). PROPIEDADES DEL MORTERO EMPACADO EN SECO PARA PEGA DE BLOQUES DE MAMPOSTERÍA. Recuperado el 9 de noviembre del 2021 de <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/18228/21919#:~:text=Los%20morteros%20Tipo%20S%20descritos.%2C%20aproximadamente%20126%20kg%20Fcm2.>

NTE INEN 2380. Cemento hidráulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.

NTE INEN 1573: Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico

NTE INEN 2528: Cámaras de curado. gabinetes húmedos. tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas. utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos

NTE INEN 858. Sobre determinación de la masa unitaria de árido.

NTE INEN 696. Análisis granulométrico en los áridos

NTE INEN 2518. Morteros para unidades de mamposterías. Requisitos

NTE INEN 3124. Hormigón. Elaboración y curado de especímenes de ensayo de laboratorio

- NTE INEN 856. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido
- NTE INEN 488. Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión fr morteros en cubos de 50mm de arista.
- NTE INEN 247. Requisitos cal hidratada para uso en mampostería
- NTE INEN 2589. Métodos de ensayo para el análisis físico
- NTE INEN 2536. Áridos para uso en morteros para mampostería. Requisitos
- NTE INEN 244. Determinación del Residuo.
- NTE INEN 242. Cal hidratada. Determinación de la consistencia.
- Robinson. J., Klalib. H., & Davison. M. (2016). Determining moisture levels in straw bale construction. SCESCM. Recuperado el 4 de octubre del 2021 de <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705817304009?token=4116533EBB52554076D542058CF2DED44C13015EBCC6A43E620B01C9D50960BA83EA0F3F0A14D7C7BD8A0955C56B35E6&originRegion=us-east-1&originCreation=20221026204332>
- Romans Torres. I. (2015). Estudio y análisis de la construcción con balas de paja: comparación del sistema estructural " CUT" con la construcción convencional de hormigón armado (Doctoral dissertation. Universitat Politècnica de València). Recuperado el 4 de diciembre del 2021 de <https://riunet.upv.es/handle/10251/48222>
- Sánchez. M. (2020). La paja como mecanismo bioclimático en la construcción. Edificio sostenible en Slane Castle. Pag 27. Recuperado el 13 de octubre del 2021 de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/44679>
- TESPECON. (2021). Tespecon: Home. Recuperado el 19 de diciembre del 2021 de <https://www.tespecon.com/product/eps-fibratex/>
- Torregrosa Armendariz. U. (2022). Comparativa. respecto a la capacidad de arriostamiento. de dos sistemas constructivos de muros con balas de paja realizados "in situ": el sistema de

Columna y el sistema de CUT modificado. Pag 2. Recuperado el 13 de diciembre del 2021 de <https://addi.ehu.es/handle/10810/56012>

Viera, P., & Acero, V. (2022). Diseño de un mortero a partir de la caracterización de cal producida y comercializada por 5 proveedores en Ecuador. *Novasineria*, 5(2), 158-173. Recuperado el 12 octubre del 2021 de <https://novasineria.unach.edu.ec/index.php/novasineria/article/view/323>

Viera, P., Aguirre, D., & Monzó, J. (2020). Determinación de las características del fardo de paja de trigo, como desecho agroindustrial para su aprovechamiento como material de construcción / Determination of the characteristics of the wheat straw bale, as an agro-industrial waste for use as a construction material. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 304-318. Recuperado el 10 de agosto del 2021 de https://redib.org/Record/oai_articulo3382503-determinaci%C3%B3n-de-las-caracter%C3%ADsticas-del-fardo-de-paja-de-trigo-como-desecho-agroindustrial-para-su-aprovechamiento-como-material-de-construcci%C3%B3n

Viera, P., Morales, L., & Monzó, J. (2020). Diseño y caracterización de un compósito a base de cal, cemento y fibras naturales para edificaciones. MEMORIAS VII Congreso REDU, Quito, Ecuador, 903-910. Recuperado el 5 noviembre del 2021 de https://www.researchgate.net/publication/343539697_Diseño_y_caracterización_de_un_compósito_a_base_de_cal_cemento_y_fibras_naturales_para_edificaciones

Wihan, J. (2007). Humidity in straw bale walls and its effect on the decomposition of straw. Recuperado el 4 noviembre del 2021 de <https://tallerconco.org/wp-content/uploads/2017/05/Thesis-Humidity-In-Straw-Bale-Walls-Jakub-Wihan.pdf>

Capítulo 5

Caracterización estructural de muros portantes construidos con fardos de paja producidos en Ecuador

En este capítulo se describen los diferentes ensayos que se realizaron con el fin de caracterizar el comportamiento estructural de los muros portantes construidos con fardos de paja.

En primer lugar, se detallan las características geométricas de los muros ensayados, revocos, elementos de borde y sistemas de carga.

Luego, se indican las cargas verticales y laterales aplicadas en los ensayos.

Finalmente, se evalúan esquemas de reforzamiento por medio de diferentes parámetros relativos al comportamiento estructural de los muros de fardos de paja, los cuales se enuncian a continuación: energía disipada, rigidez secante, degradación de la rigidez, degradación de la resistencia, amortiguamiento viscoso, envolvente de la curva de capacidad y ductilidad de desplazamiento

Se ensayan 4 muros. Los 3 primeros tienen un refuerzo de malla electrosoldada y revoco de arena, cemento, cal y fibras naturales, cuyo diseño se explica en el capítulo 4. La

conformación de estos muros parte de criterios establecidos en la norma CRC (California Residential Code) Apéndice S. Por otro lado, el último muro fue realizado con principios clásicos de la bio construcción, en donde se usa revoco de barro y cal y reforzamientos de madera.

Este capítulo se consuma con una serie de recomendaciones y conclusiones.

5.1.DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DEL ENSAYO, MURO Y REVOCO. ELEMENTOS DE BORDE Y SISTEMAS DE CARGA.

El ensayo de carga lateral cíclica paso a paso (carga pseudo - dinámica) se efectuó bajo los lineamientos descritos por la norma ASTM E2126-11 en relación con los patrones de carga lateral aplicados a los especímenes de prueba (muros). Dicho ensayo se ejecuta mediante la aplicación de una carga lateral transmitida a través de un cilindro hidráulico acoplado a una celda de carga de 20 ton, la cual se ejerce en el plano principal del muro, provocando movimientos de empuje y halado de izquierda a derecha y viceversa en cada ciclo de carga y descarga.

Se mide no sólo la carga aplicada sino también las deformaciones o desplazamientos provocados por la aplicación de la carga lateral, a través de sensores conocidos como transformadores diferenciales de variación lineal (Linear Variable Differential Transformer, LVDT). La recopilación de los datos de carga y desplazamientos se lo realiza mediante el sistema UPM 100 HBM de 80 canales, cuya identificación de cada canal utilizado se muestra en la [Tabla 5.1](#). El canal 2 corresponde a la carga lateral aplicada, el canal 3 recopila los desplazamientos horizontales en el punto de control (en el borde superior del muro), para la obtención de las curvas de capacidad, y los canales 4, 5, 6 y 7 registran los desplazamientos verticales en distintos puntos a lo largo y alto del muro, como se muestra en la [Imagen 5.1](#).

Tabla 5.1. Identificación de los canales LVDTs

Instrumentación	Canal
Celda 20 T	2
LVDT 1	3
LVDT 2	4
LVDT 3	5
LVDT 4	6
LVDT 5	7

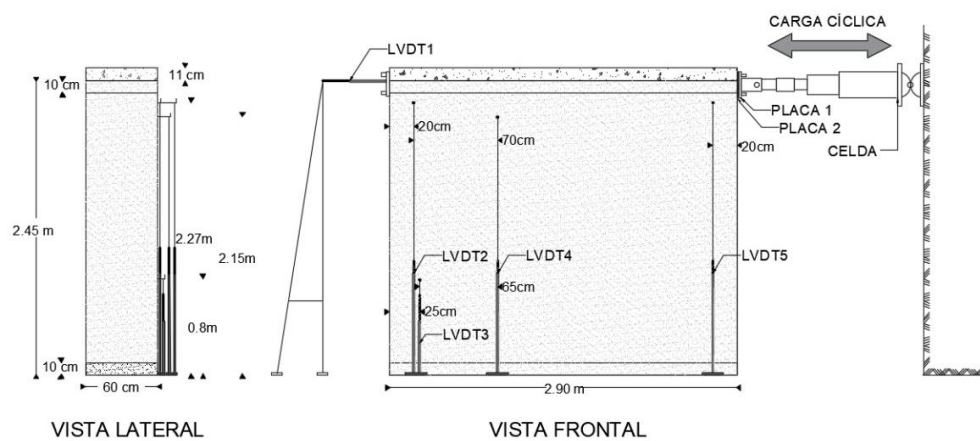


Imagen 5.1. Ubicación de los sensores de desplazamientos

Vale la pena anotar que los sensores LVDT 2,3,4 y 5 captaron movimientos verticales únicamente como cuerpo rígido.

5.1.1. Características de los especímenes de prueba

Los ensayos de carga lateral cíclica paso a paso se efectuaron sobre 4 especímenes de prueba, identificados como muros A, B, C y D. Los tres primeros tenían una longitud en la base de 2.90 m y una altura de 2.45 m, al contrario, el muro D tenía una longitud en la base de 2.70 m. Estos muros se construyeron a base de fardos de paja de trigo con

dimensiones medias de 45cm x 36cm x 63cm, con un peso promedio de 10.2 kgf, una densidad media de 100 kgf/m³ y, se colocaron de forma alternada, es decir a rompe-juntas.

5.1.1.1. Cimentación

Los muros se cimentaron sobre una escalerilla de madera, que se fija a la losa de reacción del laboratorio mediante 4 anclajes separados cada 58 cm y que se aseguran mediante placas y pernos de anclaje, sometiendo a las barras de anclaje a una pretensión de 42.70 MPa (6200 psi). También se colocaron placas de ajuste en los extremos de la escalerilla para evitar desplazamientos laterales de la cimentación durante el ensayo. Adicionalmente, la primera hilada de fardos de paja se aseguró mediante estacas de 2.5 x 4 cm de sección y 22 cm de largo, las cuales sobresalen de la escalerilla como se observa en la [Imagen 5.2](#)

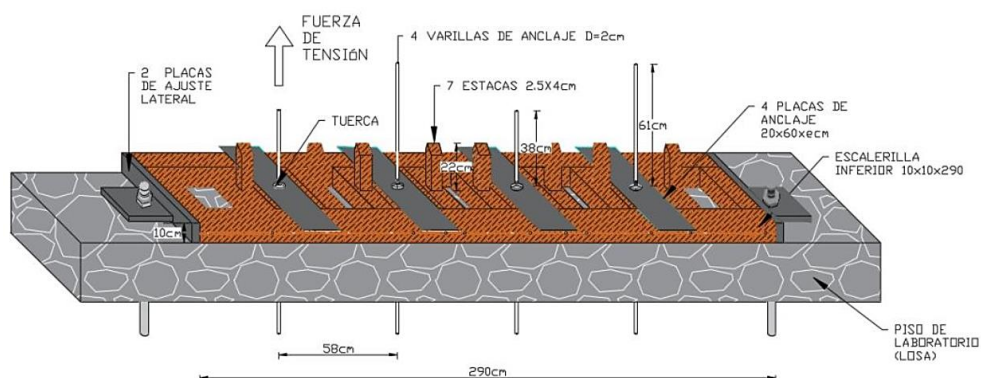


Imagen 5.2. Detalle de anclaje de la cimentación de los muros ensayados

5.1.1.2. Muros de fardos de paja

Los muros se construyeron colocando los fardos de paja en posición plana, es decir con su mayor área (45 x 63 cm) paralela a la losa de reacción y de manera alternada. Además, para darle soporte lateral al muro y permitir que la carga lateral se distribuyera uniformemente, se colocaron tableros de madera laminada a los costados del muro, asegurándolos a los fardos mediante hilos de alambre galvanizado trenzado calibre 18, que

rodeaban al muro horizontalmente. En el caso de los muros A, B y C, se utilizaron cinco hilos horizontales y en el caso del muro D se utilizaron tres hilos horizontales.

En la parte superior de los tableros laterales se realizaron 4 perforaciones a cada lado para que puedan pasar las varillas del armado de la viga de distribución de carga. Adicionalmente, se colocó una escalerilla superior anclada a los fardos mediante cinco varillas verticales de acero, de 12 mm de diámetro y una longitud de 30 cm, que se embebían en la hilada superior de fardos paja, según se muestra en la [Imagen 5.3](#).

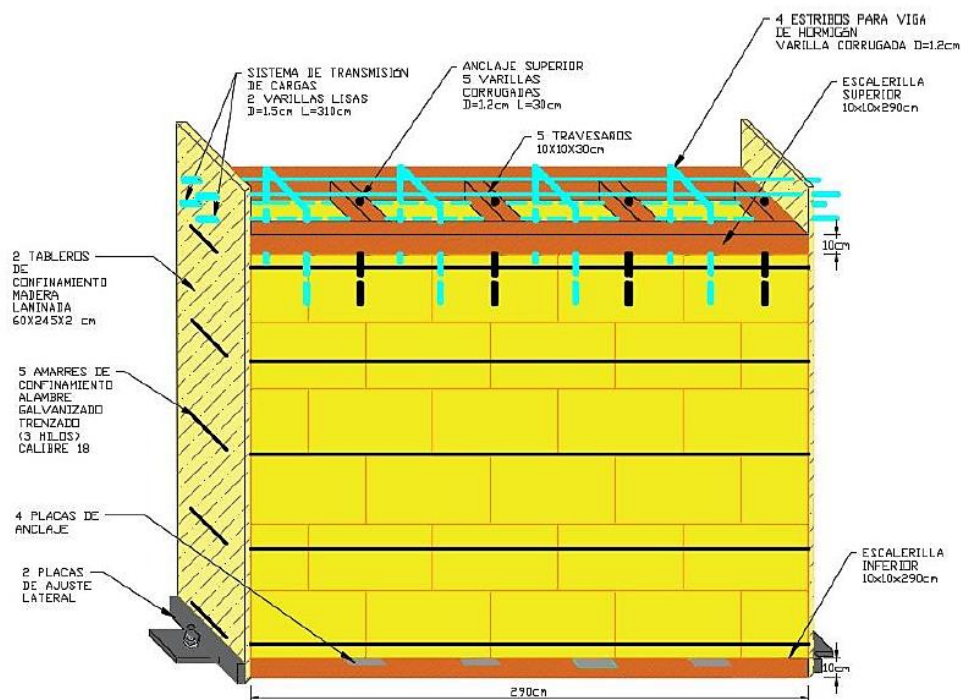


Imagen 5.3. Detalle de la conformación de los muros y sistema de transmisión de carga de los muros A, B y C.

El cuerpo de los muros A, B y C se reforzó con una malla electrosoldada de 4 mm de diámetro con una separación de 10 cm por lado, aplicando una doble malla en los tercios superior e inferior del muro. La malla se fijó a las escalerillas superior e inferior mediante

grapas de acero de 1cm de corona por 1.50 cm de pata, y se aseguró a los fardos de paja únicamente en su tercio medio, a través de varillas de anclaje de 8 mm de diámetro separadas cada 50 cm, para permitir la transmisión de los esfuerzos al muro y sus elementos de confinamiento, ver [Imagen 5.4](#).

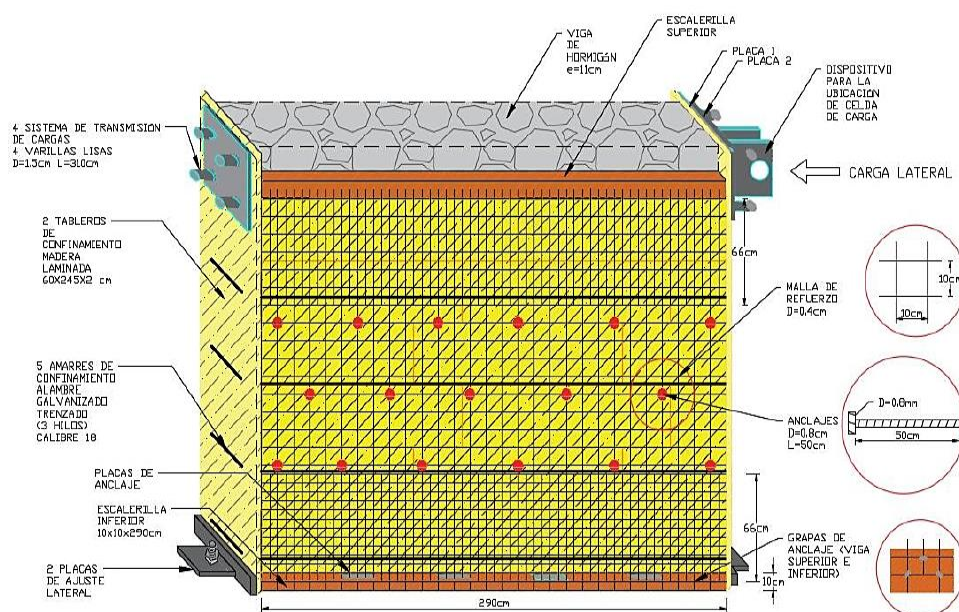


Imagen 5.4. Detalle de la conformación de los muros A, B y C y el sistema de transmisión de carga

El muro D, al contrario de los tres primeros muros, no posee malla electrosoldada de refuerzo, en razón de que se pretendía probar el sistema sin reforzamientos adicionales para reducir los costos y priorizar el uso de materiales de menor impacto ambiental, por lo que el sistema consistía de escalerillas de madera superior e inferior, tableros de confinamiento lateral y los amarres de confinamiento, que en este caso fueron 3 hilos horizontales de alambre galvanizado trenzado y 5 hilos o amarres de confinamiento verticales calibre 18. Estos envolvían el cuerpo de muro conformado de fardos de paja colocados a rompe-juntas y fijados mediante estacas de madera de 2.5cm x 2.5cm x 100

cm, las cuales se traslapaban, permitiendo que todo el muro trabaje, como se muestra en la [Imagen 5.5](#).

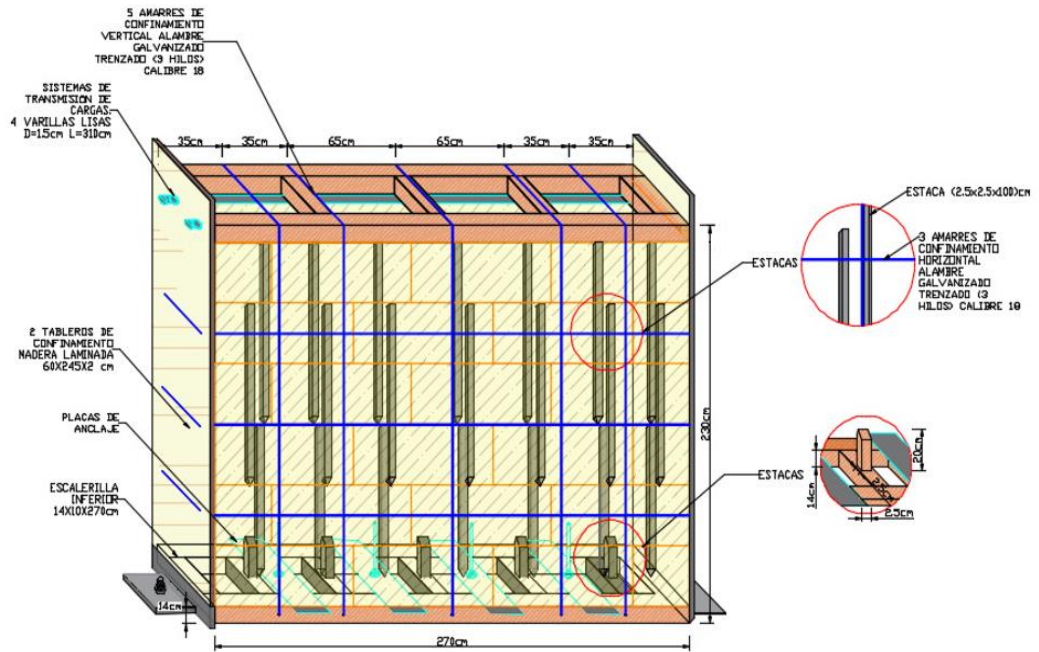


Imagen 5.5. Detalle de la conformación del muro D y sistema de transmisión de carga

5.1.1.3. Viga de transmisión de carga lateral

Este elemento se diseñó para resistencia elástica lineal a compresión y tensión, con una sección de 725 cm^2 , su finalidad era la de permitir una adecuada transferencia de la carga lateral cíclica al cuerpo del muro, mediante placas de unión emperradas colocadas en los extremos opuestos de la viga y sobre una de las cuales se acoplaba el gato hidráulico para ejercer la carga lateral. Este elemento estaba reforzado con 4 varillas lisas de 15 mm de diámetro y 3.10 m de longitud con 4 estribos corrugados de 12 mm de diámetro, fundido con un hormigón de 140 kgf/cm^2 (13.73 MPa) de resistencia a la edad de 7 días, según se puede ver en las [Imágenes 5.3 y 5.4](#).

5.1.1.4. Revoco

El recubrimiento de muros A, B y C se lo realizó con un mortero de resistencia media a compresión axial de 7.45 MPa y un módulo estático de elasticidad de 24859.08 MPa. La dosificación al volumen empleada fue: 0.75 partes de cemento hidráulico de uso general que cumple con la normativa NTE INEN 2380 (equivalente ASTM C1157); 0.25 partes de cal hidratada T-30(NHL) que cumple con la normativa NTE INEN 247; 3 partes de arena gradada y agua potable. Además, se adicionó fibras naturales discontinuas y orientadas al azar, extraídas de la planta de yute, previamente tratadas y lavadas con longitudes nominales de 2.5 a 5 centímetros (ver [Imagen 5.6](#)). La dosificación del mortero se realizó al volumen, tomando como unidad un recipiente de 0.123 m³. Con fines referenciales se muestra en la [Tabla 5.2](#) la cantidad aproximada de materiales utilizados por saco de cemento de 50 kg.



Imagen 5.6. Materiales constitutivos del mortero de recubrimiento de los muros A, B y C. (De izquierda a derecha: fibra de yute, arena, cal y cemento.)

Tabla 5.2. Cantidades aproximadas por saco de cemento para elaborar el mortero de recubrimiento de los muros A, B y C

Material	Cantidad
Cemento	50 kg
Cal	6.33 kg
Arena	590 kg
Fibras	1.65 kg
Agua	40 l

Al aplicar el revoco se cuidó que la malla electrosoldada quede aproximadamente a la mitad del espesor del recubrimiento de los muros como se puede ver en la [Imagen 5.7](#)

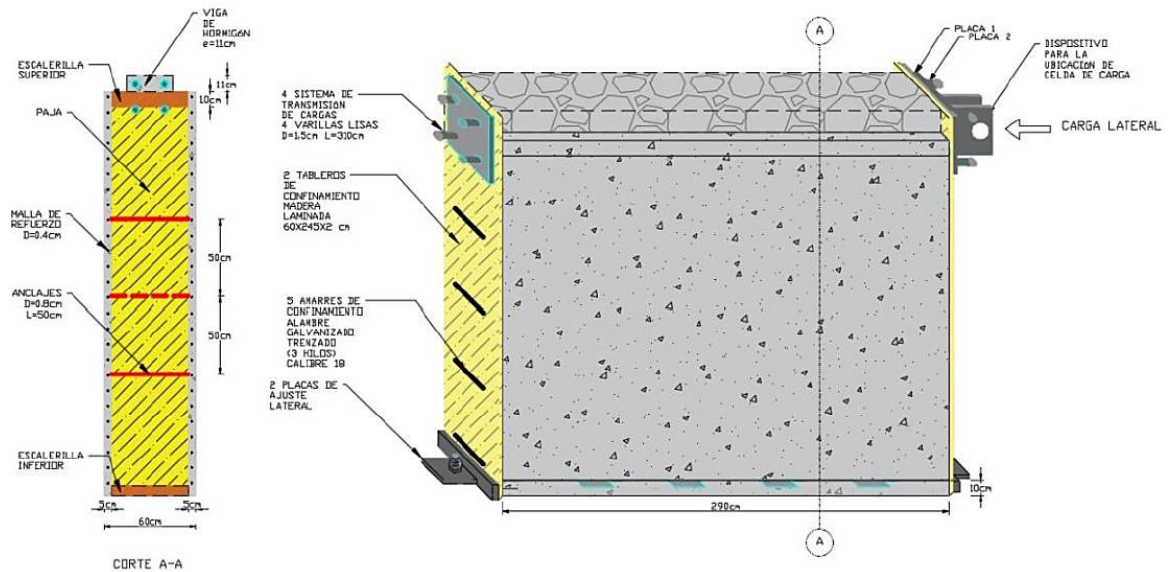


Imagen 5.7. Vista frontal y lateral de los muros A, B y C con revestimiento

El revoco del cuarto muro (D) se componía de 3 capas de recubrimiento: la primera capa de imprimación, compuesta únicamente por barro y con un espesor de 2cm. Luego, se aplicó una capa de cuerpo de 4cm de espesor, compuesta de barro, cal y paja, en una proporción de 1:3 (cal-barro); la resistencia media de este mortero al fallar por aplastamiento era de 1,45 MPa. Finalmente se aplicó una capa de acabado compuesta de barro, cal y arena, con un espesor de 2cm, como se muestra en la [Imagen 5.8](#). En este caso no se consideró el uso de fibras naturales de yute, ni cemento.

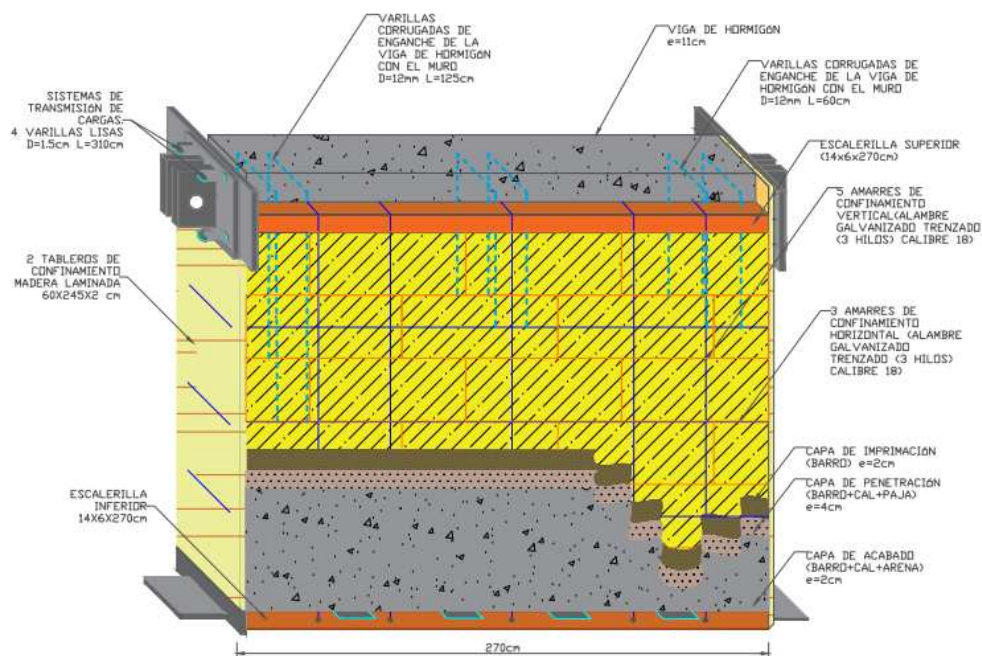


Imagen 5.8. Vista frontal del muro D con el revestimiento

5.2.DESCRIPCIÓN DE LAS CARGAS VERTICALES Y LATERALES APLICADAS EN EL ENSAYO PARA DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS PROBETAS.

Los especímenes de prueba fueron sometidos a una carga lateral cíclica paso a paso, mientras se tenía una carga vertical permanente en toda la longitud del muro. Esta carga era transmitida por la viga superior que ayudaba a la transferencia de la carga lateral y simulaba las cargas de uso de la estructura, por lo que este fue un parámetro constante en todos los ensayos. El peso propio de esta viga era de aproximadamente 504.60 kg y transmitía una carga uniforme de 174 kg/m, como se observa en la [Imagen 5.9](#).

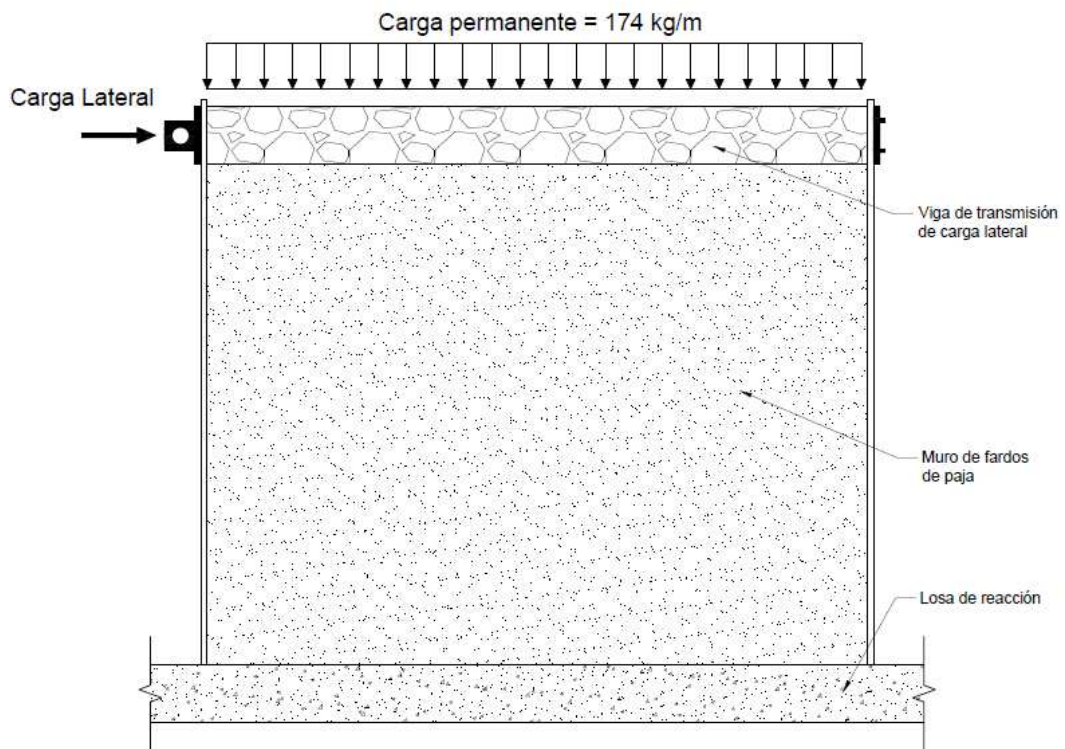


Imagen 5.9. Esquema de cargas de ensayo

La carga lateral cíclica pseudo - dinámica se aplicó de acuerdo con las recomendaciones de la ASTM E2126-11 en base al protocolo de carga del método C, aplicando la carga hasta obtener valores prefijados de desplazamiento lateral en el punto de control del muro. A continuación, en la [Tabla 5.3](#) se muestra el protocolo de carga aplicado.

Tabla 5.3. Protocolo de carga lateral cíclica

PATRÓN	PASOS	NÚMERO MÍNIMO DE CICLOS	DESPLAZAMIENTO MÁXIMO POR CICLO	AMPLITUD DEL CICLO PRIMARIO
			[mm]	[% Δ]
1	1	6	1.21	5.00
2	2	7	1.82	7.50
	3	7	2.42	10.00
3	4	4	4.84	20.00
	5	4	7.26	30.00
	6	4	9.68	40.00
4	7	3	16.94	70.00
	8	3	24.20	100.00
	9	3	36.30	150.00
	10	3	48.40	200.00
	11	3	60.50	250.00
	12	3	72.60	300.00
	13	3	84.70	350.00
	14	3	96.80	400.00
	15	3	108.90	450.00
16	3	121.00	500.00	
Delta (mm) 24.20				
Alfa \leq 0.5 0.5				

La columna “PATRÓN” indica el tipo de secuencia de carga que se usa, la columna “PASOS” el número de secuencia de carga, la columna “NÚMERO MÍNIMO DE CILOS” el número de repeticiones de cada secuencia, la siguiente columna indica el desplazamiento máximo y, la última, el porcentaje de desplazamiento respecto a $\Delta = 24.20$ mm.

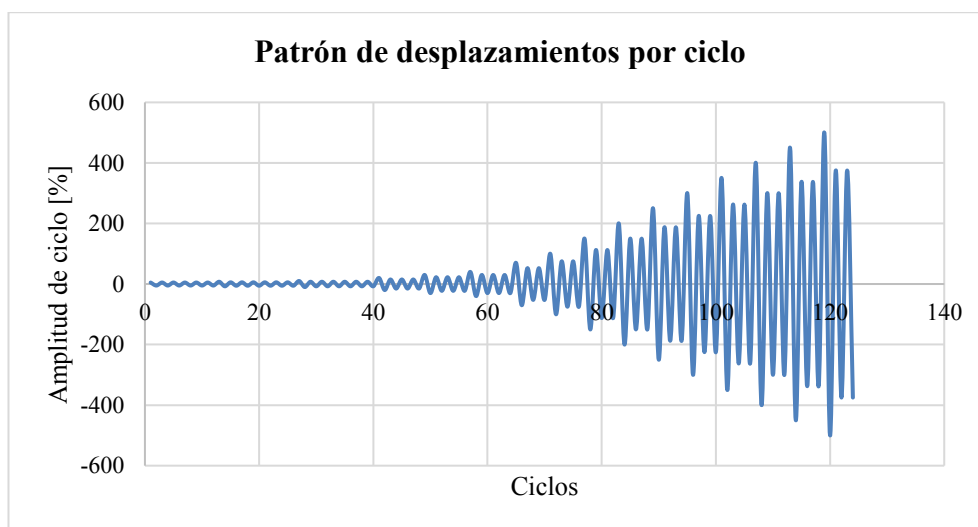


Imagen 5.10. Patrón de desplazamientos según el protocolo de carga aplicado

5.3.DESCRIPCIÓN DE LOS DIFERENTES ESQUEMAS DE REFORZAMIENTO A SER EVALUADOS

El esquema de reforzamiento en el caso de los muros A, B y C se centró en el uso de una malla electrosoldada de 4mm de diámetro en ambas caras del muro, asegurada a las escalerillas de madera superior e inferior mediante grapas y en su tercio medio mediante varillas anclajes de 8 mm de diámetro al cuerpo del muro.

Entre los muros A, B y C existieron pequeñas diferencias constructivas para garantizar un adecuado comportamiento de la cimentación. En el caso del muro B se instalaron

travesaños adicionales en la escalerilla inferior para que se asentaran mejor las placas de anclaje. reduciendo la falla por flexión en las mismas, al mismo tiempo se incrementó en un 200% la cantidad de grapas utilizadas para asegurar la malla electrosoldada a las escalerillas de madera, con especial atención a los punto de cruce de las varillas verticales y horizontales, respecto a cantidad usada para los muros A y C, que utilizaron la misma cantidad de grapas, ([ver Imagen 5.11](#)).



Imagen 5.11. Detalle de la cantidad de grapas en los muros A, B y C

Por otro lado, el muro C contemplaba la utilización de dobles placas de anclajes, colocadas una sobre otra y soldadas a una varilla longitudinal de 12 mm de diámetro, mediante vástagos verticales de 12 cm de largo, que conectaría las placas de anclaje con las placas de ajuste, buscando desarrollar toda la capacidad del muro. El detalle se muestra en la [Imagen 5.12](#).



Imagen 5.12. Detalle de la base del muro C, varilla longitudinal y vástagos verticales

En el caso del muro D, éste no contaba con el reforzamiento de malla electrosoldada, únicamente se encontraban los fardos de paja ajustados con hilos de alambre trenzado

galvanizado en sentido vertical y horizontal, a diferencia de los muros A, B y C que tenían los hilos de amarre en sentido horizontal.

Todos los especímenes de prueba presentaron diferentes daños durante el ensayo, teniendo en cuenta las variantes mencionadas en el anteriormente, respecto de las diferencias entre los esquemas de reforzamiento.

5.3.1. Fallas presentadas en el muro A

En el muro A la falla se produjo esencialmente en la base, cuando la escalerilla de madera se levantó aproximadamente 10 cm y rompió el revoco de mortero, esto provocó el desprendimiento de un 60% de las grapas que mantenían fija la malla electrosoldada a la escalerilla inferior, siendo visible una falla longitudinal en la escalerilla de madera inferior, que se extendió a lo largo de toda la base y aumentó hasta llegar a un ancho de 5mm, acompañada de una fisura secundaria de 50 cm de largo y 2mm de ancho, como se muestra en la [Imagen 5.13](#).



Imagen 5.13. a) Fisuración a largo de la base del muro. b) Levantamiento de 10cm en la base del muro. c) Desprendimiento del recubrimiento del muro en la esquina inferior. d) Desprendimiento del recubrimiento (0.5 cm) en la parte central inferior del muro.

En la [Imagen 5.14](#) se puede apreciar la falla por cortante en la escalerilla de madera y el desprendimiento de las grapas de los extremos de la escalerilla, quedando flojas algunas en la parte central. También se observó una separación de los tableros de confinamiento en por lo menos 2 cm, ver [Imagen 5.15](#).



Imagen 5.14. a) Falla a cortante en la escalerilla inferior. b) Rotura a cortante de la escalerilla inferior y desprendimiento de las grapas de anclaje



Imagen 5.15. Separación de los tableros de confinamiento de madera laminada. a) Extremo superior derecho. b) Extremos superior izquierdo.

En la escalerilla inferior se evidenció que, al desmontar el muro, las estacas de la primera hilada de fardos de paja estaban intacta, pero los travesaños de los extremos de la escalerilla se habían desclavado. Además, se observó que las placas de anclaje se deformaron por flexión y algunas varillas verticales de la malla electrosoldada se habían arrancado en la unión con la escalerilla, ver [Imagen 5.16](#).



Imagen 5.16. Imagen 1.1. a) Dentro del círculo se muestra la separación de travesaños de la escalerilla inferior en los extremos. b) Malla de refuerzo intacta en la parte central del cuerpo del muro. c) Dentro del círculo se evidencia la falla a cortante en uno de los travesaños de la escalerilla del muro A.

5.3.2. *Fallas presentadas en el muro B*

Tras el ensayo se observó que la escalerilla de madera inferior falló a cortante en mucha más amplitud y longitud que en el muro A, y parte de las varillas verticales de la malla electrosoldada se rompieron en la zona de unión con la escalerilla inferior, producto de la mayor cantidad de grapas empleadas, lo que favoreció la formación de una línea de falla, ver [Imagen 5.17](#). Adicionalmente en este ensayo no se levantó la escalerilla inferior, pero sí el cuerpo del muro, debido a la rotura de las varillas verticales de la malla, tampoco se

observó una separación de los tableros laterales de confinamiento y el ensayo concluyó cuando se observó que la escalerilla inferior estaba completamente rota.



Imagen 5.17. a) Rotura de la escalerilla inferior. b) Evidencia de la separación de la escalerilla inferior con el resto del muro. c) Deformación de la varilla de 12mm a lo largo del centro del muro (en una longitud de 25 cm) y rotura de la malla de refuerzo.

5.3.3. Fallas presentadas en el muro C

En este muro la escalerilla inferior no se levantó, pero sí el cuerpo del muro por la rotura de la conexión de la malla electrosoldada con la escalerilla de madera inferior, ver [Imagen 5.18a](#) y [5.18b](#). Sin embargo, esta se daña mucho menos que en el muro B, ya que está protegida por la varilla longitudinal de 12 mm, la cual absorbe los esfuerzos y se deforma, levantándose en el centro del muro hasta 4 cm, ver [Imagen 5.18d](#). El daño en realidad logra trasladarse al cuerpo del muro, donde se ven dos fisuras a 45 grados, desde el tercio medio del alto del muro hacia abajo y el centro del largo de este, ver [Imagen 5.18c](#). El ancho de

estas fisuras es aproximadamente 1mm. Al final del ensayo, las dos fisuras a 45 grados alcanzaron la base del muro, sin embargo, las fisuras con mayores anchos se produjeron de forma similar a la de los muros A y B, en la base del muro, también al igual que en el muro B, los tableros de confinamiento no se separaron del muro.



Imagen 5.18. a) Separación del cuerpo del muro de la escalerilla inferior hasta 5 cm. b) vista lateral de la separación del muro. c) Fisuración del muro C. luego del ensayo. d) Deformación de la varilla longitudinal de 12mm.

5.3.4. Fallas presentadas en el muro D

Las fallas durante el ensayo se manifestaron especialmente en las capas de revestimiento, con una serie de fisuras a lo largo de todo el cuerpo el muro, llegando a generar una disgregación de la capa de imprimación, al punto de dejar visible parte de los fardos de paja. En los ciclos iniciales las fisuras empezaron a aparecer a lo largo de los amarres de confinamiento verticales, ver [Imagen 5.19](#).

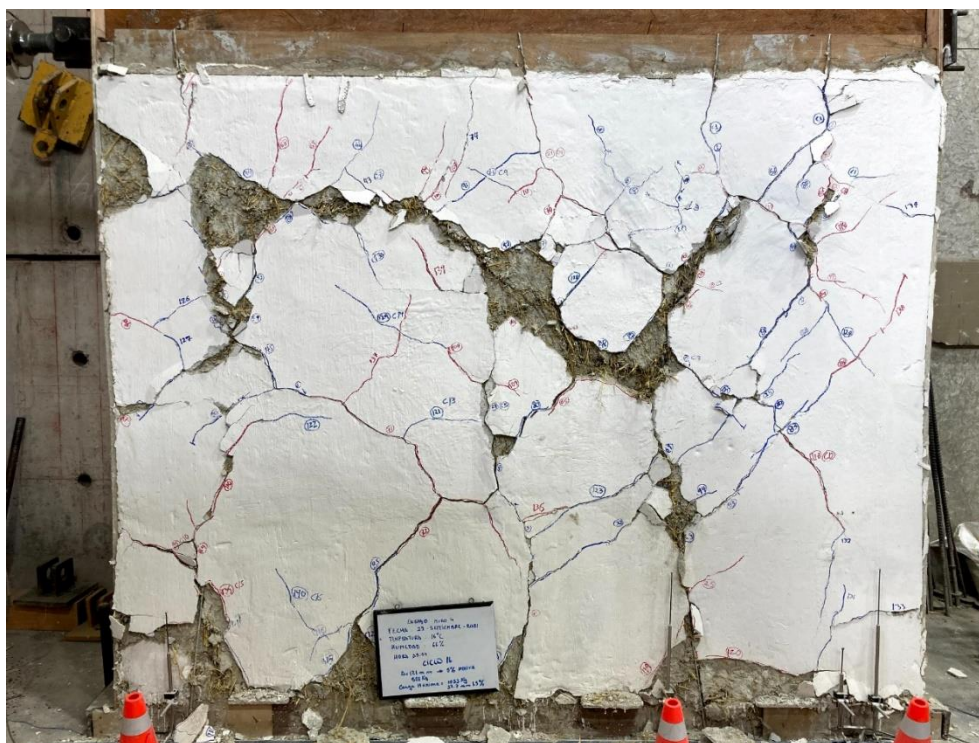


Imagen 5.19. Fisuras presentadas en el muro D.

Cabe mencionar que al finalizar el ensayo y durante el desmontaje del muro se constató que las estacas internas que unían los fardos de paja, según se había indicado en la [Imagen 5.5](#) no presentaron ningún daño, de igual manera los amarres de confinamiento verticales y horizontales tampoco presentaron daños, este se puede observar en la [Imagen 5.20a-d](#) se muestra el desmontaje del muro tras el ensayo.



Imagen 5.20. a) Estacas inferiores del muro. b) Estaca de unión intacta. c) Grupo de estacas internas sin presencias de daños. d) Desmontaje del muro D.

Como ya se ha mencionado, los ensayos de carga lateral cíclica pseudo-dinámica se llevaron a cabo de acuerdo con las recomendaciones de la ASTM E2126-11, para la obtención de una serie de curvas que representan el comportamiento de cada espécimen de prueba ante varios ciclos de carga y descarga, generando una curva de histéresis. De estas curvas se obtienen diferentes parámetros relativos al comportamiento estructural de los muros de fardos de paja, los cuales se enuncian a continuación:

- Energía disipada
- Rigidez secante
- Degradación de la rigidez
- Degradación de la resistencia

- Amortiguamiento viscoso
- Envolvente de la curva de capacidad
- Ductilidad de desplazamiento

5.3.5. Energía disipada

Este parámetro se define como el área que encierra cada ciclo principal (lazo) de carga y descarga de la curva de histéresis obtenida del ensayo, el cual se expresa en unidades de kilo Julio (kJ), y que se puede evaluar de forma cualitativa mediante la presencia de daños en los muros de fardos de paja.

5.3.5.1. Energía disipada por el muro A

A continuación, en la [Imagen 5.21](#) se puede observar la representación del método de cálculo para la obtención de la energía disipada por el muro A, correspondiente al primer ciclo del ensayo.

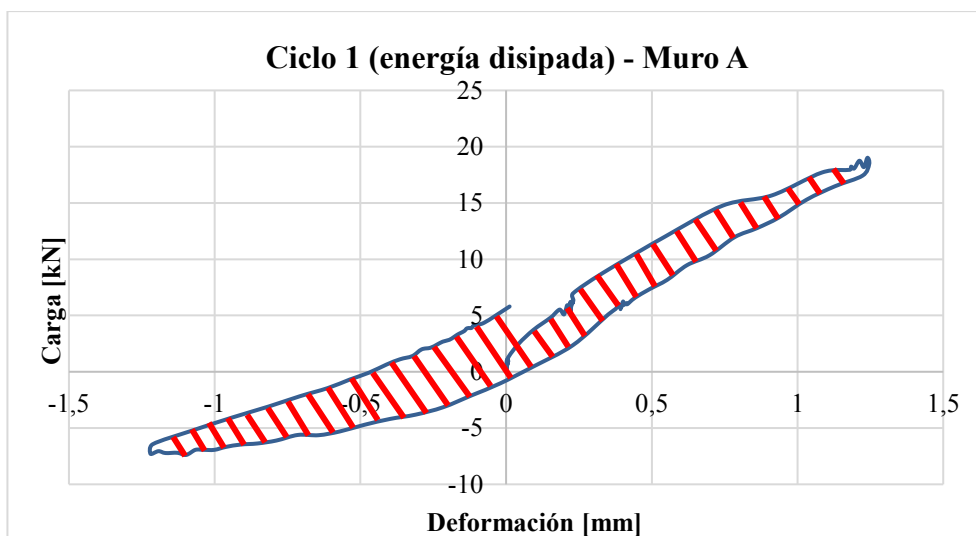


Imagen 5.21. Energía disipada en el primer ciclo del muro A

En la [Tabla 5.4](#) se detalla la energía disipada por cada ciclo de ensayo, determinándose que la energía total disipada al finalizar el ensayo fue de 27.8 kJ, de igual manera se muestran los porcentajes acumulados de disipación de energía tras cada ciclo de ensayo.

Tabla 5.4. Energía disipada por el muro A

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGÍA DISIPADA [kJ]	ENERGÍA DISIPADA ACUMULADA [kJ]	ENERGIA DISIPADA %
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]			
CICLO 1	1.24	19.01	-1.22	-7.29	0.0086	0.0086	0.03
CICLO 2	1.85	22.68	-1.82	-8.43	0.014	0.0226	0.08
CICLO 3	2.74	27.93	-2.44	-8.83	0.0276	0.0502	0.18
CICLO 4	4.90	31.52	-4.75	-12.38	0.0593	0.1095	0.39
CICLO 5	7.02	33.48	-7.57	-14.60	0.1022	0.2117	0.76
CICLO 6	9.53	34.76	-9.27	-15.90	0.1393	0.3510	1.26
CICLO 7	14.77	37.60	-16.39	-19.57	0.4282	0.7792	2.80
CICLO 8	24.20	60.69	-24.07	-68.55	1.3365	2.1157	7.60
CICLO 9	35.96	61.55	-35.31	-70.74	1.9259	4.0416	14.52
CICLO 10	48.08	61.73	-48.66	-68.85	2.5021	6.5437	23.51
CICLO 11	60.49	59.49	-59.75	-65.45	2.9866	9.5303	34.24
CICLO 12	63.92	57.82	-70.68	-59.60	3.0491	12.5794	45.20
CICLO 13	79.91	54.18	-85.73	-56.52	3.4126	15.992	57.46
CICLO 14	96.99	49.99	-94.82	-53.97	3.7511	19.7431	70.93
CICLO 15	107.51	44.77	-107.28	-51.92	3.7832	23.5263	84.53
CICLO 16	118.78	42.15	-120.96	-50.62	4.3064	27.8327	100.00

En la [Imagen 5.22](#) se muestra la curva que representa la energía disipada acumulada tras cada ciclo de carga y descarga, como se observa la energía empieza a incrementarse a partir del ciclo 8, con el cual se presentaría una serie de daños visuales en el muro de fardos

de paja A, lo cual también se puede corroborar con los lazos de histéresis mostrados en la [Imagen 5.23](#).

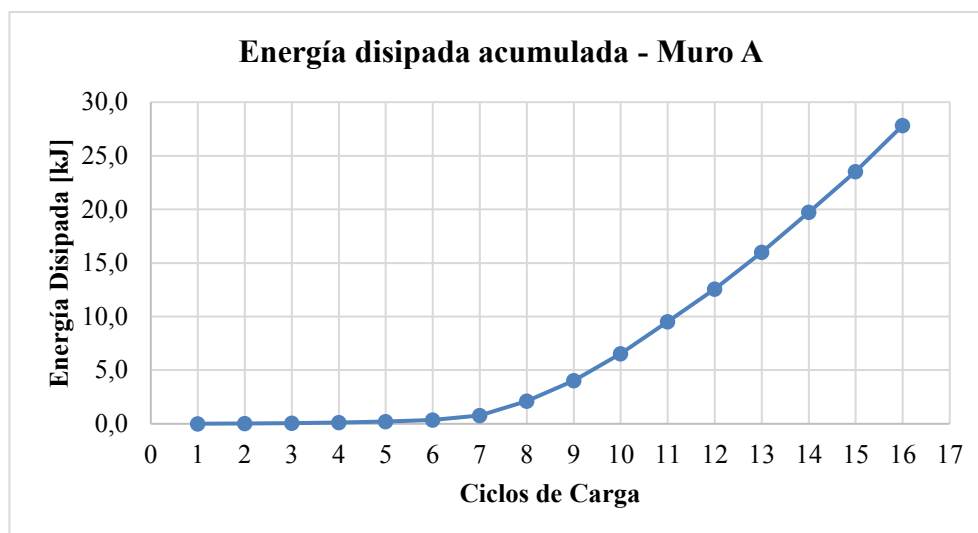


Imagen 5.22. Energía disipada por ciclos en el muro A

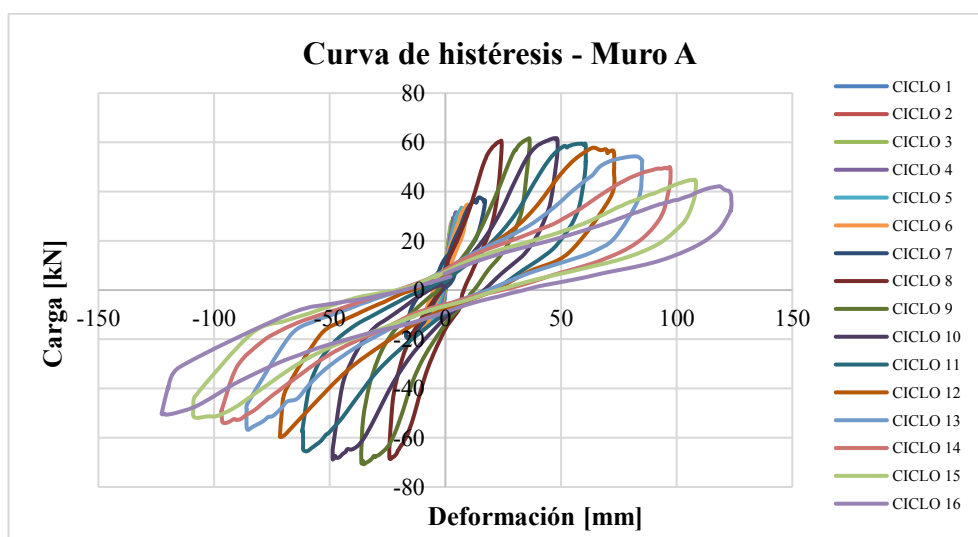


Imagen 5.23. Curva experimental de histéresis del muro A

5.3.5.2. Energía disipada por el muro B

La [Imagen 5.24](#), representa el lazo de histéresis tras el primer ciclo de prueba sobre el muro B, con la cual se ejemplifica la metodología para el cálculo de la energía disipada por cada ciclo correspondiente al área que encierra cada lazo principal de la histéresis.

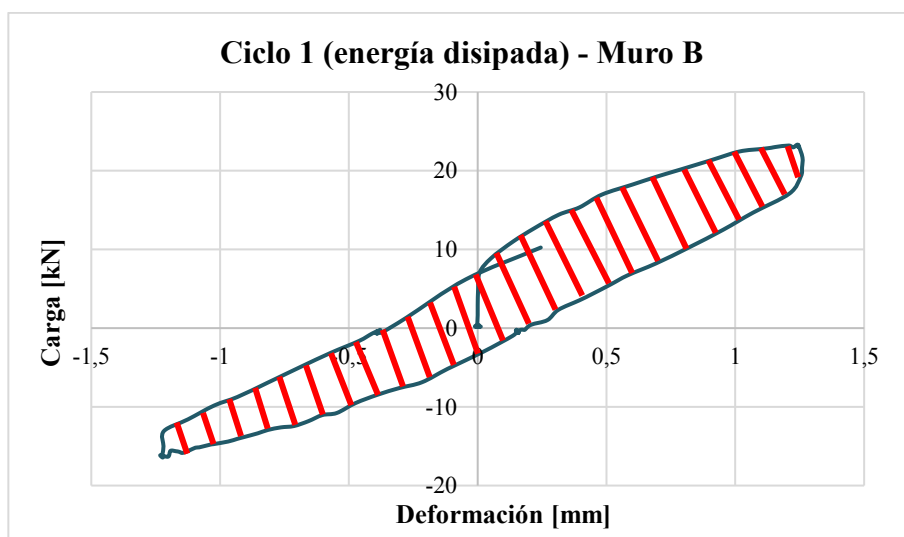


Imagen 5.24. Energía disipada en el primer ciclo del muro B

A continuación, en la [Tabla 5.5](#) se resume la energía disipada en cada ciclo de ensayo, calculándose un valor máximo de energía disipada acumulada de 18.56 kJ al dar por terminado el ensayo, de igual manera se exprese la variación de la energía en porcentajes por cada ciclo.

Tabla 5.5. Energía disipada por el muro B

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGÍA DISIPADA	ENERGÍA DISIPADA ACUMULADA	ENERGIA DISIPADA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kJ]	[kJ]	%
CICLO 1	1.21	23.20	-1.22	-16.45	0.0225	0.0225	0.12
CICLO 2	1.82	26.08	-1.79	-20.30	0.0212	0.0437	0.24
CICLO 3	2.46	28.73	-2.47	-23.19	0.0338	0.0775	0.42
CICLO 4	4.82	66.38	-4.82	-64.89	0.2098	0.2873	1.55
CICLO 5	7.16	74.18	-7.25	-70.63	0.3898	0.6771	3.65
CICLO 6	9.82	72.73	-9.48	-76.12	0.5547	1.2318	6.64
CICLO 7	16.56	74.67	-17.03	-84.73	1.3933	2.6251	14.14
CICLO 8	24.22	68.92	-20.69	-79.57	1.8594	4.4845	24.16
CICLO 9	37.49	67.00	-30.53	-74.91	2.7462	7.2307	38.95
CICLO 10	48.63	63.54	-48.31	-62.31	2.5987	9.8294	52.95
CICLO 11	61.29	52.23	-51.71	-50.76	2.8194	12.6488	68.14
CICLO 12	73.06	62.82	-72.10	-36.59	5.9139	18.5627	100.00

En la [Imagen 5.25](#) se hallan representados los valores de energía disipada acumulada, siendo que a partir del ciclo 6 se observa un mayor incremento de dicho parámetro.

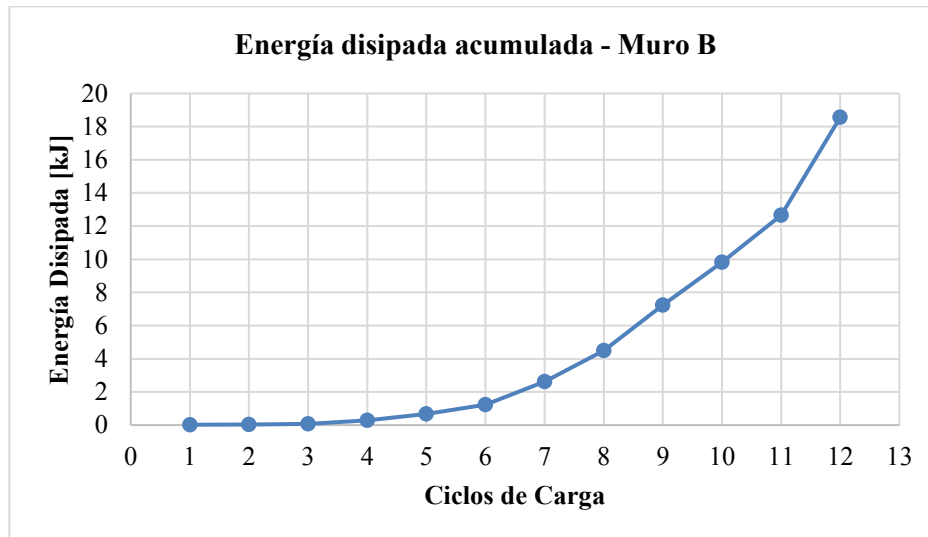


Imagen 5.25. Energía disipada por ciclos en el muro B

En la [Imagen 5.26](#) se puede apreciar los lazos de histéresis resultantes del ensayo sobre el muro B.

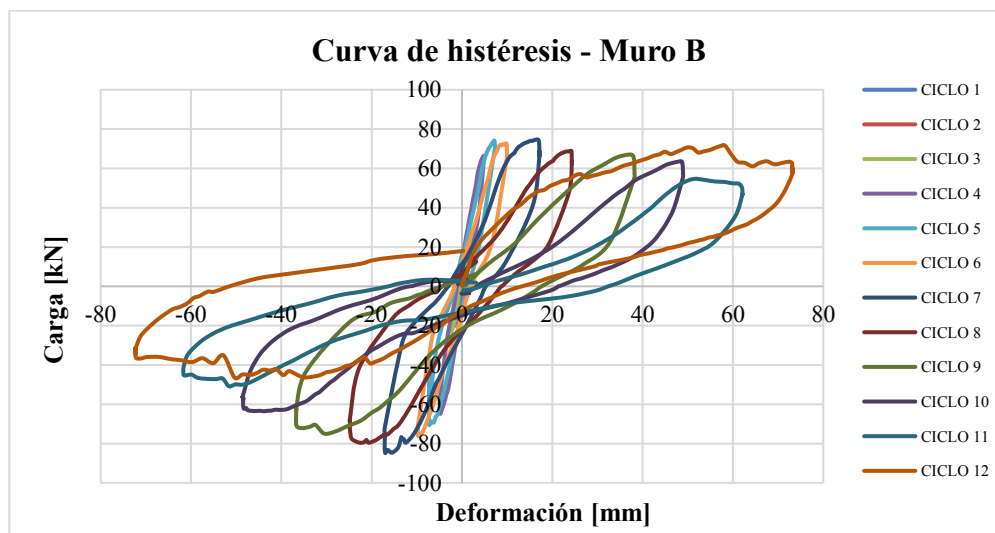


Imagen 5.26. Curva experimental de histéresis del muro B

5.3.5.3. Energía disipada por el muro C

A continuación, en la [Imagen 5.27](#) se observa el lazo de histéresis del primer ciclo de ensayo del muro C, en el cual se halla sombreado el área que conceptualmente corresponde a la energía disipada por cada ciclo.

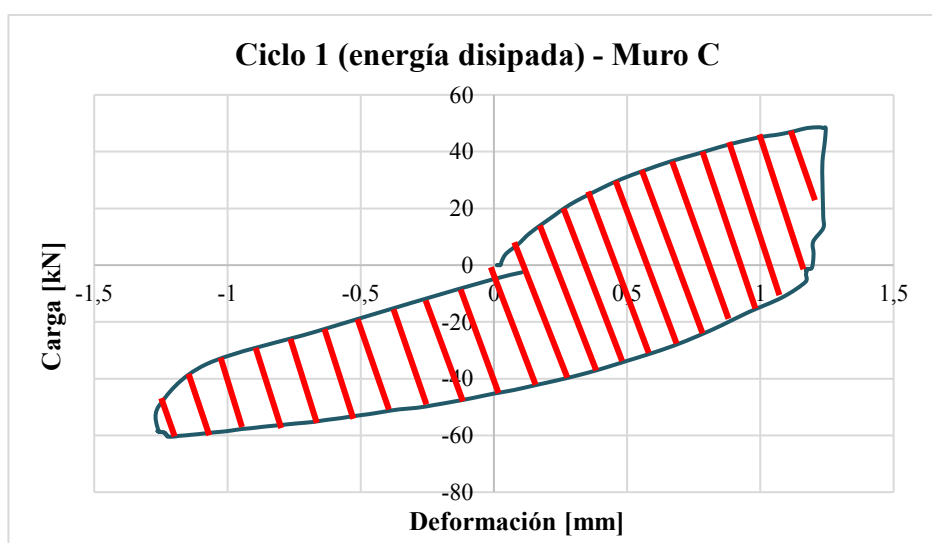


Imagen 5.27. Energía disipada en el primer ciclo del muro C

Los resultados de la energía disipada acumulada obtenida del ensayo del muro C, se muestran en la [Tabla 5.6](#), que presenta los valores acumulados hasta la conclusión del ensayo, en dicha tabla se observa que el valor máximo de energía disipada acumulada fue de 12.02 kJ.

Tabla 5.6. Energía disipada por el muro C

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGÍA DISIPADA	ENERGÍA DISIPADA ACUMULADA	ENERGIA DISIPADA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kJ]	[kJ]	%
CICLO 1	1.22	48.57	-1.22	-60.44	0.1120	0.1120	0.93
CICLO 2	1.83	45.45	-1.81	-60.90	0.0597	0.1717	1.43
CICLO 3	2.42	55.05	-2.41	-66.66	0.0856	0.2573	2.14
CICLO 4	4.82	76.88	-4.87	-80.78	0.2675	0.5248	4.37
CICLO 5	6.90	87.53	-7.02	-84.74	0.4379	0.9627	8.01
CICLO 6	9.69	92.21	-9.66	-89.89	0.5900	1.5527	12.92
CICLO 7	14.97	91.83	-17.04	-99.42	1.6728	3.2255	26.83
CICLO 8	18.89	80.20	-24.15	-99.47	1.9361	5.1616	42.93
CICLO 9	36.65	54.37	-34.69	-98.86	2.6077	7.7693	64.63
CICLO 10	48.71	40.62	-48.40	-42.73	2.5355	10.3048	85.72
CICLO 11	62.36	25.21	-63.02	-25.47	1.7172	12.0220	100.00

En la [Imagen 5.28](#) se representan los valores de energía disipada acumulada del muro C, con un notable incremento a partir el ciclo 7, lo cual también se puede apreciar en la [Imagen 5.29](#) que muestra todos los lazos de histéresis obtenidos durante el ensayo.

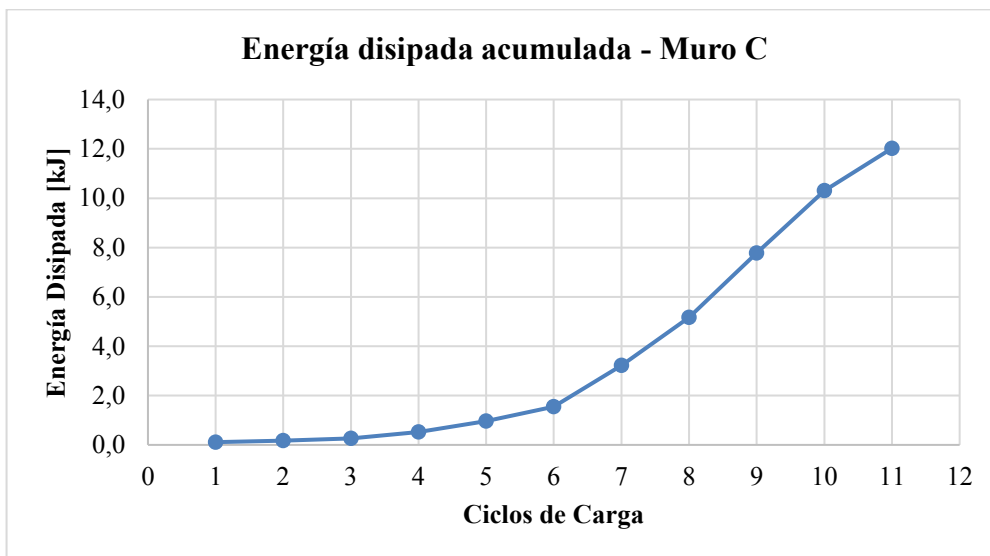


Imagen 5.28. Energía disipada por ciclos en el muro C

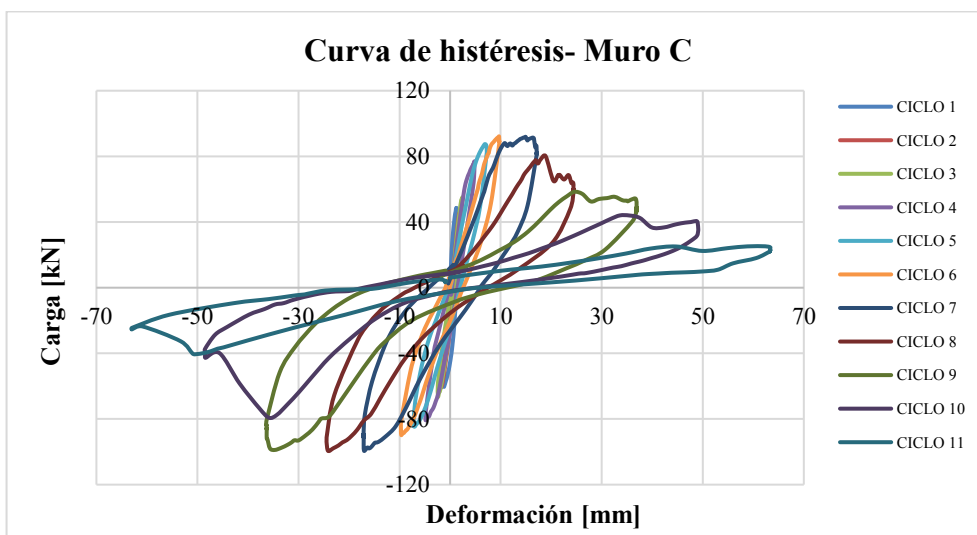


Imagen 5.29. Curva experimental de histéresis del muro C

5.3.5.4. Energía disipada por el muro D

Al igual que los muros A, B y C, la energía disipada se obtiene del área encerrada por cada ciclo principal del ensayo, lo cual se aprecia para el primer ciclo del muro D en la [Imagen 5.30](#).

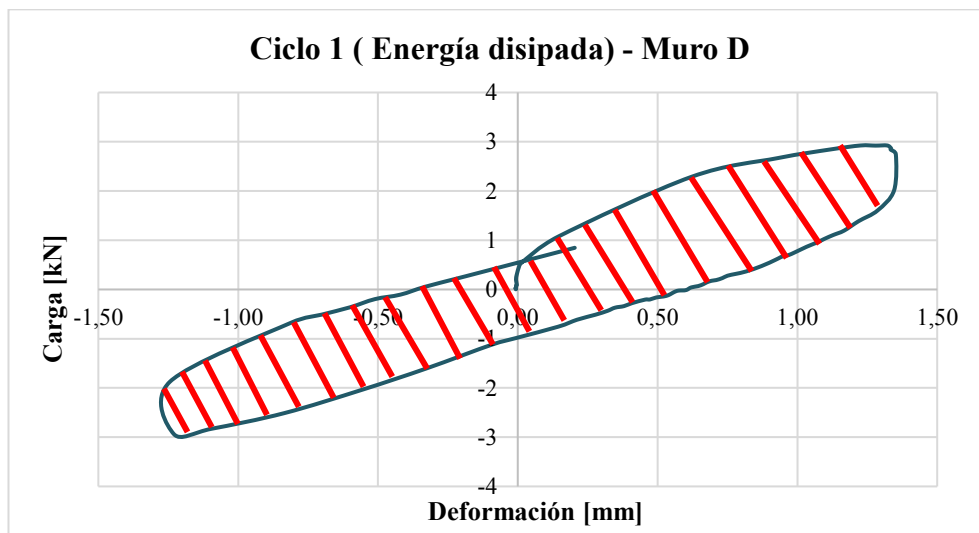


Imagen 5.30. Energía disipada en el primer ciclo del muro D

En la [Tabla 5.7](#) se resumen los valores obtenidos de energía disipada acumulada del muro D, siendo que la energía total disipada al finalizar el ensayo fue de 5.26 kJ.

Tabla 5.7. Energía disipada por el muro D

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		ENERGÍA DISIPADA	ENERGÍA DISIPADA ACUMULADA	ENERGIA DISIPADA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kJ]	[kJ]	%
CICLO 1	1.33	2.84	-1.23	-2.94	0.0046	0.0046	0.09
CICLO 2	2.17	3.26	-1.83	-3.35	0.0055	0.0101	0.19
CICLO 3	2.45	3.14	-2.42	-3.70	0.0065	0.0166	0.32
CICLO 4	7.28	6.55	-4.83	-5.14	0.0451	0.0617	1.17
CICLO 5	7.38	4.58	-7.25	-6.01	0.0363	0.098	1.86
CICLO 6	10.00	6.53	-9.94	-7.07	0.0591	0.1571	2.99
CICLO 7	17.55	8.85	-16.84	-8.45	0.157	0.3141	5.97
CICLO 8	23.95	10.00	-24.61	-9.57	0.2407	0.5548	10.54
CICLO 9	36.72	10.34	-36.51	-9.97	0.4179	0.9727	18.48
CICLO 10	49.95	9.43	-49.06	-9.64	0.5261	1.4988	28.48
CICLO 11	59.61	8.20	-63.05	-8.92	0.5557	2.0545	39.04
CICLO 12	72.48	7.25	-73.53	-7.50	0.5773	2.6318	50.01
CICLO 13	85.42	6.90	-85.13	-7.07	0.5896	3.2214	61.22
CICLO 14	99.57	6.01	-98.31	-6.85	0.64	3.8614	73.38
CICLO 15	106.68	5.51	-115.48	-6.91	0.6877	4.5491	86.45
CICLO 16	121.06	5.75	-121.73	-6.35	0.7132	5.2623	100.00

En la [Imagen 5.31](#) se puede observar la curva formada por los valores de energía disipada acumulada tras cada ciclo de en ensayo, siendo que a partir del ciclo 8 se observa un mayor incremento, asociado a posibles daños visuales en el muro de fardos de paja.

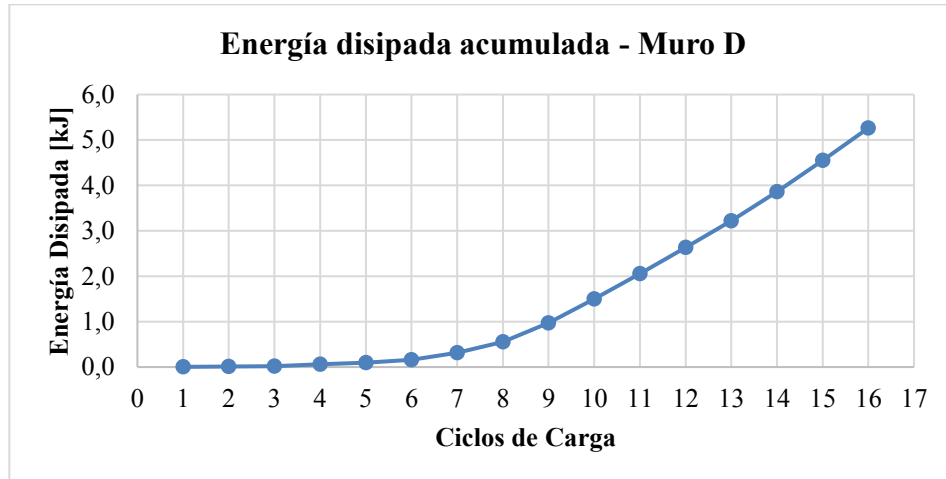


Imagen 5.31. Energía disipada por ciclos en el muro D

A continuación, en la [Imagen 5.32](#) se presenta la curva de histéresis completa obtenida tras el ensayo del muro D.

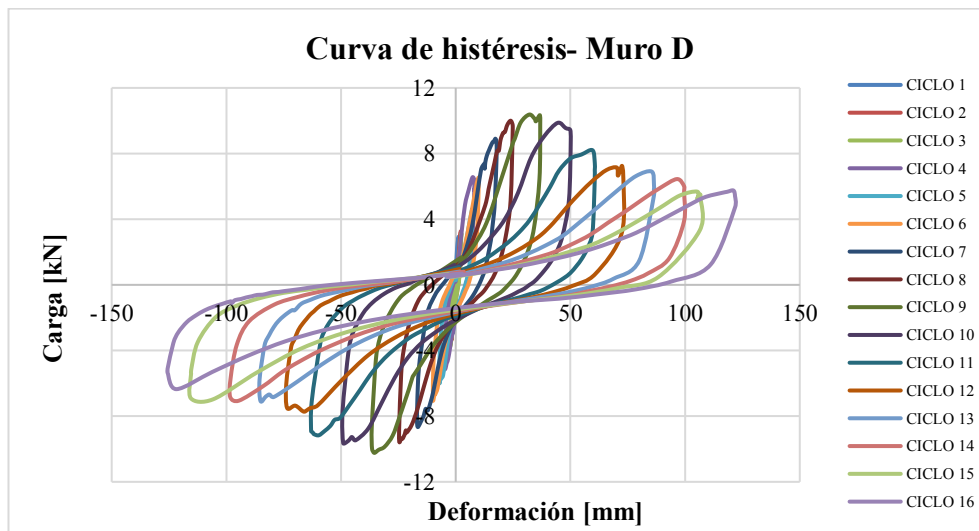


Imagen 5.32. Curva experimental de histéresis del muro D

5.3.5.5. Comparación de los resultados de energía disipada acumulada

Según se observa en la [Imagen 5.33](#) el muro A disipó la mayor cantidad de energía (27.83kJ) respecto de los otros muros, debido a que el ensayo se prolongó hasta el ciclo 16, cuando ya se habían producido una serie de daños, como la rotura de la escalerilla de madera inferior, deformación de la malla electrosoldada, expulsión de las grapas de unión, separación de los tableros de confinamiento y flexión en las placas de anclaje por el levantamiento del muro, concentrando las fallas en la cimentación del mismo.

Los muros B y C tuvieron un comportamiento más o menos similar en cuanto a disipación de energía hasta el ciclo 11. El muro B disipó 12.64 kJ y el muro C 12.02 kJ, por otro lado, el muro D presentó la menor disipación de energía (5.26 kJ) asociada a la ausencia de la malla de refuerzo, y una mayor flexibilidad ante cargas laterales de menor magnitud.

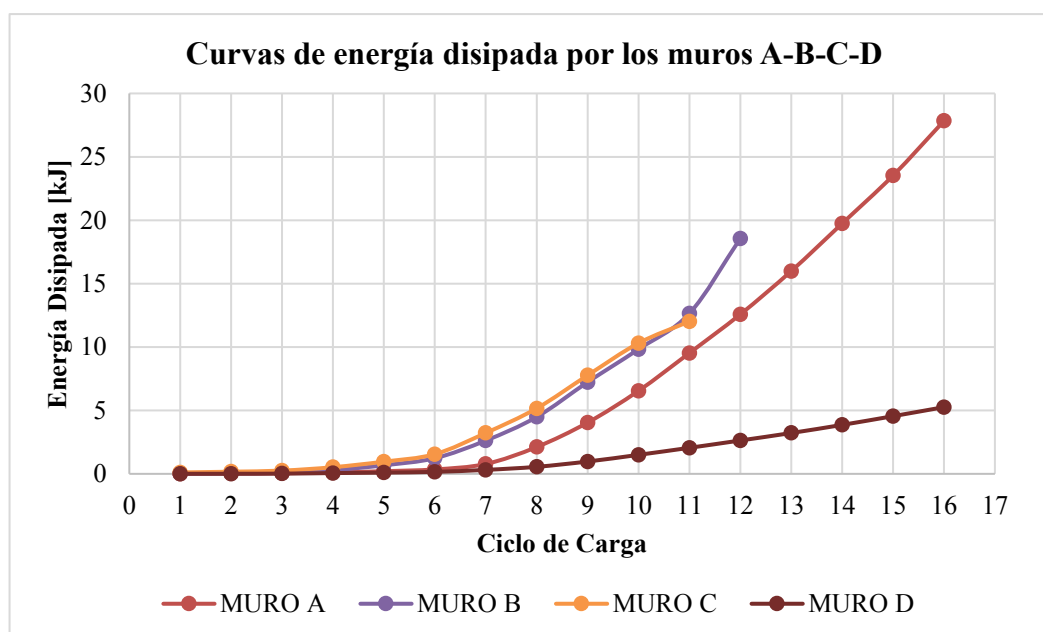


Imagen 5.33. Comparativa entre las curvas de energía disipada acumulada de los muros

5.3.6. Rigidez secante

La rigidez secante corresponde a la pendiente de la recta que une los puntos extremos de un lazo de histéresis, y que define el comportamiento de la estructura más allá de la rigidez inicial obtenida en el rango elástico, considerando los efectos en la rigidez tras la fluencia en el rango inelástico bajo cierto nivel de amortiguamiento. Los valores se han definido en unidades de kN/m.

La variación de la rigidez a lo largo del ensayo permite definir el nivel de degradación de la resistencia, ya que cada vez se suele requerir menor carga para lograr mayores desplazamientos objetivos.

5.3.6.1. Rigidez secante del muro A

En la [Imagen 5.34](#) se puede apreciar la representación de la rigidez secante del primer ciclo del muro A, por medio de la recta que une los extremos del lazo de histéresis, además en [la Imagen 5.35](#) se observa la variación de la rigidez secante a lo largo de cada ciclo, siendo que el muro A conservó un 3.62% de la rigidez inicial al finalizar el ensayo en el ciclo 16.

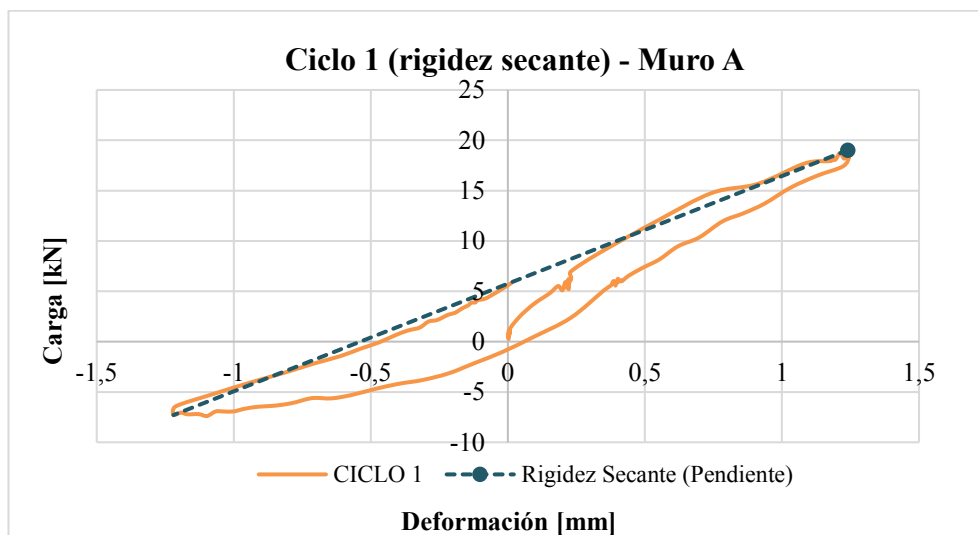


Imagen 5.34. Rigidez secante del primer ciclo de carga del muro A

En la [Tabla 5.8](#) se resumen los valores de rigidez secante obtenidos para el muro A, así como la correspondiente degradación de la rigidez, representada en la [Imagen 5.35](#).

Tabla 5.8. Rigidez y degradación de la resistencia por ciclo del muro A

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	%
CICLO 1	1.24	19.01	-1.22	-7.29	1.07E+04	-
CICLO 2	1.85	22.68	-1.82	-8.43	8.50E+03	20.55
CICLO 3	2.74	27.93	-2.44	-8.83	7.11E+03	33.54
CICLO 4	4.90	31.52	-4.75	-12.38	4.55E+03	57.44
CICLO 5	7.02	33.48	-7.57	-14.60	3.30E+03	69.18
CICLO 6	9.53	34.76	-9.27	-15.90	2.70E+03	74.79
CICLO 7	14.77	37.60	-16.39	-19.57	1.83E+03	82.84
CICLO 8	24.20	60.69	-24.07	-68.55	2.68E+03	74.96
CICLO 9	35.96	61.55	-35.31	-70.74	1.86E+03	82.64
CICLO 10	48.08	61.73	-48.66	-68.85	1.35E+03	87.38
CICLO 11	60.49	59.49	-59.75	-65.45	1.04E+03	90.28
CICLO 12	63.92	57.82	-70.68	-59.60	8.72E+02	91.84
CICLO 13	79.91	54.18	-85.73	-56.52	6.68E+02	93.75
CICLO 14	96.99	49.99	-94.82	-53.97	5.42E+02	94.93
CICLO 15	107.51	44.77	-107.28	-51.92	4.50E+02	95.79
CICLO 16	118.78	42.15	-120.96	-50.62	3.87E+02	96.38

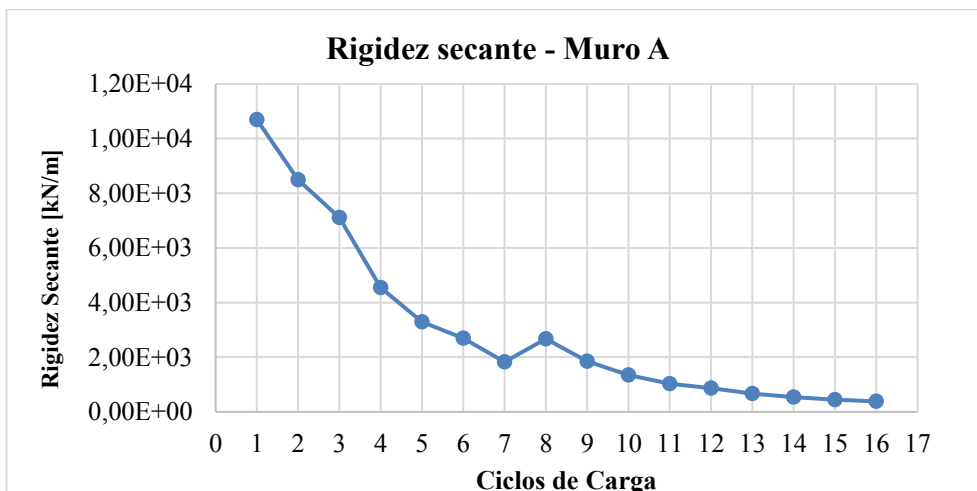


Imagen 5.35. Rigidez secante por ciclo del muro A

5.3.6.2. Rigidez secante del muro B

A continuación, en la [Imagen 5.36](#) se ejemplifica la obtención de la rigidez secante del ciclo 1 del muro B, a través de la pendiente de la recta que une los extremos del lazo histerético.

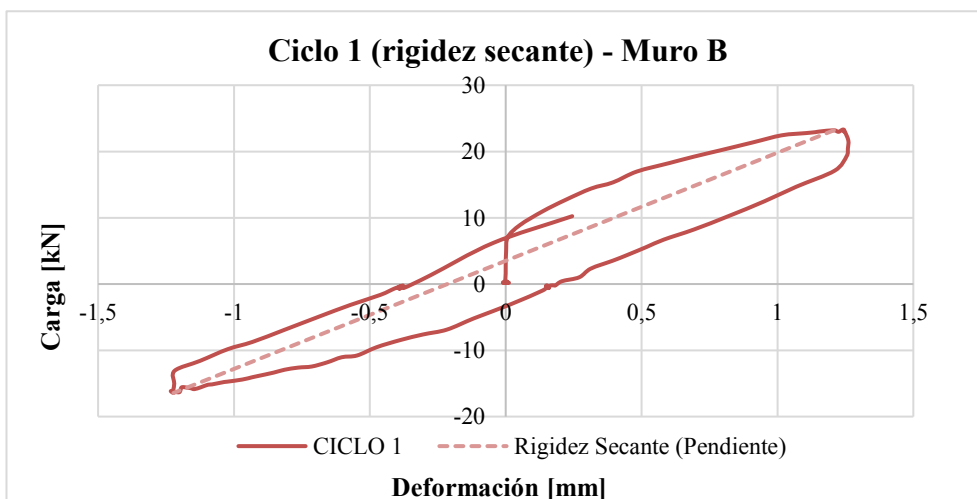


Imagen 5.36. Rigidez secante del primer ciclo del muro B

En la [Tabla 5.9](#) se detallan todos los valores calculados para la rigidez secante de cada ciclo de ensayo con su respectivo porcentaje de degradación de la resistencia por pérdida de rigidez, hallándose que el muro B conservó un 4.20% de la rigidez inicial al finalizar el ensayo en el ciclo 12.

Tabla 5.9. Rigidez secante y degradación de la resistencia por ciclo del muro B

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	%
CICLO 1	1.21	23.20	-1.22	-16.45	1.63E+04	-
CICLO 2	1.82	26.08	-1.79	-20.30	1.29E+04	21.10
CICLO 3	2.46	28.73	-2.47	-23.19	1.05E+04	35.45
CICLO 4	4.82	66.38	-4.82	-64.89	1.36E+04	16.55
CICLO 5	7.16	74.18	-7.25	-70.63	1.01E+04	38.38
CICLO 6	9.82	72.73	-9.48	-76.12	7.71E+03	52.71
CICLO 7	16.56	74.67	-17.03	-84.73	4.74E+03	70.91
CICLO 8	24.22	68.92	-20.69	-79.57	3.31E+03	79.73
CICLO 9	37.49	67.00	-30.53	-74.91	2.09E+03	87.21
CICLO 10	48.63	63.54	-48.31	-62.31	1.30E+03	92.04
CICLO 11	61.29	52.23	-51.71	-50.76	9.11E+02	94.41
CICLO 12	73.06	62.82	-72.10	-36.59	6.85E+02	95.80

En la [Imagen 5.37](#) se representan los valores de rigidez secante de la tabla anterior.

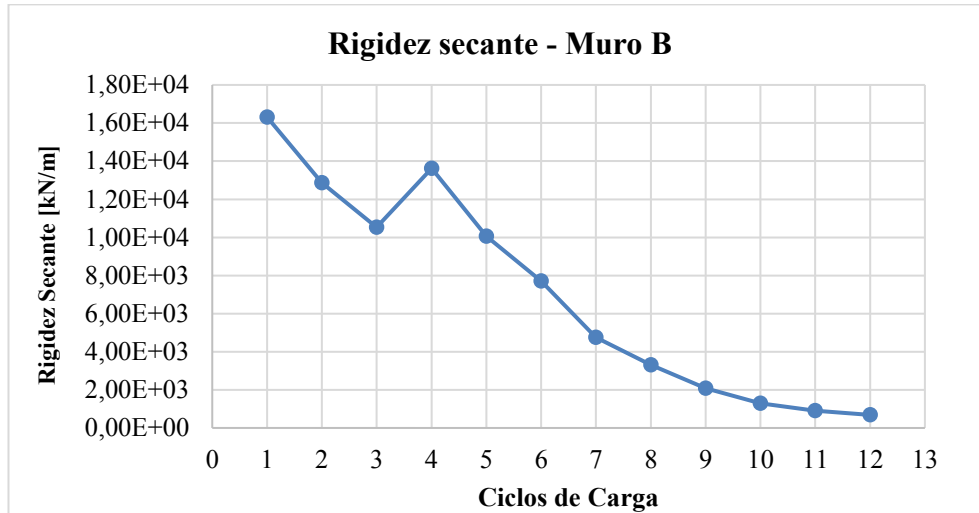


Imagen 5.37. Rigidez secante por ciclo del muro B

5.3.6.3. Rigidez secante del muro C

La representación del cálculo de la rigidez secante para el muro C, se la puede observar en la [Imagen 5.38](#), que al igual que en los anteriores casos resulta del valor de la pendiente.

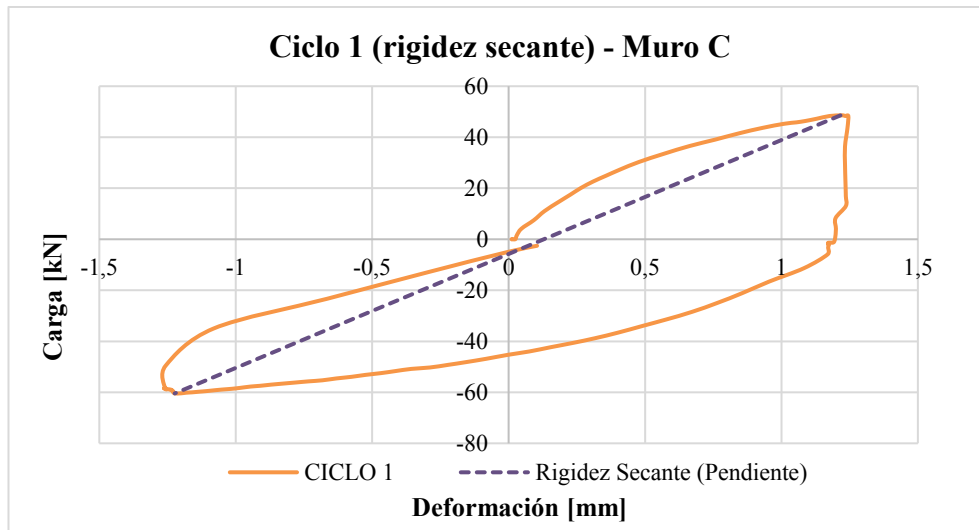


Imagen 5.38. Rigidez secante del primer ciclo del muro C

En la [Tabla 5.10](#) se muestran los valores de rigidez secante por cada ciclo del muro C, del cual se extrae que la degradación de la rigidez al finalizar el ciclo 11, fue del 0.90 % del valor de la rigidez inicial, lo que implica que al llegar a este ciclo ya se han perdido gran parte de las propiedades resistentes del muro de fardos de paja.

Tabla 5.10. Rigidez secante y degradación de la resistencia por ciclo del muro C

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	%
CICLO 1	1.22	48.57	-1.22	-60.44	4.47E+04	-
CICLO 2	1.83	45.45	-1.81	-60.90	2.93E+04	34.53
CICLO 3	2.42	55.05	-2.41	-66.66	2.52E+04	43.59
CICLO 4	4.82	76.88	-4.87	-80.78	1.63E+04	63.56
CICLO 5	6.90	87.53	-7.02	-84.74	1.24E+04	72.31
CICLO 6	9.69	92.21	-9.66	-89.89	9.41E+03	78.94
CICLO 7	14.97	91.83	-17.04	-99.42	5.97E+03	86.63
CICLO 8	18.89	80.20	-24.15	-99.47	4.17E+03	90.66
CICLO 9	36.65	54.37	-34.69	-98.86	2.15E+03	95.19
CICLO 10	48.71	40.62	-48.40	-42.73	8.58E+02	98.08
CICLO 11	62.36	25.21	-63.02	-25.47	4.04E+02	99.10

En la [Imagen 5.39](#) se realiza la representación de los valores de rigidez secante para observar gráficamente la forma de variación a lo largo de cada ciclo de prueba.

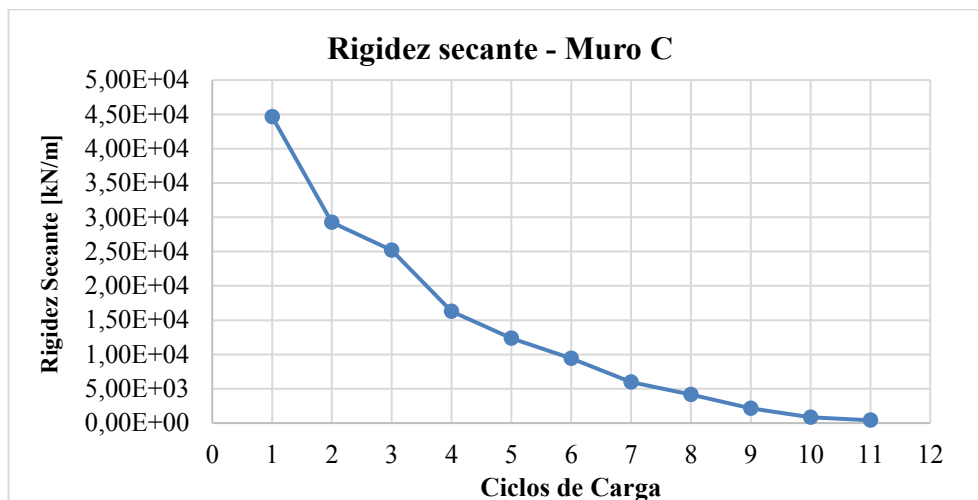


Imagen 5.39. Rigidez secante por ciclo del muro C

5.3.6.4. Rigidez secante del muro D

En la [Imagen 5.40](#) se muestra la representación del cálculo de la rigidez secante del primer ciclo del muro D, por medio de la pendiente de la recta que une los puntos extremos de cada lazo histerético.

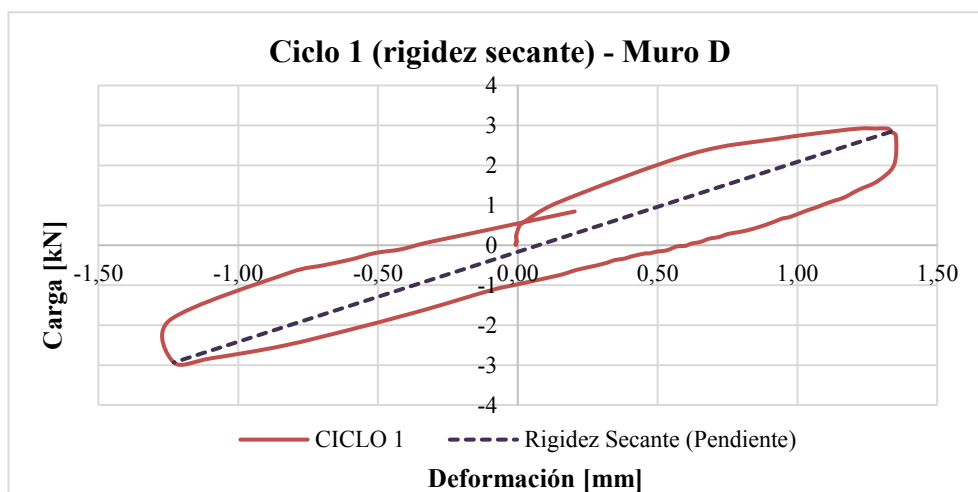


Imagen 5.40. Rigidez secante del primer ciclo del muro D

La [Tabla 5.11](#) resume los valores calculados para cada ciclo principal del ensayo de carga lateral sobre el muro D, así como la degradación de la resistencia por pérdida de rigidez a medida que se incrementan los desplazamientos objetivos y existe un proceso de agotamiento del muro por la acción cíclica de las cargas. El valor residual de la rigidez inicial fue de 2.21 % al culminar el ensayo.

Tabla 5.11. Rigidez secante y degradación de la resistencia por ciclo del muro D

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	DEGRADACIÓN DE RIGIDEZ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	%
CICLO 1	1.33	2.84	-1.23	-2.94	2.25E+03	-
CICLO 2	2.17	3.26	-1.83	-3.35	1.65E+03	26.65
CICLO 3	2.45	3.14	-2.42	-3.70	1.40E+03	37.69
CICLO 4	7.28	6.55	-4.83	-5.14	9.65E+02	57.14
CICLO 5	7.38	4.58	-7.25	-6.01	7.23E+02	67.89
CICLO 6	10.00	6.53	-9.94	-7.07	6.82E+02	69.70
CICLO 7	17.55	8.85	-16.84	-8.45	5.03E+02	77.67
CICLO 8	23.95	10.00	-24.61	-9.57	4.03E+02	82.10
CICLO 9	36.72	10.34	-36.51	-9.97	2.77E+02	87.69
CICLO 10	49.95	9.43	-49.06	-9.64	1.93E+02	91.45
CICLO 11	59.61	8.20	-63.05	-8.92	1.40E+02	93.80
CICLO 12	72.48	7.25	-73.53	-7.50	1.01E+02	95.52
CICLO 13	85.42	6.90	-85.13	-7.07	8.19E+01	96.36
CICLO 14	99.57	6.01	-98.31	-6.85	6.50E+01	97.12
CICLO 15	106.68	5.51	-115.48	-6.91	5.59E+01	97.52
CICLO 16	121.06	5.75	-121.73	-6.35	4.98E+01	97.79

La representación de los puntos obtenidos en la tabla anterior se muestra en la [Imagen 5.41](#).

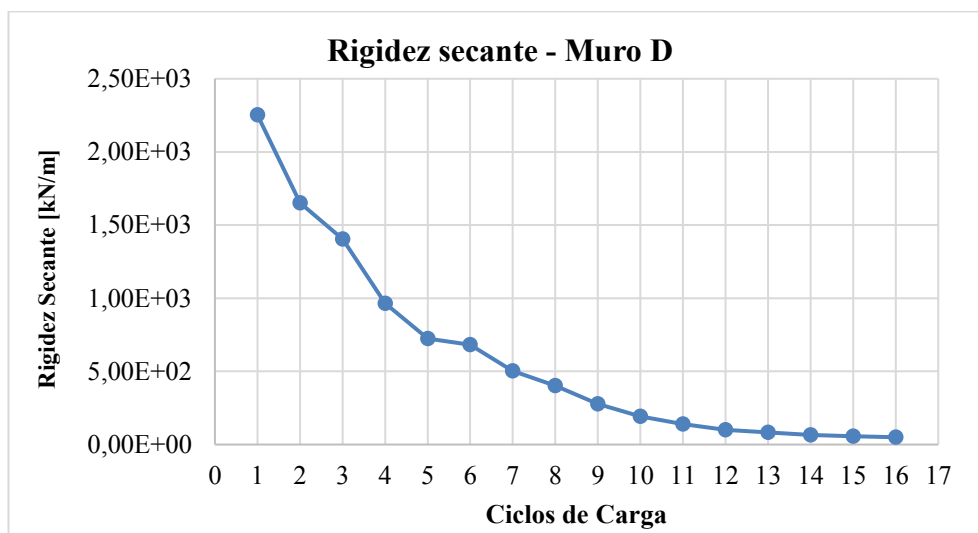


Imagen 5.41. Rigidez secante por ciclo del muro D

Para determinar el módulo de elasticidad del muro D. Revocado con barro y cal, reforzado con pasadores internos de madera (estacas) y con amarres de confinamiento vertical (tensores de alambre). Se obtiene el promedio del valor absoluto de la rigidez secante de los cinco primeros ciclos de empuje y halado ([Tabla 5.12](#)).

Tabla 5.12. Deformación y rigidez del muro D

No. CICLO	Deformaciones Δ [mm]		Carga [kN]	
	Empuje (positivo)	Halado (negativo)	Empuje (positivo)	Halado (negativo)
PROMEDIOS	4.12	3.51	4.07	4.25
	3.82		4.16	

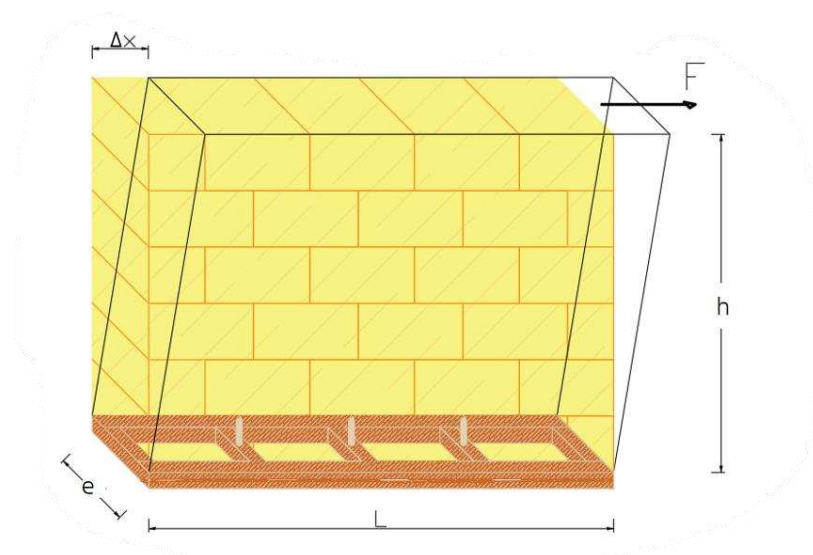


Imagen 5.42. Deformación provocada por la fuerza actuante en el muro D

La carga que actúa sobre el muro D ([figura 5.42](#)) produce una deformación debido a flexión y cortante. Mediante la expresión para el cálculo del desplazamiento lateral de un muro sometido a carga horizontal se obtiene el módulo de elasticidad del elemento. Como se muestra a continuación (Bazán y Meli, 2000).

$$\Delta = \frac{P \cdot h^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{P \cdot h}{G \cdot \left(\frac{2}{3}A\right)} \quad \text{Ecuación 5.1.}$$

Donde:

$\Delta =$ Deformación = 0.00382 m

$P =$ Carga = 4.16 KN

$G =$ Módulo de corte

Dimensiones del muro: $h = 2.30\text{m}$; $L = 2.90\text{m}$; $e = 0.60\text{m}$

$E =$ Módulo de elasticidad

$I = \text{Inercia}$

$u = \text{Coeficiente de Poisson} = 0.20$

$$I = \frac{e \cdot L^3}{12} = \frac{0.6m \cdot (2.9m)^3}{12} = 1.22m^4 \quad \text{Ecuación 5.2.}$$

$$G = \frac{E}{[2(1+u)]} = \frac{E}{[2(1+0.20)]} = \frac{E}{2.4} \quad \text{Ecuación 5.3.}$$

$$A = e \cdot L = 0.60m \cdot 2.90m = 1.74m^2 \quad \text{Ecuación 5.4.}$$

$$0.003382m = \frac{4.16KN \cdot (2.30m)^3}{3 \cdot E \cdot 1.22m^4} + \frac{4.16KN \cdot 2.30m}{\frac{E}{24} \cdot \left(\frac{2}{3} \cdot 1.74m^2\right)} \quad \text{Ecuación 5.1.}$$

$$E = 8803.994 \frac{KN}{m^2} = 8.80MPa$$

Este módulo de elasticidad es el que se usará para definir el material en un software de diseño estructural, y así, poder determinar el comportamiento de estructuras realizadas con muros portantes de fardos de paja, que tengan configuración similar a la del muro D.

5.3.6.5. Degradación de la rigidez

Resulta de la comparación entre los resultados de la rigidez secante de los especímenes de prueba, notándose en la [Imagen 5.43](#) que los valores de rigidez en orden descendente posicionan al muro C como el de mayor rigidez en los ciclos iniciales, seguido de los muros B, A y D, respectivamente. Cabe mencionar que en todos los casos el valor de la rigidez residual al finalizar el ensayo se mantuvo por debajo del 5% como se observa en la [Tabla 5.13](#), es decir que se logró que los muros perdieran gran parte de su capacidad al concluir los ensayos.

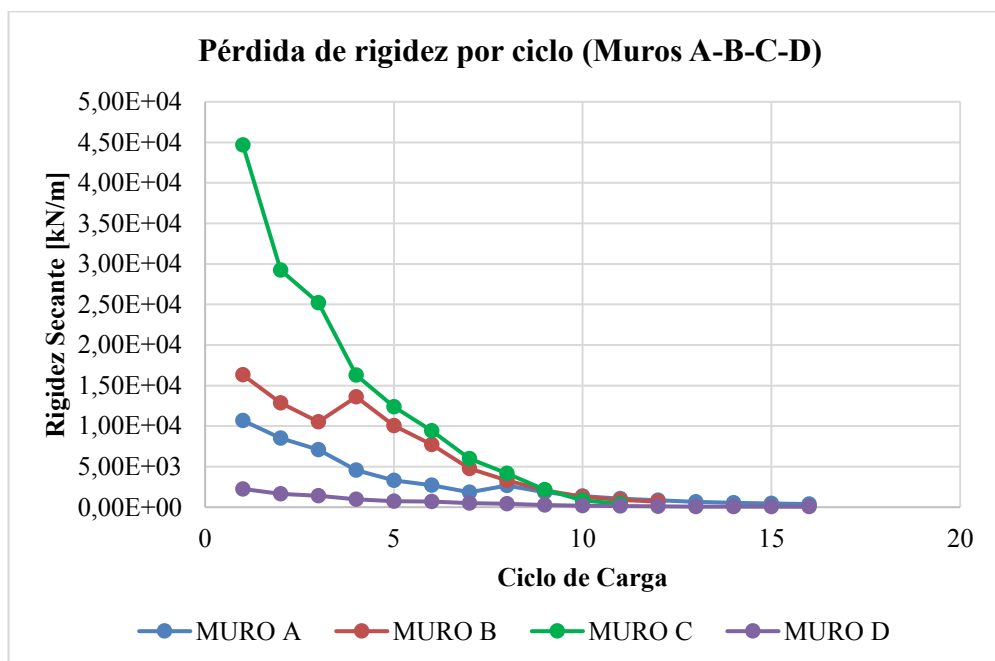


Imagen 5.43. Degradación de la rigidez por ciclo de los muros de prueba

Tabla 5.13. Rigidez inicial conservada al finalizar el ensayo

	Muro A	Muro B	Muro C	Muro D
Rigidez conservada (%)	3.62	4.20	0.90	2.21

5.3.7. Amortiguamiento viscoso equivalente

El amortiguamiento viscoso equivalente o amortiguamiento de histéresis es un parámetro que relaciona la cantidad de energía absorbida y energía disipada debido al amortiguamiento elástico e inelástico de la estructura sometida a varios ciclos de carga y descarga, lo que permite evaluar su comportamiento no lineal, y de manera cuantitativa definir los ciclos en los que se producen los daños estructurales, que pueden ser visuales.

La ecuación básica que se usa es la siguiente:

$$\xi_h = \frac{1}{2\pi} \frac{Ah}{F_0 U_0}$$

Donde ξ_h es amortiguamiento histerético. Ah es el área encerrada por el ciclo histerético, F_0 máxima fuerza y U_0 máximo desplazamiento en el ciclo.

5.3.7.1. Amortiguamiento viscoso equivalente del muro A

Como se observa en la [Tabla 5.14](#), en el ciclo 7 se produjo la mayor cantidad de daño respecto de los otros ciclos de ensayo, esto se puede apreciar de mejor manera en la [Imagen 5.44](#), donde se han representado todos los valores de amortiguamiento viscoso equivalente del muro A, apreciándose que los valores comprendidos entre los ciclos 1 al 6 son más o menos uniformes entre sí, lo que se asocia a la aparición de la primera fisura longitudinal a lo largo de la escalerilla inferior de madera, de igual manera ocurre con los ciclos 8 al 16 donde nuevamente la proporción de daño se mantiene más o menos uniforme, lo que se pudo constatar con el tipo de falla presentado en el muro A, siendo que el daño se produjo principalmente en la parte inferior, en la zona de unión de la escalerilla de madera a la base, produciéndose un levantamiento de todo el muro y una falla por corte en la escalerilla, impidiendo que el cuerpo del muro se rompiera, provocando deformaciones en la malla de acero en los puntos asegurados con grapas, haciendo que aproximadamente un 60% de estas salieran expulsadas de los extremos del muro. También se observó una deformación por flexión en las placas de anclaje y una separación de los tableros de confinamiento.

Tabla 5.14. Amortiguamiento viscoso equivalente de cada ciclo del muro A

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	ENERGÍA ABSORBIDA	ξ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	[kJ]	%
CICLO 1	1.24	19.01	-1.22	-7.29	1.07E+04	0.0082	8.33
CICLO 2	1.85	22.68	-1.82	-8.43	8.50E+03	0.0145	7.70
CICLO 3	2.74	27.93	-2.44	-8.83	7.11E+03	0.0266	8.26
CICLO 4	4.90	31.52	-4.75	-12.38	4.55E+03	0.0545	8.65
CICLO 5	7.02	33.48	-7.57	-14.60	3.30E+03	0.0812	10.01
CICLO 6	9.53	34.76	-9.27	-15.90	2.70E+03	0.1223	9.06
CICLO 7	14.77	37.60	-16.39	-19.57	1.83E+03	0.2000	17.03
CICLO 8	24.20	60.69	-24.07	-68.55	2.68E+03	0.7838	13.57
CICLO 9	35.96	61.55	-35.31	-70.74	1.86E+03	1.2003	12.77
CICLO 10	48.08	61.73	-48.66	-68.85	1.35E+03	1.5599	12.76
CICLO 11	60.49	59.49	-59.75	-65.45	1.04E+03	1.9011	12.50
CICLO 12	63.92	57.82	-70.68	-59.60	8.72E+02	1.7822	13.61
CICLO 13	79.91	54.18	-85.73	-56.52	6.68E+02	2.1336	12.73
CICLO 14	96.99	49.99	-94.82	-53.97	5.42E+02	2.5494	11.71
CICLO 15	107.51	44.77	-107.28	-51.92	4.50E+02	2.6014	11.57
CICLO 16	118.78	42.15	-120.96	-50.62	3.87E+02	2.7296	12.55

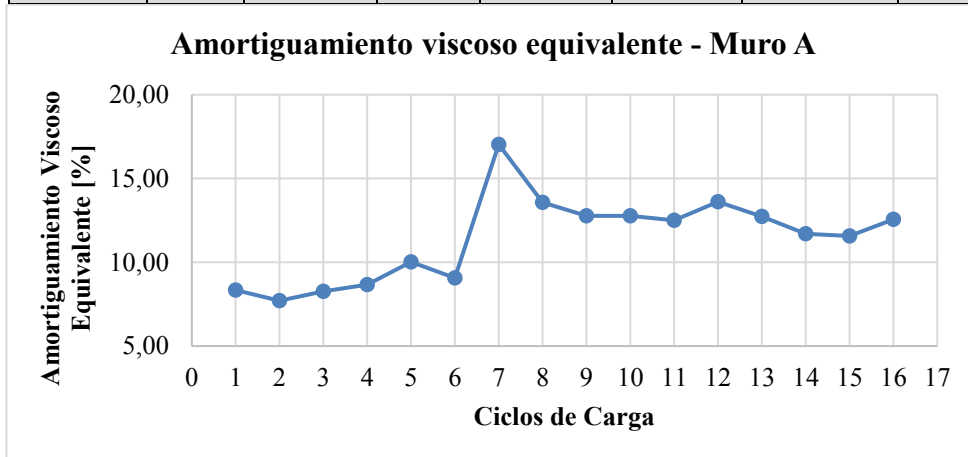


Imagen 5.44. Variación del amortiguamiento viscoso equivalente del muro A

5.3.7.2. Amortiguamiento viscoso equivalente del muro B

Para el caso del muro B, la mayor cantidad de daño se produjo en el ciclo 12, según se observa en el valor del amortiguamiento viscoso equivalente mostrado en la [Tabla 5.15](#) y en la representación gráfica de dichos valores en la [Imagen 5.45](#). Nótese que se realizaron algunas variaciones para evitar los inconvenientes del muro A, a saber: se colocó una mayor cantidad de grapas de anclaje en los cruces de las varillas horizontales y verticales de la malla con la escalerilla, duplicando así la cantidad de estos elementos respecto del primer muro y, adicionalmente, se colocaron más travesaños para evitar la flexión de las placas de anclase.

Sin embargo, el daño nuevamente se produjo por corte en la escalerilla de madera inferior. Esta vez con mucha mayor amplitud y longitud que en el muro A. También, se observó la rotura de algunas varillas verticales en la unión con la escalerilla de madera inferior producto de la mayor cantidad de grapas, originando una línea de falla. Cabe mencionar que en esta ocasión no hubo levantamiento de la escalerilla, pero sí del cuerpo del muro por la rotura de las varillas. Tampoco se separaron los tableros de confinamiento de madera laminada en los extremos del muro. En este caso, al igual que en el muro A, no se lograron observar mayores daños en el cuerpo del muro.

Tabla 5.15. Amortiguamiento viscoso equivalente de cada ciclo del muro B

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	ENERGÍA ABSORBIDA	ξ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	[kJ]	%
CICLO 1	1.21	23.20	-1.22	-16.45	1.63E+04	0.0119	15.05
CICLO 2	1.82	26.08	-1.79	-20.30	1.29E+04	0.0213	7.93
CICLO 3	2.46	28.73	-2.47	-23.19	1.05E+04	0.0318	8.45
CICLO 4	4.82	66.38	-4.82	-64.89	1.36E+04	0.1584	10.54
CICLO 5	7.16	74.18	-7.25	-70.63	1.01E+04	0.2575	12.05

Amortiguamiento viscoso de cada ciclo-muro B (Continuación tabla página anterior)

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	ENERGÍA ABSORBIDA	ξ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	[kJ]	%
CICLO 6	9.82	72.73	-9.48	-76.12	7.71E+03	0.3718	11.87
CICLO 7	16.56	74.67	-17.03	-84.73	4.74E+03	0.6509	17.03
CICLO 8	24.22	68.92	-20.69	-79.57	3.31E+03	0.9699	15.26
CICLO 9	37.49	67.00	-30.53	-74.91	2.09E+03	1.4660	14.91
CICLO 10	48.63	63.54	-48.31	-62.31	1.30E+03	1.5351	13.47
CICLO 11	61.29	52.23	-51.71	-50.76	9.11E+02	1.7117	13.11
CICLO 12	73.06	62.82	-72.10	-36.59	6.85E+02	1.8279	25.75

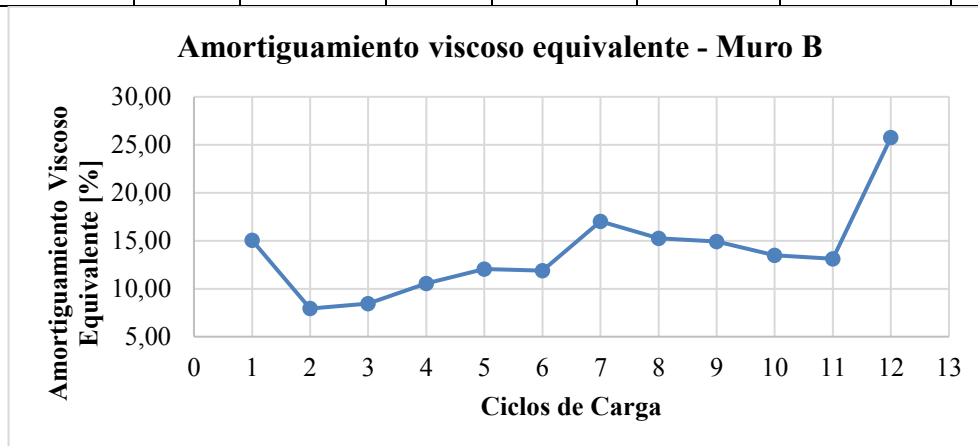


Imagen 5.45. Variación del amortiguamiento viscoso equivalente del muro B

5.3.7.3. Amortiguamiento viscoso equivalente del muro C

En este caso, según se observa en la [Tabla 5.16](#), el mayor valor del amortiguamiento viscoso equivalente del muro C, se da en el primer ciclo de ensayo, valor que se descarta ya que los equipos de medición no son sensibles a desplazamientos muy pequeños lo que ocasiona esta irregularidad en el primer ciclo, por lo que el valor considerado como máximo es del **20.69%** registrado en el ciclo 8, y como se muestra en la [Imagen 5.46](#).

Las consideraciones tomadas en este ensayo procuraron evitar el levantamiento de la escalerilla inferior y la flexión de las placas de anclaje. colocándose doble placa de anclaje, una encima de otra, y apoyadas sobre travesaños adicionales al igual que en el caso del muro B. Adicionalmente, estas placas se soldaron a una varilla horizontal, mediante vástagos verticales para unirse a las placas de ajuste lateral. También, se colocó el mismo número de grapas que en el muro A, todo esto para procurar un mayor trabajo del muro y encontrar su capacidad máxima.

Las fallas se produjeron en la conexión de la malla electrosoldada con la escalerilla de madera inferior, pero en menor medida a los del muro B, gracias a la varilla longitudinal de 12mm, que absorbe los esfuerzos y se deforma en su parte central, levantándose unos 4cm. Los daños llegan a transmitirse al cuerpo del muro con dos fisuras a 45 grados desde el tercio medio del alto del muro hacia abajo y que se prolongan hasta la base del muro al finalizar el ensayo.

Tabla 5.16. Amortiguamiento viscoso equivalente de cada ciclo del muro C

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	ENERGÍA ABSORBIDA	ξ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	[kJ]	%
CICLO 1	1.22	48.57	-1.22	-60.44	4.47E+04	0.0330	26.97
CICLO 2	1.83	45.45	-1.81	-60.90	2.93E+04	0.0488	9.74
CICLO 3	2.42	55.05	-2.41	-66.66	2.52E+04	0.0738	9.23
CICLO 4	4.82	76.88	-4.87	-80.78	1.63E+04	0.1888	11.27
CICLO 5	6.90	87.53	-7.02	-84.74	1.24E+04	0.2946	11.83
CICLO 6	9.69	92.21	-9.66	-89.89	9.41E+03	0.4416	10.63
CICLO 7	14.97	91.83	-17.04	-99.42	5.97E+03	0.6697	19.88
CICLO 8	18.89	80.20	-24.15	-99.47	4.17E+03	0.7445	20.69
CICLO 9	36.65	54.37	-34.69	-98.86	2.15E+03	1.4424	14.39
CICLO 10	48.71	40.62	-48.40	-42.73	8.58E+02	1.0183	19.81
CICLO 11	62.36	25.21	-63.02	-25.47	4.04E+02	0.7858	17.39

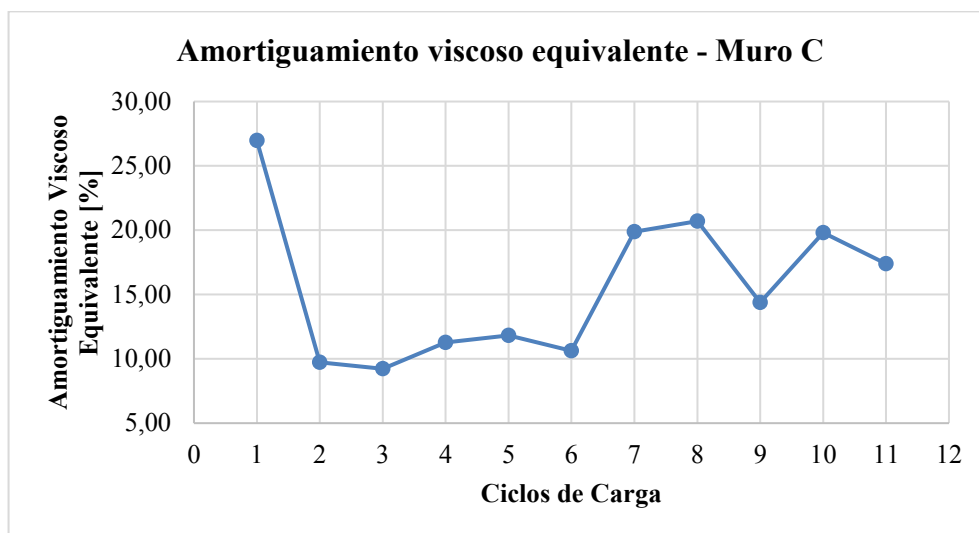


Imagen 5.46. Variación del amortiguamiento viscoso equivalente del muro C

5.3.7.4. Amortiguamiento viscoso equivalente del muro D

Al igual que el muro C, el amortiguamiento viscoso equivalente del primer ciclo se descarta, en su lugar se considera que en el ciclo 11 se produce la mayor cantidad de daño, según se muestra en la [Tabla 5.17](#) y en la [Imagen 5.47](#).

Tabla 5.17. Amortiguamiento viscoso equivalente de cada ciclo del muro D

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	ENERGÍA ABSORBIDA	ξ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	[kJ]	%
CICLO 1	1.33	2.84	-1.23	-2.94	2.25E+03	0.0020	18.28
CICLO 2	2.17	3.26	-1.83	-3.35	1.65E+03	0.0039	11.24
CICLO 3	2.45	3.14	-2.42	-3.70	1.40E+03	0.0042	12.23
CICLO 4	7.28	6.55	-4.83	-5.14	9.65E+02	0.0255	14.05
CICLO 5	7.38	4.58	-7.25	-6.01	7.23E+02	0.0197	14.67
CICLO 6	10.00	6.53	-9.94	-7.07	6.82E+02	0.0341	13.77
CICLO 7	17.55	8.85	-16.84	-8.45	5.03E+02	0.0775	16.13

Amortiguamiento viscoso equivalente muro D (Continuación tabla página anterior)

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		RIGIDEZ SECANTE	ENERGÍA ABSORBIDA	ξ
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	[kN/m]	[kJ]	%
CICLO 8	23.95	10.00	-24.61	-9.57	4.03E+02	0.1156	16.57
CICLO 9	36.72	10.34	-36.51	-9.97	2.77E+02	0.1869	17.79
CICLO 10	49.95	9.43	-49.06	-9.64	1.93E+02	0.2402	17.43
CICLO 11	59.61	8.20	-63.05	-8.92	1.40E+02	0.2480	17.83
CICLO 12	72.48	7.25	-73.53	-7.50	1.01E+02	0.2653	17.31
CICLO 13	85.42	6.90	-85.13	-7.07	8.19E+01	0.2990	15.69
CICLO 14	99.57	6.01	-98.31	-6.85	6.50E+01	0.3220	15.82
CICLO 15	106.68	5.51	-115.48	-6.91	5.59E+01	0.3180	17.21
CICLO 16	121.06	5.75	-121.73	-6.35	4.98E+01	0.3653	15.54

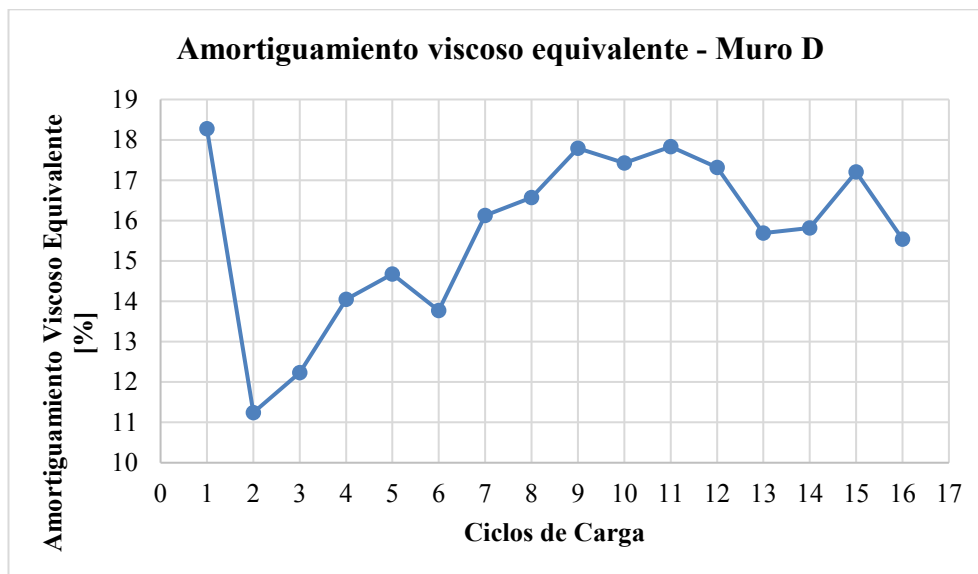


Imagen 5.47. Variación del amortiguamiento viscoso equivalente del muro D

A continuación, en la [Tabla 5.18](#) se muestra un resumen de los resultados del amortiguamiento viscoso equivalente entre los cuatro muros ensayados, donde se observa que el muro B, recibió una mayor cantidad de daño al finalizar el ensayo.

Tabla 5.18. Amortiguamiento viscoso equivalente de los muros

MURO	No. CICLO	ξ
		%
A	7	17.03
B	12	25.75
C	8	20.69
D	11	17.83

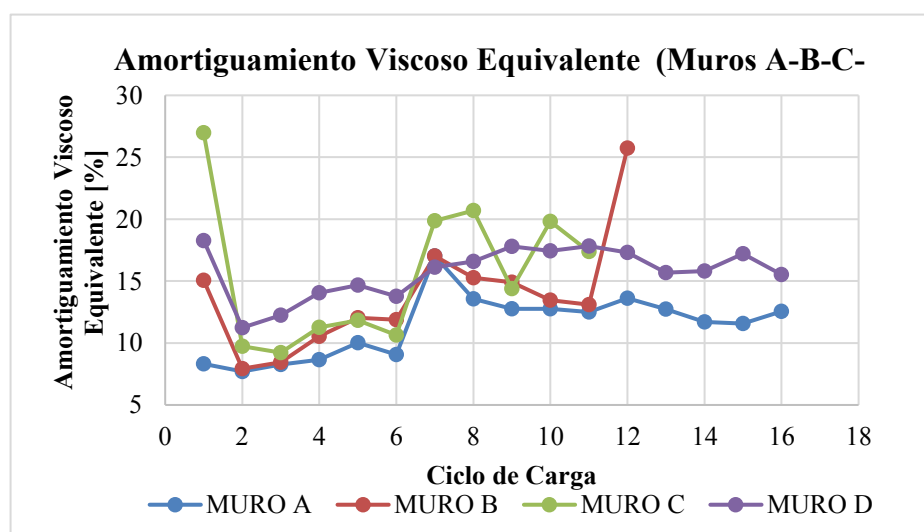


Imagen 5.48. Variación del amortiguamiento viscoso equivalente de los muros

5.3.8. Curva de capacidad envolvente

Esta curva se forma a partir de los valores máximos tanto positivos como negativos de cada ciclo principal del ensayo de carga lateral, permitiendo apreciar de mejor manera el

comportamiento del muro ensayado. En las [Imágenes 5.49](#), [5.50](#), [5.51](#) y [5.52](#) se muestran las curvas de capacidad envolvente obtenidas para los muros A, B, C y D, respectivamente.

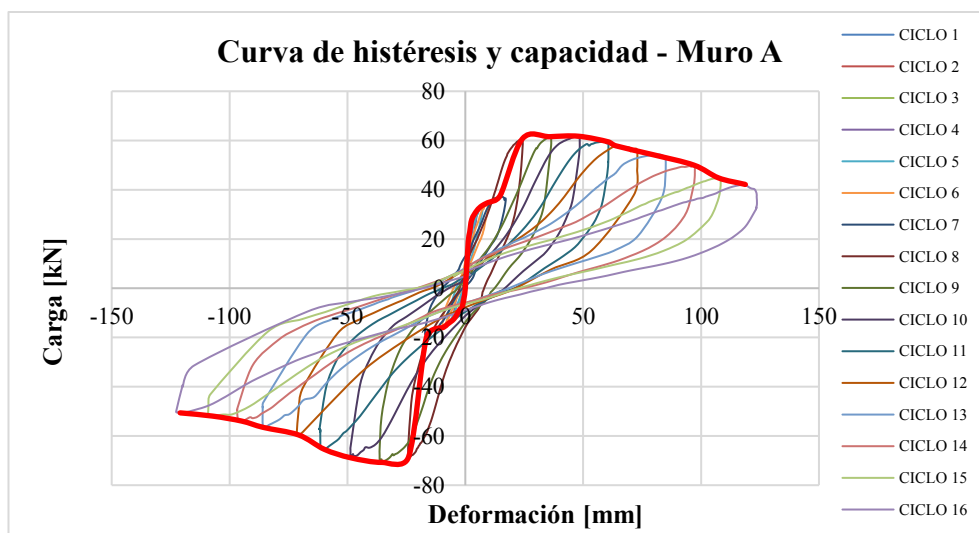


Imagen 5.49. Curva de capacidad envolvente del muro A

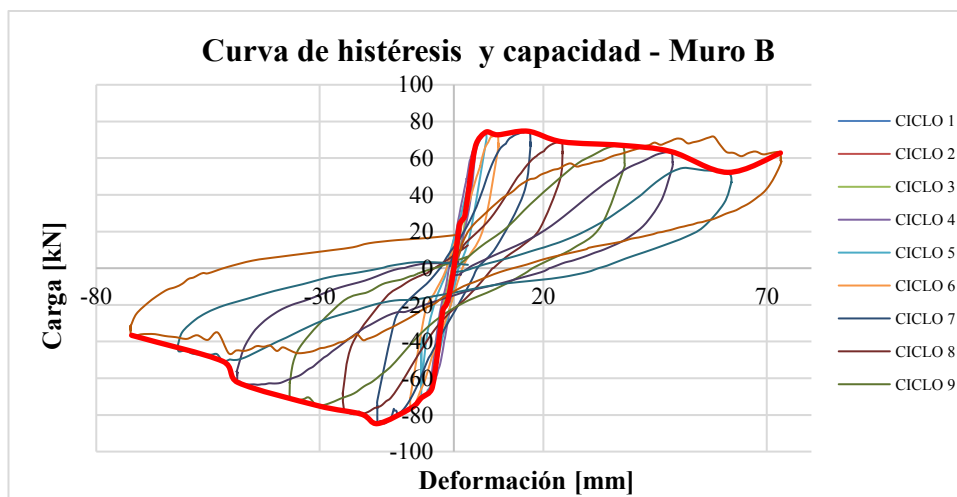


Imagen 5.50. Curva de capacidad envolvente del muro B

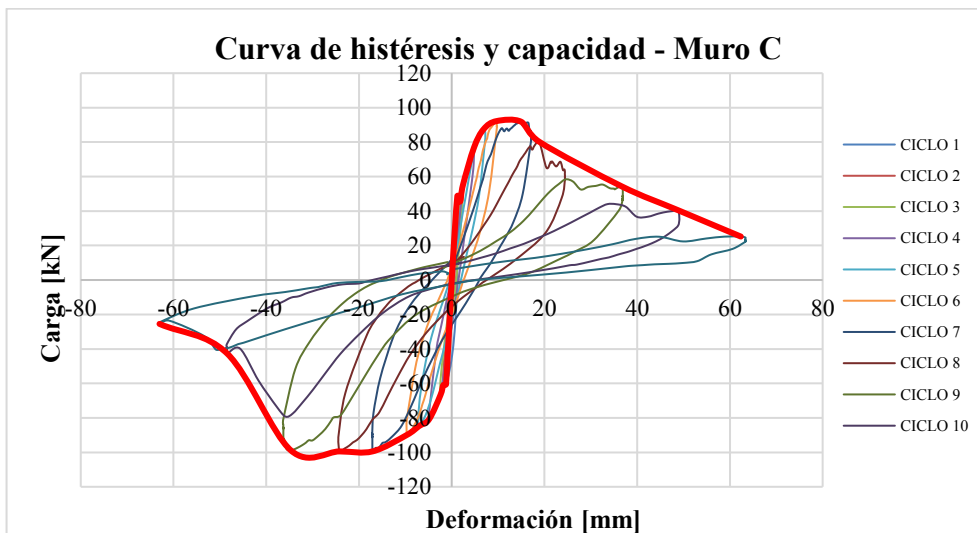


Imagen 5.51. Curva de capacidad envolvente del muro C

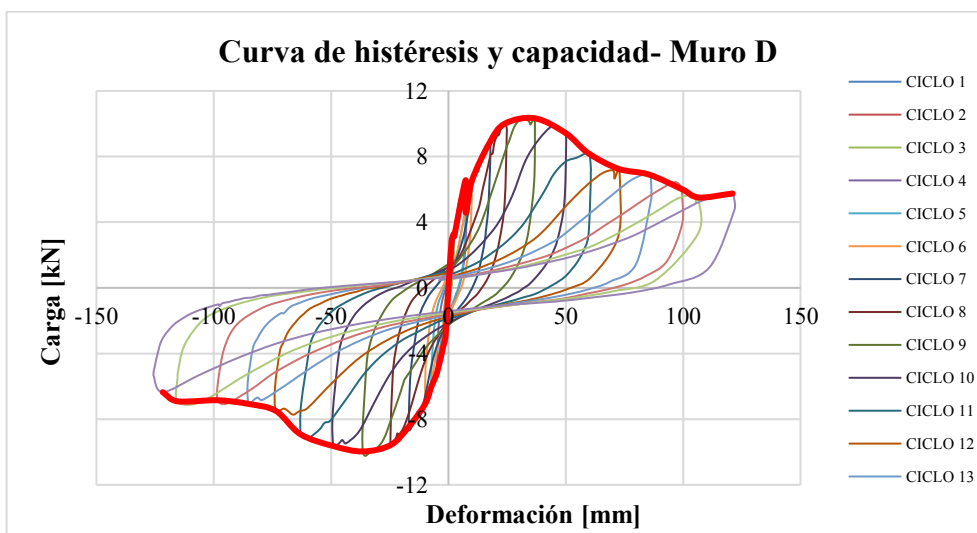


Imagen 5.52. Curva de capacidad envolvente del muro D

Como se puede observar a continuación en la [Imagen 5.53](#), todos los muros presentaron un comportamiento distinto. Al evaluar su degradación de la resistencia, se observa que el muro C alcanzó el mayor valor de carga tanto en empuje (92.21 kN) como en halado (99.47 kN) pero una rápida degradación de la resistencia en los ciclos posteriores respecto de los otros muros, ya que como se mencionó en este espécimen que contaba con malla electrosoldada aparecieron las primeras fisuras en el cuerpo del muro. Por otro lado, el muro D presentó la menor resistencia y rigidez de todos los muros ensayados, alcanzando un valor de 10.34 kN en empuje y 9.97 kN en halado, esto debido a la ausencia del refuerzo de malla electrosoldada.

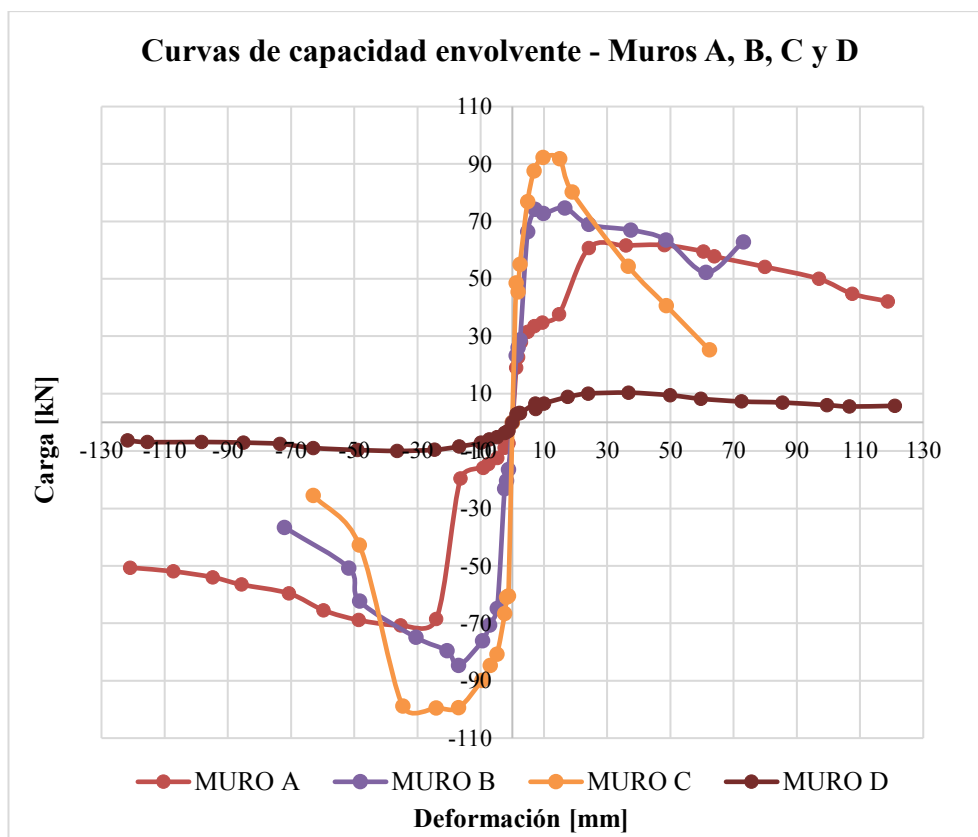


Imagen 5.53. Comparación de las curvas de capacidad envolvente

5.3.9. Ductilidad de desplazamiento

La ductilidad de desplazamiento (μ) se define como el cociente entre el desplazamiento último (Δu) y el desplazamiento de fluencia (Δy), el cual se obtiene a partir de la curva de capacidad y que se calcula para ambos sentidos de ensayo (empuje y halado). Por medio de este valor se puede obtener el factor de reducción de resistencia (R), que aparece en las normativas de diseño sismorresistente y que hace referencia al nivel de ductilidad del sistema estructural frente a las acciones sísmicas.

En las [Imágenes 5.54, 5.55, 5.56 y 5.57](#) se muestra la obtención gráfica de los parámetros necesarios para calcular la ductilidad de desplazamiento.

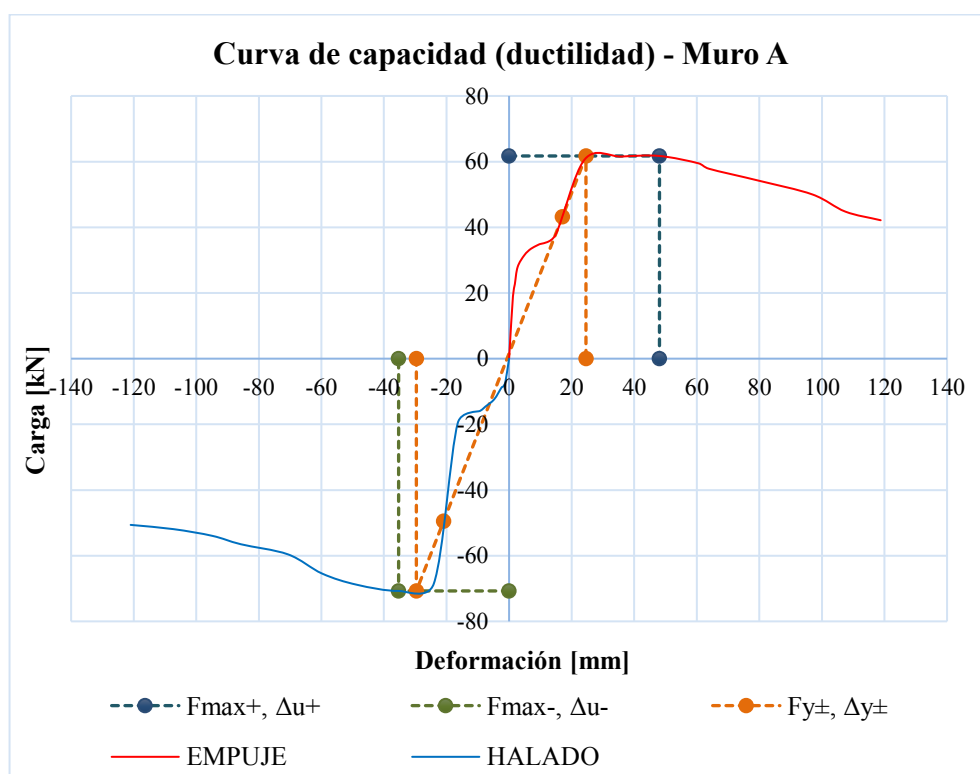


Imagen 5.54. Ductilidad de desplazamiento del muro A

Tabla 5.19. Puntos de la curva de capacidad del muro A

	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	61.73	-70.74
Δu (mm)	48.08	-35.31
Fy=0.7*Fmax (kN)	43.21	-49.52
Δy (mm)	24.58	-29.64
μ	1.96	1.19
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	1.71	1.18
PROMEDIO	1.44	

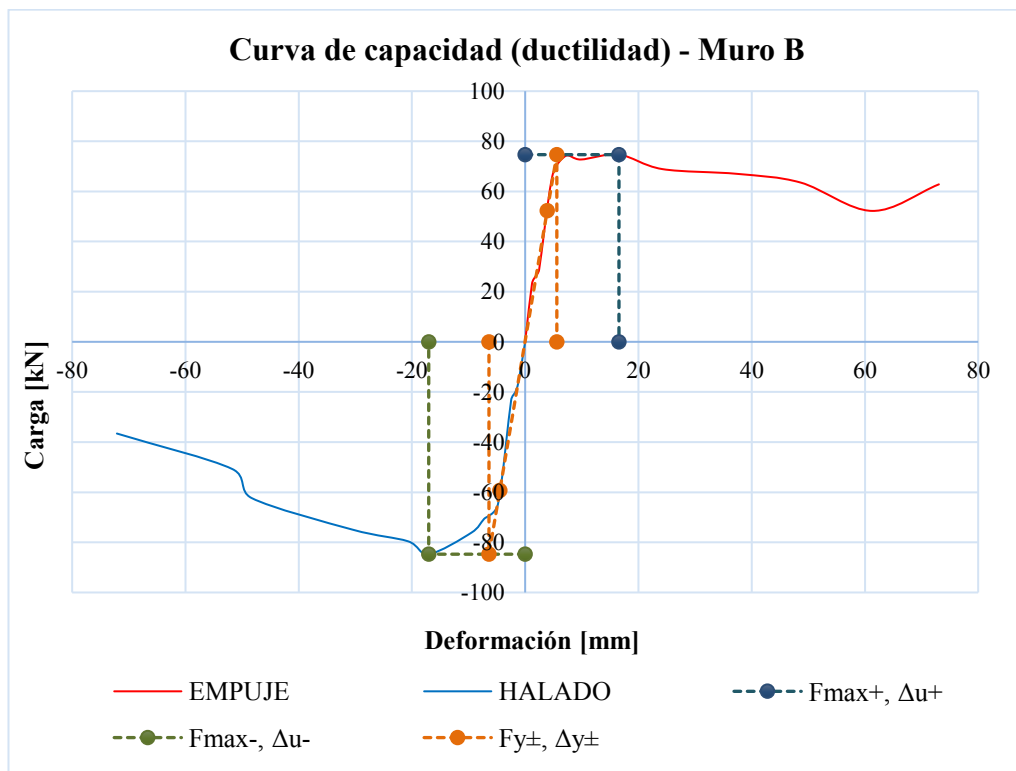


Imagen 5.55. Ductilidad de desplazamiento del muro B

Tabla 5.20. Puntos de la curva de capacidad del muro B

	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	74.67	-84.73
Δu (mm)	16.56	-17.03
Fy=0.7*Fmax (kN)	52.27	-59.31
Δy (mm)	5.59	-6.39
μ	2.96	2.66
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	2.22	2.08
PROMEDIO	2.15	

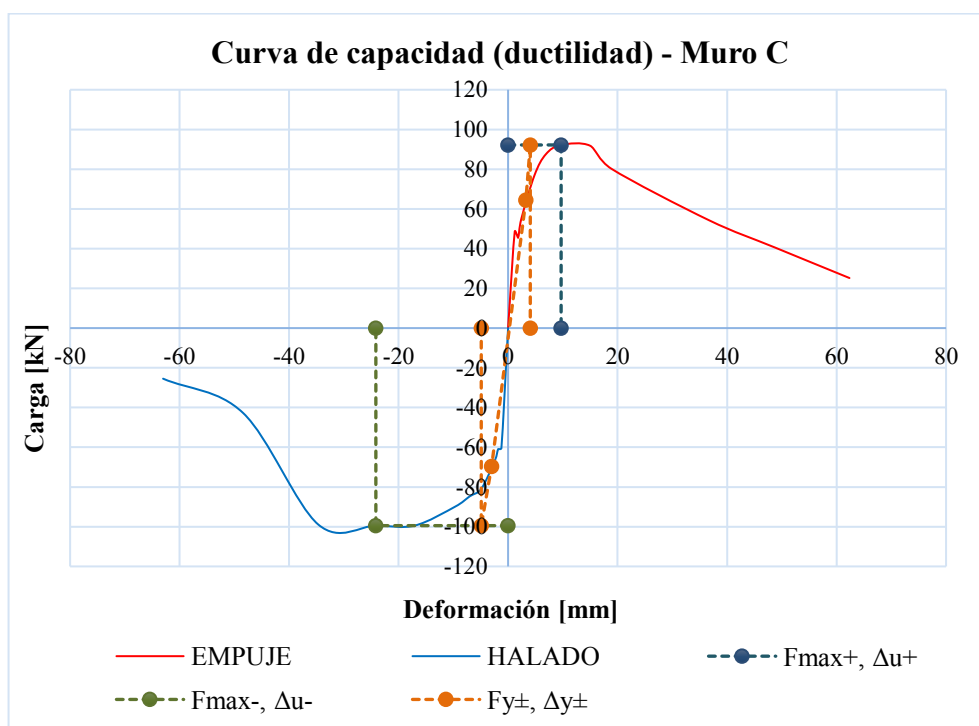


Imagen 5.56. Ductilidad de desplazamiento del muro C

Tabla 5.21. Puntos de la curva de capacidad del muro C

	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	92.21	-99.47
Δu (mm)	9.69	-24.15
Fy=0.7*Fmax (kN)	64.55	-69.63
Δy (mm)	4.06	-4.90
μ	2.39	4.93
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	1.94	2.98
PROMEDIO	2.46	

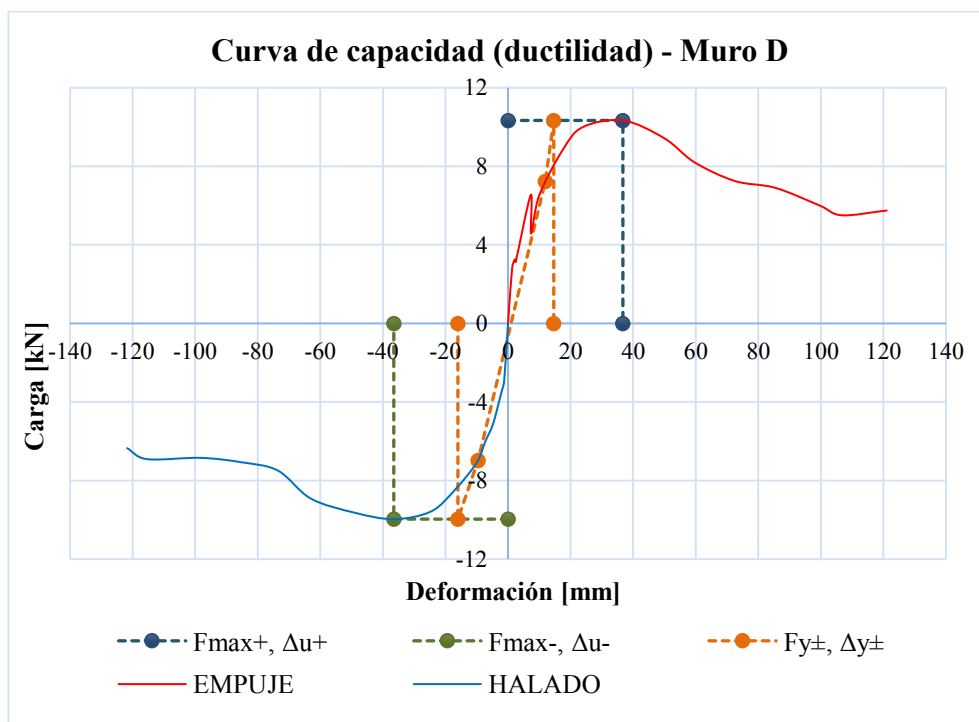


Imagen 5.57. Ductilidad de desplazamiento del muro D

Tabla 5.22. Puntos de la curva de capacidad del muro D

	EMPUJE (+)	HALADO (-)
Fmax (kN)	10.34	-9.97
Δu (mm)	36.72	-36.51
Fy=0.7*Fmax (kN)	7.23	-6.98
Δy (mm)	14.62	-16.02
μ	2.51	2.28
$R=(2\mu-1)^{1/2}$	2.01	1.89
PROMEDIO	1.95	

Con los resultados mostrados en las [Tablas 5.19](#), [5.20](#), [5.21](#), [5.22](#), respecto del valor promedio del factor de reducción de resistencia (R) de cada uno de los especímenes ensayados, que corresponden a sistemas de ductilidad limitada y considerando que dicho factor está asociado a una mayor capacidad de disipación de energía mediante la formación de daños en puntos específicos de la estructura, favoreciendo el comportamiento dúctil de la misma, se puede observar que el muro C presenta el mayor valor de R (2.46) y que el muro A posee el menor valor y no, como podría esperarse el muro D sin mallas de reforzamiento. Vale la pena recordar que el muro A sufrió el levantamiento y falla de la escalerilla inferior de madera en la cimentación del muro.

5.3.10. Derivas

En las [Tablas 5.23](#), [5.24](#), [5.25](#), [5.26](#), se muestran los resultados de derivas obtenidas al finalizar el ensayo en cada muro de prueba

Tabla 5.23. Derivas del muro A

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		DERIVA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	%
CICLO 1	1.24	19.01	-1.22	-7.29	0.05
CICLO 2	1.85	22.68	-1.82	-8.43	0.08
CICLO 3	2.74	27.93	-2.44	-8.83	0.11
CICLO 4	4.90	31.52	-4.75	-12.38	0.20
CICLO 5	7.02	33.48	-7.57	-14.60	0.29
CICLO 6	9.53	34.76	-9.27	-15.90	0.39
CICLO 7	14.77	37.60	-16.39	-19.57	0.60
CICLO 8	24.20	60.69	-24.07	-68.55	0.99
CICLO 9	35.96	61.55	-35.31	-70.74	1.47
CICLO 10	48.08	61.73	-48.66	-68.85	1.96
CICLO 11	60.49	59.49	-59.75	-65.45	2.47
CICLO 12	63.92	57.82	-70.68	-59.60	2.61
CICLO 13	79.91	54.18	-85.73	-56.52	3.26
CICLO 14	96.99	49.99	-94.82	-53.97	3.96
CICLO 15	107.51	44.77	-107.28	-51.92	4.39
CICLO 16	118.78	42.15	-120.96	-50.62	4.85

Tabla 5.24. Derivas del muro B

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		DERIVA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	%
CICLO 1	1.21	23.20	-1.22	-16.45	0.05
CICLO 2	1.82	26.08	-1.79	-20.30	0.07
CICLO 3	2.46	28.73	-2.47	-23.19	0.10
CICLO 4	4.82	66.38	-4.82	-64.89	0.20
CICLO 5	7.16	74.18	-7.25	-70.63	0.29
CICLO 6	9.82	72.73	-9.48	-76.12	0.40

Derivas del muro B (Continuación tabla página anterior)

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		DERIVA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	%
CICLO 7	16.56	74.67	-17.03	-84.73	0.68
CICLO 8	24.22	68.92	-20.69	-79.57	0.99
CICLO 9	37.49	67.00	-30.53	-74.91	1.53
CICLO 10	48.63	63.54	-48.31	-62.31	1.98
CICLO 11	61.29	52.23	-51.71	-50.76	2.50
CICLO 12	73.06	62.82	-72.10	-36.59	2.98

Tabla 5.25. Derivas del muro C

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		DERIVA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	%
CICLO 1	1.22	48.57	-1.22	-60.44	0.05
CICLO 2	1.83	45.45	-1.81	-60.90	0.07
CICLO 3	2.42	55.05	-2.41	-66.66	0.10
CICLO 4	4.82	76.88	-4.87	-80.78	0.20
CICLO 5	6.90	87.53	-7.02	-84.74	0.28
CICLO 6	9.69	92.21	-9.66	-89.89	0.40
CICLO 7	14.97	91.83	-17.04	-99.42	0.61
CICLO 8	18.89	80.20	-24.15	-99.47	0.77
CICLO 9	36.65	54.37	-34.69	-98.86	1.50
CICLO 10	48.71	40.62	-48.40	-42.73	1.99
CICLO 11	62.36	25.21	-63.02	-25.47	2.55

Tabla 5.26. Derivas del muro D

No. CICLO	POSITIVO (EMPUJE)		NEGATIVO (HALADO)		DERIVA
	Δ [mm]	Carga [kN]	Δ [mm]	Carga [kN]	%
CICLO 1	1.33	2.84	-1.23	-2.94	0.05
CICLO 2	2.17	3.26	-1.83	-3.35	0.09
CICLO 3	2.45	3.14	-2.42	-3.70	0.10
CICLO 4	7.28	6.55	-4.83	-5.14	0.30
CICLO 5	7.38	4.58	-7.25	-6.01	0.30
CICLO 6	10.00	6.53	-9.94	-7.07	0.41
CICLO 7	17.55	8.85	-16.84	-8.45	0.72
CICLO 8	23.95	10.00	-24.61	-9.57	0.98
CICLO 9	36.72	10.34	-36.51	-9.97	1.50
CICLO 10	49.95	9.43	-49.06	-9.64	2.04
CICLO 11	59.61	8.20	-63.05	-8.92	2.43
CICLO 12	72.48	7.25	-73.53	-7.50	2.96
CICLO 13	85.42	6.90	-85.13	-7.07	3.49
CICLO 14	99.57	6.01	-98.31	-6.85	4.06
CICLO 15	106.68	5.51	-115.48	-6.91	4.35
CICLO 16	121.06	5.75	-121.73	-6.35	4.94

5.4. Conclusiones

En la [Tabla 5.27](#), se presenta un resumen de los resultados obtenidos para cada muro ensayado.

Tabla 5.27. Principales resultados de los ensayos en los muros de fardos de paja

PARÁMETRO	Unidad	MA	MB	MC	MD
Energía Disipada	kJ	27.83	18.56	12.02	5.26
Rigidez Secante (Inicial)	kN/m	1.07E+04	1.63E+04	4.47E+04	2.25E+03
Rigidez Secante (Final)	kN/m	3.87E+02	6.85E+02	4.04E+02	4.98E+01

Principales resultados de ensayos en muros (Continuación tabla página anterior)

PARÁMETRO	Unidad	MA	MB	MC	MD
Rigidez Inicial Conservada	%	3.62	4.20	0.90	2.21
Amortiguamiento Viscoso Equivalente	%	17.03	25.75	20.69	17.83
Degradación de Rigidez	%	96.38	95.80	99.10	97.79
Ductilidad de Desplazamiento. μ	-	1.57	2.81	3.66	2.39
Factor de Reducción de Resistencia. R	-	1.44	2.15	2.46	1.95

En las gráficas de carga – deformación, los muros A, B y C muestran una primera zona de comportamiento relativamente elástico con aumento de resistencia. Luego una caída brusca, que marca la presencia clara de daño y el fin de esta primera zona. Posteriormente, hay una segunda zona de comportamiento, donde la resistencia vuelve a aumentar, pero con mayores desplazamientos. Esto se relaciona con el predominio de la resistencia de la escalerilla inferior y sus anclajes. Estas dos zonas son particularmente claras cuando se usan los valores de amortiguamiento histerético.

Hasta este punto, el comportamiento descrito permite identificar en el muro los siguientes elementos estructurales:

Fardos de paja + enlucido con malla

Escalerilla inferior + anclajes

Otros: escalerilla superior, estacas de cortante

Los resultados en el muro D, comparados con los de los otros muros, permite adicionalmente identificar la importancia sobresaliente de la malla de refuerzo y de los enlucidos como elementos que aportan rigidez y ductilidad.

Entendiendo que el módulo de elasticidad es mayor cuanto más rígido es el material, existe coherencia con el resultado obtenido para el muro D. Ya que, el módulo de elasticidad del fardo desnudo es aproximadamente de 0.058 MPa (Viera & Aguirre,

2021) y el del muro es mayor debido a que tiene revoco y tensores externamente y una estructura interna conformada por estacas ([ver figura 5.5](#)) que lo hacen más rígido.

Considerando que en análisis sísmicos es fundamental controlar los desplazamientos horizontales, y usando como parámetro la deriva de piso, se encuentra que, dentro del rango elástico, esta es aproximadamente del 0.20 % para los muros B y C. Ver [Tablas 5.24 y 5.25](#) para los valores de Δy , y recordar que la altura de los muros es de 2.45 m. Estos dos muros se toman como referencia, y no el muro A, porque son en los que los anclajes resistieron de mejor forma. En el caso del muro D la deriva es 0.67%.

Por otro lado, puesto que las cargas sísmicas son inerciales, es decir dependen de la masa o del peso existente en la estructura durante el movimiento sísmico, y usando recomendaciones de las normas, en este caso de la NEC15, en zonas de alta sismicidad como la región andina ecuatorial y con suelos de calidad modesta, denominados tipo D, se tendrá un valor del cortante basal V_{BASAL} , considerando un factor R por comportamiento no lineal igual a 1.95, que fue el obtenido experimentalmente para muros de fardos de paja sin refuerzo de malla electrosoldada ([ver tabla 5.27](#)), siendo este el caso más crítico.

Por consiguiente, ecuación:

$$V_{\text{BASAL}} = 0.61 W_R$$

Donde W_R es la carga reactiva, o carga vertical (peso) presente durante el instante del sismo.

En el caso de los ensayos que se indican aquí, la fuerza aplicada con el actuador es también el cortante basal, por lo que se podrá calcular la carga reactiva. Entre los muros B y C, el que da menor carga W_R es el B, con un valor de 66.20 kN. Pero, en el muro D se calcula una carga de 8.80 kN.

Esta última carga, en el muro D, corresponde al peso que puede soportar sin daño sísmico la vivienda Nebraska ubicado en “La Magdalena” en el cantón Otavalo, Ecuador. En esta edificación el peso de la cubierta y de la viga superior es aproximadamente de 0,17 kN/m²,

por lo que el área cooperante admisible se puede calcular como $8.80 \text{ kN} / (0.17 \text{ kN/m}^2) = 51.80 \text{ m}^2$. Esta edificación tiene un área real de 38.35 m^2 , por lo que hay un factor de seguridad adicional de $51.80 \text{ m}^2 / 38.35 \text{ m}^2 = 1.35$.

Un parámetro relevante es el área que los muros ocupan con respecto al área en planta de la construcción. Por sus características volumétricas, estos muros ocupan una gran área en planta. Sin embargo, interesa fundamentalmente que sea suficiente para que, en el caso de las cargas sísmicas, su comportamiento sea con el menor daño posible, es decir en el rango elástico lineal. En el caso previo, en donde se tiene un comportamiento sísmico adecuado, obsérvese que el parámetro área en planta de los muros respecto al área en planta de la edificación es del 29 %.

Con los datos estructurales y mecánicos aportados en este capítulo, se posibilita que diseñadores estructurales puedan realizar modelos, en donde se incluyan fardos producidos en Ecuador, ya sea con revocos de cal arena y fibras más refuerzo de malla de acero o de forma más tradicional, usando revocos de barro-cal y reforzamientos internos y externos.

5.5.Referencias Bibliográficas

- Bazán. E. & Meli. R. (2000). Manual de diseño sísmico de edificios. Recuperado el 2 de febrero del 2022 de <https://ivandamianvega.files.wordpress.com/2016/03/arquilibros-manual-de-diseno-sismico-de-edificios.pdf>
- Viera, P., Aguirre, D., & Monzó, J. (2020). Determinación de las características del fardo de paja de trigo, como desecho agroindustrial para su aprovechamiento como material de construcción / Determination of the characteristics of the wheat straw bale, as an agro-industrial waste for use as a construction material. *Revista Ingeniería UC*, 27(3), 304-318. Recuperado el 27 de marzo del 2021 de https://redib.org/Record/oai_articulo3382503-determinaci%C3%B3n-de-las-caracter%C3%ADsticas-del-fardo-de-paja-de-trigo-como-desecho-agroindustrial-para-su-aprovechamiento-como-material-de-construcci%C3%B3n

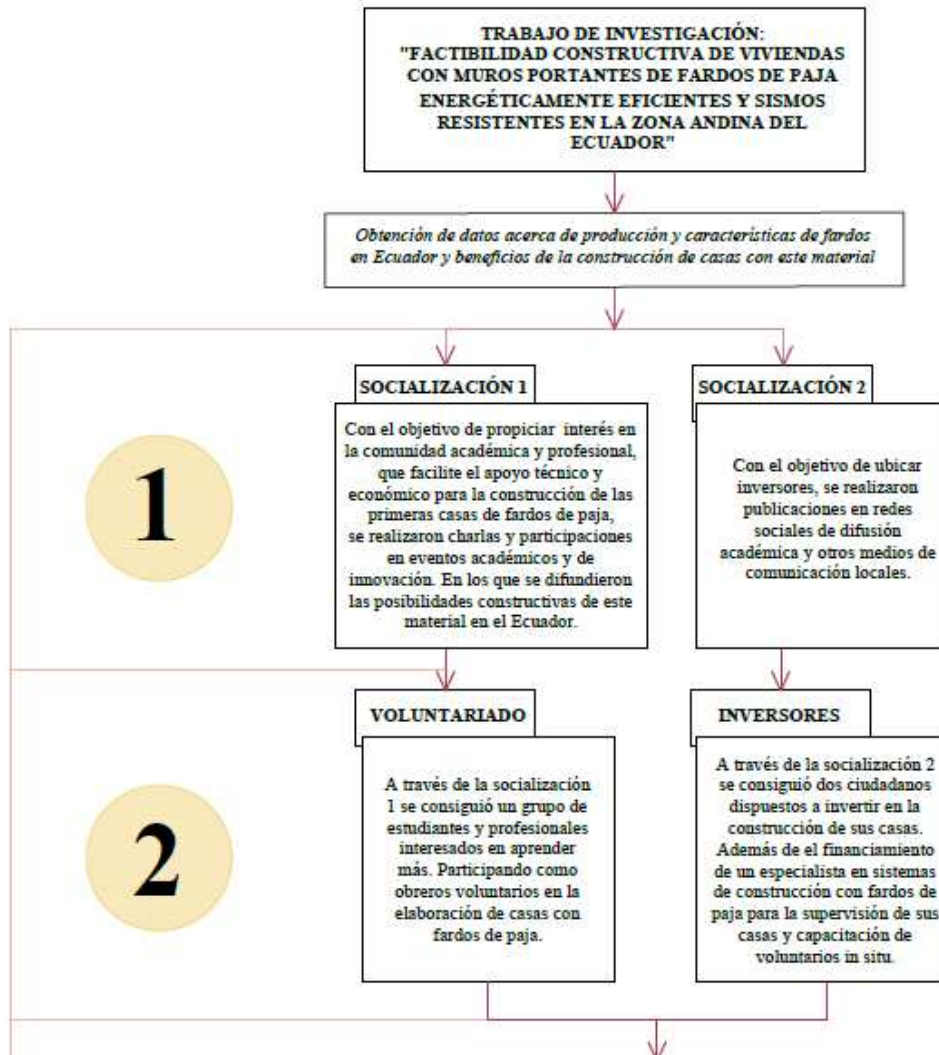
Capítulo 6

Memorias y experiencias constructivas en Ecuador

Dado que el conocimiento acerca de la construcción con fardos de paja es casi inexistente entre profesionales y población ecuatoriana en general, existe gran desconfianza respecto de las características resistentes de las casas hechas con este material. Para cambiar esta realidad e impulsar la construcción con fardos de paja en Ecuador, se vio necesario lograr que se construyan algunas viviendas, que sirvan de evidencia palpable sobre la factibilidad de este material para lograr construcciones estéticamente agradables, seguras y confortables.

Este capítulo trata acerca del trabajo realizado para lograr la consecución de la construcción de las primeras casas de paja en Ecuador, y así trasladar todos los aportes logrados en este trabajo investigativo a la comunidad.

A continuación, en la [imagen 6.1](#) se esquematiza el proceso que hizo posible la realización de las primeras viviendas con fardos de paja, así como la difusión de conocimientos. Es importante señalar que la autora de este trabajo fue la que asumió la tarea de impulsar este proceso.



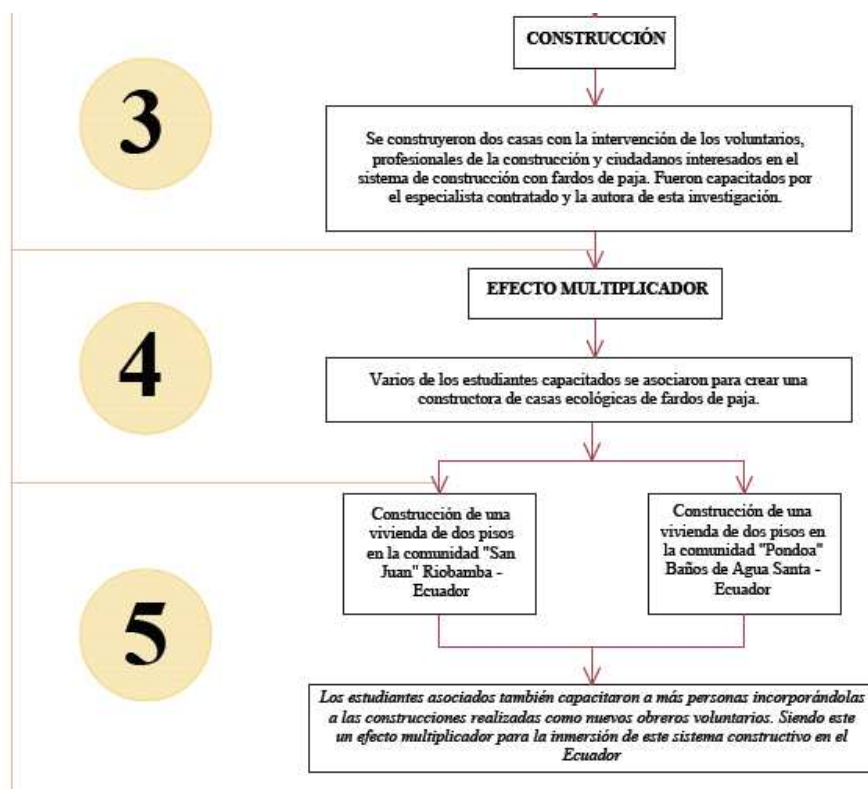


Imagen 6.1. Línea Temporal

Anterior al proceso mostrado en la imagen 6.1., se llevó a cabo una investigación en el año 2016 en la comunidad rural de Quivillungo, provincia de Bolívar, donde se realizó una habitación con fardos de paja, realizados con una enfardadora manual. Esta construcción se hizo en el marco de una investigación de la Universidad Central del Ecuador que fue liderada por la autora del presente trabajo con la participación de estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil (Viera et al. 2019). Esta habitación es el primer antecedente del uso de fardos de paja como material de construcción en el Ecuador.

En la [imagen 6.2.](#) se muestra a los investigadores y comunidad que participó en la construcción, así como a la habitación terminada y el diseño del que se partió para su construcción.



Imagen 6.2. Superior izquierda: investigadores UCE. Superior derecha: comuneros construyendo. Inferior izquierda: vivienda terminada. Inferior derecha: diseño inicial de la habitación proyectada.

Al no encontrarse más evidencias de construcciones con fardos de paja en Ecuador, se planteó que la causa podría ser el desconocimiento del manejo del material y de los beneficios de este.

6.1. Socialización Etapa I

Para dar a conocer los beneficios del uso de la paja en la elaboración de viviendas sismo resistentes y energéticamente eficientes, en el año 2019, se presentó un prototipo de vivienda en el CONCURSO INNOVA 2019 HUB UIO ([Imagen 6.3.](#)) para emprendimientos de agro - tecnología. industrias creativas y ciudades sostenibles (Quito Informa.2019).



Imagen 6.3. Convocatoria de proyecto innovador categoría: Ciudades Sostenibles.

Este concurso fue organizado por distintas universidades ecuatorianas, con el apoyo de entidades gubernamentales como la Secretaria de Educación Superior, Conquito, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias y el Ministerio de Cultura y Patrimonio. El objetivo de este evento, que se convoca cada año en Ecuador, es crear un espacio propicio para identificar proyectos académicos novedosos con el objetivo de darles difusión y acompañamiento para su posible implementación. Aportando así con la generación de ideas escalables que resuelvan de forma efectiva y sostenible los problemas del pueblo ecuatoriano. (Concurso InnoVA HUB UIO. 2019).

El prototipo de vivienda de fardos de paja se presentó al concurso en representación de la Universidad Central del Ecuador y la participación de la Universitat Politècnica de València. Se denominó “Ugsha - Viviendas Ecológicas”. Por requerimiento del concurso se acompañó el prototipo con un modelo de negocio presente en la [imagen 6.4](#), que se basó en la valoración de un residuo agro - industrial como es la paja; la cual, al ser empacada en forma prismática se convierte en un material de construcción que se denomina fardo y que es propicio para la construcción de viviendas energéticamente eficientes y sismo resistentes en la zona rural andina del Ecuador (FAO. 2021). El enfoque se dio en este sector ya que es donde se producen los cereales como el trigo y la cebada de los que se obtiene la paja (Instituto Nacional de Investigaciones (Agropecuarias. 2022).

Business Model Canvas				
Socios Clave	Actividades Clave	Propuestas de valor	Relaciones con clientes	Segmentos de Clientes
Productores de trigo y cebada Enfardadores de paja son los que suministran la materia prima (fardos) Bioconstructores y comunidades organizadas son el suministro de mano de obra Empresas públicas y privadas como fuente de recursos económicos	Construcción de casa modelo Buscar financiamiento para la construcción de casa modelo Difundir nuevo método constructivo Buscar alianzas estratégicas con aliados clave dentro de Instituciones de Educación Superior y centros como SECAP, CAMICÓN, MIDUVI	Vivienda energéticamente eficiente Elaborada con materiales de construcción con bajo impacto ambiental Vivienda sismoresistente a menor costo Aprovechamiento de desecho agroindustrial Vivienda con características propias para la autoconstrucción	Relación directa a través de charlas y visita a casa modelo Relación indirecta por medio de constructoras y empresas públicas Seguimiento post venta Páginas web y espacios en redes sociales	Personas con déficit cualitativo de vivienda Personas identificadas con la sostenibilidad Comunidades interesadas en la autoconstrucción Empresas interesadas en capitalizar desechos Empresas publicas o privadas interesadas en promover viviendas ecológicas y de calidad MIDUVI, plan Toda una Vida
Recursos Clave		Canales		
Desechos agrondustriales para la elaboración de fardos de paja Casa modelo Recurso humano (Bioconstructores) Recursos económicos en forma de alianzas estratégicas con empresas públicas y privadas		Es de fácil y rápida construcción Los residuos de construcción generados en su proceso son biodegradables Vivienda accesible Amigable con el ambiente	Visita guiada a casa modelo para que las personas interesadas y potenciales clientes observen y conozcan el producto de primera mano Páginas web Manual de construcción Redes sociales Videos y material audiovisual	
Estructura de costos		Fuentes de Ingresos		
Fijos: Capacitadores Diseñadores gráficos Publicistas		Variables: Materia prima Mano de obra	Mantenimiento Reparación Remodelación Capacitaciones sobre técnicas de construcción con materiales ecológicos	Contratos de construcción Asesoría en métodos constructivos Talleres

Imagen 6.4. “Modelo de negocio del proyecto “Ugsha- Viviendas Ecológicas”.

Esta participación suscitó un gran interés entre los organizadores del evento permitiendo así llegar a ser parte del “Testing Lab”, organizado en las afueras del Ministerio de Agricultura realizado el día viernes 29 de noviembre del 2019, desde las nueve de la mañana ([Imagen 6.5. y 6.6.](#)). Aquí se presentaron los finalistas de más de 100 proyectos en donde mostraron a la ciudadanía sus ideas y propuestas. Al final de ese día y luego de la evaluación de jueces especializados, la propuesta “Ugsha - Viviendas Ecológicas” quedó entre los 5 mejores en la categoría de “Ciudades Sostenibles”.

Esto también llamó la atención de bioconstructores ecuatorianos como Norié Cadena quién manifestó su interés de apoyar la construcción de casas con fardos de paja en Ecuador.



Imagen 6.5. Superior izquierda: representantes del proyecto “Ugsha- Viviendas Ecológicas” durante el Testing Lab. Superior derecha: Diseño de la vivienda prototipo. Inferior izquierda: vista en planta vivienda prototipo. Inferior derecha: vista en elevación.



Imagen 6.6. Convocatoria InnoVA 2019- HUB UIO

6.2.Socialización Etapa II

Este interés común por lograr la construcción de las primeras casas de paja, motivo la búsqueda de más personas de la sociedad civil que se interesen en este tipo de viviendas. Es así que se inició una campaña de información acerca de las bondades del material y experiencias constructivas en otros países. Esto se hizo a través de medios de difusión digitales y redes sociales como las que se presentan a continuación:

Blog:

<https://construccionesuce.wordpress.com/>

Redes sociales:

<https://www.facebook.com/construccionesuce/>

<https://www.instagram.com/construccionesuce/>

Canal de youtube:

<https://www.youtube.com/channel/UCr6N4owD0IHidhTMvB3jv9Q>

Debido a esta difusión se logró el interés de personas particulares como Johana Arias y Byron Rosero, quienes querían invertir en construir sus propias casas utilizando fardos de paja. Con el objetivo de que la construcción de estas viviendas sirva para capacitar personal en la técnica de construcción con fardos de paja, se decidió invitar a participar a profesionales y estudiantes de Arquitectura e Ingeniería Civil. Así también a bioconstructores, maestros albañiles y líderes comunitarios.

6.3. Alianzas Estratégicas

Como instructor se contrató los servicios del Arquitecto Técnico Juanjo Garcia, quién forma parte de Construpaja Chile que es una organización miembro de la “Red Chilena de Construcción con Fardos de Paja” y con amplia experiencia en la construcción de edificaciones con fardos de paja y en la capacitación y difusión de técnicas constructivas con este material en ese país austral (construpaja.wordpress.com).

Primer Curso Certificado

Es así que, en el mes de octubre del 2020 se hace el lanzamiento del Primer Curso Certificado de Construcción con Fardos de Paja en Ecuador, con el aval del Instituto Tecnológico Kachariy (www.itk.edu.ec), registrado en el Consejo de Educación Superior (www.ces.gob.ec). Se dictaron cuatro módulos teóricos simultáneamente con la construcción de las viviendas. La primera en Otavalo Imbabura con el sistema estructural de muros portantes (Nebraska) y la segunda con muros de paja reforzados con columnas de madera en San Rafael, Quito – Pichincha. Los módulos ofrecidos se muestran a continuación junto con una imagen del afiche promocional del curso.

Módulo 1: Método Nebraska

Módulo 2: Revestimientos

Módulo 3: Método poste y viga.

Módulo 4: Revestimientos de arcilla y cal.

6.4. Talleres y Construcción

Curso en Imbabura - Otavalo

El desarrollo del “Primer curso certificado en construcción con fardos de paja Ecuador” en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo, comunidad “La Magdalena”, tuvo lugar entre las fechas 19 de octubre al 8 de noviembre del 2020. El Ingeniero Civil Byron Rosero fue el inversor para que se construya su casa mediante la técnica Nebraska. Dentro del taller se contó con la participación de 33 personas entre ellos arquitectos e ingenieros civiles, ingeniero electrónico y otros profesionales en áreas diferentes al sector de la construcción. Entre estas personas estaban 23 voluntarios mayormente estudiantes de la carrera de ingeniería civil de la Universidad Central del Ecuador, líderes comunitarios y bioconstructores, quienes accedieron totalmente gratis a la capacitación lo que les permitió aplicar activamente los conocimientos adquiridos en la construcción de la vivienda del Ingeniero Rosero.

Esta casa se basó en el prototipo de “UGSHA”, pero se modificó a requerimiento del propietario, quien decidió nombrar a su vivienda “Tamo Wasi” que significa Casa de Paja, en el idioma Kichwa que es una lengua indígena en Ecuador con mayor número de hablantes (Velasquez. 2020).

A continuación se presentan los renders de la casa “Tamo Wasi” y la etapa constructiva construida durante el curso ([Imagen 6.7 y 6.8](#)), además una memoria fotográfica del desarrollo de la misma. Los planos de esta vivienda se adjuntan en anexos.

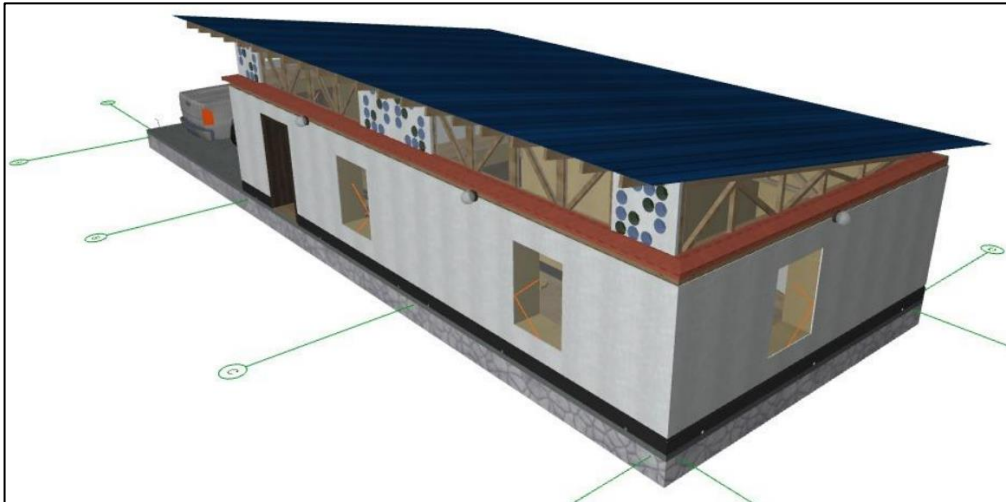


Imagen 6.7. Imagen de la vivienda prototipo

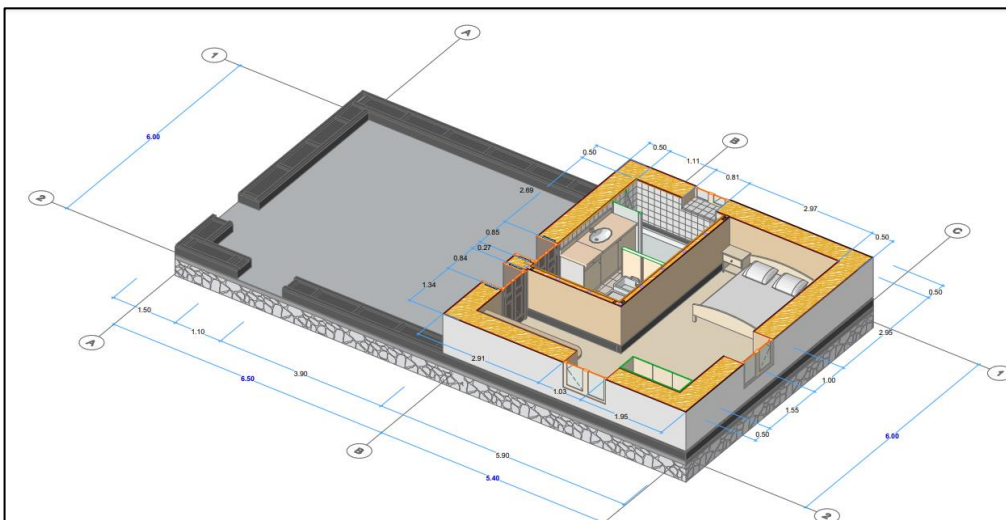


Imagen 6.8. Imagen del bloque construido durante el taller



Imagen 6.9. Colocación de hormigón en la cimentación de la casa “Tamo Wasi”.



Imagen 6.10. Construcción del sobre cimiento con hormigón y bloques alivianados.



Imagen 6.11. Vista del sobre cimiento con escalerillas de madera encima, pintado con impermeabilizante y colocación del material granular para evitar humedad por capilaridad.



Imagen 6.12. Colocación de la primera hilera de fardos de paja sobre las estacas de madera y levantamiento de los muros portantes.



Imagen 6.13. Colocación de estacas entre las hiladas de fardos de paja y demostración de cómo deben colocarse las estacas para que traslapen cada tres hileras.



Imagen 6.14. Colocación de vigas perimetrales superiores sobre los muros portantes de fardos de paja.



Imagen 6.15. Colocación de las eslingas para comprimir los muros de fardos de paja.



Imagen 6.16. Estudiantes de la universidad central y demás participantes en el levantamiento de los muros en la construcción de la casa “Tamo Wasi” en la provincia de Imbabura.



Imagen 6.17. Medios de comunicación y entrevista de diario El Norte de Ibarra sobre la construcción de la casa Tamo Wasi.



Imagen 6.18. Revocado de las paredes de fardos de paja con barro y cal.



Imagen 6.19. Colocación de cubierta aislada con paja.



Imagen 6.20. Casa Tamo Wasi con cubierta y revocada.

Curso en San Rafael

En la provincia de Pichincha, dentro del Distrito Metropolitano de Quito, cantón Rumiñahui, parroquia San Rafael, continuó la segunda parte del curso del 9 al 22 de noviembre del 2020. Participaron todos los asistentes al taller de Otavalo y se sumaron más voluntarios entre ellos estudiante de Diseño de Interiores de la Universidad Técnica de Ambato. En los 15 días que dura el taller lograron un gran avance en la construcción de la casa con muros de fardos de paja reforzados con columnetas de madera, esto porque Jhoana Arias, quién es la inversionista propietaria de esta vivienda, requería que las ventanas en las fachadas sean grandes, lo cual no se puede realizar en estructuras de muros portantes ([Imágenes 6.9. - 6.20.](#)).

Entre los asistentes a esta etapa del curso se destaca la arquitecto Oscar Jara, quién es profesor – investigador de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de las Americas UDLA. El trabajo del Arq. Jara se centra en la utilización de fibras naturales como la totora en la realización de materiales de construcción.

De la misma forma cabe mencionar la asistencia de los arquitectos Santiago y Guillermo Reyes quienes entusiasmados con lo aprendido manifiestan su interés en proponer proyectos en los que se utilice la paja y arcilla, tal es así que posterior al curso construyeron una vivienda en la provincia de Imbabura, cantón Antonio Ante con madera y arcilla.

También es importante resaltar la presencia de empresarios del sector hotelero y turismo de la ciudad de Baños de Agua Santa. provincia de Tungurahua, quienes posterior al curso y con la ayuda de los estudiantes de la Universidad Central del Ecuador que participaron en la certificación construyeron una casa con fardos de paja en Pondoá – provincia de Tungurahua ([Imagen 6.21.](#)).



Imagen 6.21. Construcción de vivienda con fardos de paja en Pondoá-Provincia de Tungurahua.

Finalmente mencionar la presencia de Félix Atahualpa y Andrea Solano, una pareja joven de la ciudad de Otavalo, quienes participaron en el curso para construir su vivienda propia con materiales alternativos y nobles como la madera, la paja y el barro y que actualmente se encuentran construyendo su casa. ([Imagen 6.22.](#)).



Imagen 6.22. Construcción de la casa Kotama.



Imagen 6.23. Estudiantes de la Universidad Central del Ecuador y otros voluntarios presentes desde el primer día de la construcción de la Casa San Rafael.



Imagen 6.24. Levantamiento de muros y participantes en construcción de la casa San Rafael.



Imagen 6.25. Revocado de muros con barro y cal.



Imagen 6.26. Exteriores e interiores de la casa terminada.

Nuevo Taller Otavalo Nebraska

El Primer Curso certificado de construcción con paja permitió generar un vínculo entre los asistentes. Esto llevó a la conformación de la Bioconstructora Barro Vivo, ([Imagen 6.27.](#)) integrada por alumnos de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Central del Ecuador y constructores experimentados en el ámbito de la edificación con materiales alternativos como el barro, la madera y la caña guadua.



Imagen 6.27. Estudiantes de la Universidad Central del Ecuador, parte de la bioconstructora Barro Vivo.

Esta bioconstructora realizó otros talleres de capacitación que captaron el interés de más personas en construir sus proyectos con paja. Es así, que se realizó la vivienda de la Arquitecta Nathalie Santamaria, docente de la Universidad Politécnica de Chimborazo y el Ingeniero Borja Yhon, en la parroquia rural de San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.

Para esta construcción se organizó otro curso certificado en construcción con paja entre las fechas del 20 de agosto al 11 de septiembre del 2021. El curso fue avalado por el instituto Jatun Yachay Wasi (Casa de Grandes Saberes) y participaron estudiantes de diferentes provincias desde Carchi, Imbabura, Pichincha, Tungurahua y Chimborazo. Entre los asistentes se encontraban profesionales como arquitectos e ingenieros civiles, agrónomos, textiles, magister experto en gobernabilidad y en ciencias de la salud, cada uno con el ímpetu de conocer técnicas bioconstructivas con fines diversos. Es de resaltar la presencia de maestros constructores de la localidad y estudiantes voluntarios que aprenden y aplican las técnicas aprendidas durante los diferentes módulos.

El curso contó con las charlas magistrales virtuales de la investigadora, Ing. Paulina y el Arquitecto Oscar Jara, los ponentes técnicos fueron los integrantes de la Bioconstructora Barro Vivo. La construcción se llevó a cabo desde el mes de julio del 2021 ([Ver imagen 6.28](#)).



Imagen 6.28. Casa Natura y Arte. Riobamba 2022

Fuente: (Santamaría. 2022)

6.5. Obtención de Permisos

Entrega propuesta GAD Municipio de Otavalo.

Con el propósito de facilitar la aprobación de planos de casas realizadas con fardos de paja en el futuro, se dictó una charla sobre aspectos técnicos que deben ser observados en este tipo de construcciones, de acuerdo a las normativas norteamericanas y europeas, a los técnicos encargados de la calificación de proyectos de construcción, de tal forma que la entrega de la información permita considerar los requerimientos estructurales y calificar los proyectos con este tipo de construcciones dentro de la ciudad de Otavalo.

Esta charla se llevó a cabo en el mes de enero del año 2021, estuvieron presentes la arquitecta Consuelo Pavón - Directora de planificación, Ing. Marco Flores -Vicealcalde de Otavalo, Ing. Marcelo Burbano - Director Administrativo ([Imagen 6.29.](#)), al final se entregó por parte de la Ing Paulina Viera un documento en el que se recoge recomendaciones respecto de aspectos constructivos y estructurales de acuerdo a la experiencia de las construcciones realizadas en Ecuador hasta ese momento.



Imagen 6.29. Capacitación a los técnicos del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Otavalo.

Repercusión mediática de las primeras construcciones con fardos de paja en Ecuador.

Las construcciones mencionadas anteriormente lograron generar un interés en la sociedad ecuatoriana, tal es así, que varios medios de comunicación tanto escritos como

audiovisuales se hicieron eco de esta novedad. dando a conocer el trabajo realizado (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Medios de comunicación con notas sobre la construcción con fardos de paja en Ecuador.

N	Medio	Fecha de publicación	Título de Publicación	Dirección electrónica
Prensa escrita				
1	Diario El Comercio	19/03/2021	Sistemas para levantar obras sustentables y económicas	https://www.elcomercio.com/tematicas/sistemas-levantar-obras-sustentables-economicas.html?fbclid=IwAR0cxCtwhKBQRjKJLo0IAOPjSf9Keenlod9_7igUkSTYB3wAwsW4sdgvc2k
2	Revista Líderes	11/01/2021	Las viviendas de paja son eco eficientes	https://www.revistalideres.ec/lideres/viviendas-paja-ecoeficientes-investigacion-ecuador.html
3	Diario Digital "Qué!"	16/11/2020	Así es la primera casa de paja que se construye en el Ecuador al estilo Nebraska: tiene un 80% de avance y está en Otavalo	https://quenoticias.com/tag/casa-de-paja/
4	Diario el Norte	09/11/2020	Casa de paja se construye en Otavalo	https://construccioneseu.wordpress.com/2020/11/25/casa-de-paja-se-construye-en-otavalo/
5	Diario Digital "Metro"	07/11/2020	Las casas de paja vuelven a ponerse de moda y llegan a Ecuador	https://www.metroecuador.com.ec/ec/empresarial/2020/10/29/las-casas-paja-vuelven-ponerse-de-moda-llegan-ecuador.html
6	Revista Mundo Constructor	05/11/2020	Las casas de paja se ponen de moda en Ecuador	https://www.mundoconstructor.com.ec/las-casas-de-paja-se-ponen-de-moda-en-ecuador/
Notas audiovisuales				
7	Entrevista con el periodista Andrés López.	23/02/2021	Construcción de casas bio-sustentables.	https://www.youtube.com/watch?v=hTCGdleG9AE
8	Tele Amazonas. programa "América Vive"	05/12/2020	Reportaje acerca de la construcción de la casa con fardos de paja técnica poste-viga. en San Rafael – Quito.	https://www.youtube.com/watch?v=s-94azyzPQc

Medios de comunicación con notas sobre la construcción con fardos de paja en Ecuador (Continuación tabla página anterior).

N	Medio	Fecha de publicación	Título de Publicación	Dirección electrónica
9	Radio Universitaria UCE. Programa: “Ante la Pandemia”	01/12/2020	Construcción con Paja	https://www.youtube.com/watch?v=hTCGdIeG9AE
10	OTV Televisión de Otavalo	21/11/2020	Reportaje acerca de la construcción de la casa de fardos de paja técnica de Nebraska que se construyó en Otavalo	https://www.facebook.com/296782550919007/posts/762390121024912/
Conferencias				
11	Programa de conferencias “El conocimiento no se detiene”.	08/03/2021	Construcción de viviendas. utilizando fardos de paja producidos en el Ecuador	https://ceincilab.wordpress.com/conferencias_raf/
12	Ciclo de conferencias “Karl Terzaghi”.	29/01/2021	Bioconstrucción con fardos de paja en Ecuador	https://youtu.be/5II8lvQFndQ
13	Cámara de la Industria de la Construcción CAMICON	19/08/2020	“Bioconstrucción”.	https://www.facebook.com/camicon.ec/photos/a.653952581293805/3371152172907152
Artículos				
14	Revista Ingeniería Universidad de Carabobo. indexada Latindex.	03/12/2020	Determinación de las características del fardo de paja de trigo. como desecho agroindustrial para su aprovechamiento como material de construcción”	http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v27n3/art05.pdf
15	Revista Construcción. Edición No. 269	01/10/2020	Factibilidad de construcción de viviendas sismo resistentes en la zona andina del Ecuador utilizando fardos de paja	https://construccionesece.wordpress.com/2020/11/26/factibilidad-de-construccion-de-viviendas-sismoresistentes-en-la-zona-andina-del-ecuador-utilizando-fardos-de-paja/

Todo el proceso constructivo y las difusiones realizadas por los medios de comunicación permitieron que varias universidades y gremios del sector de la construcción como la Cámara de la Industria de la Construcción de Quito CAMICON, inviten a esta investigadora a dar conferencias y charlas respecto de la paja como material de construcción viable para la edificación de viviendas en el Ecuador ([Imagen 6.30.](#)).

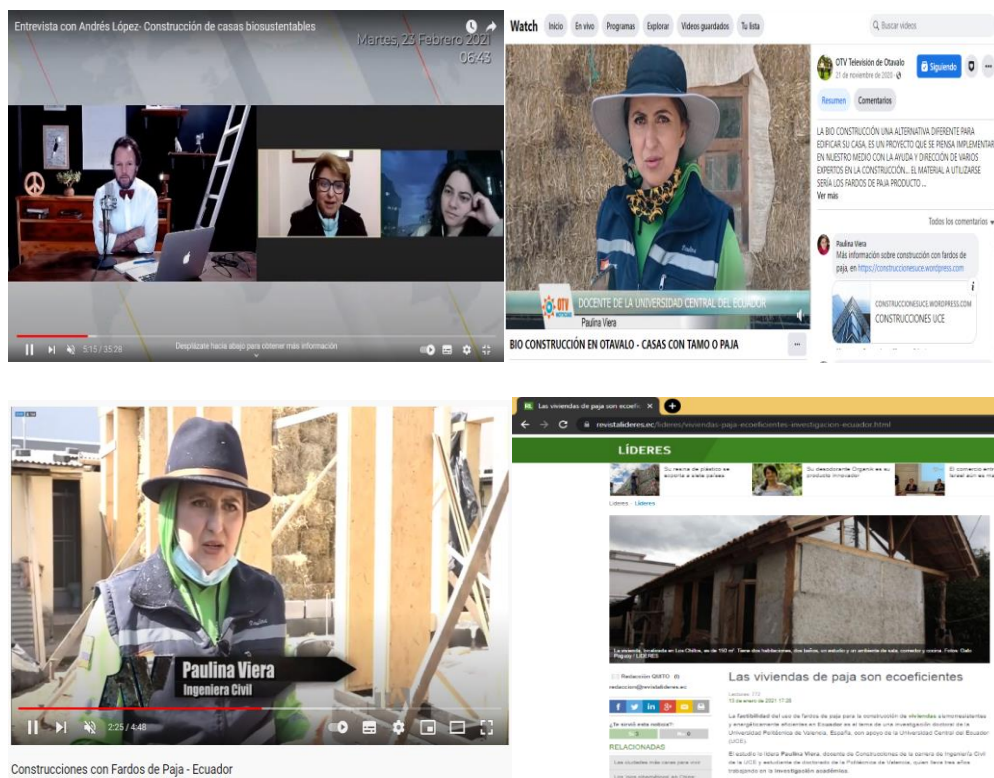


Imagen 6.30. Superior Izquierda: entrevista medio digital periodista Andrés López. Superior derecha: entrevista en el canal de televisión OTV Televisión de Otavalo. Inferior Izquierda: reportaje en la televisión nacional en el programa “América Vive” del canal de televisión abierta Telemazonas. Inferior derecha: publicación en Revista Líderes.

6.6. Conclusiones

Las muchas notas de prensa que se generaron a partir por las construcciones realizadas con fardos de paja en Ecuador despertaron el interés por este material en varios sectores de la sociedad.

La construcción con fardos de paja es amigable con el autoconstrucción (Nitzkin. R.. Maren.T..2010). Esto se demuestra con la experiencia constructiva realizada.

Es posible hacer viviendas usando el sistema de mingas, como es tradición en Ecuador ([Ver capítulo 1](#)). Y a través de un asesoramiento técnico, que se refleja de forma clara y sencilla en un manual ([Ver anexo 3](#)), las comunidades de las zonas donde se producen cereales y alcañales, lograrían viviendas sismo resistentes y energéticamente eficientes. usando fardos de paja.

La minga agiliza los tiempos de construcción y si se hace de forma solidaria entre propietarios, es viable reducir costos en mano de obra. Esto es muy importante dado que la edificación con fardos de paja requiere mucho personal, debido a que los revocos se hacen a mano. Esperando tiempo entre una y otra capa, para lograr un buen acabado.

Esto se evidencia en los rendimientos obtenidos durante los procesos constructivos de las viviendas realizadas en Ecuador ([ver anexo 2](#)) y que sirvieron como insumo para determinar el costo por metro cuadrado de construcción con este material.

La construcción realizada en Otavalo, se hizo siguiendo los criterios estructurales definidos para el muro D (ver capítulo 5) comprobando así que es posible lograr una estructura estable que soporta cargas, utilizando fardos de paja producidos en Ecuador y mano de obra nacional.

6.7.Referencias Bibliográficas

- CES. (2022). *Consejo de Educación Superior*. <https://www.ces.gob.ec/>
- Construcciones UCE. (23 de octubre de 2020). *Curso de construcción con fardos de paja Ecuador*. Recuperado el 2 de abril del 2022 de <https://construccionesuce.wordpress.com/>
- Construpaja. (2020). *Construye con fardos de paja*. Recuperado el 12 de mayo del 2022 de <https://construpaja.wordpress.com/noticias/>
- Escuela Politécnica Nacional . (2019). *Concurso Innova 2019 HUB UIO*. Recuperado el 23 de julio del 2022 de <https://www.epn.edu.ec/concurso-innova-2019-hub-uio/>
- Garcés Velásquez. F. (2020). Las comunidades virtuales del quichwa ecuatoriano: revalorizando la lengua en un espacio apropiado. *Punto Cero*. 25(40). Recuperado el 12 de abril del 2022 de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1815-02762020000100002&script=sci_arttext
- INIAP. (2020). *Cultivo de cereales*. Intituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias: Recuperado el 6 de abril del 2022 de <http://tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mcereal>
- ITK. (2022). *Instituto Superior Tecnológico Kachariy*. <https://www.itk.edu.ec/>
- Quito Informa. (30 de noviembre de 2019). *Se realizó Testing Lab Innova HUB UIO 2019*. Recuperado el 27 de mayo del 2022 de <http://www.quitoinforma.gob.ec/2019/11/30/se-realizo-testinglab-innova-hub-uio-2019/>

- Rikki Nitzkin Maren Termens. P. (2010). Casas de Paja Una guía para autoconstructores EcoHabitar ediciones. Recuperado el 15 de junio del 2022 de <https://ecohabitar.org/producto/casas-de-paja-nueva-edicion-actualizada-y-ampliada/>
- Viera, P., Pachala, J. & Rosero, H. (2019). Sistema constructivo de casas unifamiliares con muros de paja portantes. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14(10), 3400-3407. Recuperado el 13 de junio del 2022 de <https://medwelljournals.com/abstract/?doi=jeasci.2019.3400.3407>

Capítulo 7

Conclusiones Generales

El Ecuador es un país en desarrollo, que enfrenta muchos problemas socio – económicos, siendo uno de ellos la pobreza. En la zona rural ésta se acentúa, lo que se puede constatar en el hecho de que gran parte de las viviendas en las que habita su población, no cumplan estándares de calidad. Esta situación ha sido causada por políticas públicas ineficientes y la dificultad de las personas de escasos recursos económicos para acceder a créditos bancarios.

La falta de un hábitat adecuado condiciona el desarrollo físico, intelectual, social y económico de las personas por lo que, es vital que se busque una solución adecuada a esta problemática. Para satisfacer la necesidad actual de hogares, en esta zona, se requieren alrededor de 342.602 unidades habitacionales.

Las propuestas para solventar la necesidad de casas deben estar alineadas al Plan de Desarrollo Nacional “Creación de Oportunidades 2021-2025”, mismo que responde a los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados por las Naciones Unidas. Por ello, deben hacerse con materiales que cumplan requisitos, tales como: baja energía incorporada, biodegradables, de fácil acceso para la población, durables y que propicien construcciones confortables y seguras, en términos de estabilidad estructural y sismo resistencia observando la normativa de construcción nacional vigente.

La paja comprimida en forma de fardos es un material de construcción que, como se ha demostrado en este trabajo, satisface las condiciones antes mencionadas. Actualmente existen otras experiencias exitosas en EE. UU, Europa y Asia en la producción de edificaciones aisladas térmicamente, ignífugas y con características propicias para zonas de alta sismicidad, como lo es el Ecuador. Sin embargo, en el Ecuador no se ha

aprovechado este material debido al desconocimiento del sistema constructivo y a la desconfianza que genera el uso de los fardos de paja, dado que no existen normativas ni estudios nacionales que garanticen su estabilidad estructural.

El presente trabajo provee datos y estudios que determinan que es factible construir viviendas en Ecuador con fardos de paja producidos localmente. En la zona andina existen 6880ha de trigo y 11 633 ha de cebada sembradas. Con esta producción se obtendrían alrededor de 55 539 t de paja anualmente, lo cual garantiza una provisión permanente de material. Una vivienda prototipo de 81.50 m² requiere de alrededor de 500 fardos y tendría un valor de 18 118.27 USD. Este costo está dentro de lo que el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) considera como “vivienda de interés social” para los segmentos de la población con menos recursos.

En este trabajo también se ha determinado que con fardos de paja producidos en Ecuador con las ventajas y desventajas propias del mismo, se pueden realizar construcciones aisladas térmicamente, dado que mantienen temperaturas de confort durante todo el tiempo, mucho mejor que otros materiales de construcción de uso común en el país como son los bloques de hormigón, ladrillo y tierra. Las edificaciones de fardos de paja por tanto, son definitivamente energéticamente eficientes, ya que no requieren del consumo de combustible o electricidad para mantener un ambiente cálido en el habitual clima frío de las provincias donde se producen los cereales.

Mediante pruebas de carga en muros de paja, realizadas en el Centro de Investigación de la Vivienda EPN de Quito, se determinó el factor de reducción de resistencia ante carga sísmica. Este valor es necesario para la realizar diseños estructurales acordes a la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC15. Además, se estableció el módulo de elasticidad de los fardos para que se pueda realizar modelación estructural en softwares especializados y así facilitar que los diseñadores usen este material en sus proyectos.

Del estudio realizado se obtuvo que los fardos de paja producidos en Ecuador tienen características físicas, acordes con la normativa norteamericana que regula la

construcción de vivienda con este material. Adicionalmente, se diseñó un revoco con características mecánicas adecuadas para que sea considerado como alternativa para el reforzamiento de estructuras de muros de fardos de paja.

Con todas estas diligencias previas se realizó el modelamiento estructural de la vivienda prototipo. Comprobándose que está dentro de los límites de resistencia y deformación establecidos en la NEC15.

Con el conocimiento adquirido en la realización de este trabajo investigativo y con los planos de la vivienda prototipo se realizaron varias conferencias para socializar entre la comunidad académica y la población en general los resultados obtenidos, con el principal interés de buscar ciudadanos dispuestos a invertir en la construcción de su vivienda con fardos de paja. Es así que se consiguió elaborar dos casas, una que responde al modelo propuesto y otra con una arquitectura diferente, que responde a los requerimientos de la persona inversora. Debe recalarse que se invitó a participar en el proceso constructivo a estudiantes de los niveles más avanzados de ingeniería civil y arquitectura mediante la modalidad de taller, para general interés entre los futuros profesionales de la construcción y así trasladar lo estudiado a una realidad tangible.

Para facilitar el acceso a la tecnología de construcción con fardos y acompañar el proceso de autoconstrucción con un apoyo técnico y responsable, se presenta un manual realizado con un lenguaje que buscó ser sencillo y apoyándose en muchos gráficos. Tal que, se facilite su entendimiento para la población rural, que tiene disponible la paja como residuo de la cosecha de los cereales que producen.

El presente trabajo investigativo abre la puerta a más investigaciones que incorporen residuos agrícolas a un modelo de producción y consumo más sostenible, por medio de su transformación en materiales aprovechables.

En un país, como el Ecuador, en cuya zona rural hacen falta medios para desarrollar la economía local, generar un conocimiento que al ser aprovechado determine que las

personas puedan construir sus propias casas y las de otras personas dando valor a un residuo, actualmente desaprovechado, propicia una mejora en la calidad de sus vidas.

Es recomendable continuar investigando acerca de cómo mejorar los tiempos constructivos, tal que se pueda industrializar el sistema de construcción con fardos de paja y así, ampliar su producción. También investigar acerca de cómo incorporar otros materiales naturales propios del país, como las puzolanas naturales, para buscar la sustitución de la cal y cemento en morteros

Anexos

Anexo 1

Diseño estructural de la vivienda propuesta con muros portantes de fardos de paja

1. Geometría y Cargas

En el presente acápite se abordan los parámetros físicos, geométricos y estructurales para una casa con muros portantes de fardos de paja, se realiza una descripción acerca de cómo está conformada la estructura en planta y elevación, las secciones de los elementos y propiedades físicas de los materiales, así como también las cargas actuantes permanentes, temporales y sísmicas empleando las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15.

1.1. Geometría general

La vivienda corresponde a una estructura conformada por muros portantes de fardos de paja con la inclusión de vigas de collar superior e inferior compuestas por madera permitiendo el confinamiento de los muros. La cubierta de la vivienda está soportada sobre vigas en celosía de madera y viguetas ([ver Imagen A.1](#)).

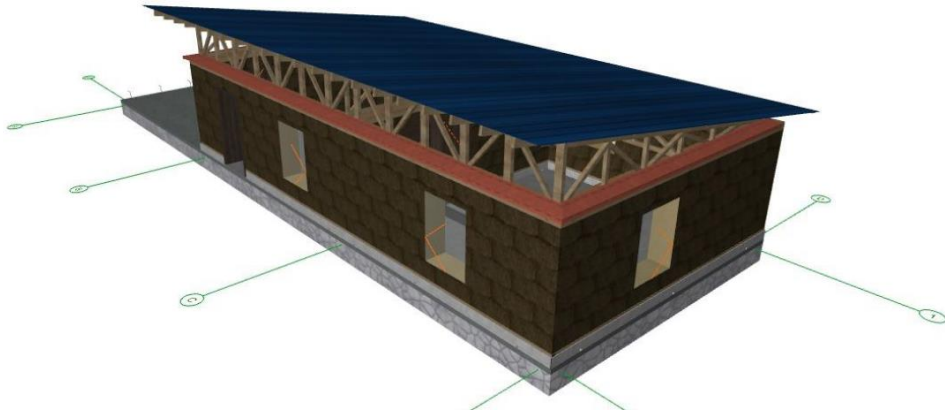


Tabla A.1 Modelo tridimensional de la vivienda con muros portantes con fardos de paja.

La disposición de los ejes sigue el siguiente referenciación: en una vista en planta, el “eje x” corresponde al sentido largo, mientras que el “eje y” al sentido corto. En el eje x, los pórticos están compuestos por 2 vanos con distancia de 6.50 m y 5.40 m, mientras que en el eje y, los pórticos están compuestos por 1 vano de 6.00 m como se puede observar en la [Imagen A.2](#).

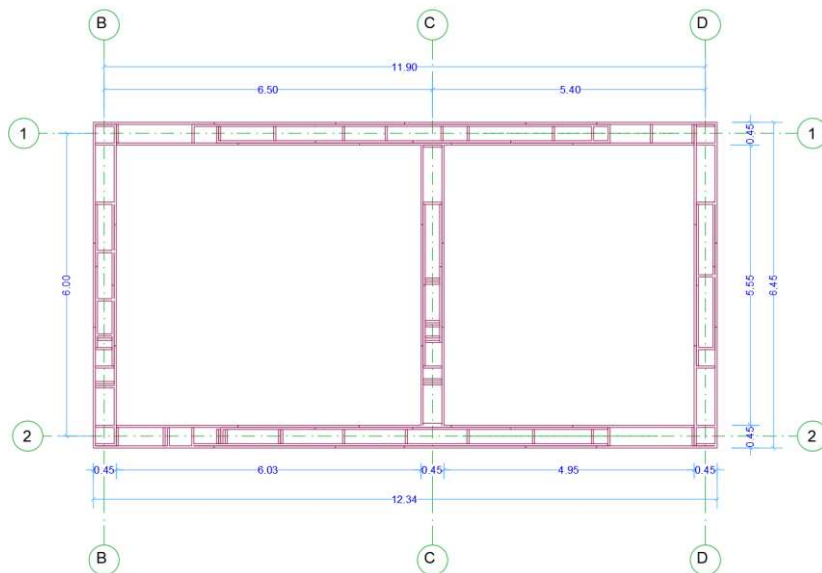


Imagen A.2. Vista en planta y configuración estructural de los pórticos.

La vivienda está conformada por un único piso con una altura 2.61 m desde el nivel natural del terreno, y sobre este nivel parte una cubierta inclinada llegando a tener una altura total de 3.97 m tal como se aprecia en la [Imágenes A.3. y A.4.](#)

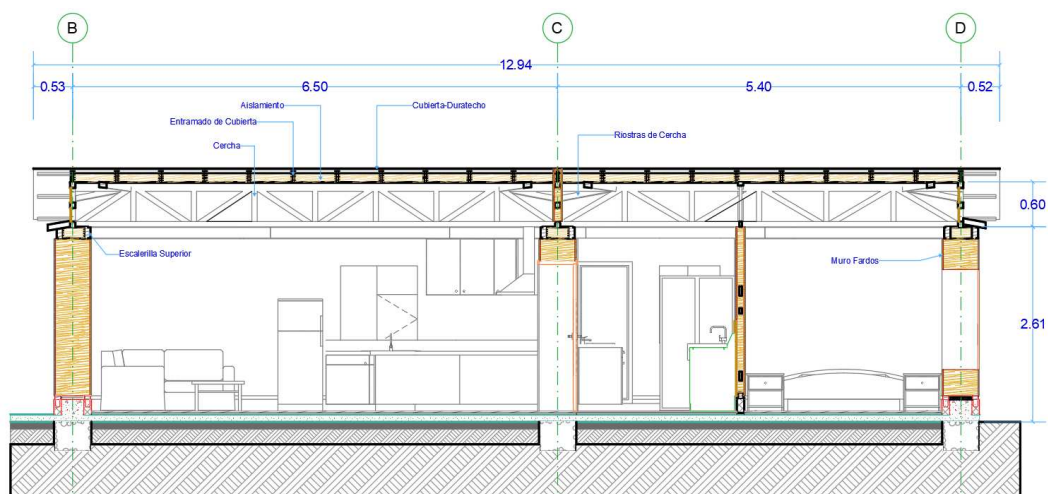


Imagen A.3. Vista en elevación – sentido largo.

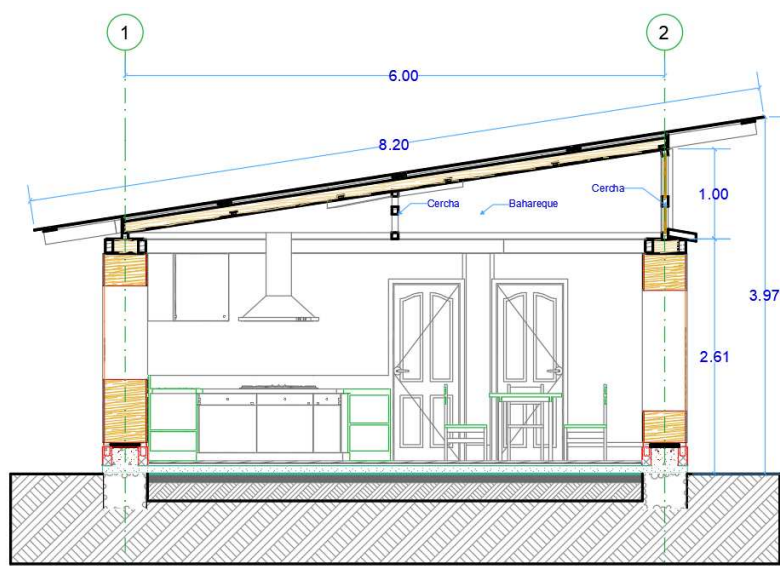


Imagen A.4. Vista en elevación – sentido corto.

1.2. Geometría específica

En el siguiente apartado se establecen las secciones de los elementos y propiedades físicas de los materiales de construcción utilizados.

- Los muros portantes de fados de paja tienen un espesor de 45cm y adicional a esto se considera la utilización de un revoco con la finalidad de proporcionar un mejor comportamiento estructural, modificando su módulo de elasticidad, resultando ser $E=8803.99 \text{ KN/m}^2$ con revoco, y $E=1379 \text{ KN/m}^2$ sin revoco.
- Para la cubierta se ha empleado Duratecho con un espesor de 0.45mm.
- Las cerchas están compuestas por montantes, diagonales, cordón superior e inferior de madera con una sección de (7x7) cm.
- Las viguetas que conforman la cubierta son de madera con una sección de (4x10) cm alineados al sentido corto, mientras que para el sentido largo tienen una sección de (7x4) cm.
- La viga de collar o escalerilla tiene un ancho y altura total de 45bcm y 11.80 cm respectivamente, la estructura se asemeja a un cajón donde los soportes laterales tienen un espesor de 4cm, mientras que su base y tapa tienen un espesor de 0.90 cm, adicional a esto, el interior se ha rellenado de paja.
- La madera empleada en todas las cerchas y vigas es de eucalipto para lo cual se ha adoptado los siguientes módulos de elasticidad:
 - E Principal: $209666.91 \text{ kg/cm}^2$ Fuente: (Universidad del Azuay, 2018)
 - E mín.: 55000 kg/cm^2 Fuente: (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)
 - E promedio: 90000 kg/cm^2 Fuente: (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)
- Se hace uso de alambre galvanizado con un diámetro de 3.68mm a manera de tensores que rodean el muro de fardo de paja.

1.3. Cargas Verticales

La [Tabla A.1](#) a continuación indica las cargas verticales que se usaron. Vale la pena resaltar que estas se rigen a las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, adicional se realizó un cálculo aproximado de la carga sobre metro cuadrado de la estructura que conforma la cubierta, tal como se detalla a continuación:

$$Masa = 2183.69 \text{ kgf} \text{ (valor extraído de la Imagen 5)}$$

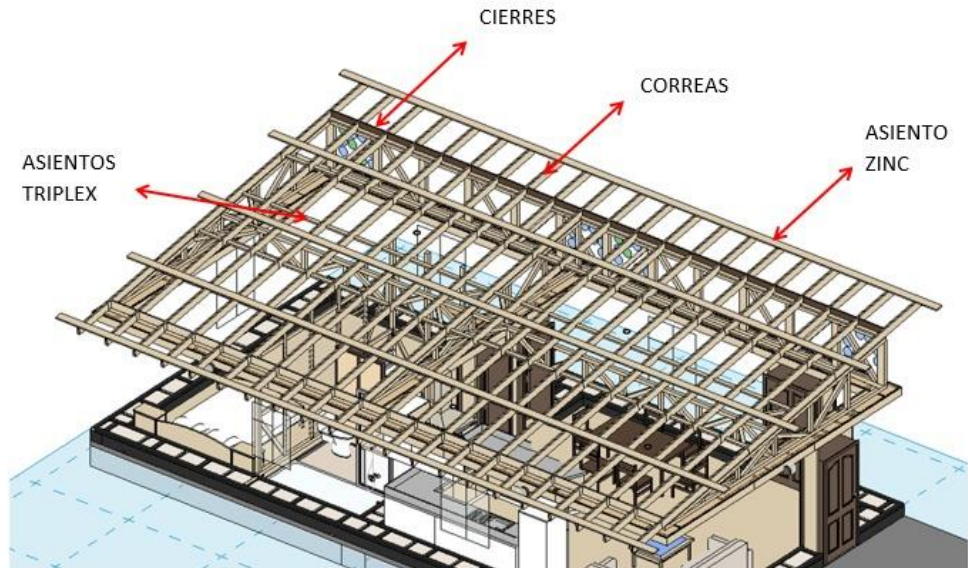
$$\text{Área de la cubierta} = 8.20\text{m} * 12.94\text{m} = 106.11 \text{ m}^2$$

$$Pp_{\text{Cubierta}} = \frac{2183.69 \text{ kgf}}{106.11 \text{ m}^2} = 20.60 \text{ kgf/m}^2 = 0.0206 \text{ tonf/m}^2$$

Tabla A.1 Cargas verticales

Tipo	Sub tipo	Magnitud
Peso propio	Cubierta (duratecho+estructura de madera)	0.0206 [tonf/m ²]
	Viga superior/inferior	0.0060 [tonf/m]
	Muro de fardo	0.0142 [tonf/m]
	Paredes interiores	0.0395 [tonf/m ²]
	Sobrecimiento	0.0480 [tonf/m]
	Cimiento	0.5484 [tonf/m ²]
Acabados	Aislante cubierta	0.0013 [tonf/m ²]
	Enlucidos	0.0440 [tonf/m]
	Pisos	0.0100 [tonf/m ²]
Cargas temporales	Cubierta	0.0700 [tonf/m ²]
	Interior	0.2000 [tonf/m ²]

La [Imagen A.5](#), corresponde a una representación tridimensional de los elementos en la estructura del techo junto con un resumen de las secciones y materiales empleados en su construcción.



		N°	B	A	L	DENSIDAD	MASA
			m	m	m	kg/m ³	kg
ESTRUCTURA TECHO	CORREAS	42	0.145	0.025	8	827.04	1007.33
	CIERRES	40	0.145	0.025	0.54	827.04	64.76
	ASIENTOS TRIPLEX	100	0.07	0.035	0.54	827.04	109.42
	TRIPLEX	28	0.015	2.44	1.2	550	676.37
	ASIENTOS ZINC	5	0.145	0.025	12.85	827.04	192.62
	CAL						103.99
	ZINC		106.19		m ²	0.275	29.20
SUBTOTAL							2183.69

Imagen A.5. Estructura del techo para la vivienda con muros de fardos de paja

1.4. Cargas Sísmicas

1.4.1. Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC_SE_VIVIENDA, numeral 3.1.3.

$$V_{basal} = \frac{ZC}{R} W$$

Ecuación 1. 1

La [Tabla A.2](#), muestra los diversos parámetros usados y el cortante basal calculado, siendo uno de ellos la carga reactiva obtenida con la ayuda de un software de diseño estructural.

Tabla A.2 Cálculo de cortante basal

Parámetro	Valor
Z (Otavalo)	0.40
C (Sierra)	3
R (valor más conservador)	1.95
W (carga reactiva)	9.75 [tf]
V_{basal}	$=0.4*3*W=0.61*W=5.95$ [tf]

1.4.2. Espectro de respuesta sísmico según Norma Ecuatoriana de la Construcción 2015, NEC-15.

En la [Tabla A.3](#) se especifican los valores requeridos para la determinación del Espectro Elástico de Diseño en Aceleraciones (NEC-15), mientras que en las [Imágenes A.6. A.7. A.8. A.9 y A.10](#) se señalan los coeficientes adoptados para el caso de estudio.

Tabla A.3 Espectro Elástico de Diseño en Aceleraciones (NEC-15)

ESPECTRO ELÁSTICO DE DISEÑO EN ACELERACIONES (NEC-15)				
Parámetro	Variable	Valor	Unidades	Referencia
Factor de importancia	I	1.00	s.u	Tabla 6. Sec.4.1
Factor de reducción de respuesta	R	1.95	s.u	Tabla 15. Sec.6.3.4
Zonificación Sísmica	V			Tabla 1. Sec.3.1.1
Región del Ecuador	Sierra. Esmeraldas. Galápagos			Sec.3.3.1
Factor de aceleración de la zona sísmica	Z	0.40	s.u	Tabla 1. Sec.3.1.1
Relación de amplificación espectral	n	2.48	s.u	Sec.3.3.1
Coficiente Ct	Ct	0.055	s.u	Sec.6.3.3
Altura total del elemento	hn	2.10	M	Planos

Coefficiente para Calculo de Periodo	α	0.90	s.u	Sec.6.3.3
Tipo de Suelo		E		Tabla 2. Sec.3.2.1
Factor de sitio Fa	Fa	1.14	s.u	Tabla 3. Sec.3.2.2
Factor de sitio Fd	Fd	1.60	s.u	Tabla 4. Sec.3.2.2
Factor de comportamiento inelástico suelo	Fs	1.90	s.u	Tabla 5. Sec.3.2.2
Factor asociado al periodo de retorno	r	1.50	s.u	Sec 3.3.1
Factor de irregularidad en planta	Φ_p	1.00	s.u	Tabla 13. Sec.5.2.3
Factor de irregularidad en elevación	Φ_e	1.00	s.u	Tabla 14. Sec.5.2.3
Aceleración de la gravedad	g	9.81	m/s ²	
Período teórico método 1	Tm1	0.1072	seg.	Sec.6.3.3
Período teórico método 1 mayorado	Tm2	0.1394	seg.	Sec.6.3.3
Período fundamental dirección x	Tx	0.285	seg.	Software de diseño
Período fundamental dirección y	Ty	0.268	seg.	Software de diseño
Periodo Límite en T=To	To	0.2667	seg.	Sec.3.3.1
Periodo Límite en T=Tc	Tc	1.4667	seg.	Sec.3.3.1
Periodo Límite en T=TL	TL	3.84	seg.	Sec.3.3.1
Aceleración en T=0	Sa₀	0.456	G	Sec.3.3.1
Aceleración en T=To	Sa	1.1309	G	Sec.3.3.1
% de reducción de respuesta	f	0.5799	s.u	% energía R. LINEAL
		0.4201	s.u	% energía R. no LINEAL

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.6.4					

Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Imagen A.6. Tipo de suelo y Factores de sitio Fa.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.6	1.5	1.4	1.35	1.3	1.25
D	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: (NEC-SE-DS, 2014).

Imagen A.7. Tipo de suelo y Factores de sitio Fd.

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	1	1.1	1.2	1.25	1.3	1.45
D	1.2	1.25	1.3	1.4	1.5	1.65
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Fuente: (NEC-SE-DS, 2014).

Imagen A.8. Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs.

En las [Tabla A.4 y A.5](#) se resumen los valores para el Espectro de Diseño según la NEC 15.

Tabla A.4 Espectro de Diseño NEC 15- Método Dinámico.

MÉTODO DINÁMICO					
ESPECTRO DE DISEÑO					
		ESP. ELÁSTICO		ESP. REDUCIDO	
	T (s)	Sa (g)	Sa (m/s ²)	Sa (g)	Sa (m/s ²)
	0	0.456	4.473	0.234	2.294
To	0.2667	1.131	11.094	0.580	5.689
	0.4381	1.131	11.094	0.580	5.689
	0.6095	1.131	11.094	0.580	5.689
	0.7810	1.131	11.094	0.580	5.689
	0.9524	1.131	11.094	0.580	5.689
	1.1238	1.131	11.094	0.580	5.689
	1.2952	1.131	11.094	0.580	5.689
Tc	1.4667	1.131	11.094	0.580	5.689
$Sa = \eta * z * Fa * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r$	1.5745	1.017	9.974	0.521	5.115
	1.6824	0.920	9.030	0.472	4.631
	1.7903	0.839	8.226	0.430	4.219
	1.8982	0.768	7.535	0.394	3.864
	2.0061	0.707	6.935	0.363	3.557
	2.1139	0.654	6.411	0.335	3.288
	2.2218	0.607	5.950	0.311	3.051
	2.3297	0.565	5.542	0.290	2.842
	2.4376	0.528	5.178	0.271	2.655
	2.5455	0.495	4.852	0.254	2.488
	2.6533	0.465	4.559	0.238	2.338
	2.7612	0.438	4.295	0.225	2.202
	2.8691	0.413	4.055	0.212	2.079
	2.9770	0.391	3.836	0.201	1.967

	3.0848	0.371	3.637	0.190	1.865
	3.1927	0.352	3.454	0.181	1.771
	3.3006	0.335	3.286	0.172	1.685
	3.4085	0.319	3.131	0.164	1.606
	3.5164	0.305	2.988	0.156	1.533
	3.6242	0.291	2.856	0.149	1.465
	3.7321	0.279	2.733	0.143	1.402
TL	3.84	0.267	2.619	0.137	1.343

a.

Tabla A.5 Espectro de Diseño NEC 15- Método Estático.

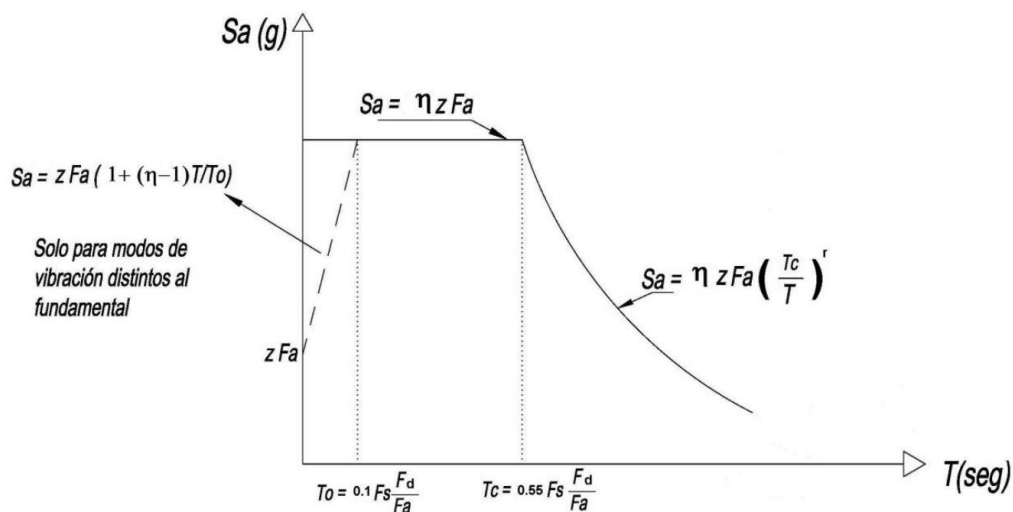
MÉTODO ESTÁTICO		
Terminología	Valor	Unidad
Ta	0.1072	seg
Sa(Ta)	1.1309	adimensional
I	1.00	adimensional
R	1.95	adimensional
ϕ_p	1.00	adimensional
ϕ_e	1.00	adimensional
Cv	0.5799	adimensional
k	1.0000	adimensional

$$V = \frac{IS_a(T_a)}{R\phi_p\phi_e} W \text{ Ecuación 1. 2}$$

Valores de T (s)	k
≤ 0.5	1
$0.5 < T \leq 2.5$	$0.75 + 0.50 T$
> 2.5	2

Fuente: (NEC-SE-DS, 2014)

Imagen A.9. Determinación de k.



Dónde:

η	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado.
F_a	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_d	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
F_s	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
S_a	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del periodo o modo de vibración de la estructura
T	Periodo fundamental de vibración de la estructura
T_0	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
T_c	Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
Z	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g

Fuente: (NEC-SE-DS, 2014).

Imagen A.10. Espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Para $T < T_0$ se empleó la ecuación $Sa = \eta * z * Fa$ en lugar de $Sa = \eta * Fa \left[1 + (\eta - 1) \left(\frac{T}{T_c} \right) \right]$ debido a que en la (NEC-SE-DS, 2014) se sugiere esta para análisis dinámico y, únicamente para evaluar la respuesta de los modos de vibración diferentes al modo fundamental. La [Imagen 11](#) muestra el Espectro de Diseño resultante para el caso de estudio

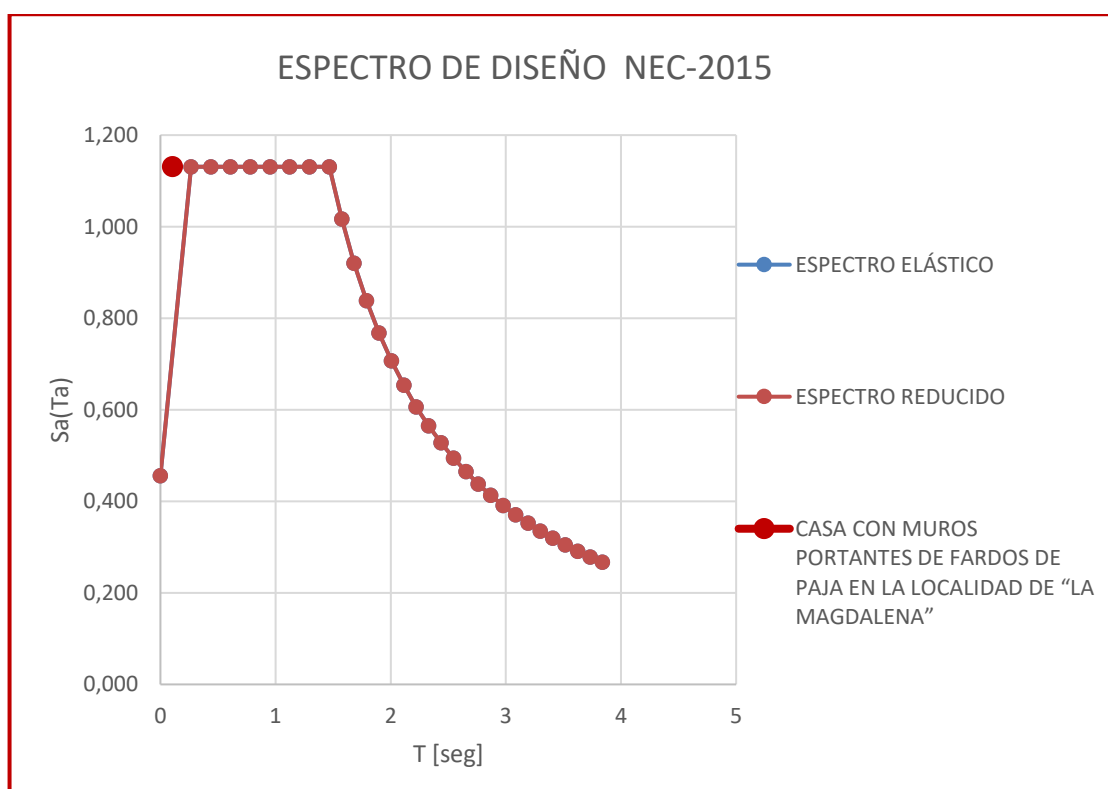


Imagen A.11. Espectro de Diseño Casa con Muros Portantes de Fardos de Paja en la localidad de "La Magdalena", cantón Otavalo.

2. Cimentación (cimiento y sobre cimiento)

El presente capítulo contiene una explicación del sistema constructivo empleado en el análisis estructural a nivel de la cimentación con recomendaciones de la norma NEC 15: NEC-SE-MP (Estructuras de Mampostería Estructural) y el código americano ACI 318. También se presenta la guía en la cual se basó el diseño de la zapata corrida armada de acuerdo a las especificaciones de la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación-COSUDE.

2.1. NEC 15: NEC-SE-MP

El sistema constructivo está conformado por muros portantes de fardos de paja, con vigas de collar superior e inferior que cumplen la función de ser un anillo perimetral de confinamiento uniendo los muros entre sí, y tensores cuya función es confinar el muro entre el cimiento y la viga collar, por lo que para el diseño de la cimentación se acudió a la (NEC-15, 2014), considerando que se trata de un sistema análogo al de la mampostería confinada.

2.1.1. Requisitos constructivos para cimentaciones:

Las características propias de las cimentaciones para mampostería estructural, obedecen a las condiciones del suelo de cimentación y del proyecto en sí mismo.

- Para el presente diseño se empleó una Zapata corrida armada, que es mandatoria en suelos blandos, siendo conservadores y considerando el caso más crítico.

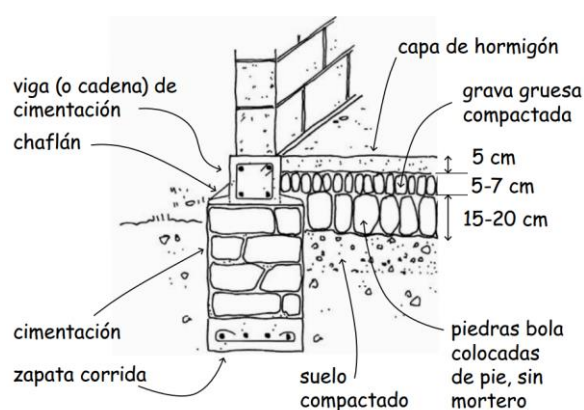
2.1.2. Anclaje en la cimentación del refuerzo de los muros:

Todos los refuerzos verticales de los muros estructurales deben quedar anclados de acuerdo a lo que especifica el ACI 318 en la parte de cimentaciones, mediante varillas de empalme que sobresalgan la longitud necesaria para realizar el traslape.

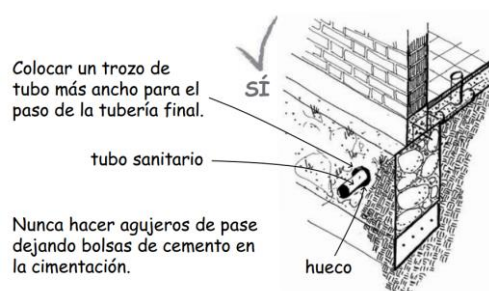
- Se colocaron varillas verticales de 12 mm cada metro. Estas varillas están embebidas por lo menos 50 cm en el cimiento, cruzan el sobrecimiento y se doblan, “amarrando” la viga inferior. Da resistencia a la estructura por cortante.

2.2. Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada - Guía para la formación técnica en construcción sismo-resistente de edificaciones de uno a dos pisos.

En segunda instancia el diseño se basó en la (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación-COSUDE, 2017), y se diseñó una Zapata corrida armada, cuyas especificaciones detalladas en dicha bibliografía son las siguientes ([ver Imagen A.12](#)):



Los tubos deben ir a través de la cimentación, por debajo de la viga de cimentación.



Fuente: (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación-COSUDE, 2017)

Imagen A.12. Especificaciones para Zapata Corrida Armada.

- Esta estructura va enterrada, ancla la casa al piso, está constituida por una viga perimetral de 50x50 cm en hormigón ciclópeo. Por encima de esta viga perimetral se

cuenta con una losa de piso (10 cm) que es de hormigón de 210 kg/cm^2 , reforzada con varilla electrosoldada de 15×15 y 4 mm de diámetro. La losa se construyó en el espacio interior dejado por la viga perimetral sobre suelo nivelado y compactado con pisón de mano en dos capas de 20 cm.

- Se colocó un sobrecimiento, que ancla los muros al cimiento, tiene 20 centímetros de altura sobre el nivel de la losa de piso y con el mismo ancho del cimiento. Es en realidad una viga de hormigón armado (210 kg/cm^2) con encofrado perdido constituido por bloques de hormigón de 20 cm de altura y 10 cm de ancho. El cuerpo de hormigón, al interior de los bloques de encofrado perdido, está armado con 4 varillas de 10 mm de diámetro como acero longitudinal y estribos de 6 mm cada 20 cm. Esta viga es continua y constituye la base de los muros de fardos de paja, tiene además varillas verticales de 12 mm cada metro. Estas varillas están embebidas por lo menos 50 cm en el cimiento, cruzan el sobrecimiento y se doblan, “amarrando” la viga inferior. Da resistencia a la estructura por cortante (ver [Imagen A.13](#)).

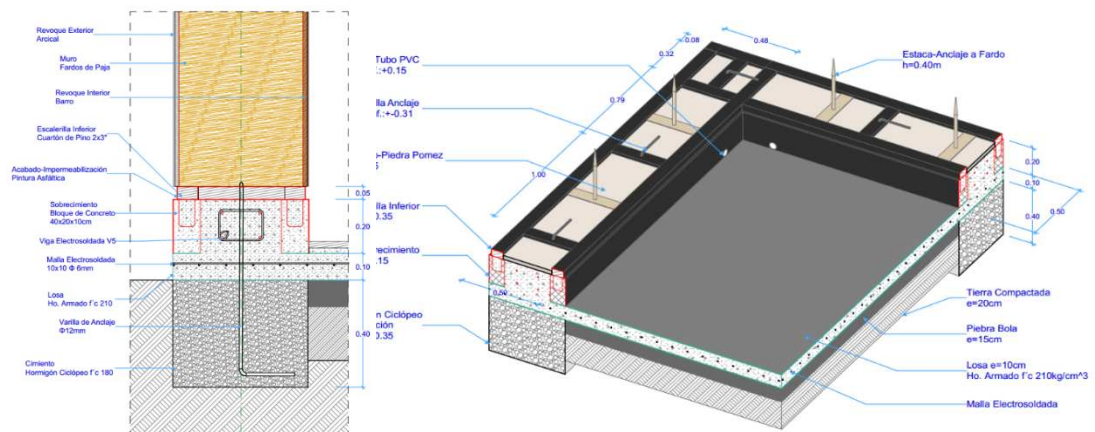


Imagen A.13. Detalle de Cimentación y Sobrecimiento.

El presente capítulo tiene como objetivo presentar el análisis y diseño estructural de cada una de las cerchas de madera realizando la comprobación a compresión, tracción y flexocompresión según con el método de cálculo planteado por la Junta del Acuerdo de Cartagena (1984), y haciendo uso del software Ftool para obtener un estudio detallado de las fuerzas internas del sistema de cerchas.

3. ANÁLISIS DE CERCHAS



Fuente: (Vinueza, 2012)

Imagen A.14. Detalle de Cimentación y Sobrecimiento.

3.1. Datos Iniciales:

TIPO DE MADERA: Eucalipto ([ver Imagen A.14](#))

Eucalyptus globulus Labill

Familia: Myrtaceae

Clase Resistente: C30

Flexión admisible (fb): 305.90 kg/cm²

Tracción paralela (ft): 183.50 kg/cm²

Compresión paralela (fc): 234.50 kg/cm²

Compresión perpendicular: 27.50 kg/cm²

Corte paralelo (fv): 30.6 kg/cm²

Densidad Base: 827.04 kg/m³

E Principal: 209666.91 kg/cm² Fuente: (Universidad del Azuay, 2018)

E mín.: 55000 kg/cm²

E promedio: 90000 kg/cm²

Fuente: (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984)

3.2. Cercha 1

A continuación, se realiza el análisis de la Cercha 1, la cual se ubica en el sentido más largo de la estructura con una longitud total de 11.90m, como se muestra en la [Imagen A.15](#).

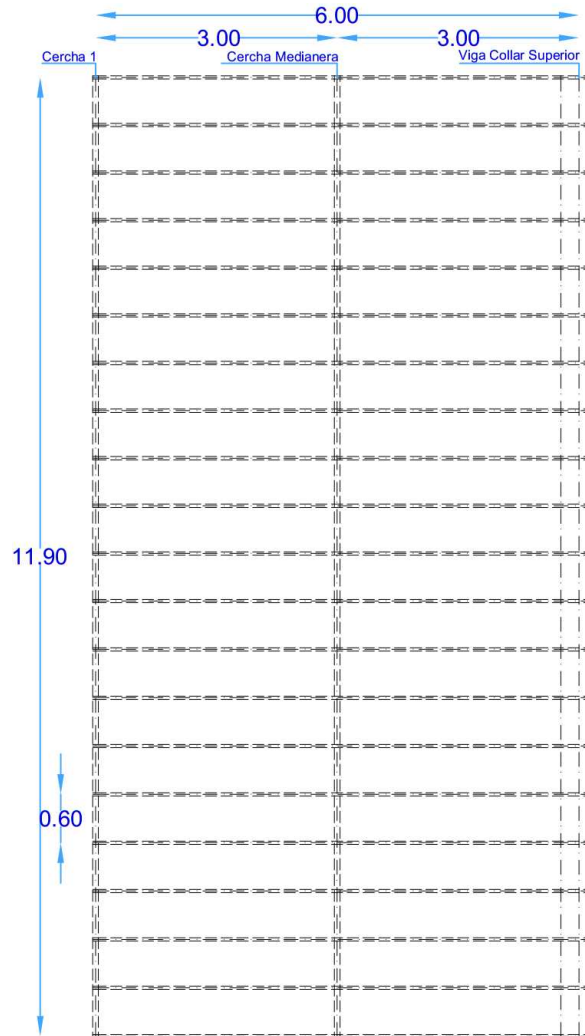


Imagen A.15. Disposición de Cercha 1.

3.2.1. *Análisis de cargas por metro cuadrado para cercha de cubierta*

$$WD = CM * \text{Ancho cooperante} \quad \text{Ecuación 3. 1}$$

$$WD = 20.60 \frac{kg}{m^2} * 1.50 m$$

$$WD = 30.90 \frac{kg}{m}$$

$$WL = CV * \text{Ancho cooperante}$$

Ecuación 3.2

$$WL = 70 * 1.50 m$$

$$WL = 105 \frac{kg}{m}$$

3.2.2. Diseño de vigas principales (CELOSÍA):

En las [Imágenes A.16 y A.17](#) se especifican las características de la Cercha 1.

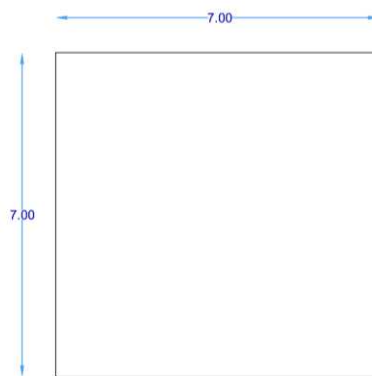


Imagen A.16. Sección viga principal

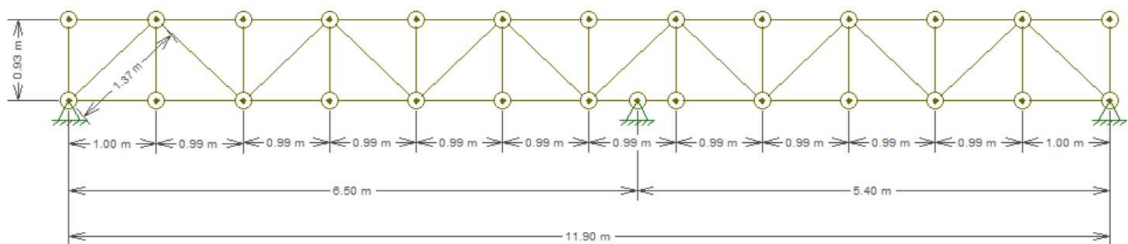


Imagen A.17. Dimensiones de la cercha [m]

3.2.2.1. Carga del Viento

Para la presión del Viento se emplean las directrices planteadas por la (NEC-SE-CG-15, 2014).

$$Presión\ viento = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_e * C_f \quad \text{Ecuación 3. 3}$$

Donde:

P: Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ : Densidad del aire expresada en kg/m³ (En general. se puede adoptar 1.25 kg/m³)

Ce: Coeficiente de entorno/altura ([ver Imagen A.18](#))

Cf: Coeficiente de forma ([apartado “d” de la presente sección 3.2.4](#)) ([ver Imagen A.19](#))

V: La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación. pero no será menor a 21m/s (75 km/h).

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Imagen A.18. Determinación del factor de forma Ce. Fuente: (NEC-SE-CG-15, 2014)

La cubierta es inclinada, a un agua, con un ángulo de inclinación aproximado de 17%:

Interpolación lineal para hallar C_e :

$$\begin{array}{ll} 15^\circ & 0.3 \\ 17^\circ & x \\ 60^\circ & 0.7 \end{array}$$

$$C_e = x = \frac{(0.7 - 0.3) * (17 - 15)}{(60 - 15)} + 0.3 = 0.318$$

Construcción	Coefficiente C_f
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Imagen A.19. Determinación del factor de forma C_f . Fuente: (NEC-SE-CG-15, 2014)

$$Presión viento = \left(\frac{1}{2} * 1.25 * 21^2 * 0.318 * 1.5 \right) \div 9.81$$

$$Presión viento = 13.40 \frac{kg}{m^2}$$

$$P = 13.40 \frac{kg}{m^2} * 1.50 m = 20.10 \frac{kg}{m}$$

3.2.2.2. Carga Sísmica

Para la Carga sísmica se emplean las directrices planteadas por la (NEC-SE-VIVIENDA, 2014).

$$V = \frac{Z * C * W}{R} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$V = \frac{0.4 * 3 * W}{1.95}$$

$$W = 20.60 \frac{kg}{m^2} * 1.50m * 11.90m$$

$$W = 367.71 kg$$

$$V = \frac{0.4 * 3 * 367.71}{1.95}$$

$$V = 226.28 kg$$

$$\frac{V}{m} = \frac{226.28 kg}{11.90 m} = 19.02 \frac{kg}{m}$$

3.2.3. Reacciones en cada nudo

3.2.3.1. Carga Muerta

$$P_{1y13} = 30.90 \frac{kg}{m} * \frac{1.00}{2} m = 15.45 kg$$

$$P_{2y12} = 30.90 \frac{kg}{m} * \frac{1.00 + 0.99}{2} m = 30.75 kg$$

$$P_{3-11} = 30.90 \frac{kg}{m} * \frac{0.99 + 0.99}{2} m = 30.59 kg$$

Las reacciones producidas por Carga Muerta se resumen a continuación en la [Tabla A.6.](#)

Tabla A.6 Reacciones para Carga Muerta en cada nudo

CARGA MUERTA		
P_{1y13}	15.45	kg
P_{2y12}	30.75	kg
P_{3-11}	30.59	kg

En la [Imagen A.20](#) se observa la aplicación de la carga muerta puntual en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.21](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

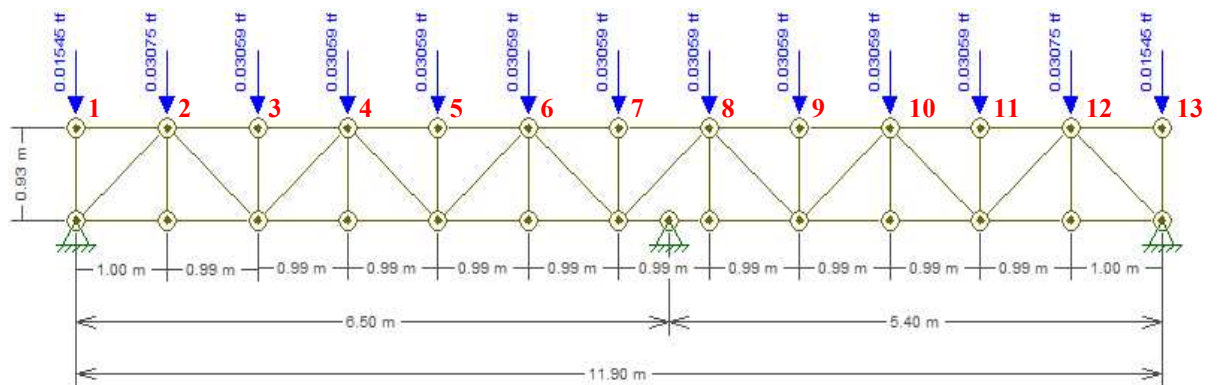


Imagen A.20. Cercha sometida a Carga Muerta [tf]

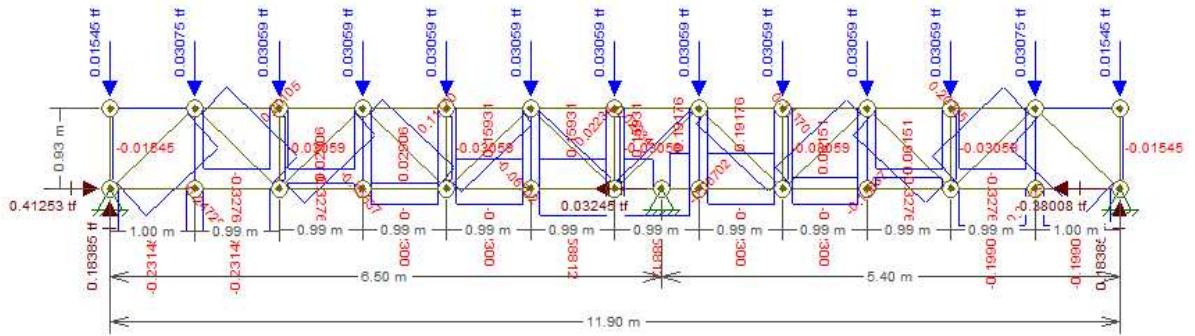


Imagen A.21. . Reacciones por Carga Muerta [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga muerta, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.7](#)):

Tabla A.7 Valores de cargas axiales en la Cercha 1

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	588.12	kg
Cordón a Tracción	191.76	kg
Diagonal a Compresión	247.29	kg
Diagonal a Tracción	201.05	kg
Cordón vertical a Compresión	30.59	kg

3.2.3.2. Carga de Viento

$$F_{1y13} = 20.10 \frac{kg}{m} * \frac{1.00}{2} m = 10.04 kg$$

$$F_{2y12} = 20.10 \frac{kg}{m} * \frac{1.00 + 0.99}{2} m = 19.99 kg$$

$$F_{3-11} = 20.10 \frac{kg}{m} * \frac{0.99 + 0.99}{2} m = 19.89 kg$$

Las reacciones producidas por Carga de Viento se resumen a continuación en la [Tabla A.8](#).

Tabla A.8 Reacciones para Carga de Viento en cada nudo

CARGA VIENTO		
F_{1y13}	10.04	kg
F_{2y12}	19.99	kg
F_{3-11}	19.89	kg

En la [Imagen A.22](#) se observa la aplicación de la carga de viento puntual en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.23](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

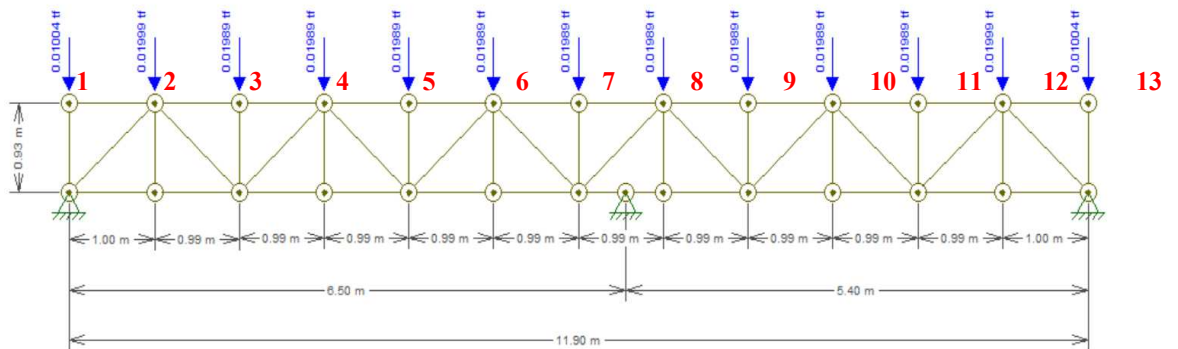


Imagen A.22. Cercha sometida a Carga de Viento [tf]

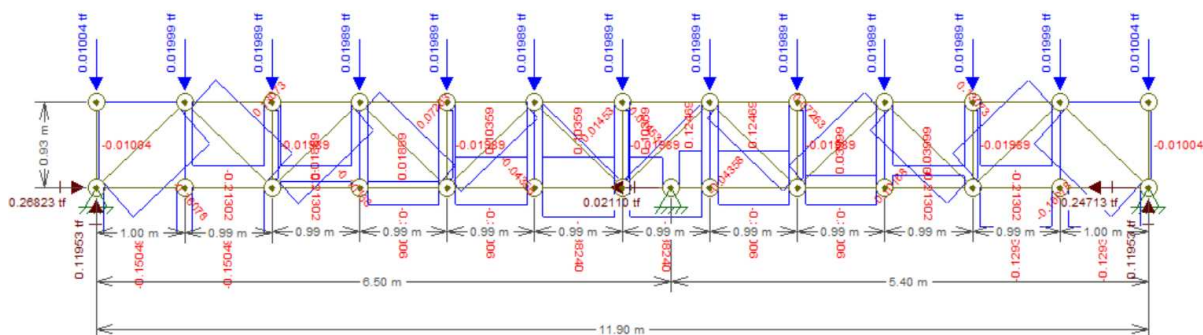


Imagen A.23. Reacciones por Carga de Viento [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga de Viento, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.9](#)):

Tabla A.9 Valores de cargas axiales en la Cercha 1

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	382.40	kg
Cordón a Tracción	124.69	kg
Diagonal a Compresión	160.78	kg
Diagonal a Tracción	130.73	kg
Cordón vertical a Compresión	19.89	kg

3.2.3.3. Carga Sísmica

$$V_{1y13} = 19.02 \frac{kg}{m} * \frac{1.00}{2} m = 9.51 kg$$

$$V_{2y12} = 19.02 \frac{kg}{m} * \frac{1.00 + 0.99}{2} m = 18.92 kg$$

$$V_{3-11} = 19.02 \frac{kg}{m} * \frac{0.99 + 0.99}{2} m = 18.83 kg$$

Las reacciones producidas por Carga Sísmica se resumen a continuación en la [Tabla A.10](#).

Tabla A.10 Reacciones para Carga Sísmica en cada nudo

CARGA SÍSMICA		
V_{1y13}	9.51	kg
V_{2y12}	18.92	kg
V_{3-11}	18.83	kg

En la [Imagen A.24](#) se observa la aplicación de la carga sísmica en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.25](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

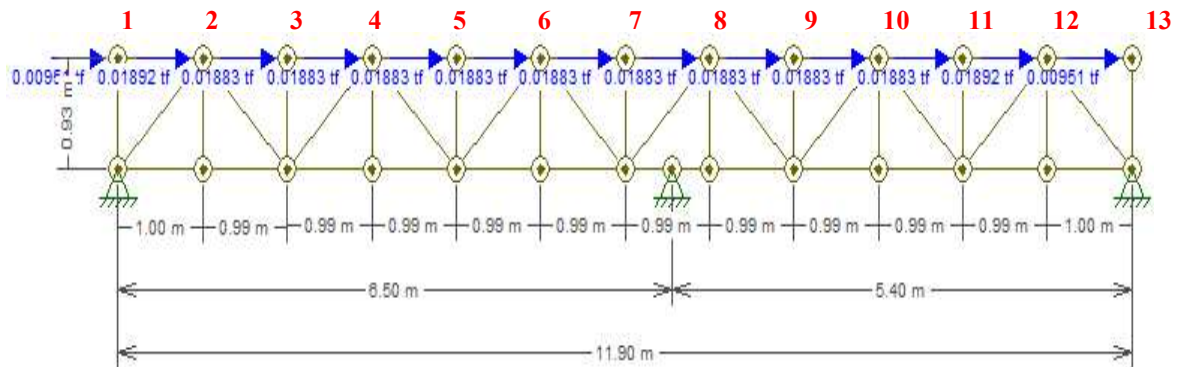


Imagen A.24. Cercha sometida a Carga de Sismo [tf]

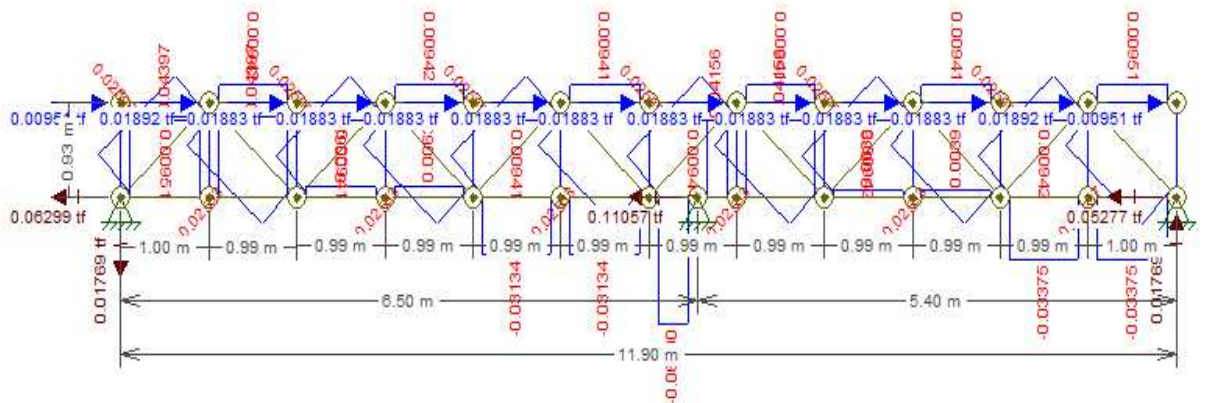


Imagen A.25. Reacciones por Carga de Sismo [tf]

De acuerdo con las reacciones por Carga Sísmica, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.11](#)):

Tabla A.11 Valores de cargas axiales en la Cercha 1

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	69.00	kg
Cordón a Tracción	43.97	kg
Diagonal a Compresión	25.97	kg
Diagonal a Tracción	25.97	kg
Cordón vertical a Compresión	-	kg

3.2.4. Combinaciones

3.2.4.1. Resumen de Reacciones

En la [Tabla A.12](#) se resumen los cuatro casos de carga analizados con sus respectivos valores.

Tabla A.12 Resumen de Reacciones en Cercha 1

Parámetro	Carga Muerta (kg)	Carga Viva (kg) = $\left(\frac{Carga\ Muerta * WL}{WD}\right)$	Carga Viento (kg)	Carga Sísmica (kg)
Cordón a Compresión	588.12	1998.47	382.40	69.00
Cordón a Tracción	191.76	651.61	124.69	43.97
Diagonal a Compresión	247.29	840.31	160.78	25.97
Diagonal a Tracción	201.05	683.18	130.73	25.97
Cordón vertical a Compresión	30.59	103.95	19.89	0.00

3.2.4.2. Combinaciones con Carga de Viento

La [Tabla A.13](#) muestra las combinaciones críticas tomando en cuenta la carga muerta, viva, y de viento.

Tabla A.13 Combinaciones con Carga de Viento, Muerta y Viva en la Cercha 1

Parámetro	Combinación Carga de Viento (kg)			Combinación Crítica (kg)
	D+L	D+0.75L+0.45W	D+0.6W	
Cordón a Compresión	2586.59	2259.05	817.56	2586.59
Cordón a Tracción	843.37	736.58	266.57	843.37
Diagonal a Compresión	1087.60	949.87	343.76	1087.60
Diagonal a Tracción	884.23	772.26	279.49	884.23
Cordón vertical a Compresión	134.54	117.50	42.52	134.54

3.2.4.3. Combinaciones con carga Sísmica

La **Tabla A.14** muestra las combinaciones críticas tomando en cuenta la carga muerta, viva, y sísmica.

Tabla A.14 Combinaciones con Carga de Sismo. Muerta y Viva en la Cercha 1

Parámetro	Combinación Carga Sísmica (kg)			Combinación Crítica (kg)
	D+L	D+0.75L+0.525E	D+0.7E	
Cordón a Compresión	2586.59	2123.19	636.42	2586.59
Cordón a Tracción	843.37	703.55	222.54	843.37
Diagonal a Compresión	1087.60	891.15	265.47	1087.60
Diagonal a Tracción	884.23	727.07	219.23	884.23
Cordón vertical a Compresión	134.54	108.55	30.59	134.54

Una vez realizadas las combinaciones de carga requeridas, se halló que la combinación en la que actúa la carga muerta y la viva (D+L) resulta la carga más crítica.

3.2.5. Chequeo a Compresión y Tracción

Para el Chequeo a Compresión y Tracción se emplea el método de cálculo planteado por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.2.5.1. Cordón más comprimido

$$P \text{ máx} = 2586.59 \text{ kg (Obtenida del Software Ftool)}$$

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h}$$

Ecuación 3. 5

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 99}{7} = 14.14$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3. 6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{14.14^2} = 4432.82 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.2.5.2. Cordón más traccionado

$P_{m\acute{a}x} = 843.37 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$ft_{adm} = 183.50 \frac{kg}{cm^2}$$

$$ft = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Ecuación 3. 8

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Mayor carga axial a tracción en los cordones

A = Área de la sección transversal de la viga.

ft = Esfuerzo a tracción en el cordón más traccionado

$$ft = \frac{843.37}{7 * 7} = 17.21 \frac{kg}{cm^2}$$

$$ft < ft_{adm} \therefore OK$$

3.2.5.3. Diagonal más comprimida

$P_{m\acute{a}x} = 1087.60 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda (\text{Relación de Esbeltez}) = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k * l}{h}$$

Ecuación 3. 5

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva (k=1 para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 137}{7} = 19.57$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \quad \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{19.57^2} = 2314.78 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \quad \therefore \text{OK}$$

3.2.5.4. Diagonal más traccionada

$$P_{m\acute{a}x} = 884.23 \text{ kg} \text{ (Obtenida del Software Ftool)}$$

$$f_{t \text{ adm}} = 183.50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_t = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Mayor carga axial a tracción en los cordones

A = Área de la sección transversal de la viga.

f_t = Esfuerzo a tracción en el cordón más traccionado

$$f_t = \frac{790.78}{7 * 7} = 16.14 \frac{kg}{cm^2}$$

$$f_t < f_{t adm} \therefore OK$$

3.2.5.5. Cordón vertical a compresión

$P_{m\acute{a}x} = 134.54 kg$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k * l}{h} \quad \text{Ecuación 3. 5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 93}{7} = 13.29$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3. 6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{13.29^2} = 5023.25 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.2.6. Chequeo a Flexocompresión del Cordón Superior

Para el Chequeo a Flexocompresión se emplea el método de cálculo planteado por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). En la [Imagen A.26](#) se observa el modelo matemático con la aplicación de la carga muerta distribuida a lo largo del cordón superior.

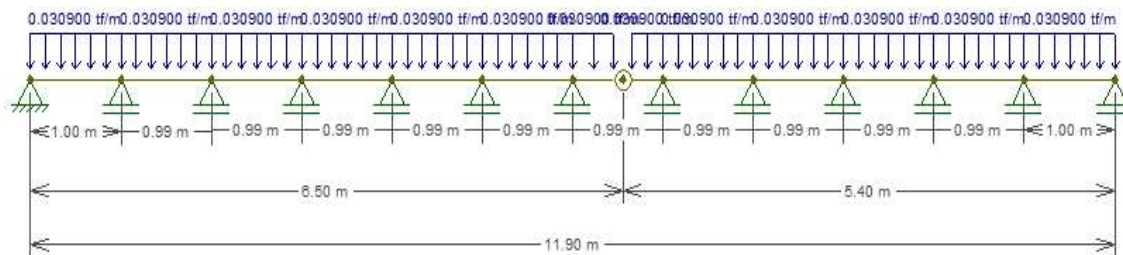


Imagen A.26. Cordón superior sometido a Carga Muerta [tf/m]

En la [Imagen A.27](#) se presentan la gráfica de momentos en el cordón superior producto de la carga muerta.

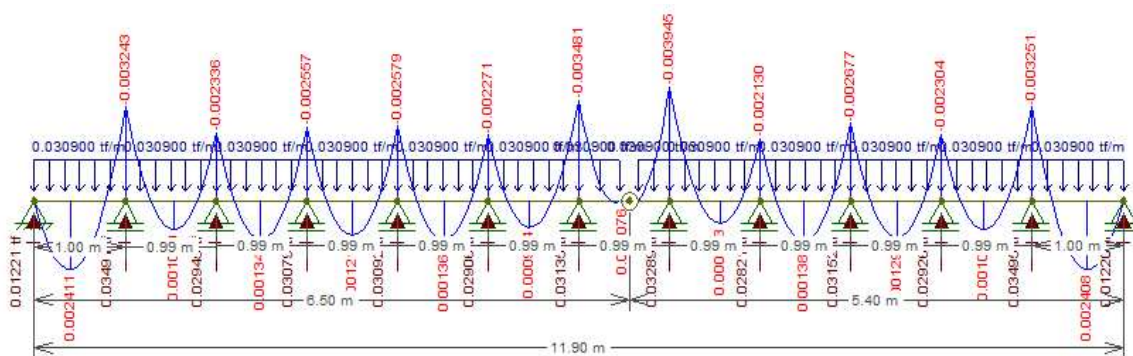


Imagen A.27. Momento por Carga Muerta en Cordón Superior [tf.m]

3.2.6.1. Flexocompresión

La [Tabla A.15](#) resume los valores requeridos para el análisis a flexocompresión del cordón superior.

Tabla A.15 Valores del análisis a Flexocompresión del cordón superior de la Cercha 1

FLEXOCOMPRESIÓN		
<i>PCD</i>	588.32	kg
<i>PCV</i>	1999.15	kg
<i>PTT = N</i>	2587.47	kg
<i>MD</i>	241.10	kg.cm
<i>ML</i>	819.27	kg.cm
<i>MT = M</i>	1060.37	kg.cm
<i>E mín</i>	55000	$\frac{kg}{cm^2}$
λ	14.29	Barra Larga
<i>Nadm</i>	4342.00	kg
<i>fm adm</i>	305.90	$\frac{kg}{cm^2}$

b	7	cm
h	7	cm
L	100	cm
Área	49.00	cm ²
Inercia	200.08	cm ⁴
Z	57.17	cm ³

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva (k=1 para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 \cdot 100}{7} = 14.29$$

$$N_{adm} = 0.329 \cdot \frac{E \cdot A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$N_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{14.29^2} = 4342.00 \text{ kg}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2} = \frac{\pi^2 * 55000 * 200.08}{(1 * 100)^2} = 10860.91 \text{ Kg} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

$$K_m = \frac{1}{1 - \frac{3}{2} * \left(\frac{N}{N_{cr}}\right)} = \frac{1}{1 - \frac{3}{2} * \left(\frac{2587.47}{10860.91}\right)} = 1.556 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

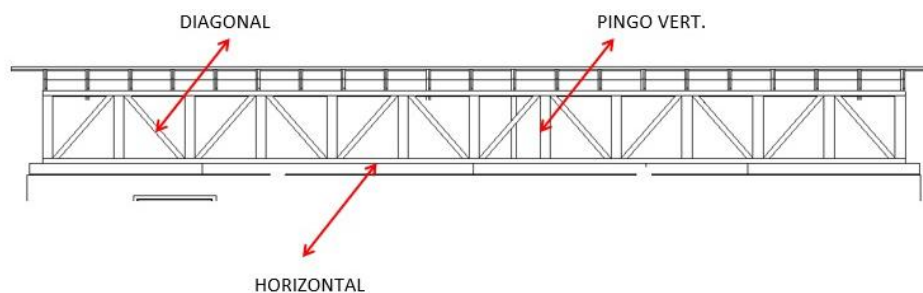
$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m * |M|}{z * f_{m adm}} < 1 \quad \text{Ecuación 3.11}$$

$$\frac{2587.47}{4342.00} + \frac{1.556 * |1060.37|}{57.17 * 305.90} < 1$$

$$0.690 < 1 \therefore Ok$$

3.2.7. Secciones finales de la cercha

Una vez concluida la fase de diseño y comprobación de los elementos que conforman la cercha, a continuación, en la [Imagen A.28](#) se presentan las secciones utilizadas en la construcción de la Cercha 1, así como también la densidad del material y su masa.



		N°	B m	A m	L m	DENSIDAD kg/m3	MASA kg
CERCHA FRONTAL	TIMPANO	13	0.14	0.07	0.861	827.04	90.72
	DIAGONAL	12	0.07	0.07	1.15	827.04	55.92
	HORIZONTAL	4	0.07	0.07	6	827.04	97.26
SUBTOTAL							243.90

Imagen A.28. Secciones finales empleadas en la Cercha 1

3.3. Cercha Medianera

A continuación, se realiza el análisis de la Cercha Medianera, la cual se ubica en la parte central del sentido más largo de la estructura con una longitud total de 11.90m, como se muestra en la [Imagen A.29](#).

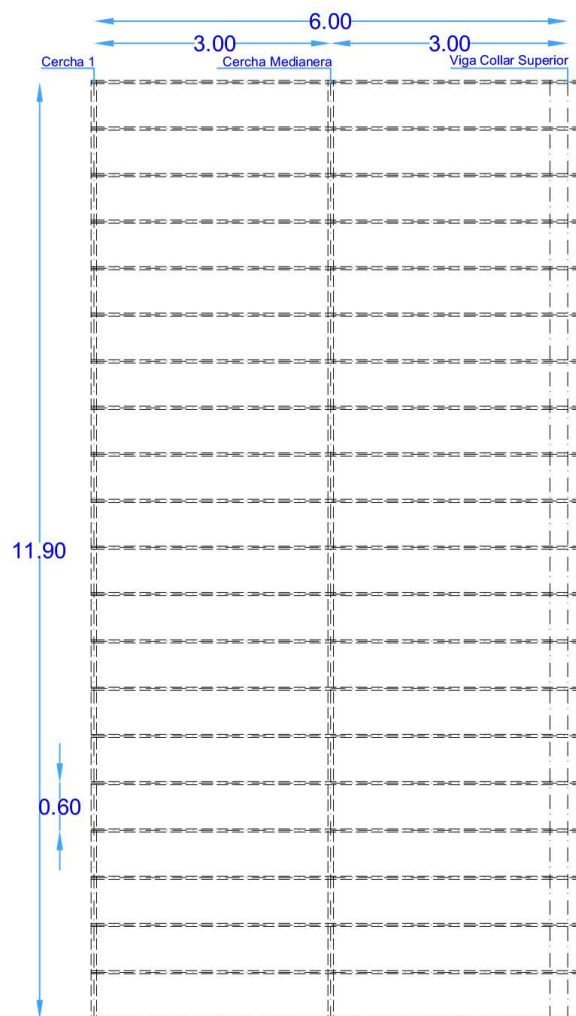


Imagen A.29. Disposición de Cercha Medianera.

3.3.1. *Análisis de cargas por metro cuadrado para cercha de cubierta*

$$WD = CM * \text{Ancho cooperante} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$WD = 20.60 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 3.00 \text{ m}$$

$$WD = 61.80 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$WL = CV * \text{Ancho cooperante} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

$$WL = 70 * 3.00 \text{ m}$$

$$WL = 210.00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

3.3.2. *Diseño de vigas principales (CELOSÍA):*

En las [Imágenes A.30 y A.31](#) se especifican las características de la Cercha Medianera.

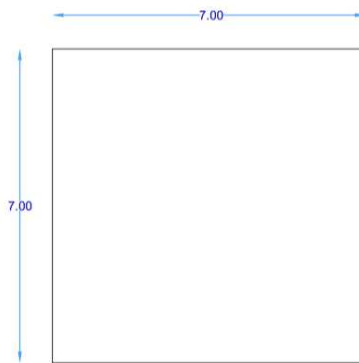


Imagen A.30. Sección viga principal

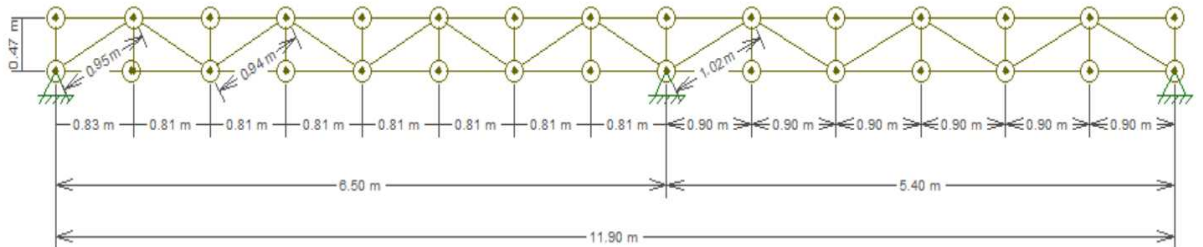


Imagen A.31. Dimensiones de la cercha [m]

3.3.2.1. Carga del Viento

Para la presión del Viento se emplean las directrices planteadas por la (NEC-SE-CG-15, 2014).

$$\text{Presión viento} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_e * C_f \quad \text{Ecuación 3. 3}$$

P: Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ : Densidad del aire expresada en kg/m³ (En general. se puede adoptar 1.25 kg/m³)

C_e : Coeficiente de entorno/altura ([ver Imagen A.32](#))

C_f : Coeficiente de forma ([apartado “d” de la presente sección 3.2.4](#)) ([ver Imagen A.33](#))

V: La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación. pero no será menor a 21m/s (75 km/h).

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Imagen A.32. Determinación del factor de forma C_e . Fuente: (NEC-SE-CG-15, 2014)

La cubierta es inclinada. a un agua. con un ángulo de inclinación aproximado de 17%:

Interpolación lineal para hallar C_e :

15°	0.3
17°	x
60°	0.7

$$C_e = x = \frac{(0.7 - 0.3) * (17 - 15)}{(60 - 15)} + 0.3 = 0.318$$

Construcción	Coefficiente C_f
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Imagen A.33. Determinación del factor de forma C_f , Fuente: (NEC-SE-CG-15, 2014)

$$\text{Presión viento} = \left(\frac{1}{2} * 1.25 * 21^2 * 0.318 * 1.5 \right) \div 9.81$$

$$\text{Presión viento} = 13.40 \frac{kg}{m^2}$$

$$P = 13.40 \frac{kg}{m^2} * 3.00 m = 40.20 \frac{kg}{m}$$

3.3.2.2. Carga Sísmica

Para la Carga sísmica se emplean las directrices planteadas por la (NEC-SE-VIVIENDA, 2014).

$$V = \frac{Z * C * W}{R}$$

Ecuación 3. 4

$$V = \frac{0.4 * 3 * W}{1.95}$$

$$W = 20.60 \frac{kg}{m^2} * 3.00m * 11.90m$$

$$W = 735.42 kg$$

$$V = \frac{0.4 * 3 * 735.42}{1.95}$$

$$V = 452.57 kg$$

$$\frac{V}{m} = \frac{452.57 kg}{11.90 m} = 38.03 \frac{kg}{m}$$

3.3.3. Reacciones en cada nudo

3.3.3.1. Carga Muerta

$$P_1 = 61.80 \frac{kg}{m} * \frac{0.83}{2} m = 25.65 kg$$

$$P_2 = 61.80 \frac{kg}{m} * \frac{0.83 + 0.81}{2} m = 50.68 kg$$

$$P_{3-8} = 61.80 \frac{kg}{m} * \frac{0.81 + 0.81}{2} m = 50.06 kg$$

$$P_9 = 61.80 \frac{kg}{m} * \frac{0.81 + 0.90}{2} m = 52.84 kg$$

$$P_{10-14} = 61.80 \frac{kg}{m} * \frac{0.90 + 0.90}{2} m = 55.62 kg$$

$$P_{15} = 61.80 \frac{kg}{m} * \frac{0.90}{2} m = 27.81 kg$$

Las reacciones producidas por Carga Muerta se resumen a continuación en la [Tabla](#)

[A.16.](#)

Tabla A.16 Reacciones para Carga Muerta en cada nudo

CARGA MUERTA		
P_1	25.65	kg
P_2	50.68	kg
P_{3-8}	50.06	kg
P_9	52.84	kg
P_{10-14}	55.62	kg
P_{15}	27.81	kg

En la [Imagen A.34](#) se observa la aplicación de la carga muerta puntual en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.35](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

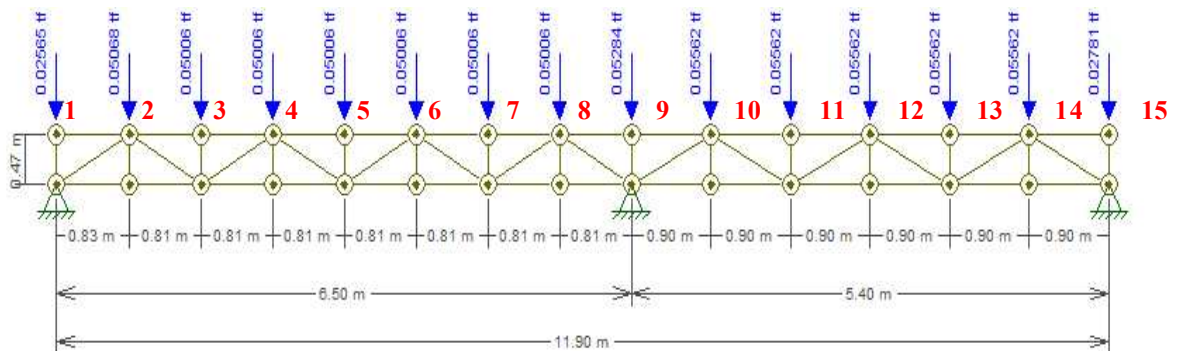


Imagen A.34. Cercha sometida a Carga Muerta [tf]

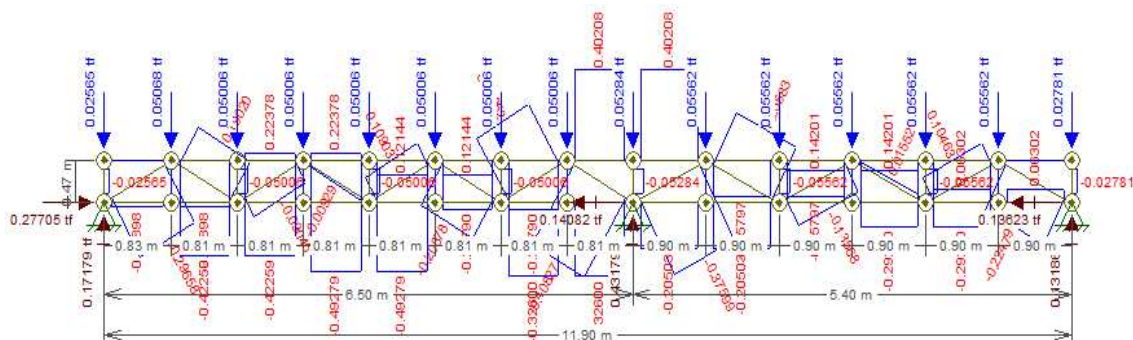


Imagen A.35. Reacciones por Carga Muerta [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga muerta, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.17](#)):

Tabla A.17 Valores de cargas axiales en la Cercha Medianera

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	492.79	kg
Cordón a Tracción	402.08	kg
Diagonal a Compresión	408.27	kg
Diagonal a Tracción	308.52	kg
Cordón vertical a Compresión	55.62	kg

3.3.3.2. Carga de Viento

$$F_1 = 40.20 \frac{kg}{m} * \frac{0.83}{2} m = 16.67 kg$$

$$F_2 = 40.20 \frac{kg}{m} * \frac{0.83 + 0.81}{2} m = 32.95 kg$$

$$F_{3-8} = 40.20 \frac{kg}{m} * \frac{0.81 + 0.81}{2} m = 32.54 kg$$

$$F_9 = 40.20 \frac{kg}{m} * \frac{0.81 + 0.90}{2} m = 34.35 kg$$

$$F_{10-14} = 40.20 \frac{kg}{m} * \frac{0.90 + 0.90}{2} m = 36.16 kg$$

$$F_{15} = 40.20 \frac{kg}{m} * \frac{0.90}{2} m = 18.08 kg$$

Las reacciones producidas por Carga de Viento se resumen a continuación en la [Tabla A.18](#).

Tabla A.18 Reacciones para Carga de Viento en cada nudo

CARGA VIENTO		
F ₁	16.67	kg
F ₂	32.95	kg
F ₃₋₈	32.54	kg
F ₉	34.35	kg
F ₁₀₋₁₄	36.16	kg
F ₁₅	18.08	kg

En la [Imagen A.36](#) se observa la aplicación de la carga de viento puntual en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.37](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

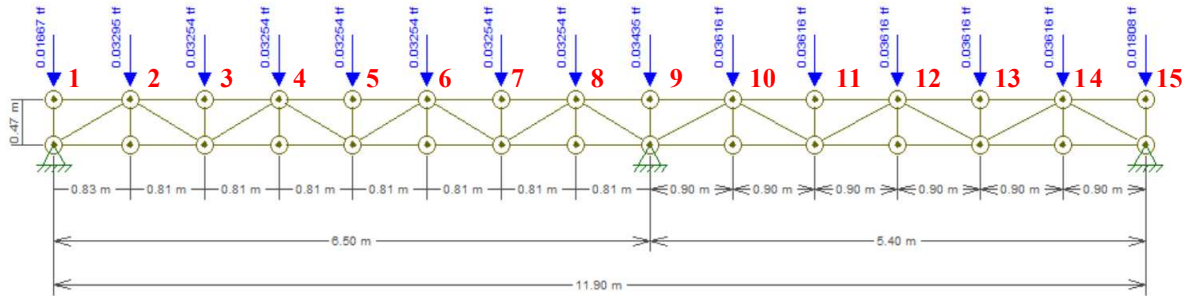


Imagen A.36. Cercha sometida a Carga de Viento [tf]

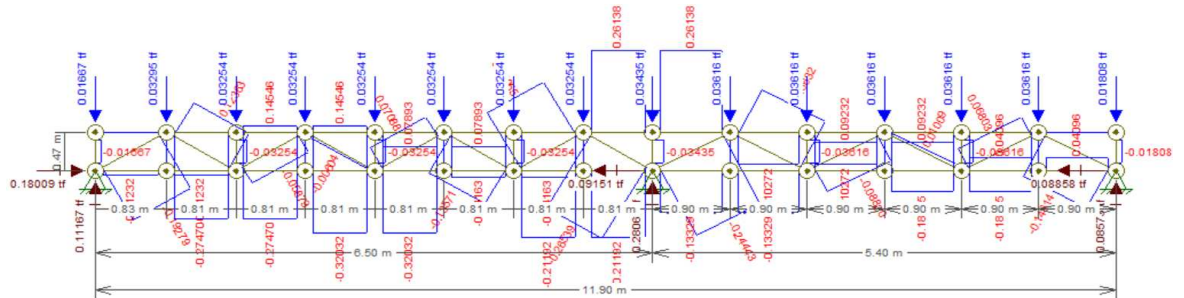


Imagen A.37. Cercha sometida a Carga de Viento [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga de Viento. se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.19](#)):

Tabla A.19 Valores de cargas axiales en la Cercha Medianera

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	320.32	kg
Cordón a Tracción	261.38	kg
Diagonal a Compresión	265.39	kg
Diagonal a Tracción	200.55	kg
Cordón vertical a Compresión	36.16	kg

3.3.3.3. Carga Sísmica

$$V_1 = 38.03 \frac{kg}{m} * \frac{0.83}{2} m = 15.78 kg$$

$$V_2 = 38.03 \frac{kg}{m} * \frac{0.83 + 0.81}{2} m = 31.19 kg$$

$$V_{3-8} = 38.03 \frac{kg}{m} * \frac{0.81 + 0.81}{2} m = 30.80 kg$$

$$V_9 = 38.03 \frac{kg}{m} * \frac{0.81 + 0.90}{2} m = 32.52 kg$$

$$V_{10-14} = 38.03 \frac{kg}{m} * \frac{0.90 + 0.90}{2} m = 34.23 kg$$

$$V_{15} = 38.03 \frac{kg}{m} * \frac{0.90}{2} m = 17.11 kg$$

Las reacciones producidas por Carga Sísmica se resumen a continuación en la [Tabla A.20](#).

Tabla A.20 Reacciones para Carga Sísmica en cada nudo

CARGA SÍSMICA		
V ₁	15.78	kg
V ₂	31.19	kg
V ₃₋₈	30.80	kg
V ₉	32.52	kg
V ₁₀₋₁₄	34.23	kg
V ₁₅	17.11	kg

En la [Imagen A.38](#) se observa la aplicación de la carga sísmica en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.39](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

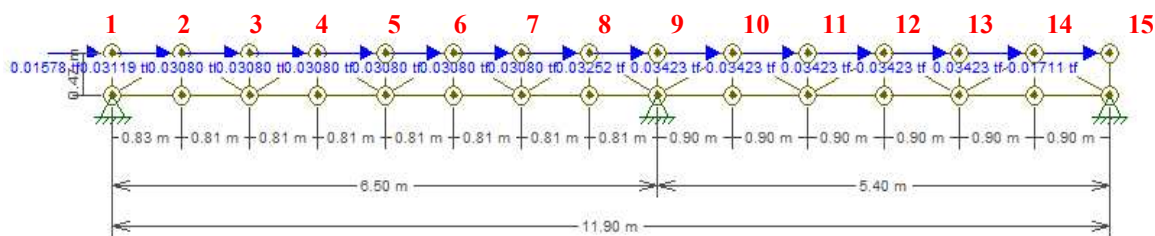


Imagen A.38. Cercha sometida a Carga de Sismo [tf]

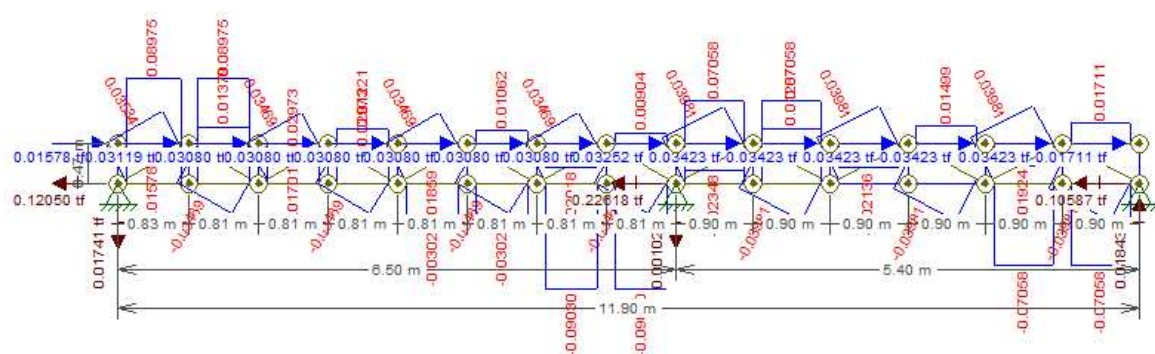


Imagen A.39. Reacciones por Carga de Sismo [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga Sísmica, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.21](#)):

Tabla A.21 Valores de cargas axiales en la Cercha Medianera

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	90.30	kg
Cordón a Tracción	89.75	kg
Diagonal a Compresión	39.81	kg
Diagonal a Tracción	39.81	kg
Cordón vertical a Compresión	-	kg

3.3.4. Combinaciones

3.3.4.1. Resumen de Reacciones

En la [Tabla A.22](#) se resumen los cuatro casos de carga analizados con sus respectivos valores.

Tabla A.22 Resumen de Reacciones en Cercha Medianera Combinaciones con Carga de Viento, Muerta y Viva en la Cercha Medianera

Parámetro	Carga Muerta (kg)	Carga Viva (kg) = $\left(\frac{\text{Carga Muerta} * WL}{WD}\right)$	Carga Viento (kg)	Carga Sísmica (kg)
Cordón a Compresión	492.79	1674.53	320.32	90.30
Cordón a Tracción	402.08	1366.29	261.38	89.75
Diagonal a Compresión	408.27	1387.33	265.39	39.81
Diagonal a Tracción	308.52	1048.37	200.55	39.81
Cordón vertical a Compresión	55.62	189.00	36.16	0.00

3.3.4.2. Combinaciones con Carga de Viento

La [Tabla A.23](#) muestra las combinaciones críticas tomando en cuenta la carga muerta, viva, y de viento.

Tabla A.23 Combinaciones con Carga de Viento, Muerta y Viva en la Cercha Medianera

Parámetro	Combinación Carga de Viento (kg)			Combinación Crítica (kg)
	D+L	D+0.75L+0.45W	D+0.6W	
Cordón a Compresión	2167.32	1892.83	684.98	2167.32
Cordón a Tracción	1768.37	1544.42	558.91	1768.37
Diagonal a Compresión	1795.60	1568.19	567.50	1795.60
Diagonal a Tracción	1356.89	1185.04	428.85	1356.89
Cordón vertical a Compresión	244.62	213.64	77.32	244.62

3.3.4.3. Combinaciones con Carga Sísmica

La [Tabla A.24](#) muestra las combinaciones críticas tomando en cuenta la carga muerta, viva, y sísmica.

Tabla A.24 Combinaciones con Carga de Sismo, Muerta y Viva en la Cercha Medianera

Parámetro	Combinación Carga Sísmica (kg)			Combinación Crítica (kg)
	D+L	D+0.75L+0.525E	D+0.7E	
Cordón a Compresión	2167.32	1796.09	556.00	2167.32
Cordón a Tracción	1768.37	1473.92	464.91	1768.37
Diagonal a Compresión	1795.60	1469.66	436.14	1795.60
Diagonal a Tracción	1356.89	1115.70	336.39	1356.89
Cordón vertical a Compresión	244.62	197.37	55.62	244.62

Una vez realizadas las combinaciones de carga requeridas, se halló que la combinación en la que actúa la carga muerta y la viva (D+L) resulta la carga más crítica.

3.3.5. Chequeo a Compresión y Tracción

Para el chequeo a Compresión y Tracción se emplea el método de cálculo planteado por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.3.5.1. Cordon más comprimido

$P_{\text{máx}} = 2167.32 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda (\text{Relación de Esbeltez}) = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 \cdot 90}{7} = 12.86$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{12.86^2} = 5363.72 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.3.5.2. Cordón más traccionado

$P_{m\acute{a}x} = 1768.37 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$ft_{adm} = 183.50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$ft = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Ecuación 3.8

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Mayor carga axial a tracción en los cordones

A = Área de la sección transversal de la viga.

ft = Esfuerzo a tracción en el cordón más traccionado

$$ft = \frac{1768.37}{7 * 7} = 36.09 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$ft < ft_{adm} \therefore OK$$

3.3.5.3. Diagonal más comprimida

$P \text{ máx} = 1795.60 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h} \quad \text{Ecuación 3. 5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 \cdot 102}{7} = 14.57$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3. 6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \quad \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P \text{ adm} = 0.329 \cdot \frac{E \cdot A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{14.57^2} = 4175.90 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.3.5.4. Diagonal más traccionada

$$P_{m\acute{a}x} = 1356.89 \text{ kg (Obtenida del Software Ftool)}$$

$$f_{t adm} = 183.50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_t = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Ecuación 3. 8

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Mayor carga axial a tracción en los cordones

A = Área de la sección transversal de la viga.

f_t = Esfuerzo a tracción en el cordón más traccionado

$$f_t = \frac{1356.89}{7 * 7} = 27.69 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_t < f_{t adm} \therefore OK$$

3.3.5.5. Cordón vertical a compresión

$$P_{m\acute{a}x} = 244.62 \text{ kg (Obtenida del Software Ftool)}$$

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k * l}{h}$$

Ecuación 3. 5

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 47}{7} = 6.71$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3. 6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 > \lambda \therefore \text{Barra Corta}$$

$$P_{adm} = f_c * A \quad \text{Ecuación 3. 12}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 234.50 * 7 * 7 = 11490.50 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.3.6. Chequeo a Flexocompresión del Cordón Superior

Para el Chequeo a Flexocompresión se emplea el método de cálculo planteado por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). En la [Imagen A.40](#) se observa el modelo matemático con la aplicación de la carga muerta distribuida a lo largo del cordón superior.

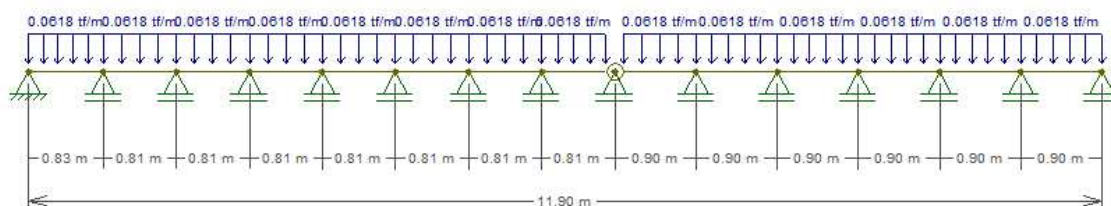


Imagen A.40. Cordón superior sometido a Carga Muerta [tf/m]

En la [Imagen A. 41](#) se presentan la gráfica de momentos en el cordón superior producto de la carga muerta.

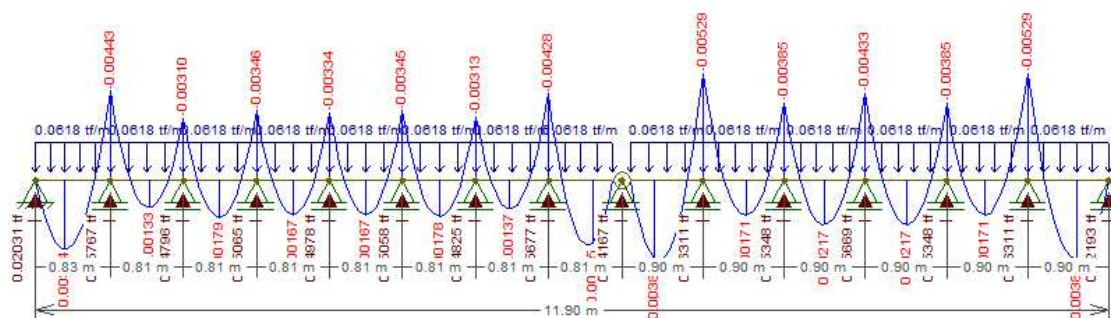


Imagen A.41. Momento por Carga Muerta en Cordón Superior [tf.m]

3.3.6.1. Flexocompresión

La [Tabla A.25](#) resume los valores requeridos para el análisis a flexocompresión del cordón superior.

Tabla A.25 Valores resultantes para el análisis a Flexo compresión del cordón superior de la Cercha Medianera

FLEXOCOMPRESIÓN		
<i>PCD</i>	294.07	kg
<i>PCV</i>	999.27	kg
<i>PTT = N</i>	1948.34	kg
<i>MD</i>	493.00	kg.cm
<i>ML</i>	1675.24	kg.cm
<i>MT = M</i>	2168.24	kg.cm
<i>E mín</i>	55000	$\frac{kg}{cm^2}$
λ	12.86	Barra Larga
<i>Nadm</i>	5361.33	kg
<i>fm adm</i>	305.90	$\frac{kg}{cm^2}$
b	7	cm
h	7	cm
L	90	cm
Área	49	cm^2
Inercia	200.08	cm^4
Z	57.17	cm^3

$$\lambda (\text{Relación de Esbeltez}) = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h} \quad \text{Ecuación 3. 5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva (k=1 para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 90}{7} = 12.86$$

$$N_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$N_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{12.86^2} = 5361.33 \text{ kg}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2} = \frac{\pi^2 * 55000 * 200.08}{(1 * 90)^2} = 13408.53 \text{ Kg} \quad \text{Ecuación 3. 9}$$

$$K_m = \frac{1}{1 - \frac{3}{2} * \left(\frac{N}{N_{cr}}\right)} = \frac{1}{1 - \frac{3}{2} * \left(\frac{1293.34}{13408.53}\right)} = 1.169 \quad \text{Ecuación 3. 10}$$

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m * |M|}{z * f_m adm} < 1 \quad \text{Ecuación 3. 11}$$

$$\frac{1293.34}{5361.33} + \frac{1.169 * |2168.24|}{57.17 * 305.90} < 1$$

$$0.386 < 1 \therefore Ok$$

3.3.7. Secciones finales de la cercha

Una vez concluida la fase de diseño y comprobación de los elementos que conforman la cercha, a continuación, en la [Imagen A.42](#) se presentan las secciones utilizadas en la construcción de la Cercha Medianera, así como también la densidad del material y su masa.

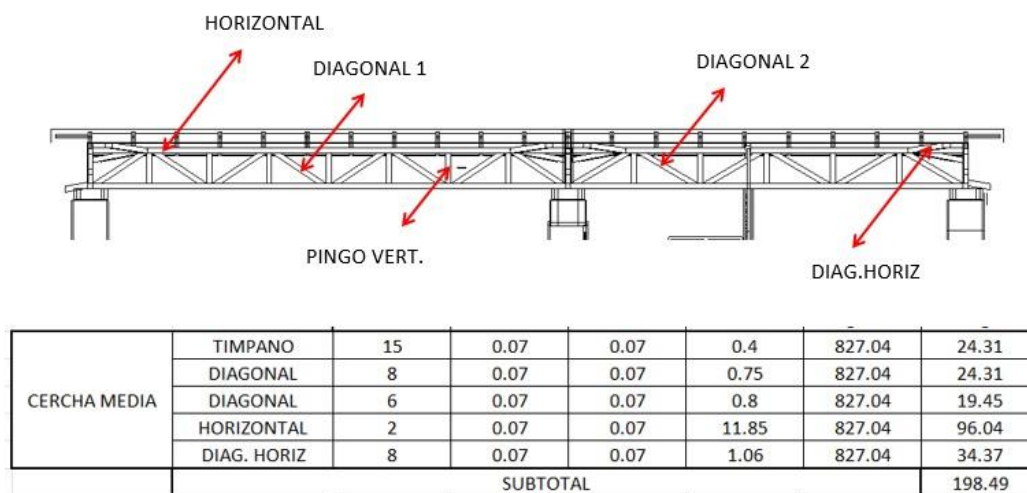


Imagen A.42. Secciones finales empleadas en la Cercha Medianera

3.4. Cercha B-C-D

Para el análisis de las tres cerchas de los ejes B, C y D ([ver Imagen A.43](#)), se efectuará la comprobación para la cercha del eje B, debido a que todas tienen las mismas características y en este caso es donde existe mayor área cooperante.

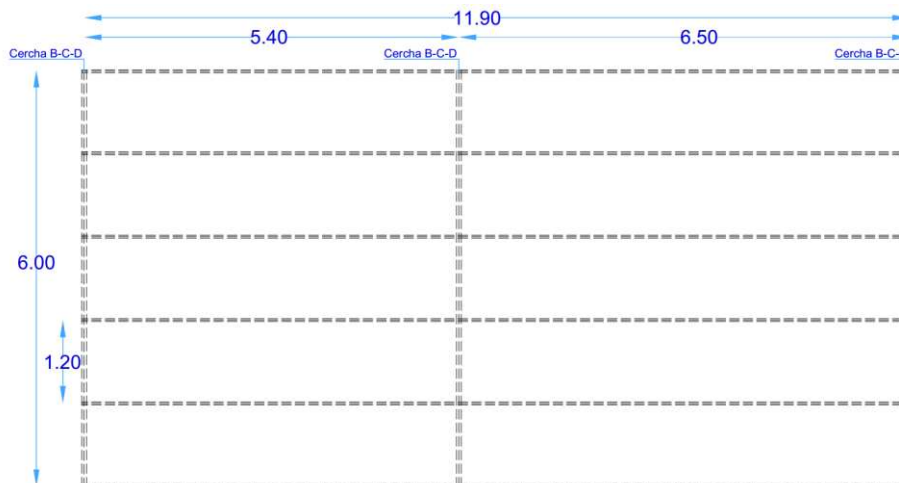


Imagen A.43. Disposición de Cerchas B-C-D.

3.4.1. *Análisis de cargas por metro cuadrado para cercha de cubierta*

$$WD = CM * \text{Ancho cooperante} \quad \text{Ecuación 3. 1}$$

$$WD = 20.60 \frac{kg}{m^2} * \left(\frac{5.40}{2} + \frac{6.50}{2} \right) m$$

$$WD = 20.60 \frac{kg}{m^2} * 5.95 m$$

$$WD = 122.57 \frac{kg}{m}$$

$$WL = CV * \text{Ancho cooperante} \quad \text{Ecuación 3. 2}$$

$$WL = 70.00 \frac{kg}{m^2} * \left(\frac{5.40}{2} + \frac{6.50}{2} \right)$$

$$WL = 70.00 \frac{kg}{m^2} * 5.95 m$$

$$WL = 416.50 \frac{kg}{m}$$

3.4.2. Diseño de vigas principales (CELOSÍA):

En las [Imágenes A.44 y A.45](#) se especifican las características de las Cercha B-C-D.

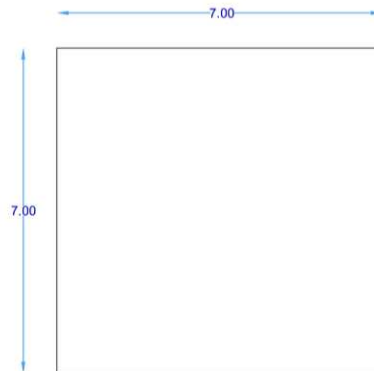


Imagen A.44. Sección viga principal

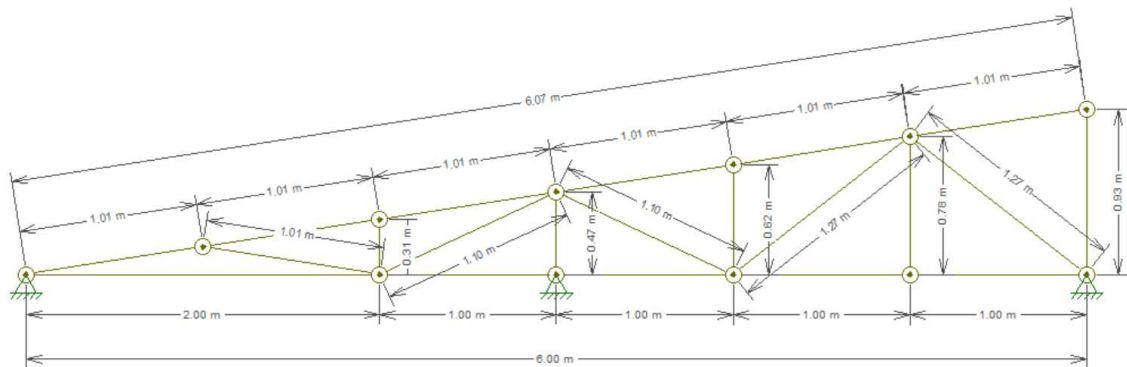


Imagen A.45. Dimensiones de la cercha

3.4.2.1. Carga del Viento

Para la presión del Viento se emplean las directrices planteadas por la (NEC-SE-CG-15, 2014).

$$\text{Presión viento} = \frac{1}{2} * \rho * V^2 * C_e * C_f$$

Ecuación 3. 3

Donde:

P: Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ : Densidad del aire expresada en kg/m³ (En general, se puede adoptar 1.25 kg/m³)

Ce: Coeficiente de entorno/altura ([ver Imagen A.46](#))

Cf: Coeficiente de forma (apartado “d” de la presente sección 3.2.4) ([ver Imagen A.47](#))

V: La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 21m/s (75 km/h).

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

Imagen A.46. Determinación del factor de forma Ce, Fuente: (NEC-SE-CG-15, 2014)

La cubierta es inclinada, a un agua, con un ángulo de inclinación aproximado de 17%:

Interpolación lineal para hallar Ce:

$$\begin{array}{r}
 15^\circ \quad 0.3 \\
 17^\circ \quad x \\
 60^\circ \quad 0.7
 \end{array}$$

$$C_e = x = \frac{(0.7 - 0.3) * (17 - 15)}{(60 - 15)} + 0.3 = 0.318$$

Construcción	Coefficiente C_f
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Imagen A.47. Determinación del factor de forma C_f . Fuente: (NEC-SE-CG-15, 2014)

$$\text{Presión viento} = \left(\frac{1}{2} * 1.25 * 21^2 * 0.318 * 1.5 \right) \div 9.81$$

$$\text{Presión viento} = 13.40 \frac{kg}{m^2}$$

$$P = 13.40 \frac{kg}{m^2} * 5.95 m = 79.70 \frac{kg}{m}$$

3.4.2.2. Carga Sísmica

Para la Carga sísmica se emplean las directrices planteadas por la (NEC-SE-VIVIENDA, 2014).

$$V = \frac{Z * C * W}{R} \quad \text{Ecuación 3. 4}$$

$$V = \frac{0.4 * 3 * W}{1.95}$$

$$W = 20.60 \frac{kg}{m^2} * 5.95 m * 6.07 m$$

$$W = 744.00 kg$$

$$V = \frac{0.4 * 3 * 744.00}{1.95}$$

$$V = 457.85 kg$$

$$\frac{V}{m} = \frac{457.85 kg}{6.07 m} = 75.43 \frac{kg}{m}$$

3.4.3. Reacciones en cada nudo

3.4.3.1. Carga Muerta

$$P_{1y7} = 122.57 \frac{kg}{m} * \frac{1.0119}{2} m = 62.01 kg$$

$$P_{2-6} = 122.57 \frac{kg}{m} * \frac{1.0119 + 1.0119}{2} m = 124.03 kg$$

Las reacciones producidas por Carga Muerta se resumen a continuación en la [Tabla A.26](#).

Tabla A.26 Reacciones para Carga Muerta en cada nudo

CARGA MUERTA		
P _{1y7}	62.01	kg
P ₂₋₆	124.03	kg

En la [Imagen A.48](#) se observa la aplicación de la carga muerta puntual en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.49](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

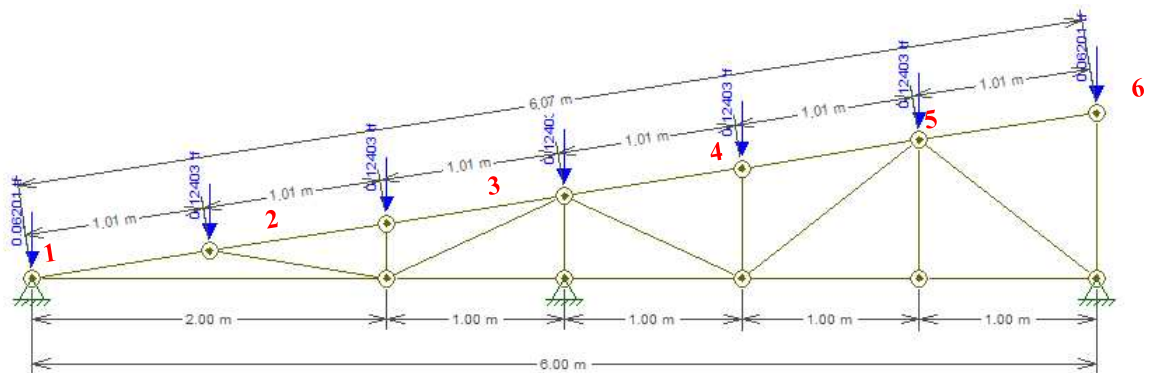


Imagen A.48. Cercha sometida a Carga Muerta [tf]

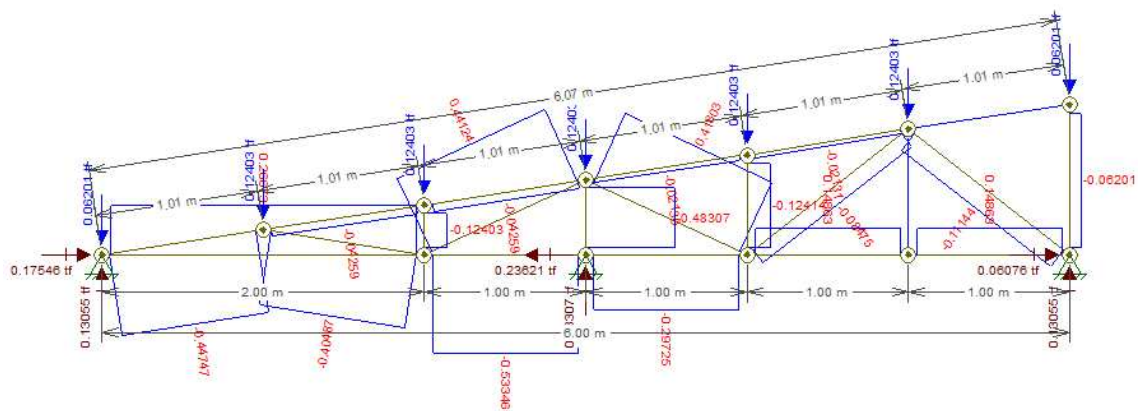


Imagen A.49. Reacciones por Carga Muerta [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga muerta, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.27](#)):

Tabla A.27 Valores de cargas axiales en la Cercha B-C-D

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	533.46	kg
Cordón a Tracción	266.73	kg
Diagonal a Compresión	404.87	kg
Diagonal a Tracción	441.24	kg
Cordón vertical más largo a Compresión	62.01	kg

3.4.3.2. Carga de Viento

$$F_1 = 79.70 \frac{kg}{m} * \frac{1.0119}{2} m = 40.32 kg$$

$$F_2 = 79.70 \frac{kg}{m} * \frac{1.0119 + 1.0119}{2} m = 80.63 kg$$

Las reacciones producidas por Carga de Viento se resumen a continuación en la [Tabla A.28](#).

Tabla A.28 Reacciones para Carga de Viento en cada nudo

CARGA VIENTO				
Nudos	Ancho Coop.	F	Fx	Fy
	m	kg	kg	kg
F1 y F7	0.51	40.32	11.79	38.56
F2 - F6	1.0119	80.63	23.58	77.11

En la [Imagen A.50](#) se observa la aplicación de la carga de viento puntual en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.51](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

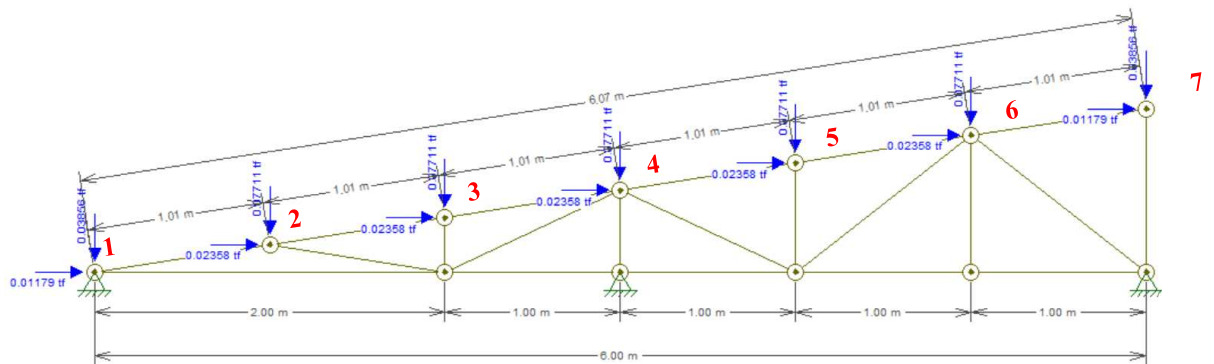


Imagen A.50. Cercha sometida a Carga de Viento [tf]

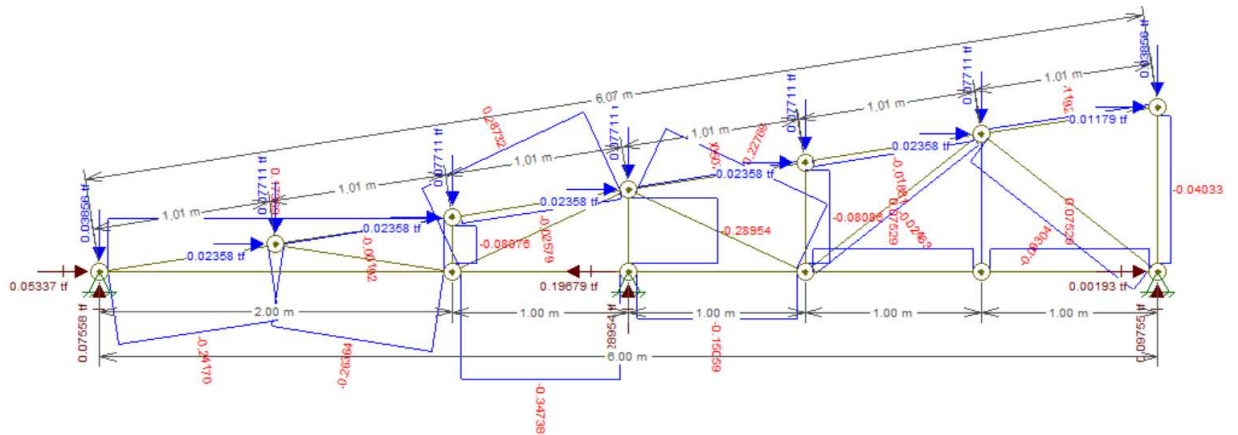


Imagen A.51. Cercha sometida a Carga de Viento [tf]

De acuerdo a las reacciones por Carga de Viento, se obtienen los siguientes casos críticos de carga axial ([ver Tabla A.29](#)):

Tabla A.29 Valores de cargas axiales en la Cercha B-C-D

Parámetro	Valor	Unidad
Cordón a Compresión	347.38	kg
Cordón a Tracción	173.69	kg
Diagonal a Compresión	263.64	kg
Diagonal a Tracción	287.32	kg
Cordón vertical más largo a Compresión	40.33	kg

3.4.3.3. Carga Sísmica

$$V_{1y7} = 75.43 \frac{kg}{m} * \frac{1.0119}{2} m = 38.16 kg$$

$$V_{2-6} = 75.43 \frac{kg}{m} * \frac{1.0119 + 1.0119}{2} m = 76.33 kg$$

Las reacciones producidas por Carga Sísmica se resumen a continuación en la [Tabla A.30](#).

Tabla A.30 Reacciones para Carga Sísmica en cada nudo

CARGA SÍSMICA		
V_{1y7}	38.16	kg
V_{2-6}	76.33	kg

En la [Imagen A.52](#) se observa la aplicación de la carga sísmica en los nudos superiores de la cercha, mientras que en la [Imagen A.53](#) se presentan las reacciones producto de dicha carga.

3.4.4. Combinaciones

3.4.4.1. Resumen de Reacciones

En la [Tabla A.32](#) se resumen los cuatro casos de carga analizados.

Tabla A.32 Resumen de Reacciones en Cercha B-C-D

Parámetro	Carga Muerta (kg)	Carga Viva (kg) = $\left(\frac{\text{Carga Muerta} * WL}{WD}\right)$	Carga Viento (kg)	Carga Sísmica (kg)
Cordón a Compresión	533.46	1812.73	347.38	55.37
Cordón a Tracción	266.73	906.36	173.69	118.11
Diagonal a Compresión	404.87	1375.77	263.64	104.22
Diagonal a Tracción	441.24	1499.36	287.32	90.83
Cordón vertical a Compresión	62.01	210.71	40.33	5.72

3.4.4.2. Combinaciones con Carga de Viento

La [Tabla A.33](#) muestra las combinaciones críticas tomando en cuenta las cargas muertas, viva, y de viento.

Tabla A.33 Combinaciones con carga de viento, muerta y viva en la Cercha B-C-D

Parámetro	Combinación Carga de Viento (kg)			Combinación Crítica (kg)
	D+L	D+0.75L+0.45W	D+0.6W	
Cordón a Compresión	2346.19	2049.33	741.89	2346.19
Cordón a Tracción	1173.09	1024.66	370.94	1173.09
Diagonal a Compresión	1780.64	1555.34	563.05	1780.64
Diagonal a Tracción	1940.60	1695.05	613.63	1940.60
Cordón vertical a Compresión	272.72	238.19	86.21	272.72

3.4.4.3. Combinaciones con Carga Sísmica

La [Tabla A.34](#) muestra las combinaciones críticas tomando en cuenta las cargas muertas, viva, y sísmica.

Tabla A.34 Combinaciones con Carga de Sismo, Muerta y Viva en la Cercha B-C-D

Parámetro	Combinación Carga Sísmica (kg)			Combinación Crítica (kg)
	D+L	D+0.75L+0.525E	D+0.7E	
Cordón a Compresión	2346.19	1922.08	572.22	2346.19
Cordón a Tracción	1173.09	1008.51	349.41	1173.09
Diagonal a Compresión	1780.64	1491.41	477.82	1780.64
Diagonal a Tracción	1940.60	1613.45	504.82	1940.60
Cordón vertical a Compresión	272.72	223.05	66.01	272.72

Una vez realizadas las combinaciones de carga requeridas, se halló que la combinación en la que actúa la carga muerta y la viva (D+L) resulta la carga más crítica.

3.4.5. Chequeo a Compresión y Tracción

Para el chequeo a Compresión y Tracción se emplea el método de cálculo planteado por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984).

3.4.5.1. Cordón más comprimido

$P_{\text{máx}} = 2346.19 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda (\text{Relación de Esbeltez}) = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 100}{7} = 14.29$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3. 6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{14.29^2} = 4342.00 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.4.5.2. Cordón más traccionado

$$P_{m\acute{a}x} = 1173.09 \text{ kg (Obtenida del Software Ftool)}$$

$$ft adm = 183.50 \frac{kg}{cm^2}$$

$$ft = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Ecuación 3. 8

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Mayor carga axial a tracci3n en los cordones

A = rea de la secci3n transversal de la viga.

ft = Esfuerzo a tracci3n en el cord3n más traccionado

$$ft = \frac{1173.09}{7 * 7} = 23.94 \frac{kg}{cm^2}$$

$$ft < ft adm \therefore OK$$

3.4.5.3. Diagonal más comprimida

$P_{m\acute{a}x} = 1780.64 kg$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda (\text{Relaci3n de Esbeltez}) = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k * l}{h}$$

Ecuaci3n 3. 5

Donde:

λ = Relaci3n de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condici3n de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 101}{7} = 14.43$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}}$$

Ecuaci3n 3. 6

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

fc = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{14.43^2} = 4258.16 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.4.5.4. Diagonal más traccionada

$P_{m\acute{a}x} = 1940.60 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$f_{t adm} = 183.50 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

$$f_t = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A}$$

Ecuación 3. 8

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Mayor carga axial a tracción en los cordones

A = Área de la sección transversal de la viga.

f_t = Esfuerzo a tracción en el cordón más traccionado

$$ft = \frac{1940.60}{7 * 7} = 39.60 \frac{kg}{cm^2}$$

$$ft < ft adm \therefore OK$$

3.4.5.5. Cordón vertical más largo a compresión

$P_{m\acute{a}x} = 272.72 \text{ kg}$ (Obtenida del Software Ftool)

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k * l}{h} \quad \text{Ecuación 3. 5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva ($k=1$ para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 * 93}{7} = 13.29$$

$$\text{Para secciones rectangulares } Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} \quad \text{Ecuación 3. 6}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

f_c = Compresión paralela

$$Ck = 0.7025 \sqrt{\frac{E}{f_c}} = 0.7025 \sqrt{\frac{55000}{234.50}} = 10.76 < \lambda < 50 \therefore \text{Barra Larga}$$

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{E * A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3. 7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$P_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{13.29^2} = 5023.01 \text{ kg}$$

$$P_{m\acute{a}x} < P_{adm} \therefore OK$$

3.4.6. Chequeo a Flexocompresión del Cordón Superior

Para el chequeo a Flexocompresión se emplea el método de cálculo planteado por la (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1984). En la [Imagen A.54](#) se observa el modelo matemático con la aplicación de la carga muerta distribuida a lo largo del cordón superior.

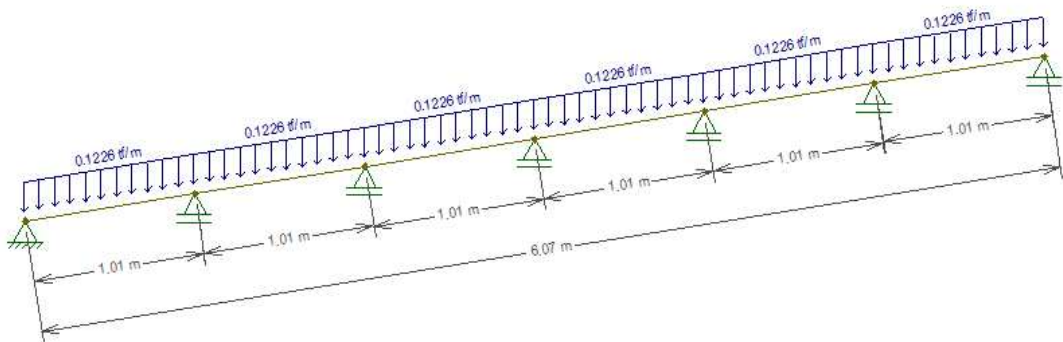


Imagen A.54. Cordón superior sometido a Carga Muerta [tf]

En la [Imagen A.55](#) se presentan la gráfica de momentos en el cordón superior producto de la carga muerta.

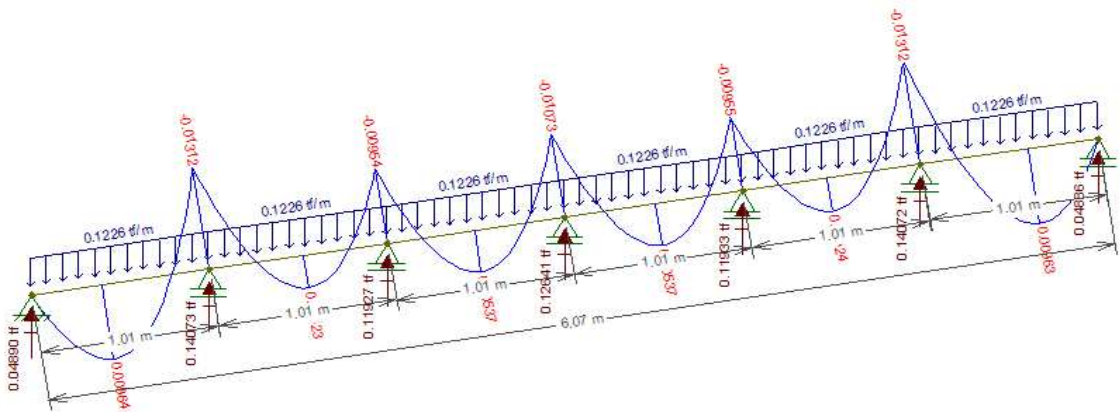


Imagen A.55. Momento por Carga Muerta en Cordón Superior

3.4.6.1. Flexocompresión

La [Tabla A.35](#) resume los valores requeridos para el análisis a flexocompresión del cordón superior.

Tabla A.35 Valores resultantes para el análisis a Flexocompresión del cordón superior de la Cercha B-C-D

FLEXOCOMPRESIÓN		
<i>PCD</i>	447.47	kg
<i>PCV</i>	1520.53	kg
<i>PTT = N</i>	1968.00	kg
<i>MD</i>	964.00	kg.cm
<i>ML</i>	3275.73	kg.cm
<i>MT = M</i>	4239.73	kg.cm
<i>E mín</i>	55000	$\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$
λ	14.43	Barra Larga

<i>Nadm</i>	4258.16	kg
<i>fm adm</i>	305.90	$\frac{kg}{cm^2}$
b	7	cm
h	7	cm
L	101	cm
Área	49	cm^2
Inercia	200.08	cm^4
Z	57.17	cm^3

$$\lambda \text{ (Relación de Esbeltez)} = \frac{L_{ef}}{h} = \frac{k \cdot l}{h} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

L_{ef} = Longitud efectiva

k = Factor de longitud efectiva (k=1 para la condición de apoyo articulado en ambos extremos).

l = Longitud no arriostrada

$$\lambda = \frac{1 \cdot 100}{7} = 14.43$$

$$N_{adm} = 0.329 \cdot \frac{E \cdot A}{\lambda^2} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

λ = Relación de Esbeltez

E = Módulo de elasticidad mínimo de la madera empleada

A = Área de la sección transversal de la viga.

$$N_{adm} = 0.329 * \frac{55000 * 7 * 7}{14.43^2} = 4258.16 \text{ kg}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l_{ef}^2} = \frac{\pi^2 * 55000 * 200.08}{(1 * 101)^2} = 10685.22 \text{ Kg} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

$$K_m = \frac{1}{1 - \frac{3}{2} * \left(\frac{N}{N_{cr}}\right)} = \frac{1}{1 - \frac{3}{2} * \left(\frac{1968.00}{10685.22}\right)} = 1.328 \quad \text{Ecuación 3.10}$$

$$\frac{N}{N_{adm}} + \frac{K_m * |M|}{z * f_{m adm}} < 1 \quad \text{Ecuación 3.11}$$

$$\frac{1968.00}{4258.16} + \frac{1.328 * |4239.73|}{57.17 * 305.90} < 1$$

$$0.798 < 1 \therefore Ok$$

3.4.7. Secciones finales de la cercha

Una vez concluida la fase de diseño y comprobación de los elementos que conforman la cercha, a continuación, en la [Imagen A.56](#) se presentan las secciones utilizadas en la construcción de las Cerchas Laterales, así como también la densidad del material y su masa.

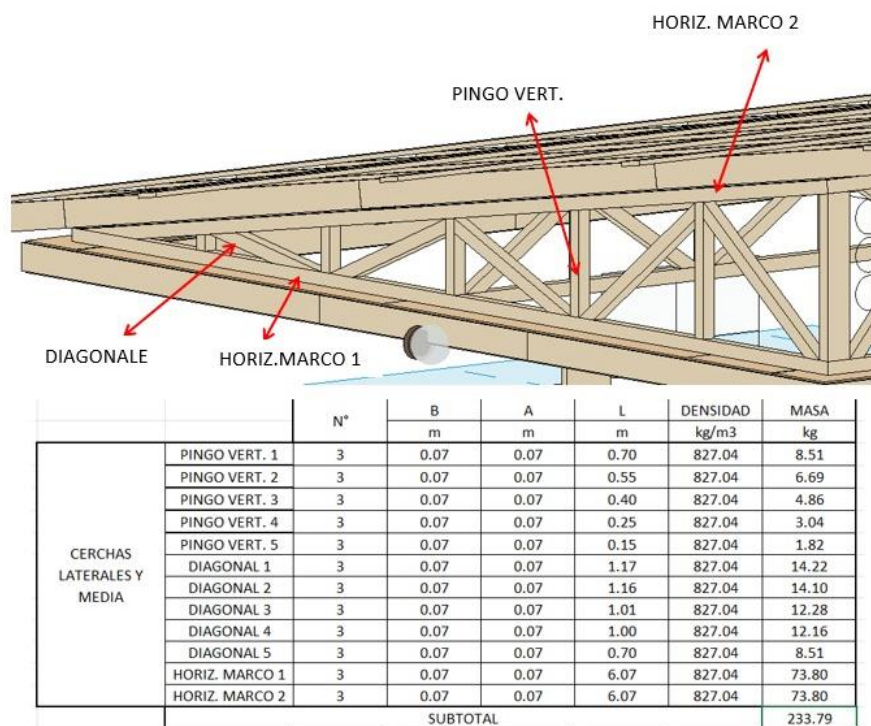


Imagen A.56. Secciones finales empleadas en las Cerchas Laterales

4. COMPROBACIÓN DE DERIVAS Y MODOS DE VIBRACIÓN UTILIZANDO UN SOFTWARE DE DISEÑO ESTRUCTURAL

En el presente capítulo se determina las propiedades dinámicas de la estructura, como es el cálculo de derivas y modos de vibración con el fin de realizar una comprobación con los límites establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15. Para la modelación y obtención de los resultados se ha empleado un software de diseño estructural, detallando cada uno de los parámetros utilizados para la obtención del modelo computacional. Otro aspecto importante que resaltar es la adaptación de este modelo como un sistema compuesto por muros portantes empleando el módulo de elasticidad del fardo

de paja con revoco, logrando de esta manera simular un desempeño en base a las propiedades del material utilizado.

4.1. Módulos de Elasticidad empleados en el Modelo Numérico Computacional

En la [Tabla A.36](#) se detallan los módulos de elasticidad empleados en los Modelos Numéricos Computacionales.

Tabla A.36 Módulos de Elasticidad empleados en el Modelo

Módulo de Elasticidad [KN/m²]	Tipo	Bibliografía
1379	Fardos de Paja sin Revoco	(King, 1998)
8803.994	Fardos de Paja con Revoco	-

4.2. Pesos Específicos empleados en el Modelo Numérico Computacional

En la [Tabla A.37](#) se enumeran los pesos específicos utilizados en los Modelos desarrollados en el Software.

Tabla A.37 Pesos Específicos empleados en el Modelo

Peso Específico [kg/m³]	Tipo	Observación
90	Fardos de Paja en Plano sin Revoco	Densidad promedio de los fardos empleados.
225	Fardos de Paja en Plano con Revoco	Densidad de los fardos con revoco empleados

4.3. Análisis del Modelo Numérico Computacional

4.3.1. Geometría general

Las [Tablas A.38 y A.39](#) contienen la geometría general tanto en planta como en elevación de la estructura.

Tabla A.38 Geometría General en Planta

Parámetro	Longitud [m]
Eje A	6.50
Eje B	5.40
Eje C	0
Eje 1	3.00
Eje 2	3.00
Eje 3	0
Tipo de apoyos	Empotramiento

Tabla A.39 Geometría General en Elevación

Parámetro	Altura [m]
Piso 1	2.10
Base	0

4.3.2. Geometría Específica

La [tabla A.40](#) aborda la geometría específica de la estructura en lo concerniente a materiales.

Tabla A.40 Geometría Específica – Materiales

Material	Densidad	Módulo de Elasticidad – E	
	[kgf/m ³]	kgf/m ²	MPa
Muro de Fardo de Paja sin Revoco	90	137900.00	1.35
Muro de Fardo de Paja con Revoco	225	897757.50	8.80
Madera	827	2096669100.00	20555.58
Cubierta	7850	20389019158.00	199892.34
Tensor	7850	20389019158.00	199892.34

4.3.3. Secciones

En la [Tabla A.41](#) se resumen las secciones empleadas para la geometría específica de la estructura.

Tabla A.41 Geometría Específica - Secciones

Sección	Tipo	Material	Dimensiones [m]
Muro de Fardo de Paja	Muro – Shell Thick	- Muro de Fardo de Paja sin Revoco y con Revoco	Espesor = 0.45
Duratecho	Losa - Membrana	Cubierta	Espesor = 0.00045
Cerchas	Rectangular	Madera	Base = 0.07 Altura = 0.07
Vigueta de Cubierta 1	Rectangular	Madera	Base = 0.04 Altura = 0.10
Vigueta de Cubierta 2	Rectangular	Madera	Base = 0.07 Altura = 0.04
Escalerilla	Tubo relleno	Madera	Profundidad Total = 0.118 Ancho Total = 0.45 Ancho de Borde = 0.009 Ancho del Brazo = 0.04 Radio de Esquina = 0
Tensor de alambre galvanizado	Barra de acero	Tensor	<p>Diámetro alambre 3 hilos = 0.00368 m</p> $\text{Área} = \pi \cdot R^2 = \pi \cdot (D/2)^2 = \pi \cdot (0.00368/2)^2$ $\text{Área} = 1.06 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ <p>El tensor rodea el muro de fardo de paja. por lo que se tendría una sección con el doble de área: $2 \cdot \text{Área} = 2 \cdot 1.06 \cdot 10^{-5} = 2.13 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$</p> <p>Se halla el diámetro equivalente para el área requerida:</p> $\pi \cdot (D/2)^2 = 2.13 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ <p>Diámetro adoptado = 0.0052 m</p>

4.3.4. Espectro

La [Tabla A.42](#) especifica los valores ingresados para la obtención del Espectro de Respuesta según la NEC-15 ([ver Imagen A.57](#)).

Tabla A.42 Espectro de Respuesta según NEC - 15

Terminología	Valor
Z	0.40
η	2.48
Fa	1.14
Fd	1.60
Tipo de Suelo	E
Fs	1.90
I	1.00
R	1.95

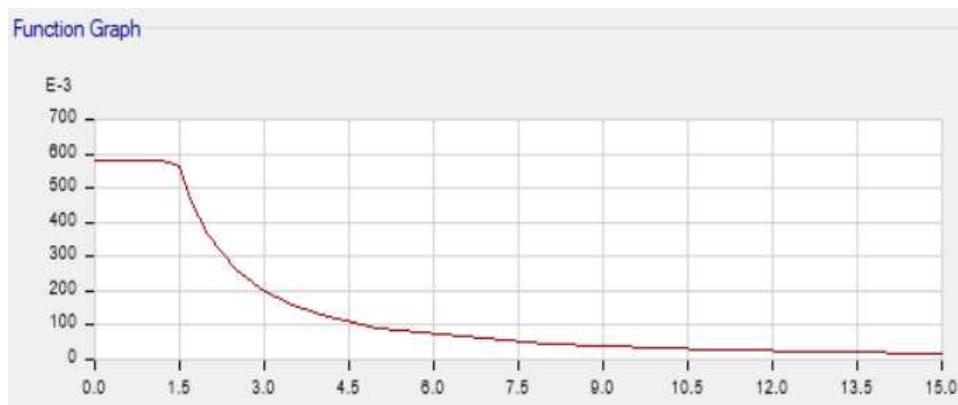


Imagen A.57. Espectro de Respuesta según NEC – 15

4.3.5. Patrones de carga

Para lograr que los tensores funcionen solo a fuerzas de tracción, se realizó un análisis de tipo no lineal. En la [Tabla A.43](#) se detallan cada uno de los casos de carga, tipos de análisis y valores clave.

Tabla A.43 Patrones de Carga

Nombre del Caso de Carga	Tipo de Análisis	Valores Clave
CM	Estático No Lineal	Carga Reactiva (W)=5500 kgf
CV	Estático No Lineal	CV(Cubierta)=70 kgf/m ²
MODAL	Modal	-
CM Adicional	Estático No Lineal	CM Adicional (Cubierta)=1.3 kgf/m ²
Sismo Estático en X	Estático No Lineal	Coefficiente de Cortante Basal=0.5799
Sismo Estático en Y	Estático No Lineal	Coefficiente de Cortante Basal=0.5799
Sismo Dinámico X	Espectro de Respuesta	Tipo de Carga: Aceleración Nombre de Carga: U1 Función: Espectro NEC Factor de Escala: 9.8067
Sismo Dinámico Y	Espectro de Respuesta	Tipo de Carga: Aceleración Nombre de Carga: U2 Función: Espectro NEC Factor de Escala: 9.8067

Nota: las unidades kgf y kgf/m² se utilizaron en la modelación estructural, porque es el sistema de unidades que tradicionalmente se usa en la construcción en Ecuador.

4.3.6. Combinaciones de carga

En la [Tabla A.44](#) se enumeran las Combinaciones empleadas, que se corresponden con las sugeridas por la NEC-15.

Tabla A.44 Combinaciones de carga según NEC-2015

Combinación	Ecuación
Combinación 1	D= Sobrecarga+ Peso Propio
Combinación 2	1.4D
Combinación 3	1.2D+1.6Lr+0.5W
Combinación 4	1.2D+1W+L+0.5S
Combinación 5	1.2D+1W+L+0.5Lr
Combinación 6	1.2D+1E _{sy} +L+0.2S
Combinación 7	1.2D+1E _{sx} +L+0.2S
Combinación 8	1.2D+1E _{dy} +L+0.2S
Combinación 9	1.2D+1E _{dx} +L+0.2S
Combinación 10	1.2D+1.6S+L
Combinación 11	1.2D+1.6S+0.5W
Combinación 12	1.2D+1.6Lr+L
Combinación 13	1.2D+1.6L+0.5S
Combinación 14	1.2D+1.6L+0.5Lr
Combinación 15	0.9D+1.0W
Combinación 16	0.9D+1.0E _{sy}
Combinación 17	0.9D+1.0E _{sx}
Combinación 18	0.9D+1.0E _{dy}
Combinación 19	0.9D+1.0E _{dx}

4.4. Resultados de los Modelos Numéricos Computacionales de la edificación

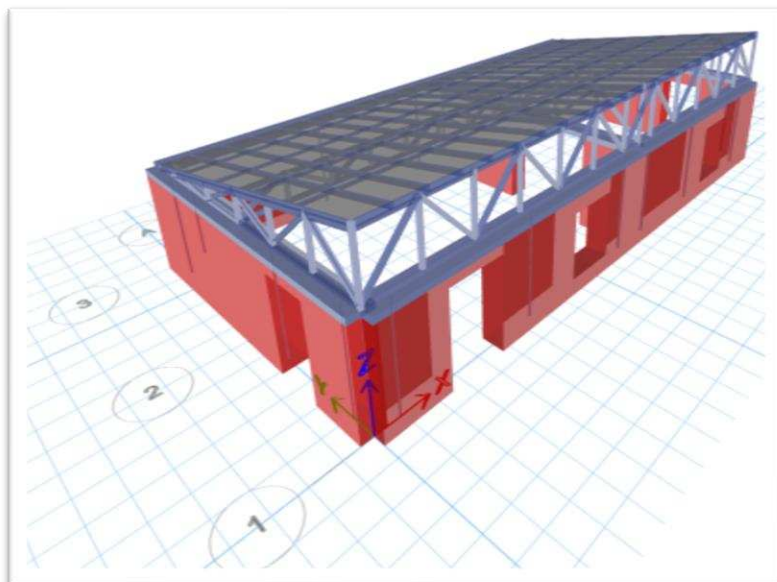


Imagen A.58. Modelo Tridimensional

4.5. Resultados para Modelo con Fardos de Paja sin Revoco

4.5.1. Desplazamientos Máximos – Fardos de Paja sin Revoco

En la [Imagen A.59](#), se puede apreciar el desplazamiento máximo para el modelo de muros portantes con fardos de paja sin la inclusión del revoco en sentido “x” y sentido “y” con valores de 0.98 cm y 1.22 cm respectivamente.

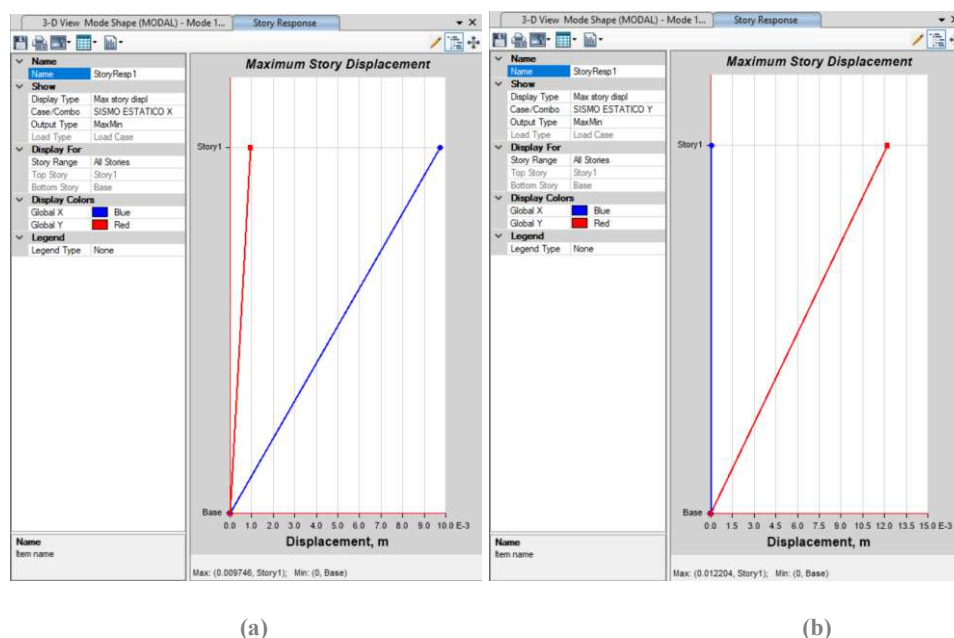


Imagen A.59. Fardos de Paja sin Revoco, Desplazamiento Máximo: a) Sismo Estático en X. b) Sismo Estático en Y.

Los valores obtenidos de los desplazamientos máximos del sismo estático en las dos direcciones permitirán realizar la comprobación de derivas de piso, el cual determinará si la estructura con muros de fardos de paja sin revoco cumple con los parámetros de diseño de la norma NEC-15.

4.5.2. Chequeo de derivas de piso - Fardos de Paja sin Revoco

Para el chequeo de derivas de piso se consideró como límite permisible de deriva inelástica de piso a 0.02, es decir, el 2%, según NEC-SE-SD.

Para el Sismo estático en x el modelo presentó una deriva de piso de 0.67 %, mientras que para el Sismo estático en y la deriva fue de 0.84 %, cumpliendo en ambos casos con la deriva máxima del 2%. Los resultados de las derivas se presentan a continuación:

4.5.2.1. Sismo estático en X

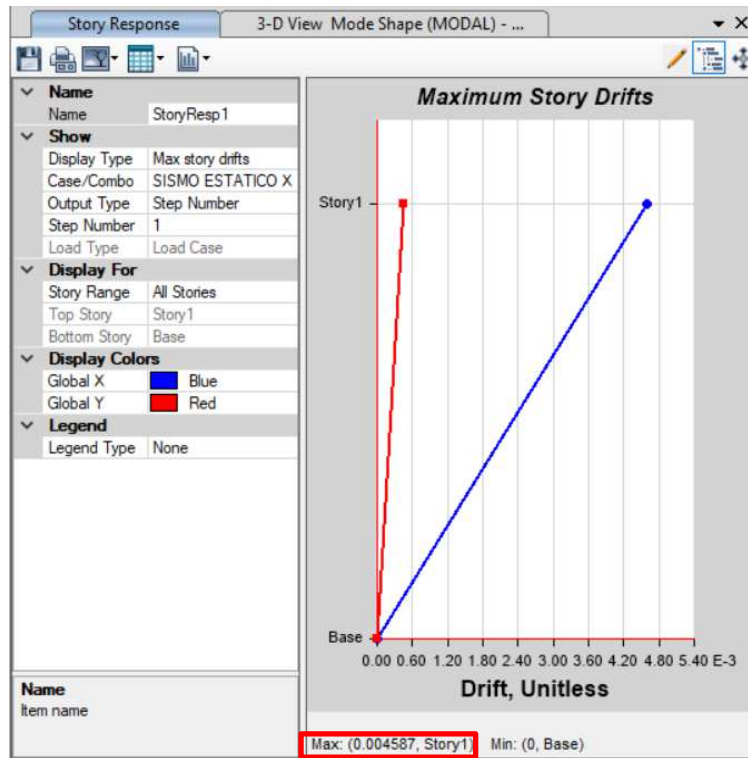


Imagen A.60. Fardos de Paja sin Revoco, Deriva Máxima para Sismo Estático en X

$$\Delta_M = \Delta_E * R * 0.75$$

Ecuación 4. 13

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica=0.004587 (valor obtenido de la [Imagen A.60](#))

Δ_E : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R: Factor de reducción de respuesta

Deriva real inelástica:

$$\Delta_M = 0.004587 \times 1.95 \times 0.75 = 0.0067085 = 0.67 \%$$

La máxima deriva inelástica ante el análisis del sismo estático en dirección “x” presenta un valor del 0.67% y no supera el límite establecido en la norma NEC-15 (NEC-SE-DS), es decir, se encuentra por debajo del 2%, lo que implica que las dimensiones impuestas del muro portante de fardos de paja sin revoco satisfacen los estados de carga y la estructura tendrá un comportamiento adecuado.

4.5.2.2. Sismo estático en y

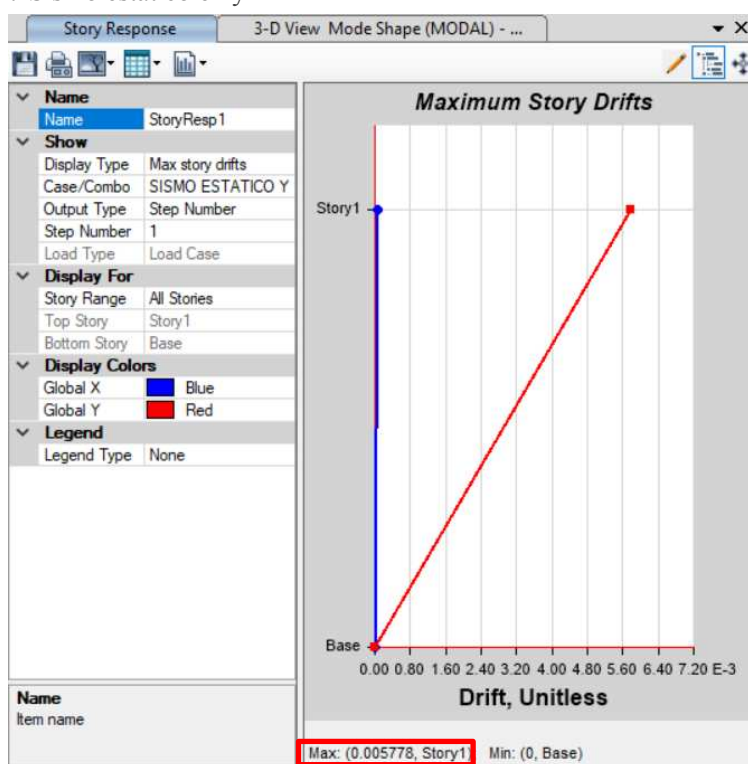


Imagen A.61. Fardos de Paja sin Revoco, Deriva Máxima para Sismo Estático en Y

$$\Delta_M = \Delta_E * R * 0.75$$

Ecuación 4. 14

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica=0.005778 (valor obtenido de la [Imagen A.61](#))

Δ_E : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R: Factor de reducción de respuesta

Deriva real inelástica:

$$\Delta_M = 0.005778 \times 1.95 \times 0.75 = 0.0084503 = 0.84 \%$$

La máxima deriva inelástica ante el análisis del sismo estático en dirección “y” presenta un valor del 0.84% y no supera el límite establecido en la norma NEC-15 (NEC-SE-DS), es decir, se encuentra por debajo del 2%, lo que implica que las dimensiones impuestas del muro portante de fardos de paja sin revoco satisfacen los estados de carga y la estructura tendrá un comportamiento adecuado.

4.5.3. Fuerzas Axiales - Fardos de Paja sin Revoco.

4.5.3.1. Sismo estático en X

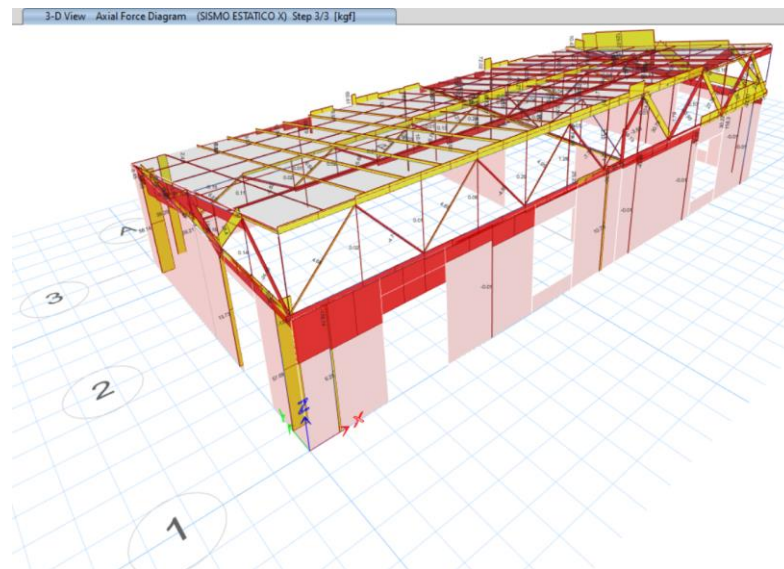


Imagen A.62. Fardos de Paja sin Revoco. Fuerzas Axiales para Sismo Estático en X

4.5.3.2. Sismo estático en Y

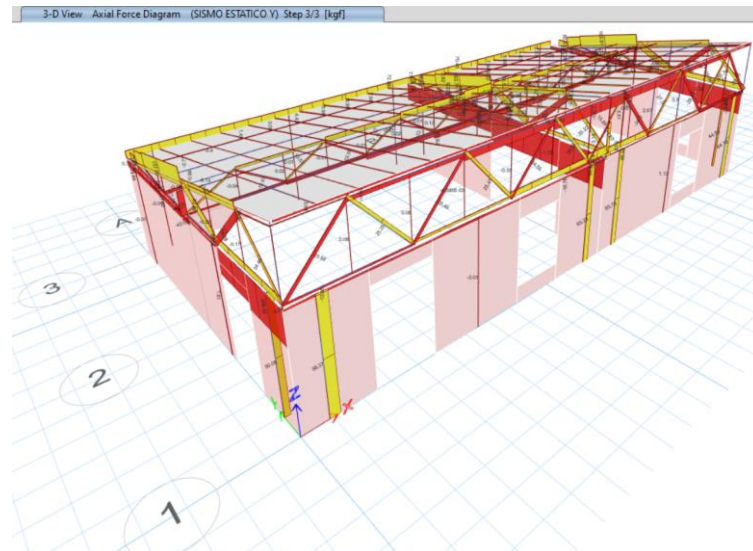


Imagen A.63. Fardos de Paja sin Revoco, Fuerzas Axiales para Sismo Estático en Y

4.5.4. Esfuerzos de Compresión (F22)- Fardos de Paja sin Revoco.

4.5.4.1. Sismo estático en X

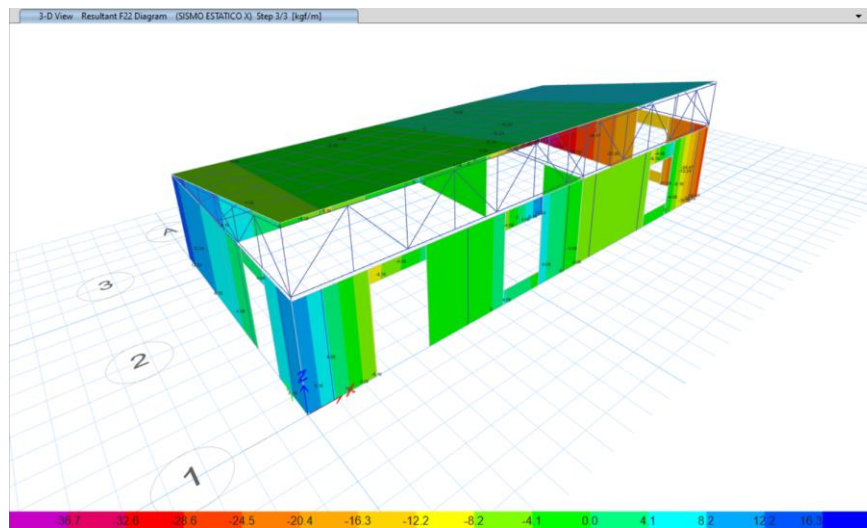


Imagen A.64. Fardos de Paja sin Revoco. Esfuerzos de Compresión (F22) para Sismo Estático en X

4.5.4.2. Sismo estático en Y

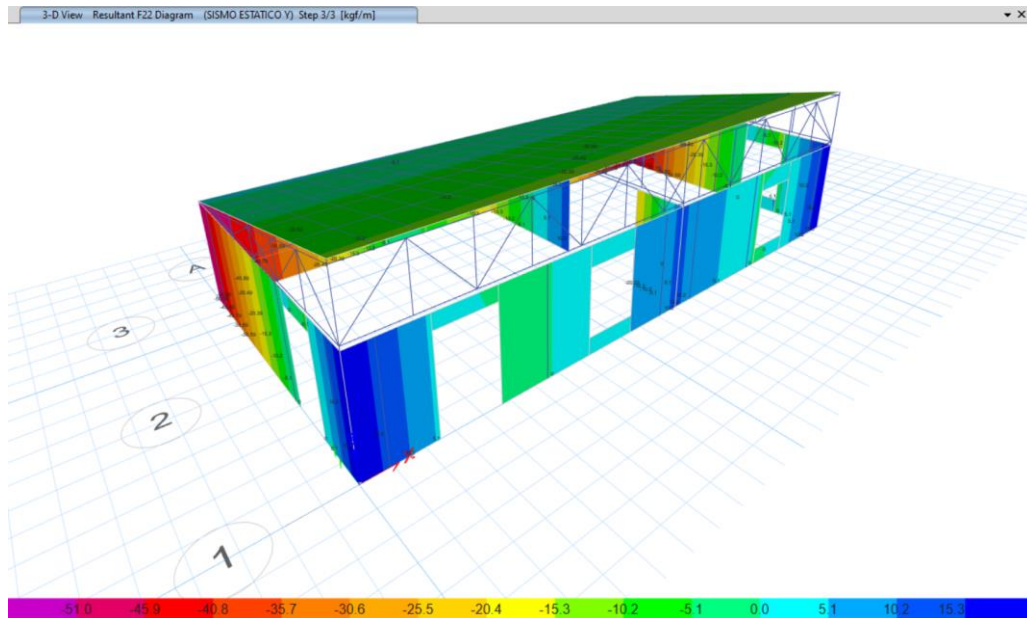


Imagen A.65. Fardos de Paja sin Revoco, Esfuerzos de Compresión (F22) para Sismo Estático en Y

4.5.5. *Períodos de vibración y Participación de masas - Fardos de Paja sin Revoco.*

A continuación, se presenta el resultado del análisis realizado por el software de diseño, en el cual se detalla el comportamiento modal de la estructura ([ver Tabla A.45](#)).

Tabla A.45 Modos de Vibración de la estructura

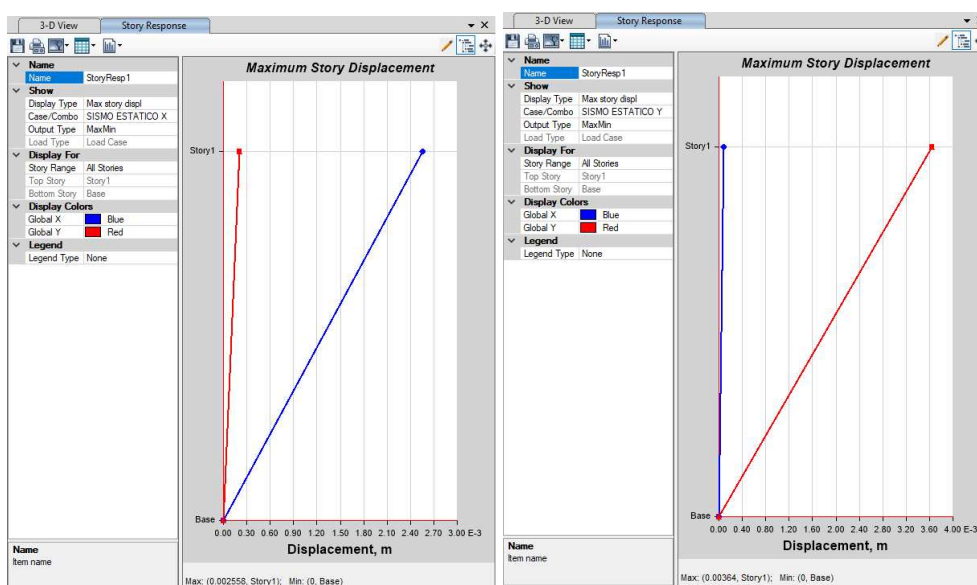
TABLE: Modal Direction Factors						
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	UZ	RZ
MODAL	1	0.284	0.001	0.998	0	0.001
MODAL	2	0.254	0.908	0.001	0	0.125
MODAL	3	0.210	0.091	0.001	0	0.874

4.6. Resultados para Modelo con Fardos de Paja con Revoco

4.6.1. Desplazamientos Máximos – Fardos de Paja con Revoco

4.6.1.1. Sismo estático en X

En la [Imagen A.66](#), se puede apreciar el desplazamiento máximo para el modelo de muros portantes con fardos de paja con la inclusión del revoco en sentido “x” y sentido “y” con valores de 0.26 cm y 0.36 cm respectivamente.



(a)

(b)

Imagen A.66. Fardos de Paja con Revoco, Desplazamiento Máximo: a) Sismo Estático en X, b) Sismo Estático en Y.

Los valores obtenidos de los desplazamientos máximos del sismo estático en las dos direcciones permitirán realizar la comprobación de derivas de piso, el cual determinará si la estructura con muros de fardos de paja con revoco cumple con los parámetros de diseño de la norma NEC-15.

4.6.2. Chequeo de derivas de piso - Fardos de Paja con Revoco

Para el chequeo de derivas de piso se consideró como límite permisible de deriva inelástica de piso a 0.02, es decir, el 2%, según NEC-SE-SD.

Para el Sismo estático en x el modelo presentó una deriva de piso de 0.18 %, mientras que para el Sismo estático en y la deriva fue de 0.25 %, cumpliendo en ambos casos con la deriva máxima del 2%. Los resultados de las derivas se presentan a continuación:

4.6.2.1. Sismo estático en X

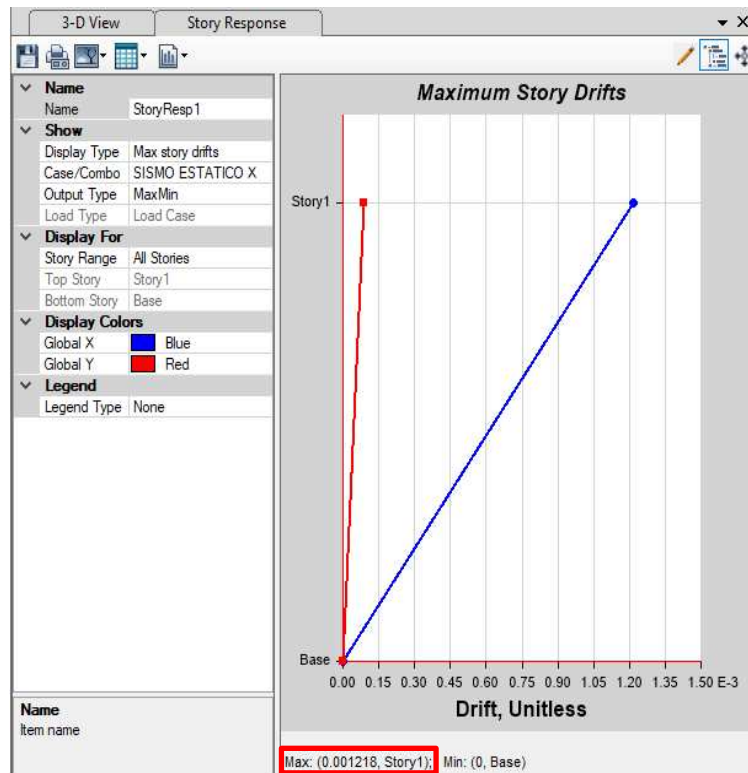


Imagen A.67. Fardos de Paja con Revoco, Deriva Máxima para Sismo Estático en X

$$\Delta_M = \Delta_E * R * 0.75$$

Ecuación 4. 15

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica=0.001218 (valor obtenido de la [Imagen A.67](#))

Δ_E : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R: Factor de reducción de respuesta

Deriva real inelástica:

$$\Delta_M = 0.001218 \times 1.95 \times 0.75 = 0.001781 = 0.18 \%$$

La máxima deriva inelástica ante el análisis del sismo estático en dirección “x” presenta un valor del 0.18% y no supera el límite establecido en la norma NEC-15 (NEC-SE-DS), es decir, se encuentra por debajo del 2%, lo que implica que las dimensiones impuestas del muro portante de fardos de paja considerando el revoco satisfacen los estados de carga y la estructura tendrá un comportamiento adecuado.

4.6.2.2. Sismo estático en y

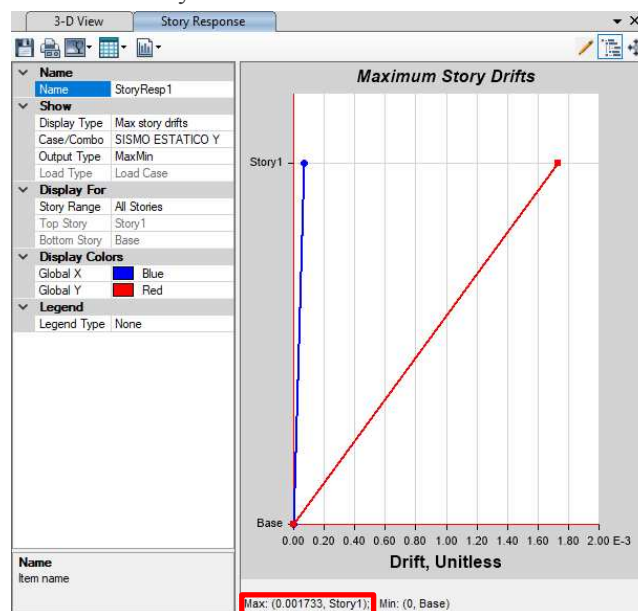


Imagen A.68. Fardos de Paja con Revoco. Deriva Máxima para Sismo Estático en Y

$$\Delta_M = \Delta_E * R * 0.75 \quad \text{Ecuación 4.16}$$

Donde:

Δ_M : Deriva máxima inelástica=0.001733 (valor obtenido de la [Imagen A.68](#))

Δ_E : Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas

R: Factor de reducción de respuesta

Deriva real inelástica:

$$\Delta_M = 0.001733 \times 1.95 \times 0.75 = 0.002534 = 0.25 \%$$

La máxima deriva inelástica ante el análisis del sismo estático en dirección “y” presenta un valor del 0.25% y no supera el límite establecido en la norma NEC-15 (NEC-SE-DS), es decir, se encuentra por debajo del 2%, lo que implica que las dimensiones impuestas del muro portante de fardos de paja considerando el revoco satisfacen los estados de carga y la estructura tendrá un comportamiento adecuado.

4.6.3. Fuerzas Axiales - Fardos de Paja con Revoco.

4.6.3.1. Sismo estático en X

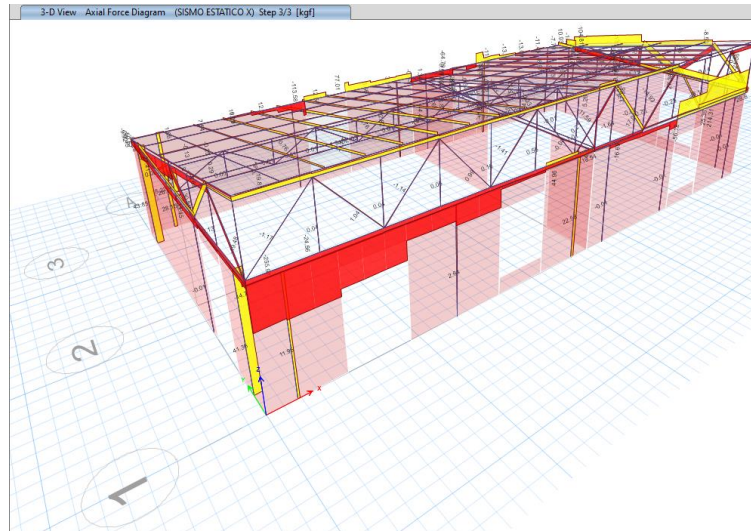


Imagen A.69. Fardos de Paja con Revoco, Fuerzas Axiales para Sismo Estático en X

4.6.3.2. Sismo estático en Y

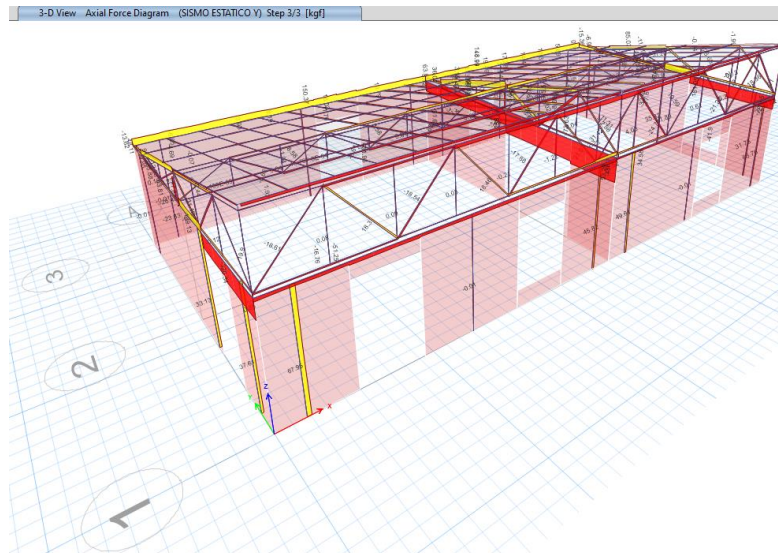


Imagen A.70. Fardos de Paja con Revoco, Fuerzas Axiales para Sismo Estático en Y

4.6.4. Esfuerzos de Compresión (F22) - Fardos de Paja con Revoco.

4.6.4.1. Sismo estático en X

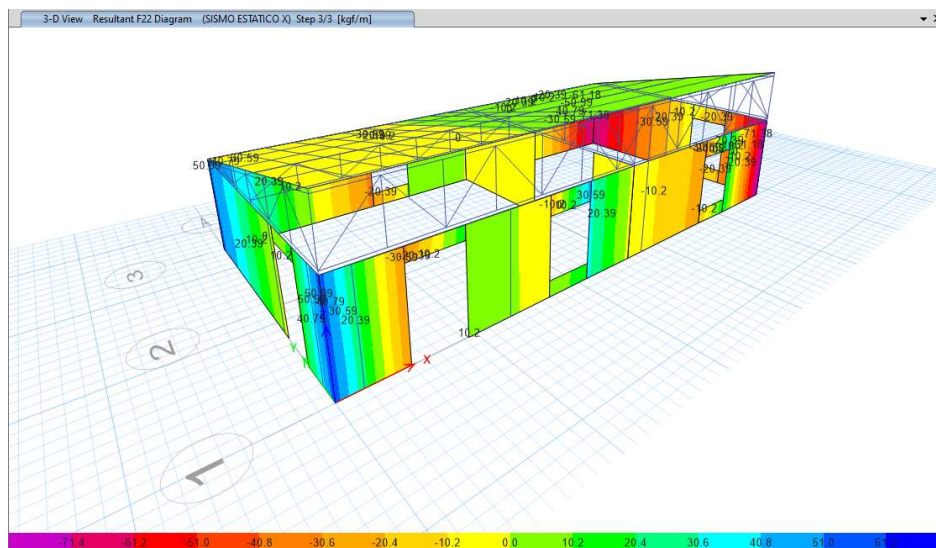


Imagen A.71. Fardos de Paja con Revoco. Esfuerzos de Compresión (F22) para Sismo Estático en X

4.6.4.2. Sismo estático en Y

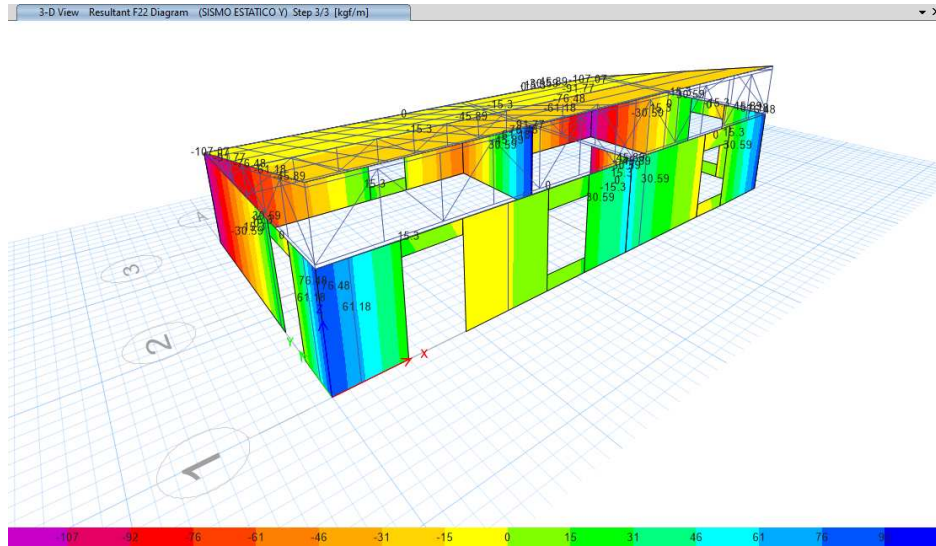


Imagen A.72. Fardos de Paja con Revoco, Esfuerzos de Compresión (F22) para Sismo Estático en Y

4.6.5. Períodos de vibración y Participación de masas - Fardos de Paja con Revoco.

A continuación, se presenta el resultado del análisis realizado por el software de diseño, en el cual se detalla el comportamiento modal de la estructura ([ver Tabla A.46](#)).

Tabla A.46 Modos de Vibración de la estructura

TABLE: Modal Direction Factors						
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	UZ	RZ
MODAL	1	0.148	0	0.998	0	0.032
MODAL	2	0.129	0.834	0.001	0	0.196
MODAL	3	0.115	0.166	0.001	0	0.772

5. Referencias Bibliográficas

- Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación-COSUDE. (2017). *Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada. Guía para la formación técnica en construcción sismo-resistente de edificaciones de uno a dos pisos*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Escuela Politécnica Nacional. Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación COSUDE.
- Aguirre. D. (2021). *Determinación del módulo de elasticidad de fardos de paja. para definir su comportamiento estructural como material de construcción alternativo*. Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Quito. Recuperado el 17 agosto del 2022 de <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/24057>
- Junta del Acuerdo de Cartagena. (1984). *Manual de Diseño para Maderas del Grupo Andino*. Lima.
- King. B. (1998). *Straw Bale Construction*. California.
- Maraldi. M., Molari. L., Molari. G., & Regazzi. N. (2018 de mayo de 2018). Time-dependent mechanical properties of straw bales for use in construction. *Byosistem Engineering*, 75-83. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.05.014>
- NEC-15. (Diciembre de 2014). NEC-SE-MP (Mampostería Estructural). 28. Quito. Ecuador: Dirección de comunicación Social. MIDUVI. Obtenido de Recuperado el 1 septiembre del 2022 de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-DS.pdf>
- NEC-SE-CG-15. (diciembre de 2014). NEC-SE-CG (Cargas no sísmicas). Quito. Ecuador: Dirección de comunicación Social. MIDUVI.
- NEC-SE-DS. (2014). *Norma Ecuatoriana de la Construcción. Cargas Sísmicas. Diseño Sismo Resistente*.

NEC-SE-VIVIENDA. (diciembre de 2014). Viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. Ecuador. Recuperado el 2 octubre del 2022 de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/NEC-SE-VIVIENDA-parte-1.pdf>

Universidad del Azuay. (2018). *Catálogo de Madera Estructural Ecuador*. Cuenca. Ecuador.

Vinueza. M. (22 de octubre de 2012). *Ecuador Forestal*. Obtenido de Ecuador Forestal: Recuperado el 5 noviembre del 2022 de <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-10-eucalipto/>

Anexo 2: Estudio Presupuestario de la vivienda propuesta

7.2.1. INTRODUCCIÓN

Según el artículo 30 de la Constitución de la República del Ecuador, los ciudadanos tienen derecho a una vivienda adecuada y digna, sin importar su situación social o económica. El artículo 375 especifica que se debe dar prioridad a personas de escasos recursos económicos y a mujeres jefas de hogar para acceder a programas de financiamiento para viviendas de interés social, (CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR, 2008)

El “REGLAMENTO QUE REGULA EL ACCESO A LOS SUBSIDIOS E INCENTIVOS PARA VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL Y VIVIENDA DE INTERÉS PÚBLICO” emitido por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), registra dos segmentos poblacionales con posibilidad de acceder a crédito para una vivienda de interés social. El primer segmento consta de ciudadanos cuya única posesión sea el terreno sobre el cual desea construir, en este caso el Estado Ecuatoriano financiará la vivienda hasta un valor de 44 Salarios Básicos Unificados (SBU). Al año 2022, el SBU es de 425 dólares americanos USD, dando un total de 18700USD, (ACUERDO Nro, MIDUVI-MIDUVI-2022-0011-A , 2022)

El segundo segmento consta de ciudadanos sin posiciones muebles o inmuebles, en este caso la vivienda se construirá en un terreno propiedad del Estado, se financiará hasta 64

SBU (27200 dólares americanos). (ACUERDO Nro, MIDUVI-MIDUVI-2022-0011-A , 2022)

Con estos antecedentes la finalidad de este capítulo es determinar si el costo de la vivienda tipo que se ha propuesto y que está realizada con fardos de paja calificaría como vivienda de interés social de acuerdo con los parámetros mencionados. Para ello se realizó el estudio presupuestario a partir de un análisis de costos unitarios, este análisis requiere que se determine el rendimiento que es un indicador de la cantidad de rubro o actividad, que un obrero o una cuadrilla de obreros, ejecutan en un determinado tiempo (Calero,2015)

Según la configuración de la vivienda tipo, los cimientos son de hormigón ciclópeo y hormigón armado) [Ver anexo 1, apartado 2](#). Por lo que, los rendimientos de esta etapa constructiva y obras preliminares se obtuvieron de boletines emitidos por empresas constructoras especializadas. (Urdiales y Pazmiño, 2020)

Dado que no existe en la bibliografía datos de rendimientos en la construcción con fardos de paja, se realizaron mediciones propias de tiempos de ejecución de obra (rendimientos), específicamente de las actividades relacionadas con el levantamiento de los muros portantes de fardos de paja en las obras que se realizaron en Ecuador ver [capítulo 6](#). A continuación, en la [tabla A.47](#), se presentan los resultados de los rendimientos medidos:

Tabla A.47 Rendimientos tomados en construcciones con fardos de paja

RENDIMIENTOS	
MUROS DE FARDOS DE PAJA	0.60
TABIQUERÍA QUINCHA SECA CON PALETS	1.65
RASURADO DE MUROS DE FARDOS DE PAJA	0.07
COLOCACIÓN DE YUTE	0.07
REVOCO CAPA 1	0.47
REVOCO CAPA 2	1.50
REVOCO CAPA 3	0.53

También se ha utilizado el salario básico unificado para cada estructura ocupacional de acuerdo con el registro de la Contraloría General del Estado de Ecuador al año 2022. Y los precios de materiales actualizados al mes de noviembre del año 2022.(Reajuste de Salarios Mínimos Por La Ley, 2022)

Según el estudio presupuestario realizado la vivienda prototipo de fardos de paja se considerada financieramente “vivienda de interés social” para el primer y segundo segmento poblacional, ya que el costo total de construcción y acabados se encuentra por debajo de \$18700. Lo que quiere decir que se podría acceder a un subsidio por parte del estado para su construcción. Además, el costo por metro cuadrado (322 dólares) está por debajo de los costos por m² de construcciones con hormigón (El costo por metro cuadrado de viviendas con acabados medios-económicos es de 400.88 USD/m²) (CAMICON, 2022).

7.2.2. Resultados

Tabla A.48 Estudio presupuestario de casa tipo

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS DE COMPONENTES ESTRUCTURALES Y COMPONENTES COMPLEMENTARIOS DE CONSTRUCCIONES EN SISTEMA NEBRASKA					
PRESUPUESTO GENERAL DE OBRA, ACTUALIZADO NOVIEMBRE 2022					
PROYECTO: HUASI TAMO					
LOCALIZACIÓN: - OTAVALO PROVINCIA DE IMBABURA					
FECHA DE CONSTRUCCIÓN: NOVIEMBRE 2020					
FECHA DE ANALISIS Y APORTE: NOVIEMBRE 2022					
AREA m ² :	81.50		INDICE CONSTRUCCIÓN		222.31
ITEM	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
B	EXCAVACION Y RELLENO				
B.1	EXCAVACIÓN MANUAL EN CIMIENTOS Y PLINTOS	m ³	17.00	15.46	262.82
B.2	RELLENO COMPACTADO CON SUELO NATURAL	m ³	17.00	6.86	116.62
	SUBTOTAL 2				379.44

Estudio Presupuestario (Continuación tabla página anterior)

ITEM	CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO FINAL
C	CIMENTACIÓN				
C1	HORMIGÓN CICLOPEO 60% H.S Y 40% PIEDRA F'C= 210 kg/cm ²	m ³	10.45	100.29	1048.03
C2	SOBRECIMIENTO DE HORMIGÓN ARMADO CON COFRE DE BLOQUE DE CONCRETO	m	38.00	136.61	5191.18
C3	HORMIGÓN SIMPLE LOSA DE 10 cm. F'C= 210 kg/cm ² . NO INC. ENCOFRADO	m ³	9.00	148.46	1336.14
C4	MALLA ELECTROSOLDADA DE 5 mm CADA 10 cm (MALLA R-196)	m ²	81.25	6.00	487.50
	SUBTOTAL 3				7575.35
D	MUROS Y PAREDES				
D1	ESCALERILLAS DE MADERA Y TABLERO CONTRACHAPADO DE MADERA (TRIPLEX e=12mm) CON 2 TAPAS PARA VIGA COLLA R SUPERIOR	m	38.00	16.00	608.00
D2	MURO PORTANTE DE FARDOS DE PAJA	m ²	79.80	13.00	1037.40
D3	QUINCHA SECA	m ²	13.65	17.00	232.05
D4	RASURADO DE MUROS DE FARDOS DE PAJA	m ²	79.80	3.00	239.40
D5	YUTE	m	97.00	2.00	194.00
	SUBTOTAL 4				1877.45
E	ESTRUCTURA MADERA				
E1	CERCHA FRONTAL DE MADERA	u	1.00	329.00	329.00
E2	CERCHA LATERAL	u	3.00	123.00	369.00
E3	CERCHA MEDIA	u	1.00	154.00	154.00
E4	ESTRUCTURA CUBIERTA	u	1.00	1536.00	1536.00
	SUBTOTAL 5				2388.00
F	CUBIERTA				
F1	TABLERO CONTRACHAPADO DE MADERA (TRIPLEX e=12mm)	m ²	81.25	7.00	568.75
F2	TOTAL. MANUAL PAJA+CAL (AISLACIÓN TERMICA TECHO)	m ³	1.00	87.00	87.00
F3	CUBIERTA DURATECHO	m ²	81.25	35.12	2853.50
	SUBTOTAL 6				3509.25
G	REVOQUES				
G1	CAPA 1	m ³	3.65	4.01	14.64
G2	CAPA 2	m ³	4.56	12.80	58.37
G3	CAPA 3	m ³	1.85	17.00	31.45
	SUBTOTAL 7				104.45
H	CARPINTERIAS (PUERTAS Y VENTANAS)				
H1	COLOCACIÓN DE PUERTAS	u	4.00	35.00	140.00
H2	COLOCACIÓN DE VENTANAS	u	5.00	10.00	50.00
	SUBTOTAL 8				190.00
I	INSTALACIONES HIDROSANITARIAS				
	SUBTOTAL 9				1148.92
J	INSTALACIONES ELECTRICAS				
	SUBTOTAL 10				945.41
COSTO TOTAL			18118.27		

Como se aprecia en la tabla antes mostrada el costo total de la vivienda es de 18118.27 dólares americanos, de los cuales las obras previas representan el 2.09%. La estructura el 55.04%. Albañilería (referida a muros y su revoco) 10.86%. Carpintería 20.44%, instalaciones hidrosanitarias 6.34% e instalaciones eléctricas 5.22%.

Referencias Bibliográficas

Constitución de la República del Ecuador [CRE] (2008). Constitución de la República del Ecuador. Asamblea Nacional. Registro Oficial 449.

ACUERDO Nro. MIDUVI-MIDUVI-2022-0011-A (2022). MIDUVI. Obtenido de Recuperado el 7 agosto del 2022 de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2022/06/MIDUVI-MIDUVI-2022-0011-A-.pdf>

Calero, R. (2015). *Comparación de los métodos A.P.U. y Costeo ABC para el análisis de precios unitarios en la construcción*. Recuperado el 20 septiembre del 2022 de <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9718/COMPARACI%C3%93N%20DE%20LOS%20M%C3%89TODOS%20A.P.U.%20Y%20COSTEO%20ABC%20PARA%20EL%20AN%C3%81LISIS%20DE%20PRECIOS%20UNITARIOS%20EN%20LA%20CONSTRUCCI%C3%93N.pdf?sequence=1>

CAMICON. (2022). Vivienda Tipo con Acabados Medios - Económico. Revista Construcción. N° 275. pg121.

Anexo 3: Manual de construcción con fardos de paja

Con la finalidad de trasladar a la comunidad rural ecuatoriana la tecnología constructiva de viviendas con fardos de paja de forma clara y sencilla; tal que sea de fácil entendimiento para todos, se realizó el presente manual. Se espera que el mencionado documento sea el sustento técnico que determine que la construcción de las casas se haga de forma adecuada tal que sean edificaciones seguras y durables.

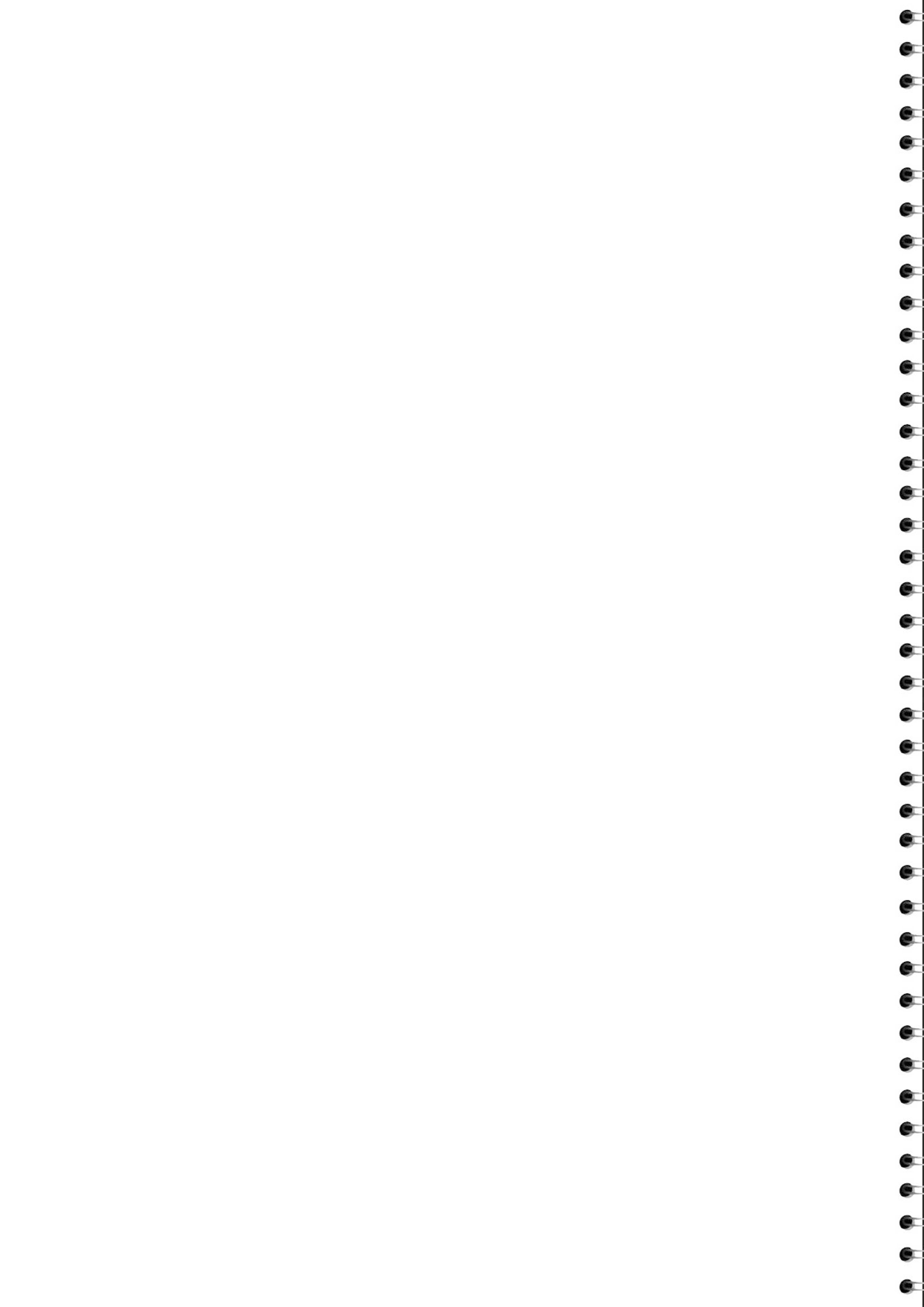


MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON FARDOS DE PAJA

**Viviendas
sismorresistentes
y energéticamente
eficientes**



Luisa Paulina Viera Arroba



MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS SISMORESISTENTES Y ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES CON FARDOS DE PAJA

Versión Imprimible

INVESTIGADOR PRINCIPAL
Luisa Paulina Viera Arroba

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Tanya Loza

DIBUJO TÉCNICO Y ARTÍSTICO
Kléber Garzón, Tanya Loza



CONTENIDO

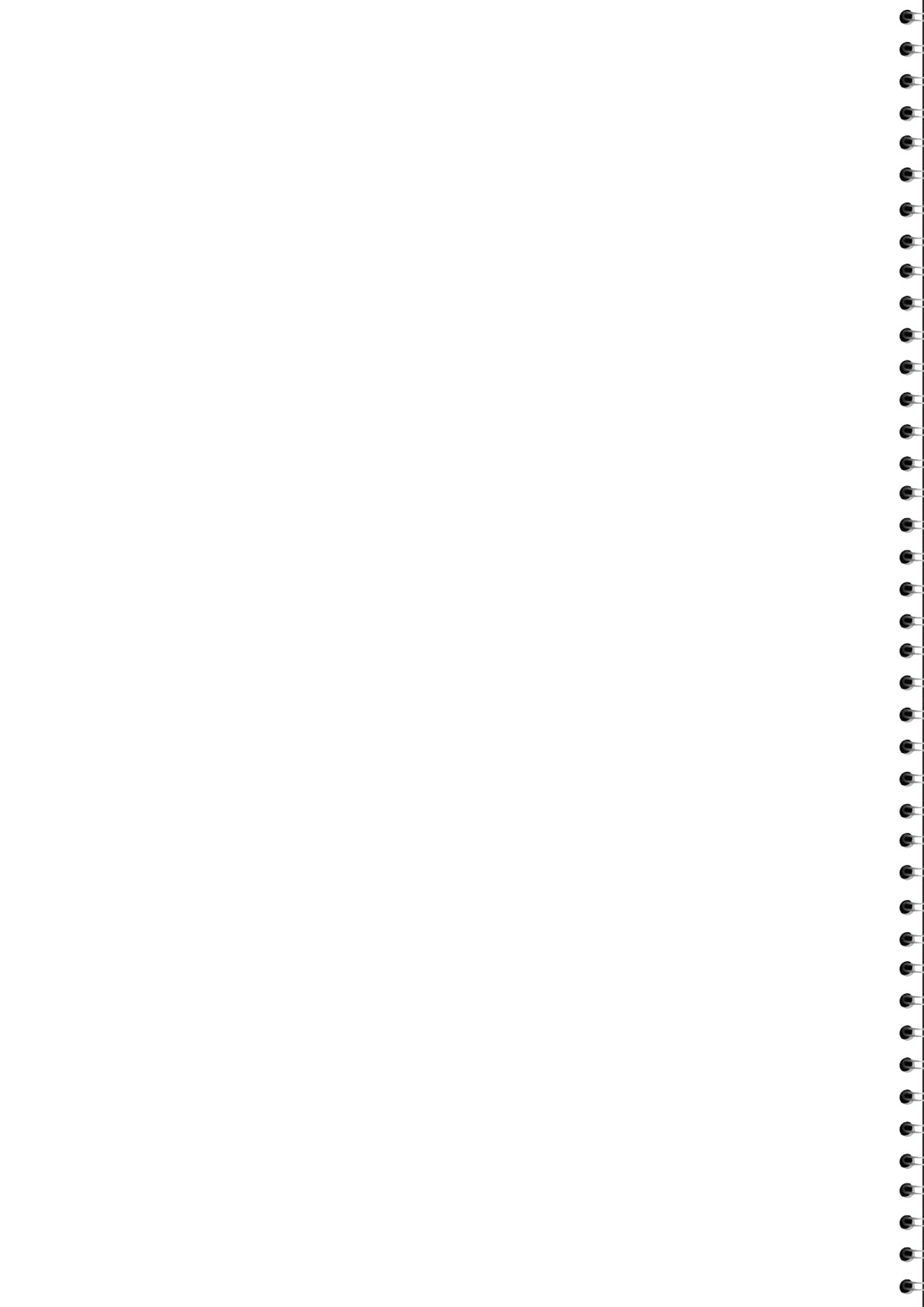
PRESENTACIÓN	07
CAPÍTULO 1: EL MATERIAL	09
CARACTERÍSTICAS DE LA PAJA O TAMO, QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA ANTES DE ENFARDAR	10
PASOS PARA ENFARDAR	12
CARACTERÍSTICAS DE LOS FARDOS QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA ANTES DE CONSTRUIR	16
1. TAMAÑO DEL FARDO	16
2. LA FORMA DEL FARDO	16
3. LA HUMEDAD DEL FARDO	18
4. LA DENSIDAD DEL FARDO	19
¿CÓMO CORTAR UN FARDO DE PAJA?	20
CAPÍTULO 2: LA VIVIENDA	23
VIVIENDA DE MUROS PORTANTES DE FARDOS DE PAJA, SISMORESISTENTES Y ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES	24
EL TERRENO PARA CONSTRUIR TU VIVIENDA	25
UNA VIVIENDA SISMORRESISTENTE	26
CAPÍTULO 3: PROCESO CONSTRUCTIVO	33
HERRAMIENTAS QUE SE REQUIEREN PARA LA CONSTRUCCIÓN	34
CAPÍTULO 3: PROCESO CONSTRUCTIVO	35
CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN	39
LEVANTAMIENTO DE PAREDES	48
REVOCO	60
CONSTRUCCIÓN DEL TECHO	70
INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS	74
BIBLIOGRAFÍA	75
PLANOS DE VIVIENDA	76
PLANOS ENFARDADORA	80



PRESENTACIÓN

El Ecuador es un país con tradición agrícola, donde existen por ejemplo cultivos de trigo, cebada, arroz. Como producto del cultivo de estos cereales, queda un desecho agroindustrial, conocido como paja o tamo. Esta paja se recoje del campo y se comprime mediante máquinas, formando fardos rectangulares. Los fardos o balas de paja pueden ser utilizados como material de construcción. Este Manual enseña cómo construir una casa energéticamente eficiente y sismoresistente, utilizando fardos como estructura portante (Técnica Nebraska). Los procedimientos que se muestran se basan en recomendaciones de la normativa nacional e internacional, publicaciones sobre este tema y experiencia de construcción de una casa prototipo en Ecuador.

La construcción con fardos de paja es intensiva en mano de obra, por lo que es propicia para el trabajo colaborativo, que en el Ecuador se llama minga. La minga es una costumbre en comunidades de la zona rural del Ecuador, por lo que este Manual está dirigido principalmente a estas personas, quienes podrán aprender paso a paso como construir sus casas con fardos de paja.

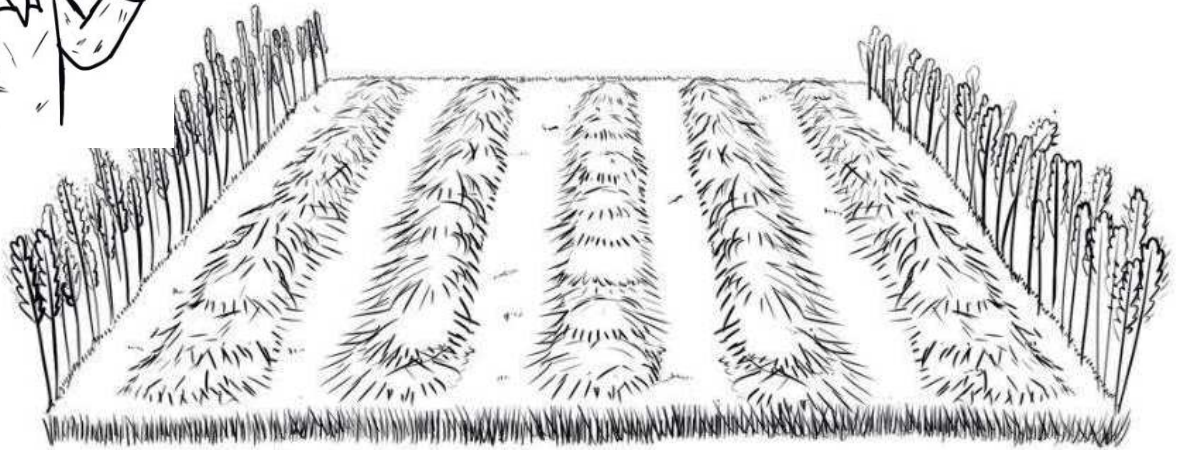


CAPÍTULO 1: EL MATERIAL

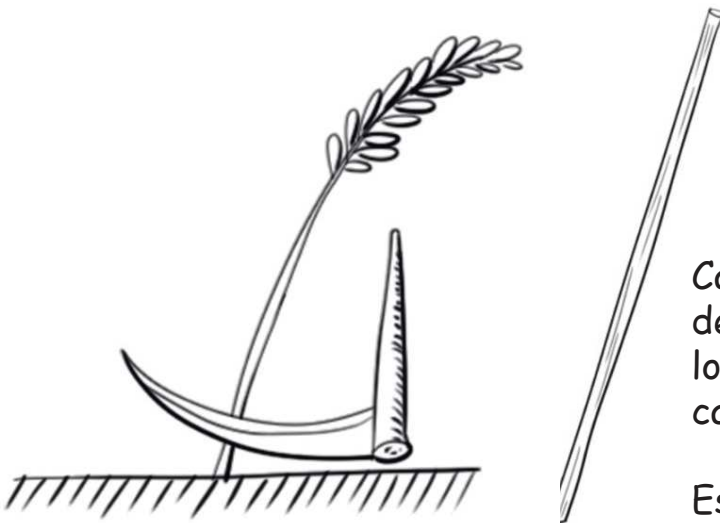
CARACTERÍSTICAS DE LA PAJA O TAMO, QUE SE DEBEN TENER EN CUENTA ANTES DE ENFARDAR



Luego de la cosecha del trigo o la cebada, antes de recoger la paja que queda en el campo, hay que asegurarnos de que la paja esté muy seca.



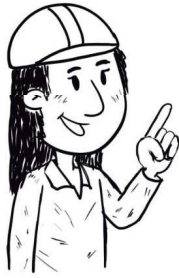
Una forma de comprobar si la paja está lista para recogerla es doblar y estirar individualmente algunos tallos. Se debe evitar la paja quebradiza o que presente manchas oscuras.



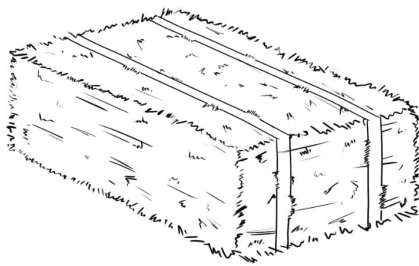
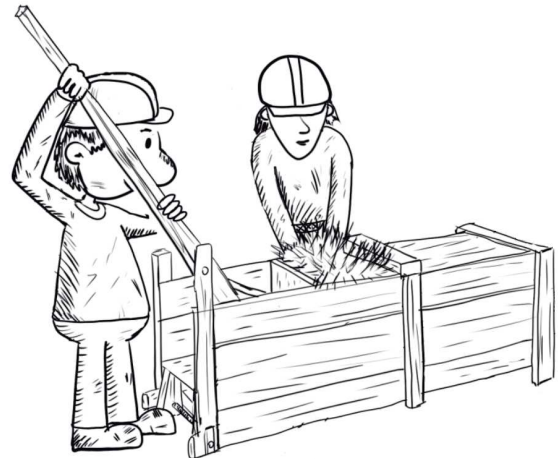
Cada tallo de paja debe estar libre de granos de cereal, esto evita que los roedores sean atraídos a nuestra casa.

Es recomendable que los tallos de paja midan por lo menos 15 centímetros de longitud, esto facilita el enfardado.

Antes de realizar los fardos nos debemos asegurar que la paja esté libre de hierbas verdes, ya que son propensas a la pudrición y esto puede afectar a nuestros fardos.

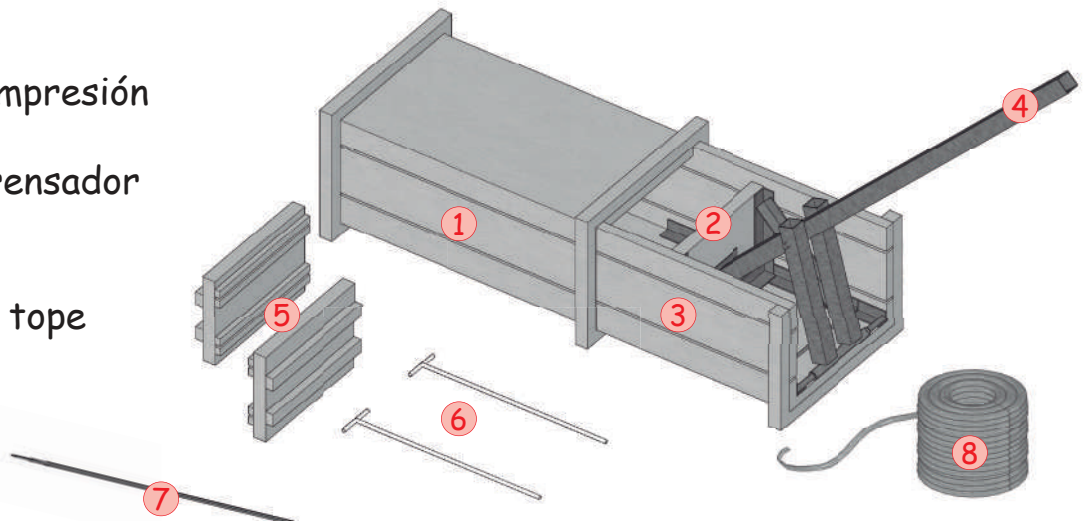


Luego la paja se levanta del campo y se comprime en bloques prismáticos llamados fardos, pacas o balas. Estos se pueden hacer con una enfardadora manual, construida por ejemplo con madera.



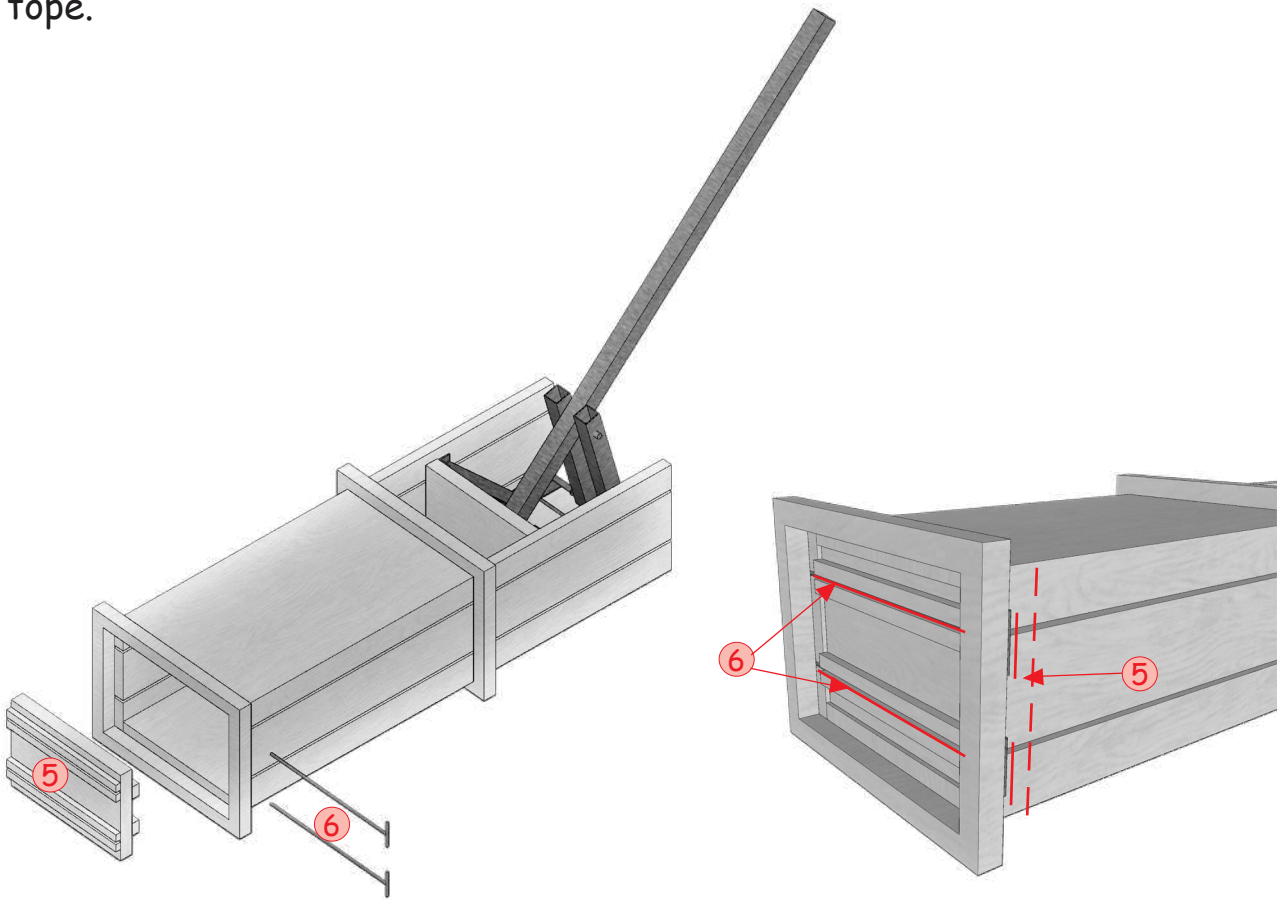
La enfardadora manual es una prensa que consta de las siguientes partes:

- 1 Caja de compresión
- 2 Prensador
- 3 Caja del prensador
- 4 Palanca
- 5 Tapas
- 6 Varillas de tope
- 7 Agujas
- 8 Cordeles

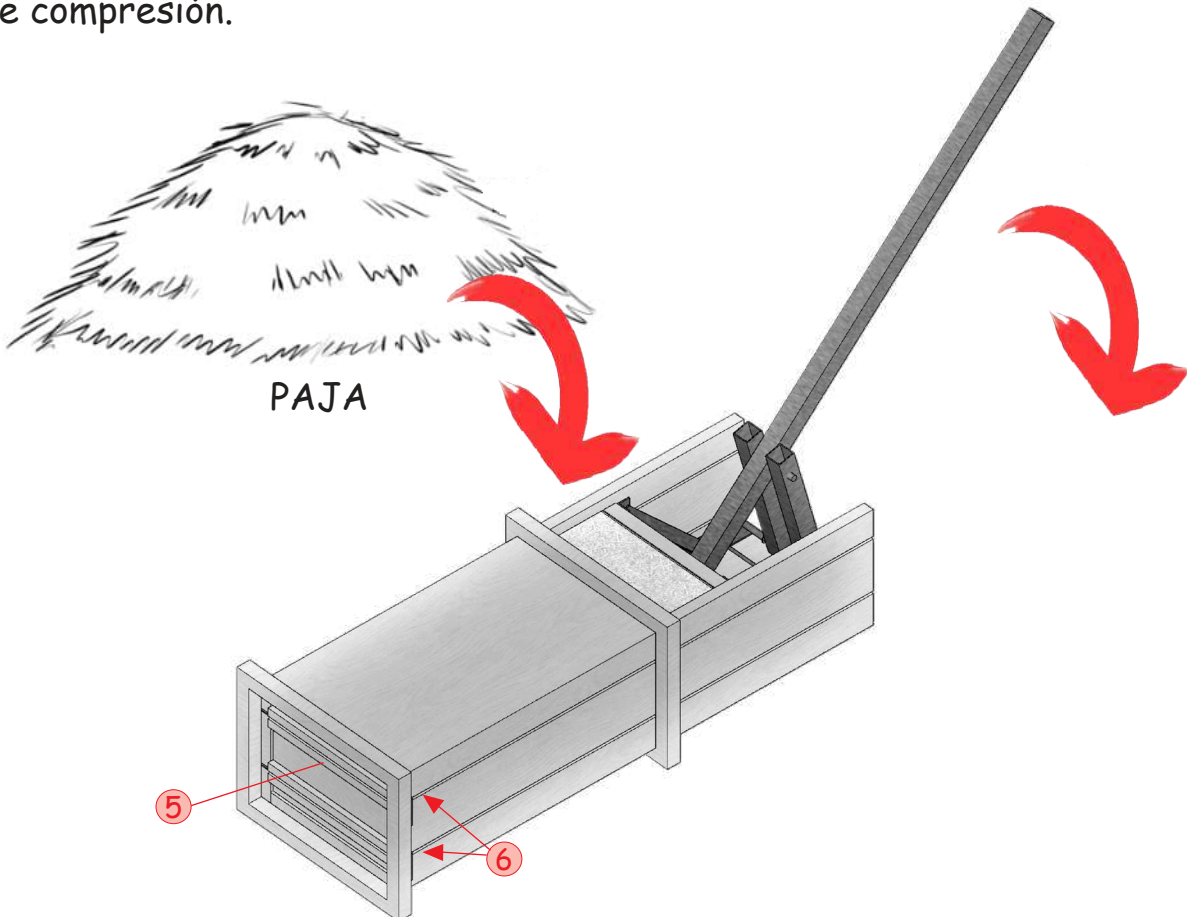


PASOS PARA ENFARDAR

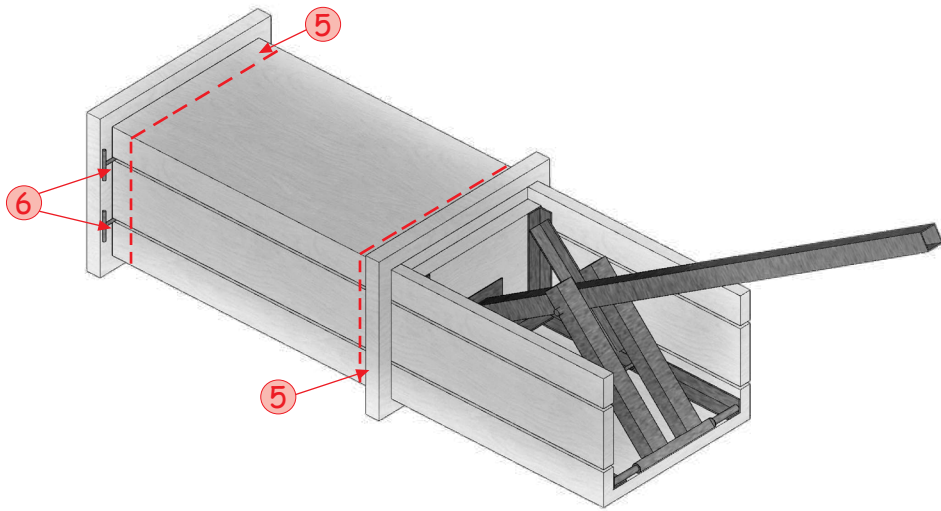
1. Colocar una tapa dentro de la caja de compresión y colocar las dos varillas de tope.



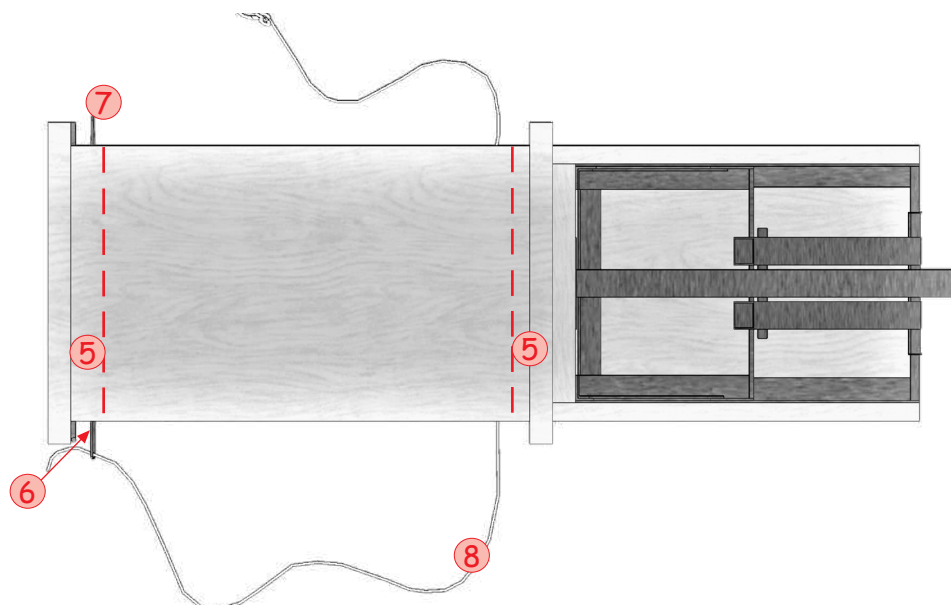
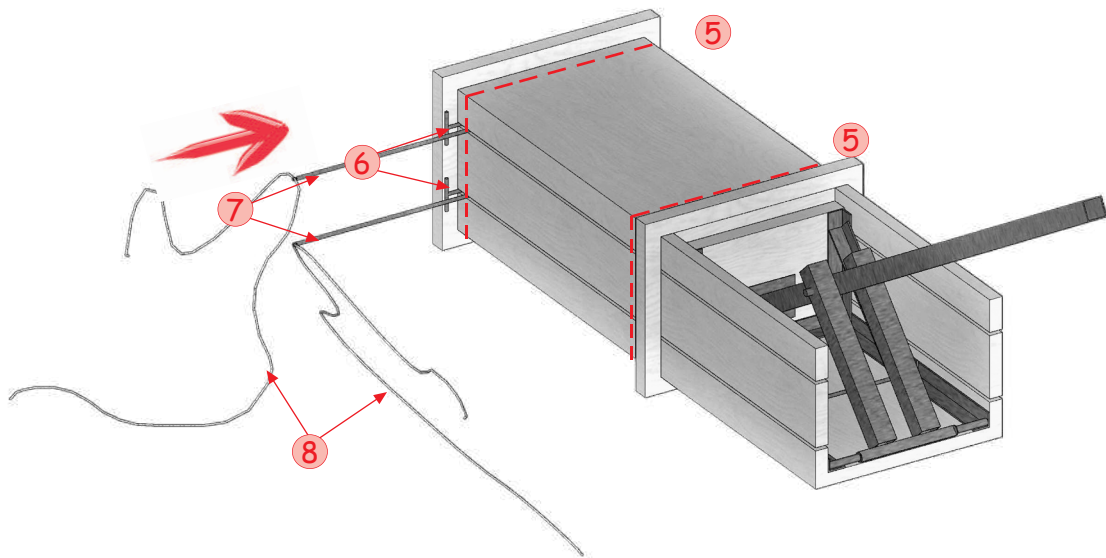
2. Colocar suficiente cantidad de paja en la caja del prensador y comprimir con la palanca. Repetir esta acción hasta que ya no quepa más paja en la caja de compresión.



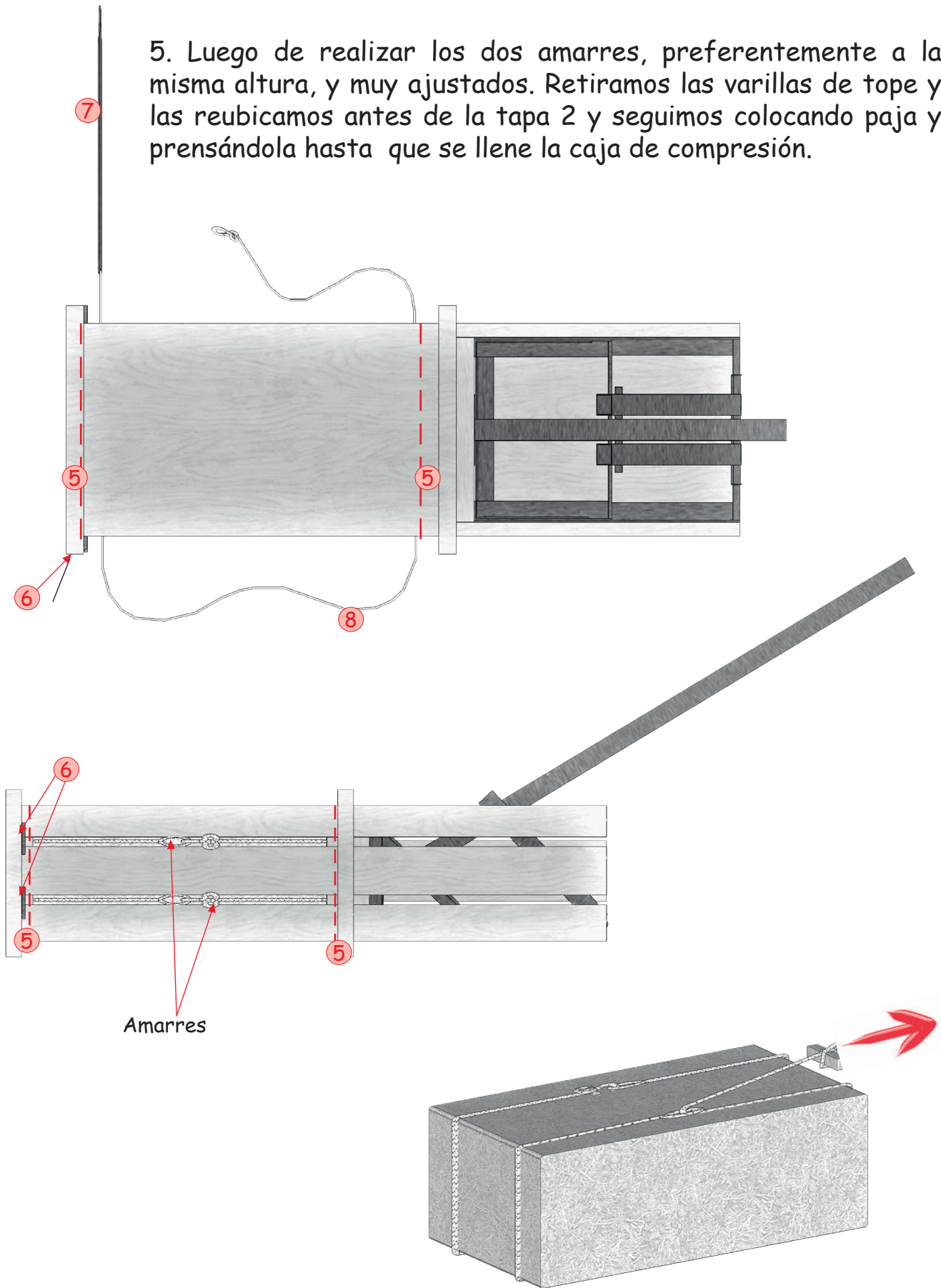
3. Colocar la segunda tapa en la enfardadora y empujarla para que el fardo quede confinado. Se puede asegurar a la segunda tapa con una madera, que ubica en la parte baja de la caja del prensador.



4. Amarrar el fardo muy fuertemente con cordeles plásticos.



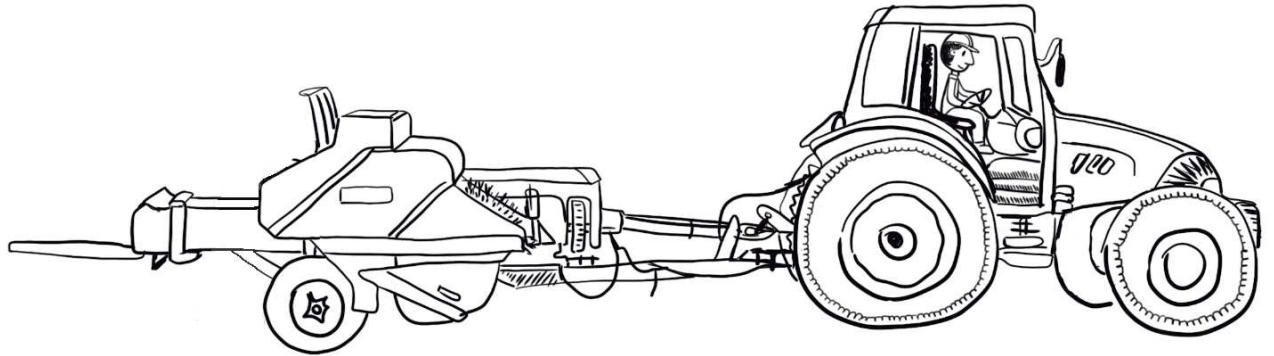
5. Luego de realizar los dos amarres, preferentemente a la misma altura, y muy ajustados. Retiramos las varillas de tope y las reubicamos antes de la tapa 2 y seguimos colocando paja y prensándola hasta que se llene la caja de compresión.



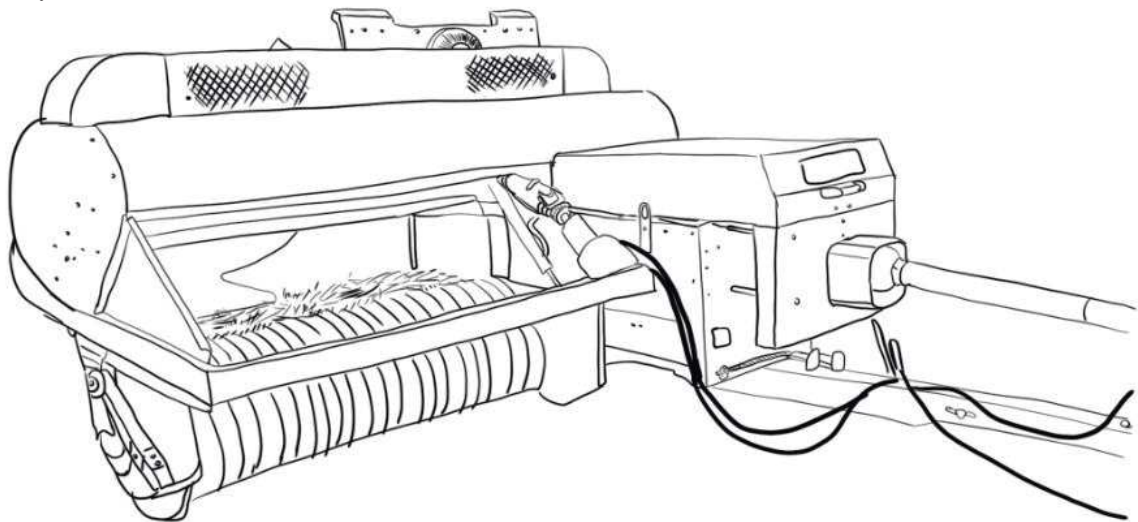
Los planos de la enfardadora se encuentran al final de este manual. Para realizar una casa como la que se indica más adelante (79 metros cuadrados) se necesitan aproximadamente 450 fardos.

También se puede utilizar una enfardadora mecánica. El trabajo se realiza más rápido, pero el terreno debe ser lo suficientemente plano y accesible para que pueda entrar un tractor.

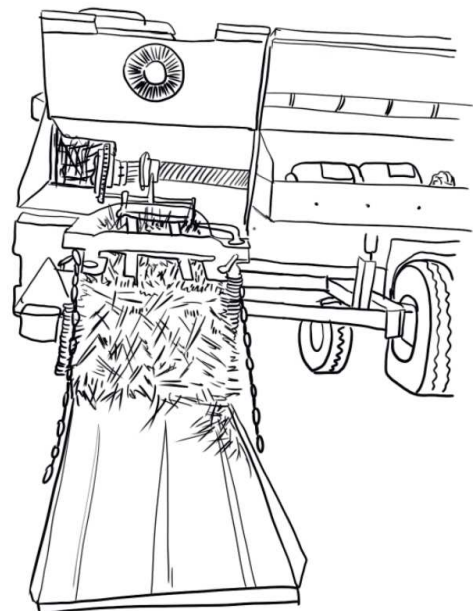
La embaladora mecánica convencional se acopla al tractor. Dispone de un sistema de recogida que está constituido por un cilindro con una serie de "dedos" metálicos flexibles que recogen la paja del campo para hacerlos pasar por unos dispositivos de alimentación y, finalmente, al canal de compresión.



La compactación de la paja se realiza mediante un pistón y el tamaño del fardo se regula mediante unas deslizaderas que pueden apretarse más o menos.

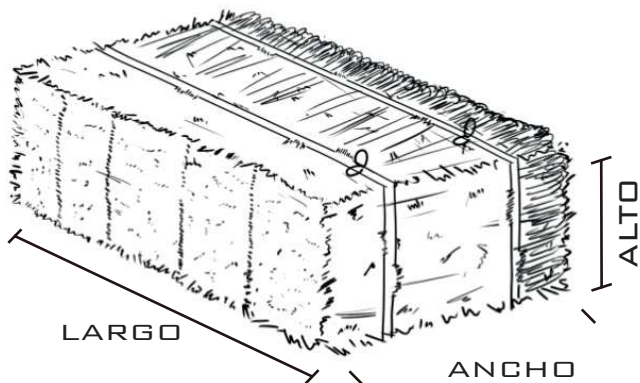


Cuando la paja recogida ha adquirido la forma de un fardo, se procede a su atado mediante un sistema dispuesto para ello. En algunas máquinas se puede regular este sistema para disponer fardos con longitudes comprendidas entre 50 y 130 centímetros.



CARACTERÍSTICAS DE LOS FARDOS QUE SE DEBEN TOMAR EN CUENTA ANTES DE CONSTRUIR

1. TAMAÑO DEL FARDO



LA ALTURA del fardo se recomienda que debe estar entre los 35 y 41 centímetros. Como mínimo, la altura debe ser de 30,5 centímetros.

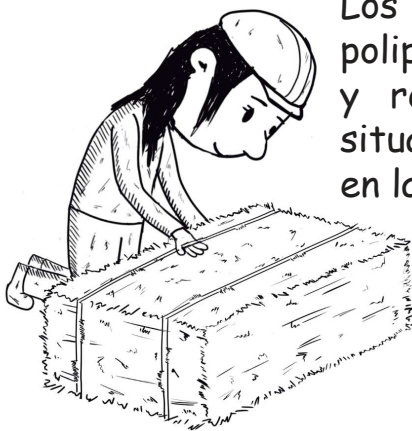
EL ANCHO, debe estar entre 40 y 50 centímetros.

EL LARGO, debe estar entre 85 y 115 centímetros.

La proporción ideal sería el doble de largo que de ancho.



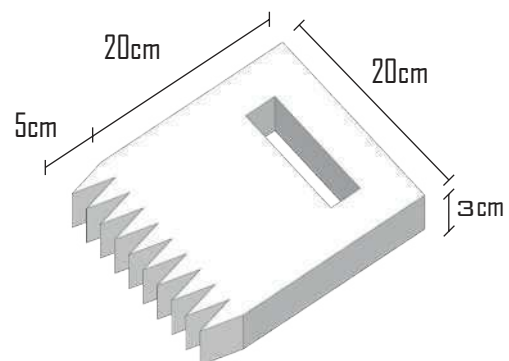
2. LA FORMA DEL FARDO



Los cordeles preferiblemente deben ser de polipropileno (plásticos) por ser elásticos y resistentes. Los nudos siempre están situados paralelamente a la misma altura y en la misma cara.

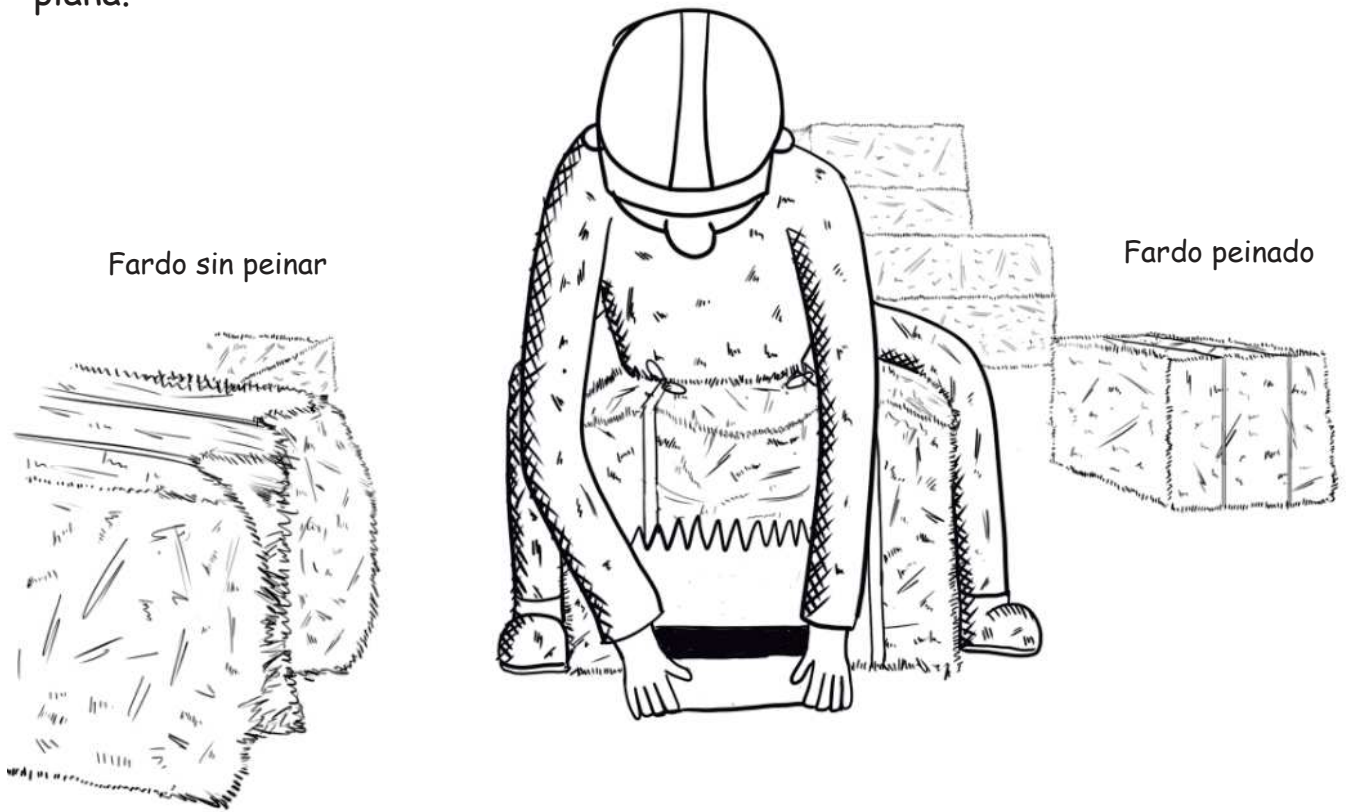
Para aprovechar los fardos que tienen abultamientos en sus caras laterales, se los puede "peinar" para que adquieran una forma más regular.

Para peinar el fardo se puede fabricar una peinilla de fardos, utilizando una pieza de madera lo suficientemente fuerte.



PEINILLA DE FARDOS

"Peinar el fardo" consiste en acomodar la paja, jalándola con la peinilla de fardos hacia arriba o hacia abajo, hasta lograr que la cara del fardo quede plana.

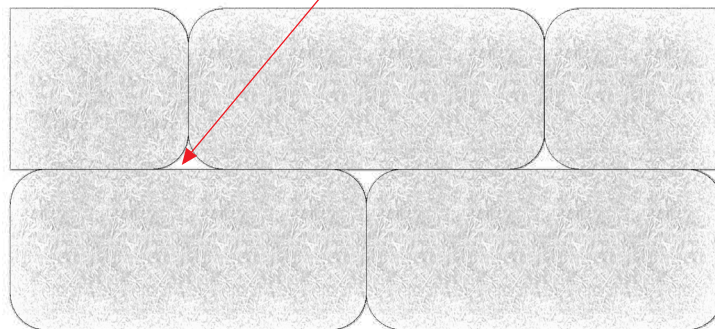


Peinar los fardos es muy útil para evitar huecos en los muros

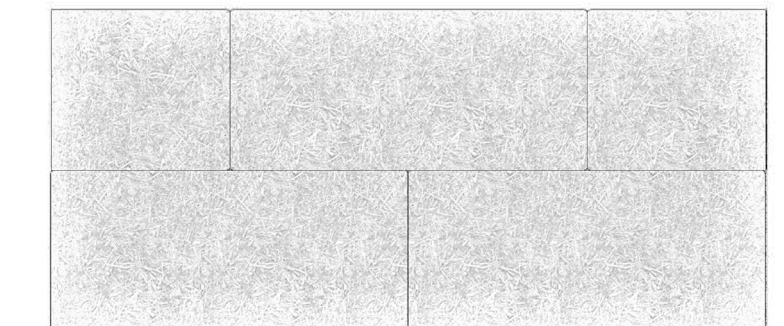


Fardo sin peinar

espacios muy grandes



Fardo después de peinar

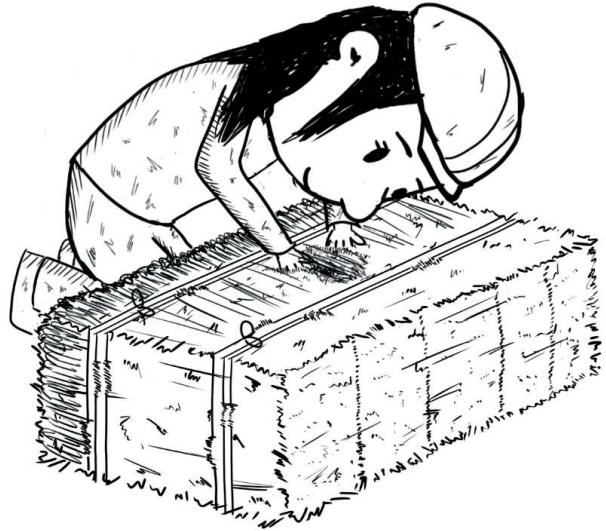


3. LA HUMEDAD DEL FARDO

La paja debe estar muy seca. Esto es importante ya que si la humedad del fardo supera el 15% pueden aparecer hongos que propician la putrefacción de la paja.

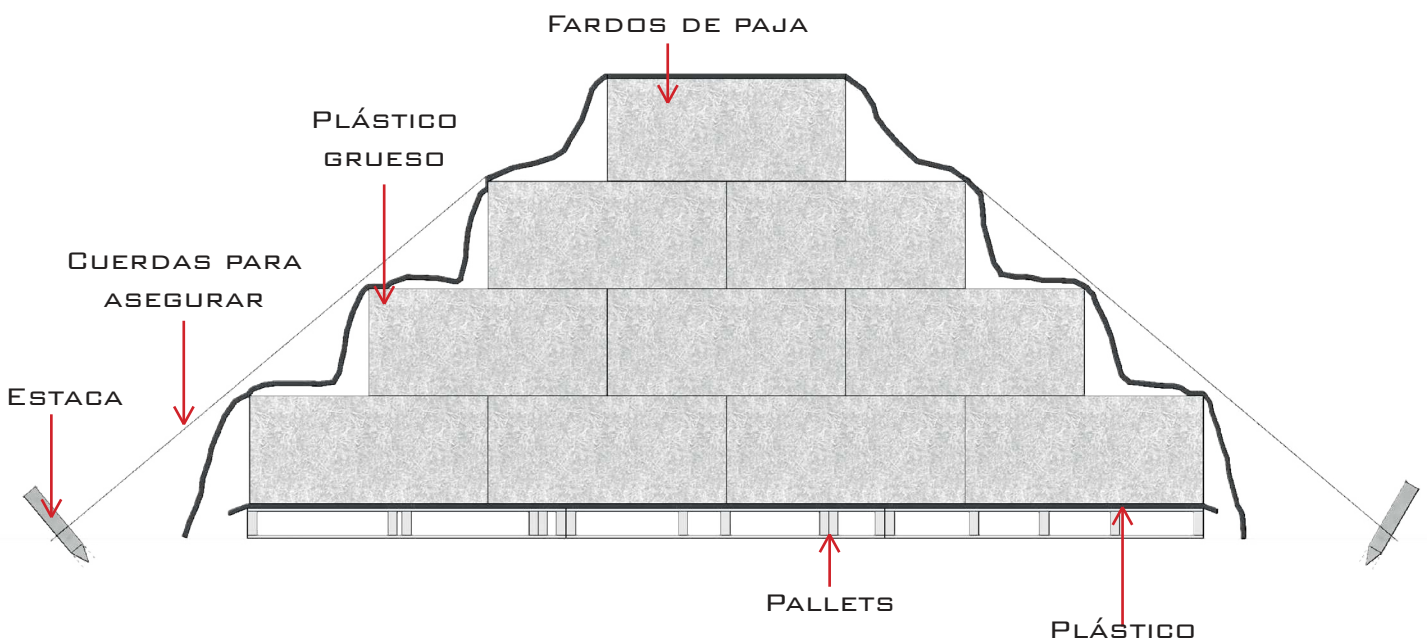
Para comprobar si los fardos de paja están secos, hay que fijarse en su color. El color de los fardos debe ser "dorado brillante", sin manchas oscuras.

El olor es importante también, si se separa la paja con los dedos se puede percibir el fardo, metiendo la nariz en este espacio. **Si huele a humedad no se debe utilizar para construir.**



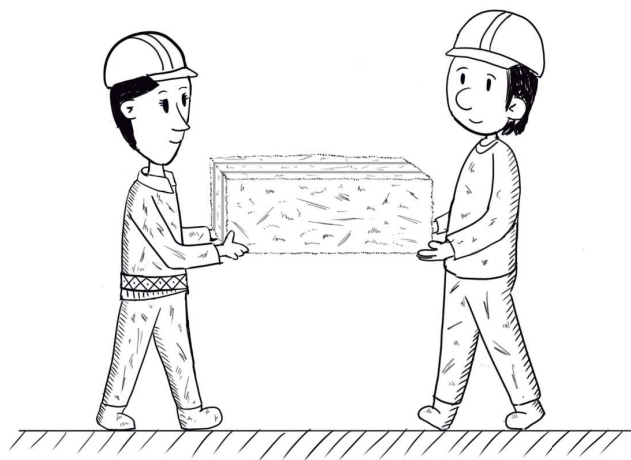
Los fardos deben mantenerse secos, antes, durante y después de la construcción. Si no se dispone de un lugar cubierto y seco, para almacenar los fardos, deben separarse del piso por lo menos 15 centímetros, puede ser mediante un entramado de madera o usando pallets. Ubicar los fardos de forma triangular y cubrirlos totalmente con un plástico grueso y resistente.

Los plásticos pueden utilizarse también durante el proceso de construcción para cubrir las paredes, y así protegerlas de posibles lluvias.

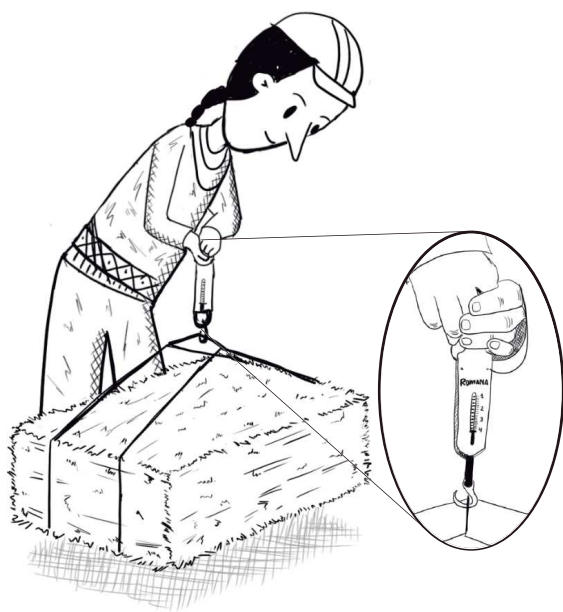


Los fardos pueden ser movidos y amontonados con relativa facilidad. Se recomienda levantarlos por las cuerdas de las ataduras, y transportarlos entre 2 personas para evitar lesiones.

Las puntas de la paja compacta en el fardo pueden resultar abrasivas, como un cepillo, así que se debería usar camisa de manga larga, pantalones largos y guantes de cuero para trabajar. Una carretilla también puede ser muy útil para trasladar los fardos dentro de la obra.



4. LA DENSIDAD DEL FARDO



Para comprobar que los fardos están suficientemente densos (compactos), se los debe pesar.

Para pesar el fardo se puede usar una balanza de gancho conocida como "Romana". Se engancha la balanza a las ataduras del fardo y se lo levanta del piso unos pocos centímetros.

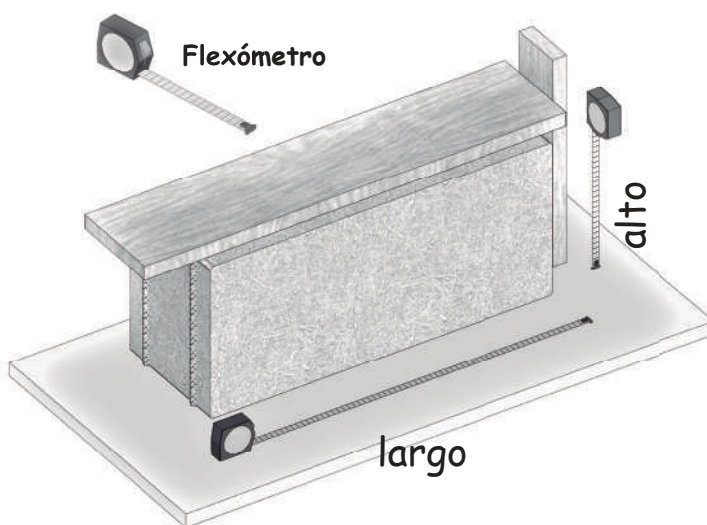
La densidad de un fardo de paja para ser usado en la construcción de muros es de por lo menos 90 Kilogramos por metro cúbico (Kg/m^3).

Se puede pesar unos diez fardos de cada 100, para comprobar su densidad, pero siempre se debe tener en cuenta que un fardo lo suficientemente denso mantiene su forma cuando se lo levanta por sus propias ataduras.





Para obtener la densidad del fardo es muy importante tomar adecuadamente sus dimensiones. Para esto se puede utilizar unas piezas de madera y flexómetro.



EJEMPLO:

1. Dimensiones del fardo

35cm x 40cm x 85cm

2. Volumen = 0,35m x 0,40m x 0,85m

Volumen = 0,119 m³

3. Peso = 12,5 Kg

* Se considera un contenido de humedad de los fardos del 14% (se usa el máximo posible, para obtener la densidad seca mayor y garantizar fardos lo suficientemente densos para la construcción de muros portantes).

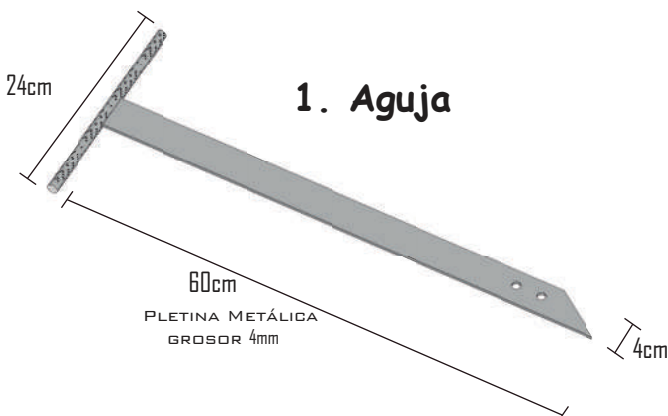
DIMENSIONES TÍPICAS DE FARDOS DE PAJA					
DIMENSIONES (cm)			PESO MÍNIMO		DENSIDAD
LARGO	ANCHO	ALTO	Kg	lb	Kg/m ³
80	50	35	14,7	32	90
80	45	35	13,2	29	90
75	45	35	12,4	27	90
65	45	35	10,7	24	90
60	45	35	9,9	22	90

4. Densidad seca =

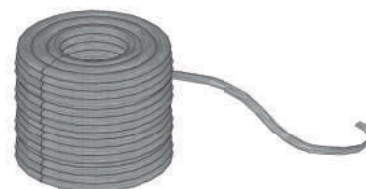
$$\frac{\text{Peso} - (0,14 * \text{Peso})}{\text{Volúmen}} = \frac{12,4\text{Kg} - (0,14 * 12,4)}{(0,75 \times 0,45 \times 0,35)\text{m}^3} = 90 \text{ Kg/m}^3$$

¿CÓMO CORTAR UN FARDO DE PAJA?

Para construir la casa con fardos de paja, se va a requerir cortar algunos fardos para completar espacios en las paredes. Para esto se necesitan los siguientes materiales:

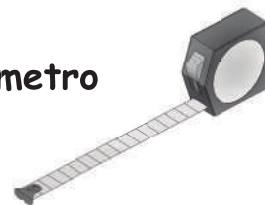


1. Aguja



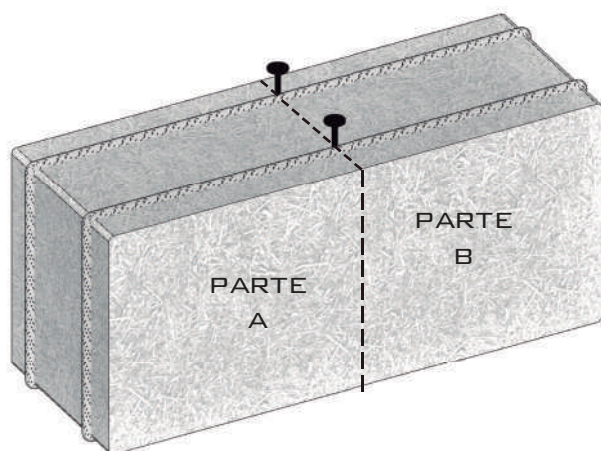
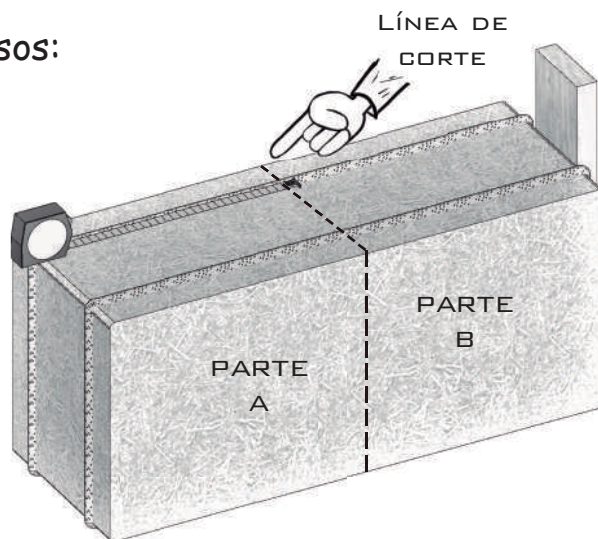
2. Cordeles (piola) de polipileno (plástico)

3. Flexómetro



Luego se debe seguir los siguientes pasos:

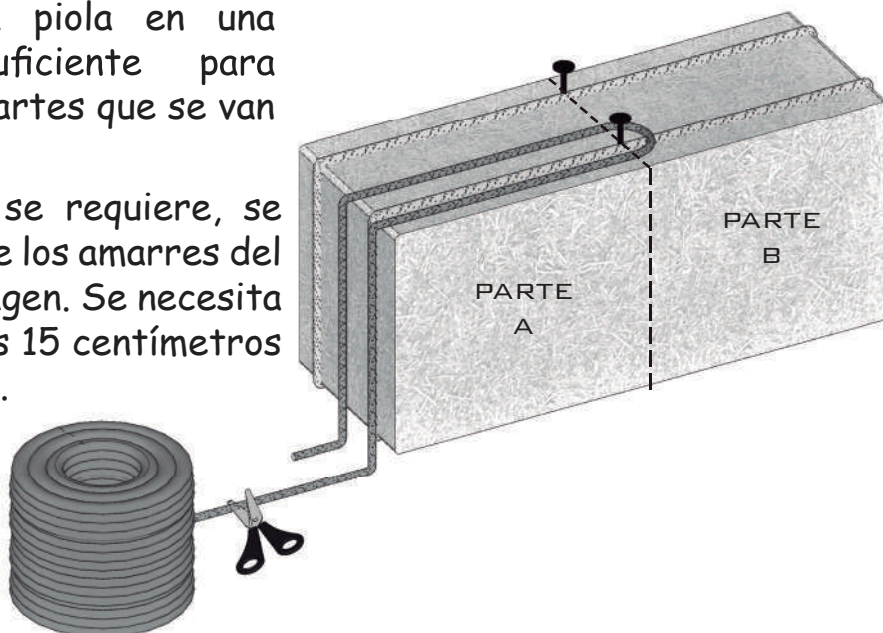
Paso 1: Medir la distancia hasta donde se quiere cortar el fardo, para dividirlo en dos partes.



Paso 2: Colocamos dos clavos para marcar el sitio por donde se va a separar el fardo en dos partes.

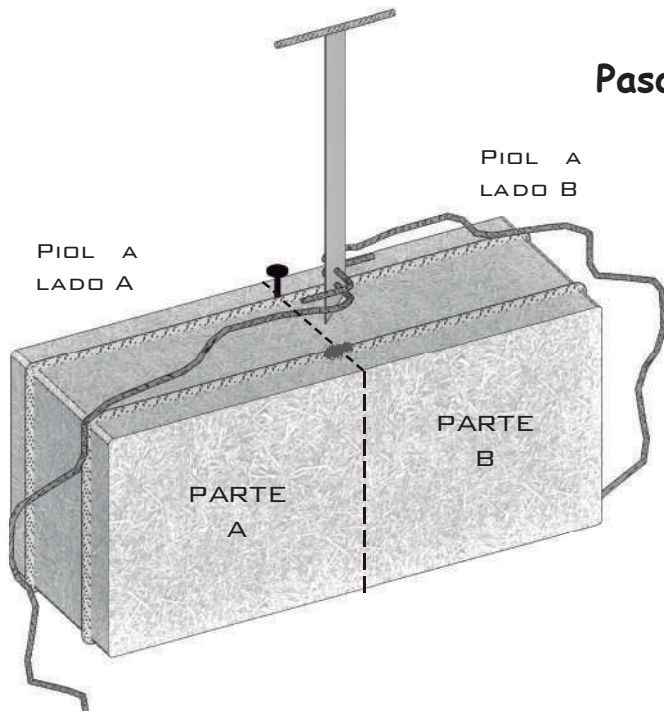
Paso 3: Cortamos la piola en una longitud suficiente para "coser" las partes que se van a separar.

Para saber cuánta piola se requiere, se coloca la piola sobre uno de los amarres del fardo como se ve en la imagen. Se necesita el doble de la longitud más 15 centímetros para realizar cada amarre.



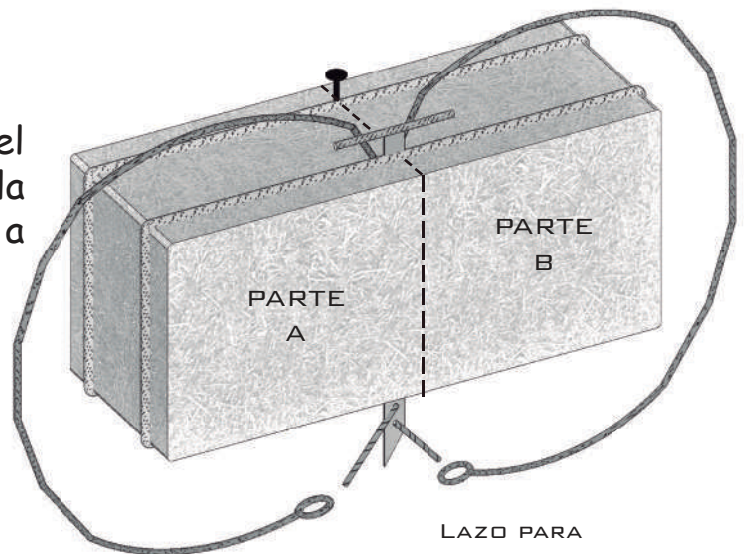
Para el lado A se requieren 2 piolas de la misma longitud.

Luego se debe repetir este procedimiento en la parte B, para obtener 2 piolas más. En total se requieren 4 trozos de piola.

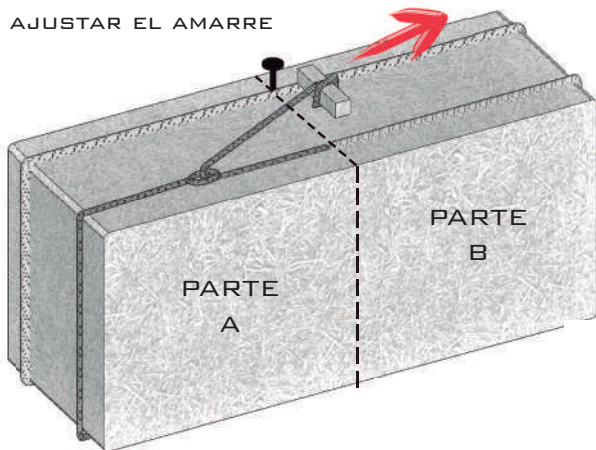


Paso 4: Se pasa las piolas por la aguja, se retira el clavo que sirve como señal. Se inserta la aguja en el sitio que marcaba el clavo. Hay que tener cuidado que la aguja penetre verticalmente.

Paso 5: La aguja debe traspasar el fardo, para pasar la piola al otro lado y proceder a realizar los amarres.

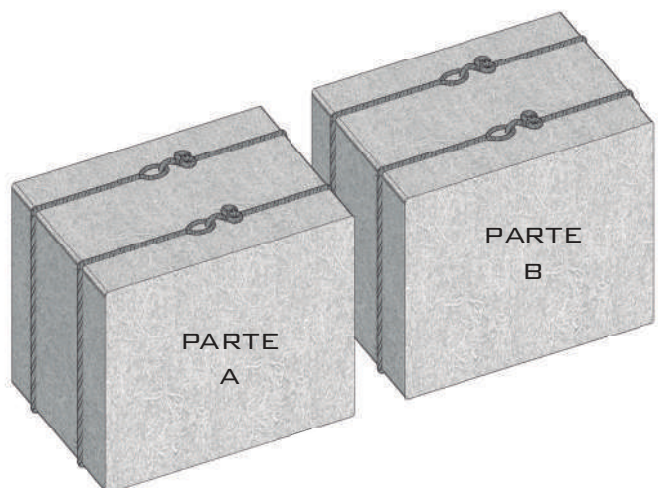


TROZO DE MADERA PARA JALAR CON MAYOR FACILIDAD Y AJUSTAR EL AMARRE



Paso 6: Una vez que se han pasado las piolas se retira la aguja y se procede a amarrar el fardo.

Repetir esta operación con las 3 cuerdas restantes y cortar los amarres originales del fardo para separarlos.



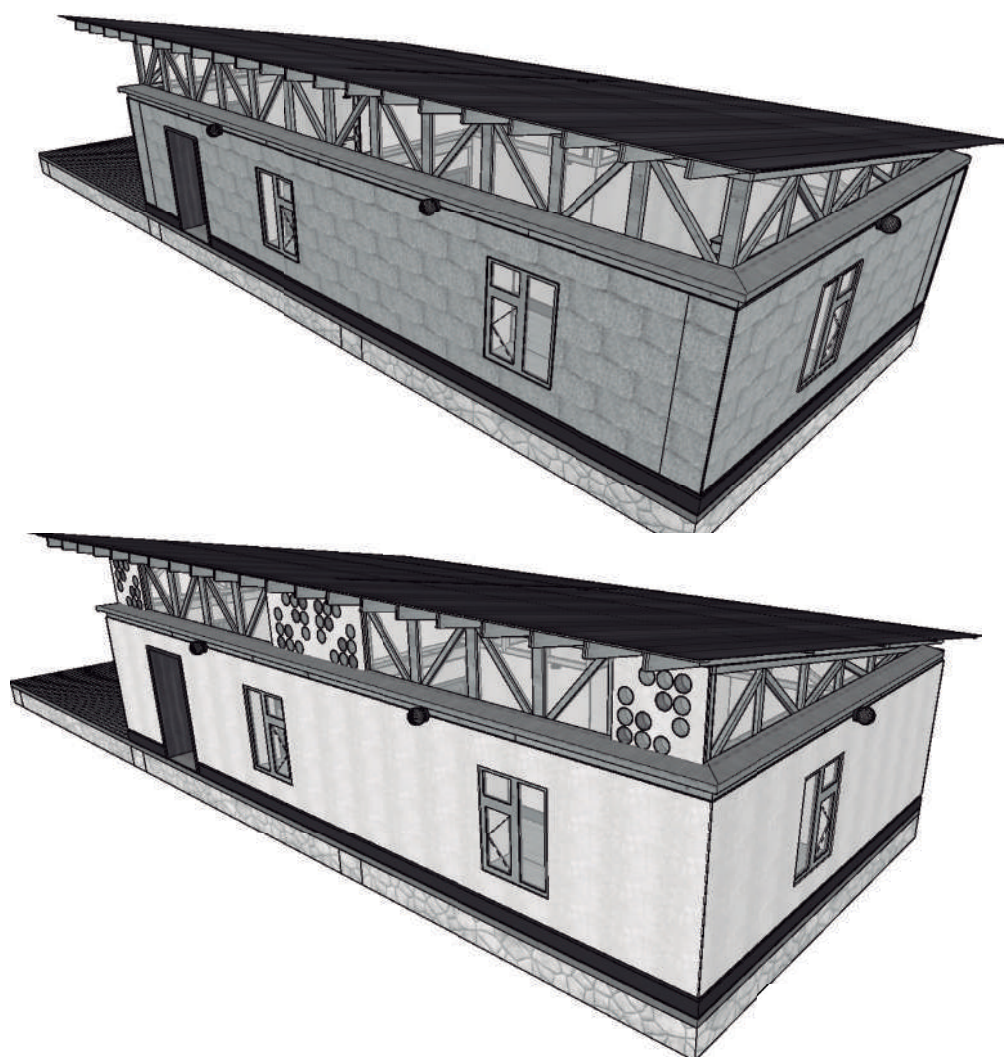
CAPÍTULO 2: LA VIVIENDA

VIVIENDA DE MUROS PORTANTES DE FARDOS DE PAJA, SISMORESISTENTES Y ENERGÉTICAMENTE EFICIENTES

La construcción de viviendas con fardos de paja empezó en Estados Unidos al rededor del año 1897. En Europa la casa más antigua construida con fardos de paja está en Francia, se la realizó en 1921 y puede ser visitada hasta la actualidad es la sede de la Asociación Francesa de la Construcción con Paja.

Las casas realizadas con fardos de paja son durables y abrigadas, es decir, conservan mejor el calor en su interior. Además son resistentes al fuego y sismoresistentes.

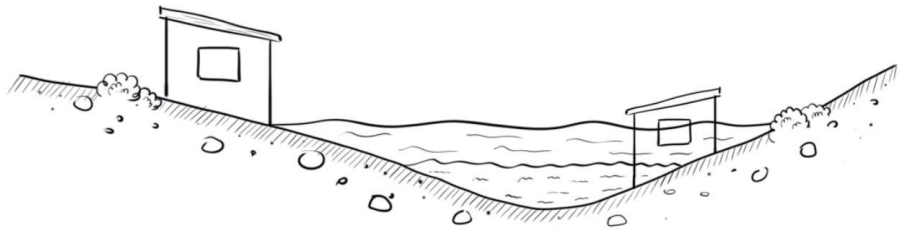
"La construcción con fardos de paja es ideal para el autoconstructor. La ventaja radica no solamente en el ahorro, en el costo del material, si no en la interacción social que el proceso constructivo conlleva, familiares, vecinos y amigos pueden participar en la construcción. Para los constructores y particularmente para sus hijos, esto implica una fuerte identificación con las cuatro paredes propias de su casa", como indica Gernot Minke en su obra "Manual de construcción con fardos de paja".



EL TERRENO PARA CONSTRUIR TU VIVIENDA

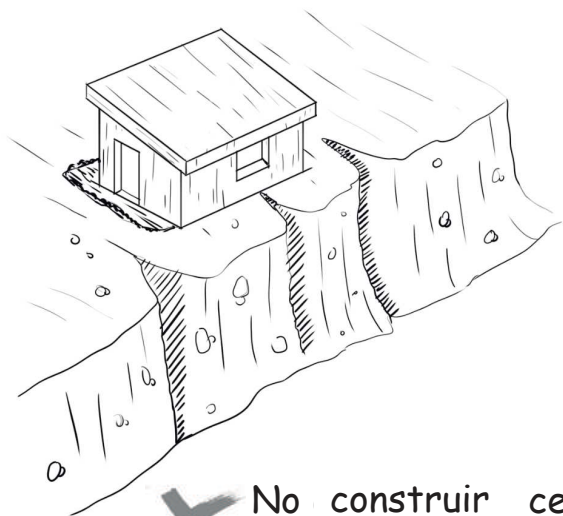


Hay que ser muy cuidadosos al momento de elegir el sitio para construir nuestra casa. Un sitio seguro debe cumplir las siguientes condiciones:



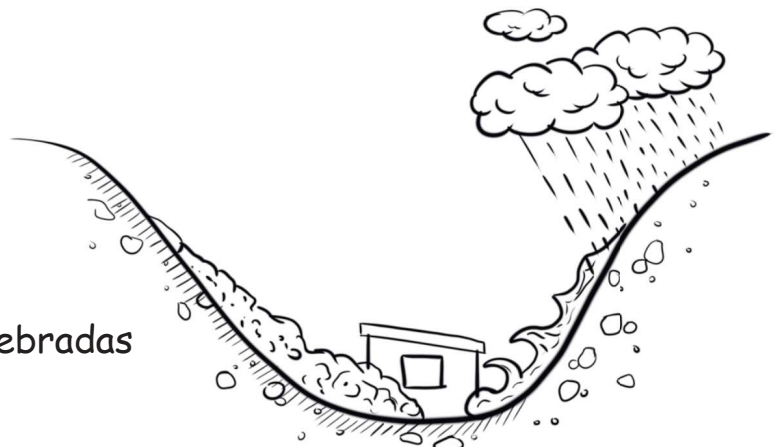
✗ No construir cerca de ríos o lagos

✗ No construir en zona de derrumbes



✗ No construir cerca de barrancos

✗ No construir en quebradas abandonadas

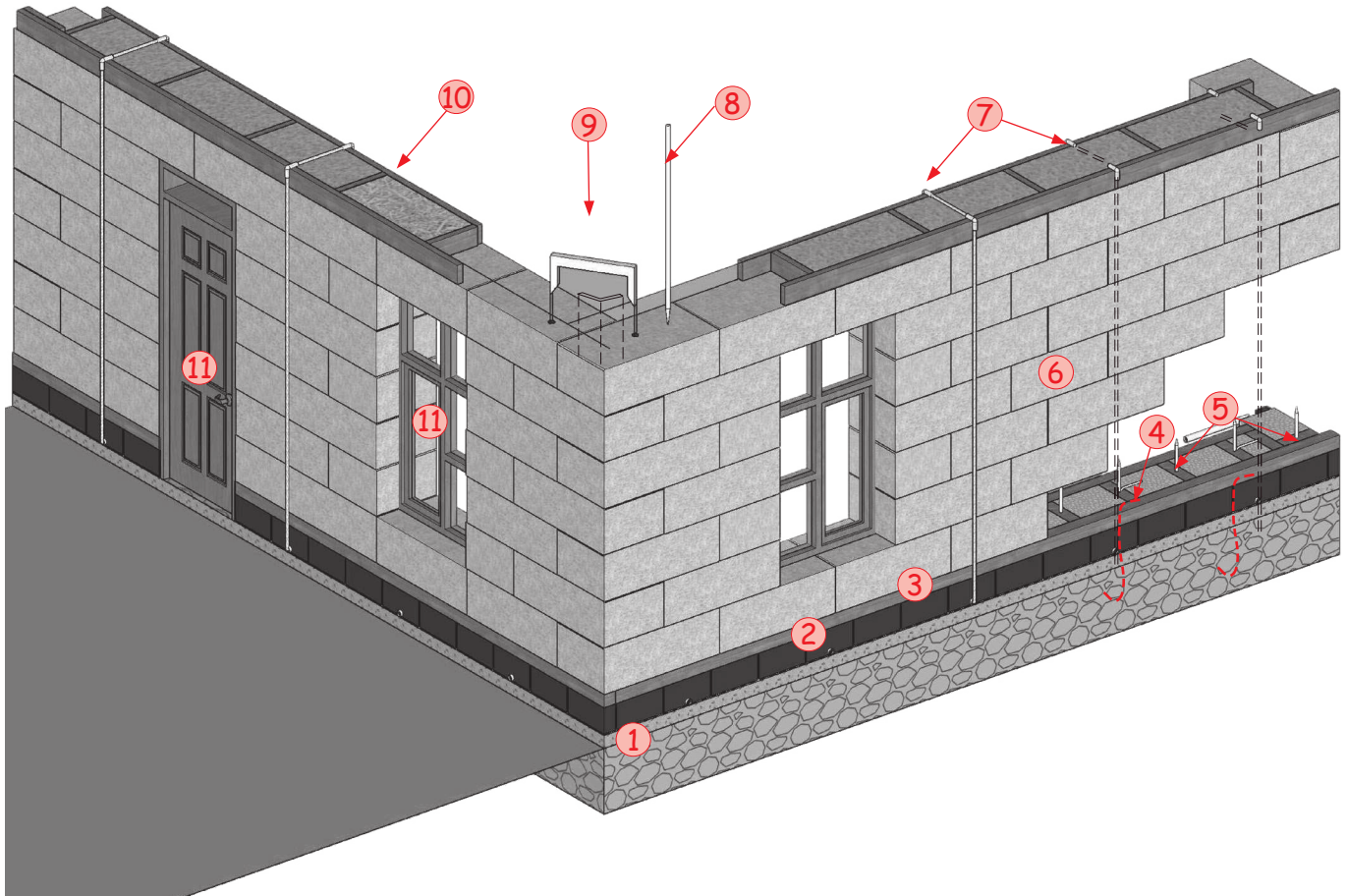


UNA VIVIENDA SISMORRESISTENTE

Todas las paredes de la casa deben estar bien confinadas para asegurar su estabilidad durante un sismo. En el siguiente gráfico se identifica con un número los elementos que debe tener la estructura de nuestra casa. Luego se describen recomendaciones para cada elemento, es importante tomarlas en cuenta para construir una vivienda sismoresistente.



- | | |
|-----------------|------------------------|
| ① Cimiento | ⑥ Muros |
| ② Sobrecimiento | ⑦ Tensores |
| ③ Viga inferior | ⑧ Pasadores internos |
| ④ Anclajes | ⑨ Grapas de esquina |
| ⑤ Estacas | ⑩ Viga collar superior |
| | ⑪ Puertas y ventanas |



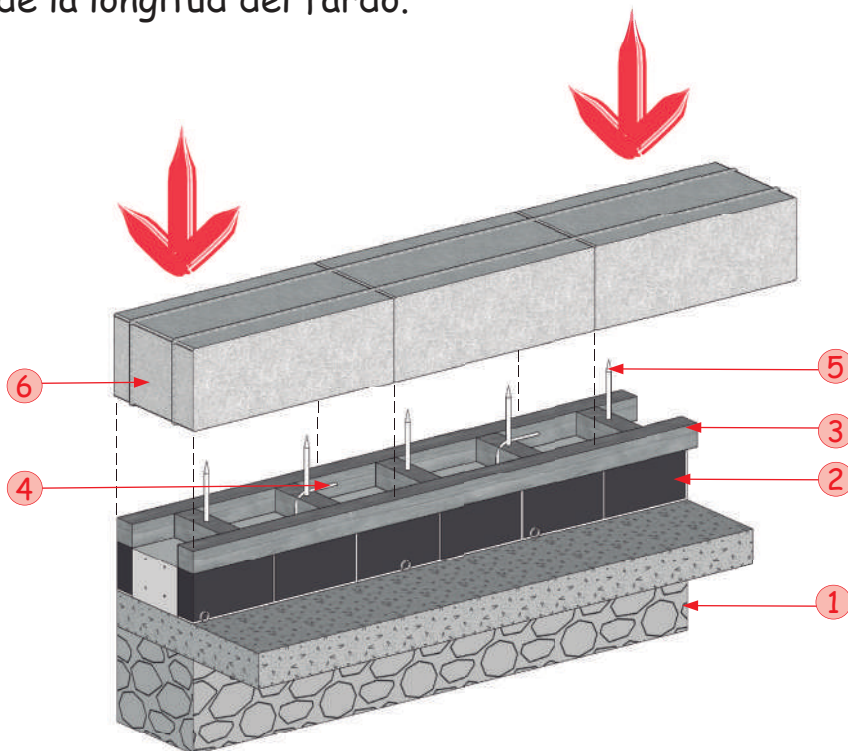
1. **EL CIMIENTO:** Esta estructura va enterrada, ancla la casa al piso, debe ser de por lo menos 50 centímetros de altura, y tener el mismo ancho que los fardos que se van a usar más 10 centímetros.

2. **EL SOBRECIMIENTO:** Está sobre el cimiento, ancla los muros al cimiento, también es una barrera de protección a los fardos de paja contra la humedad. Debe tener por lo menos 30 centímetros de altura y el mismo ancho que los cimientos.

3. **VIGA INFERIOR:** Se coloca encima del sobrecimiento. Es la base de la pared de fardos, tiene una altura mínima de 10 centímetros y el mismo ancho que los fardos.

4. **ANCLAJES:** Se recomienda anclar la viga inferior al cimiento con varillas de acero cada 60 centímetros. Deben tener una longitud suficiente para abrazar la viga inferior.

5. **ESTACAS:** Unen los fardos a la viga inferior, deben medir por lo menos 30 centímetros de altura, si son de sección redonda deben tener un diámetro de por lo menos 4 centímetros y si son cuadradas 3,5 centímetros por lado. Deben haber por lo menos 2 estacas por fardo ubicadas en los tercios de la longitud del fardo.



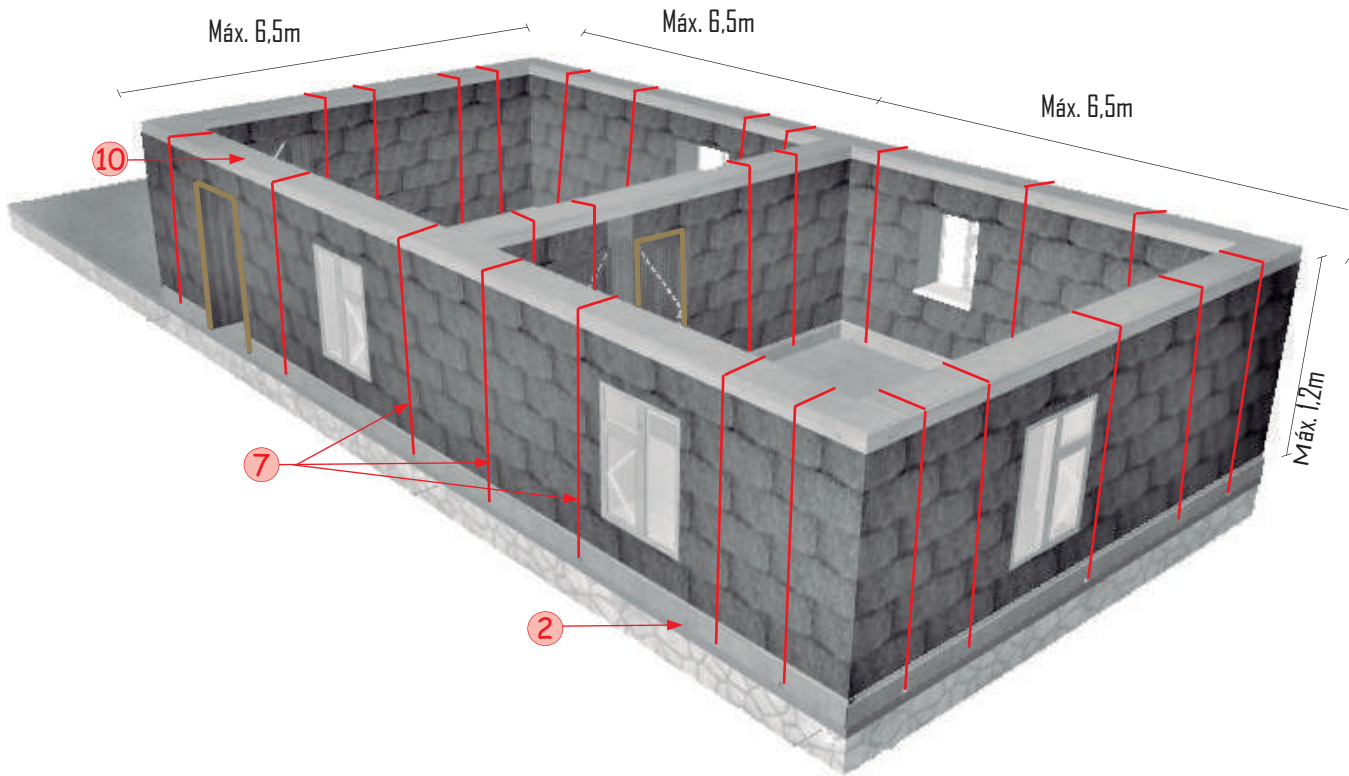
6. **LOS MUROS:** los fardos deben tener una densidad de por lo menos 90 Kilogramos por metro cúbico (Kg/m^3), y se colocarán de forma intercalada, igual que los ladrillos en una pared, (a rompe juntas). La posición en que se deben colocar es "plana", es decir con su mayor área apoyada sobre la viga inferior.

- La longitud máxima que puede alcanzar el muro de fardos de paja sin arrosamiento es 13 veces el ancho del muro revocado.
- La altura máxima del muro es el ancho del muro revocado por 5,6.
- En términos prácticos la altura máxima de las paredes es 7 hileras de fardos de 35 centímetros de altura. No se recomienda pasar los 2,8 metros. Lo ideal es que el muro esté formado por un número entero de fardos

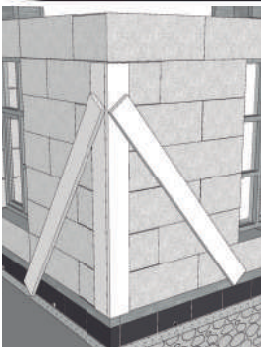


Los muros quedan confinados "amarrados" entre la viga collar y el sobrecimiento por medio de "tensores"

7. TENSORES, su función es confinar el muro entre el cimiento y la viga collar, se colocan cada 1,2 metros teniendo en cuenta que en las esquinas y en las aberturas de puertas y ventanas debe haber un tensor a cada lado.

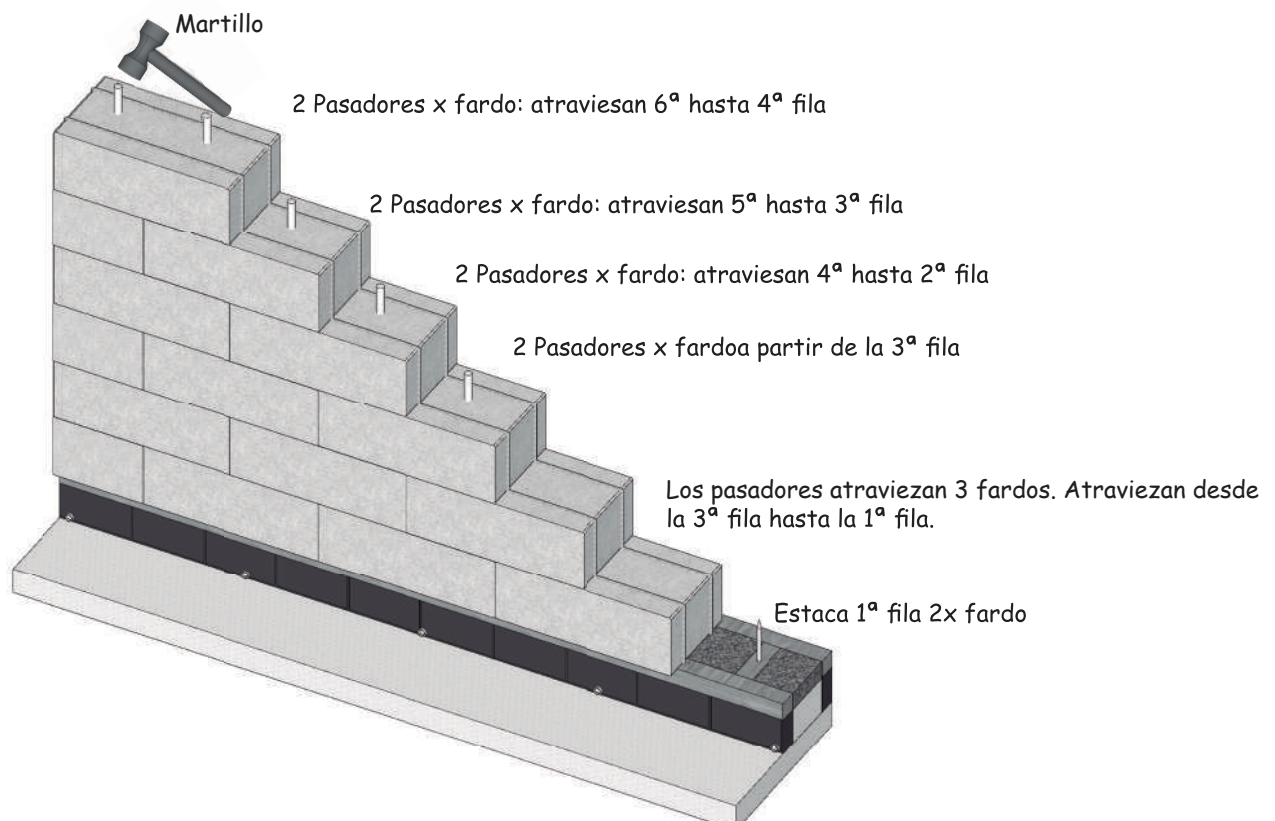


Pueden agregarse habitaciones al modelo de la imagen, siempre que se respeten las recomendaciones en cuanto a las dimensiones máximas de los muros.



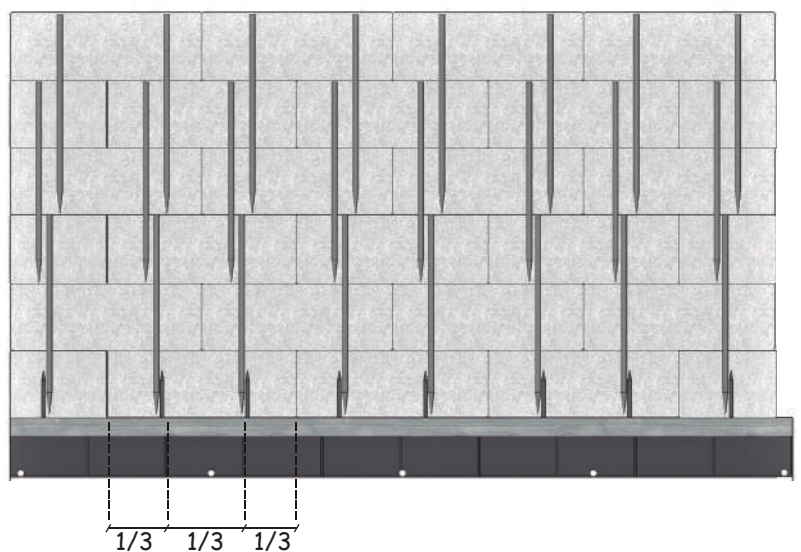
Los muros deben estar perfectamente verticales, para lograrlo se recomienda el uso de tableros guía en las esquinas. Estos tableros deben tener un ancho mínimo de 20 centímetros. Este es un elemento solo constructivo, es decir, luego de colocar la viga collar superior se retira.

8. PASADORES INTERNOS: Para estabilizar la pared de fardos de paja, se debe clavar internamente estacas de madera (pasadores). Estos pasadores deben instalarse verticalmente, dentro del tercio central del fardo. El espacio entre pasadores no debe superar los 60 centímetros. Cada pasador atraviesa 3 filas "hileras" de fardos.

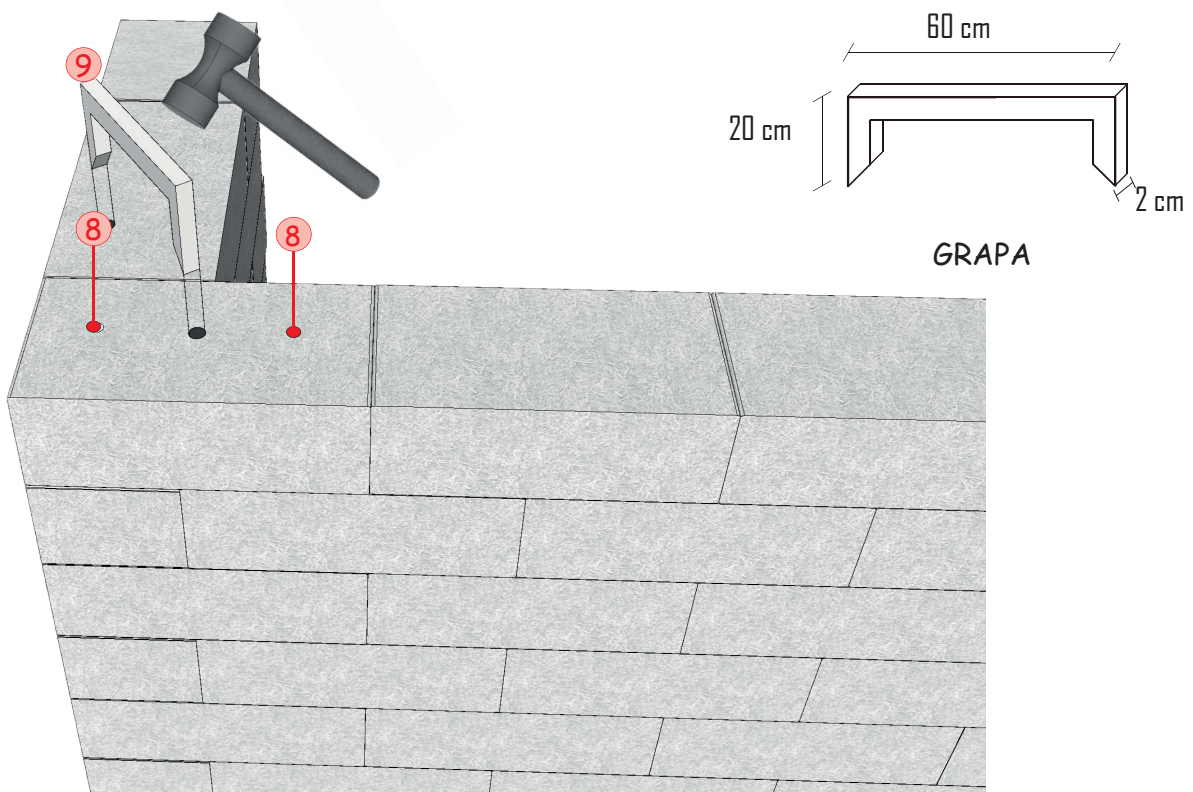
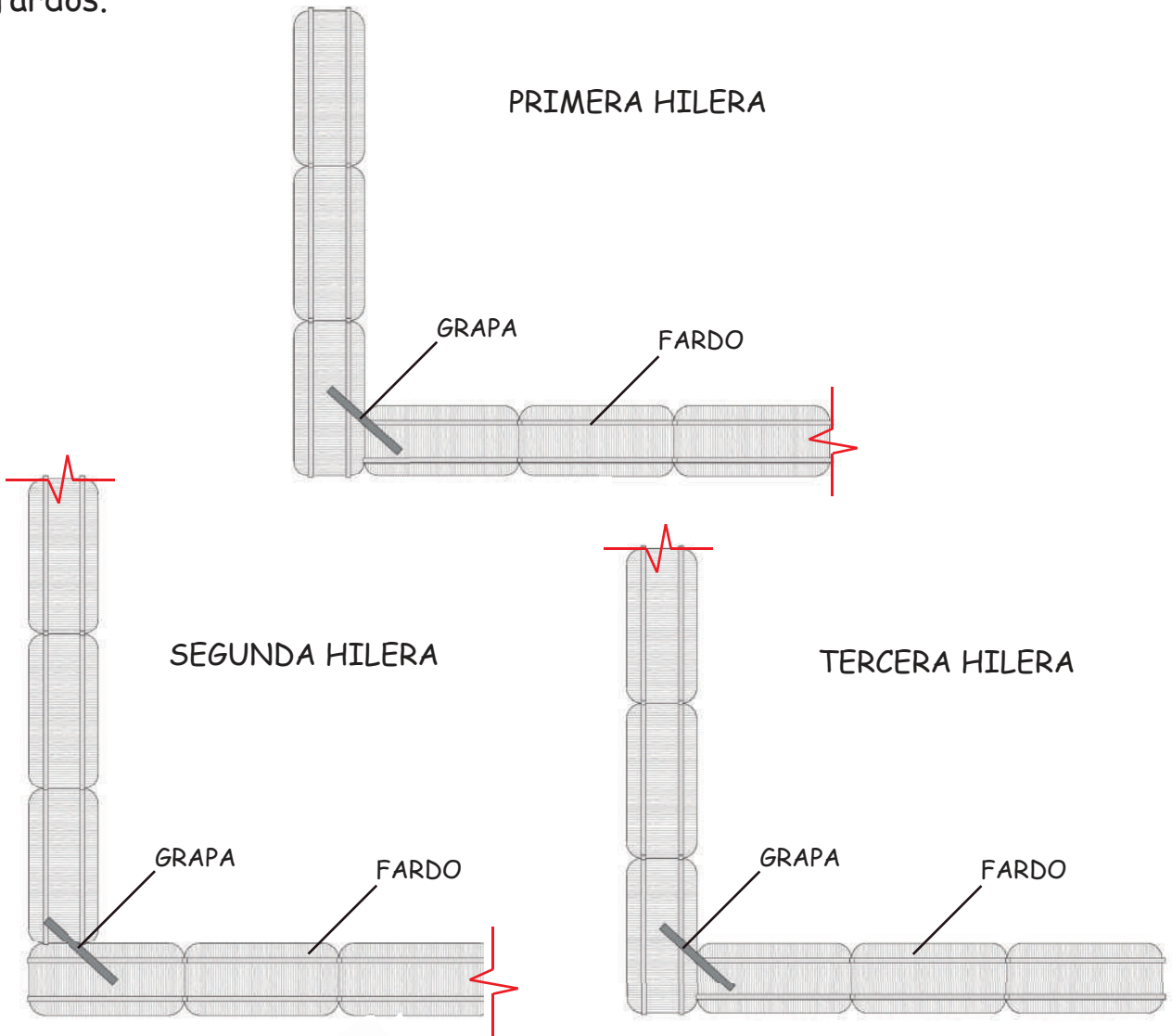


Fíjense que los pasadores se traslapan entre ellos de tal forma que los fardos queden "cosidos" unos con otros

Si se va a utilizar pasadores de madera de sección cuadrada, el lado de la sección debe ser por lo menos 2,5 centímetros.

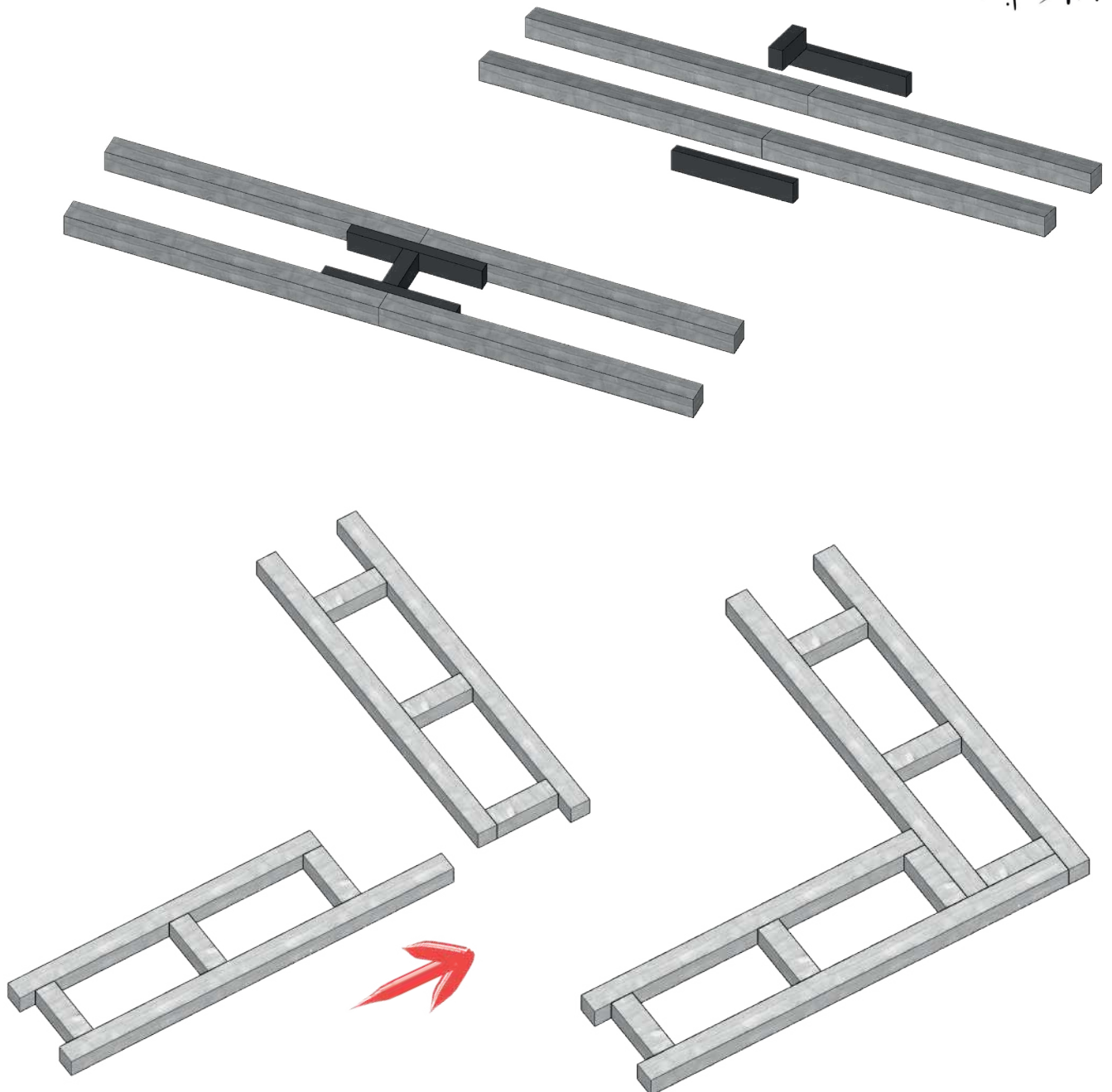


9. GRAPAS DE ESQUINA: Se colocan como elemento de confinamiento, "cosen" un muro con otro, se colocan en cada esquina en cada hilera de fardos.



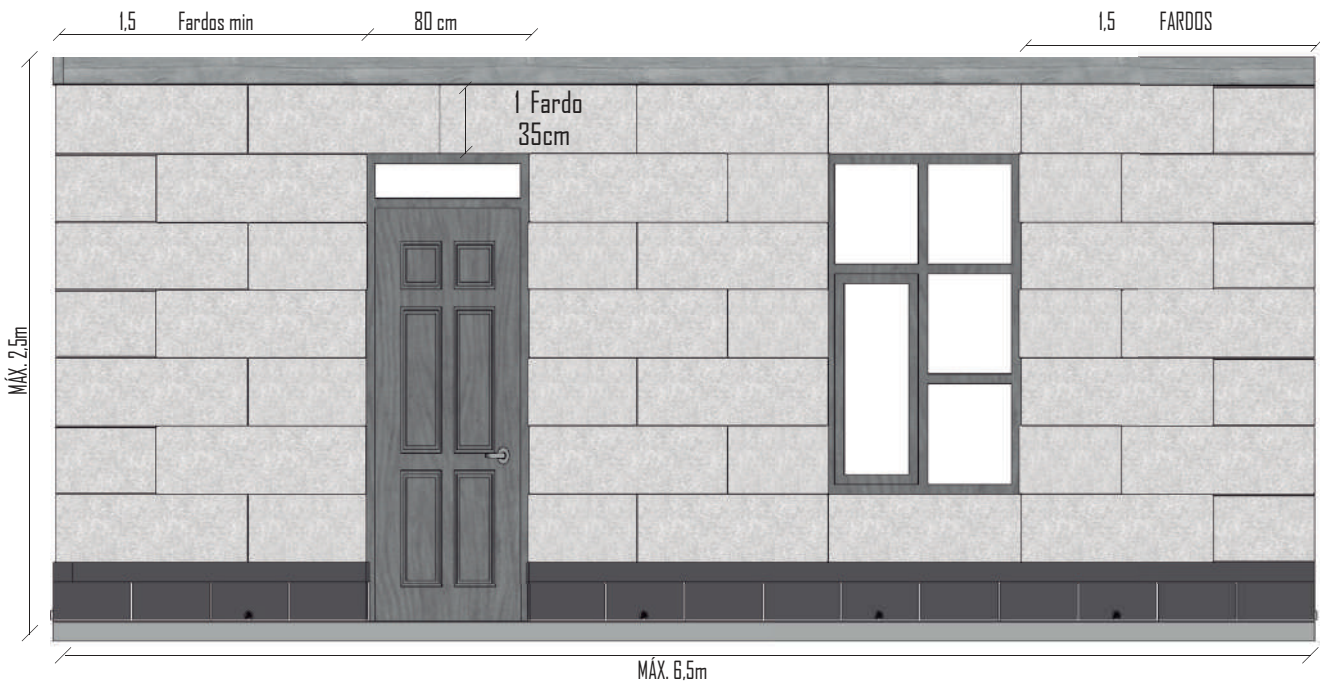
10. VIGA COLLAR SUPERIOR, Este elemento debe tener el mismo ancho que los fardos. Cumple la función de ser un anillo perimetral de confinamiento uniendo los muros entre sí por lo que es fundamental que trabaje como una sola pieza. Se recomienda que sea de 10 centímetros de alto.

Para construir la viga collar superior y la viga inferior es importante realizar las uniones de las piezas de madera, de forma reforzada para que no se separen. Para esto se pueden utilizar elementos adicionales en las juntas y realizar cruces en las esquinas como se muestra en las siguientes figuras. Esta viga tiene forma de escalerilla con travesaños cada 45 centímetros.



11. VENTANAS Y PUERTAS: Las ventanas y puertas deben estar alejadas al menos 1,5 balas de las esquinas.

- Las aperturas para las puertas y ventanas no deben superar el 50% de la superficie del muro.



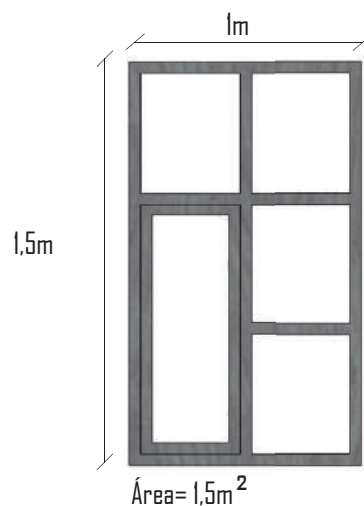
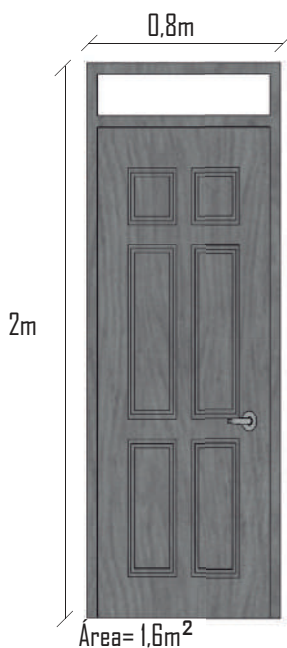
Ejemplo:

Área del muro = 2,5 m x 6,5 m

Área del muro = 16,25 m²

El área de la puerta más el área de la venta debería ser máximo 8 metros cuadrados (m²).

Se debe procurar que las dimensiones de puertas y ventanas sean múltiplos del tamaño del fardo. El ancho mínimo de una puerta para acceso de una persona en silla de ruedas es 80 centímetros.



Área puerta = 0,8 m x 2 m
Área puerta = 1,6 m²

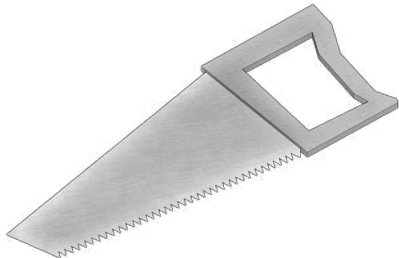
Área ventana = 1,5 m x 1 m
Área ventana = 1,5 m²

Área puerta + ventana = 3,1 m²

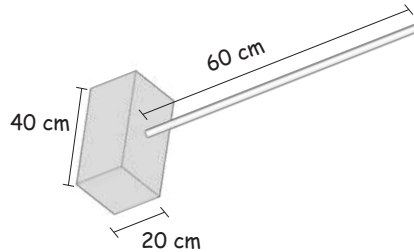
CAPÍTULO 3: PROCESO CONSTRUCTIVO

HERRAMIENTAS QUE SE REQUIEREN PARA LA CONSTRUCCIÓN

1. Serrucho



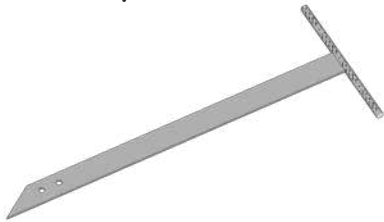
2. Mazo de madera



3. Peine de fardos



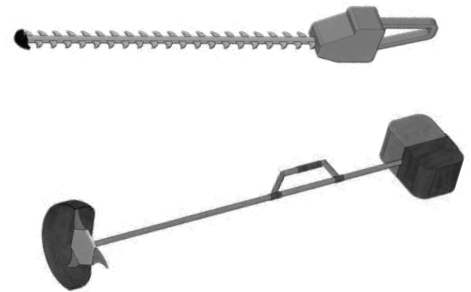
4. Aguja para coser fardos



5. Taladro



6. Cortador de césped o setos



7. Pala



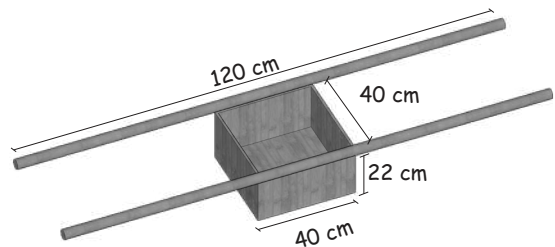
8. Pico



9. Barra



10. Parihuela



11. Pisón



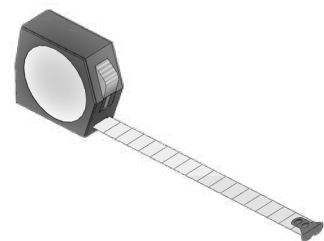
12. Plomada



13. Vailejo



14. Flexómetro



15. Brocha



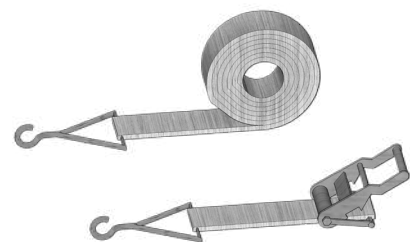
16. Martillo



17. Manguera ransparente



18. Eslingas con tensor

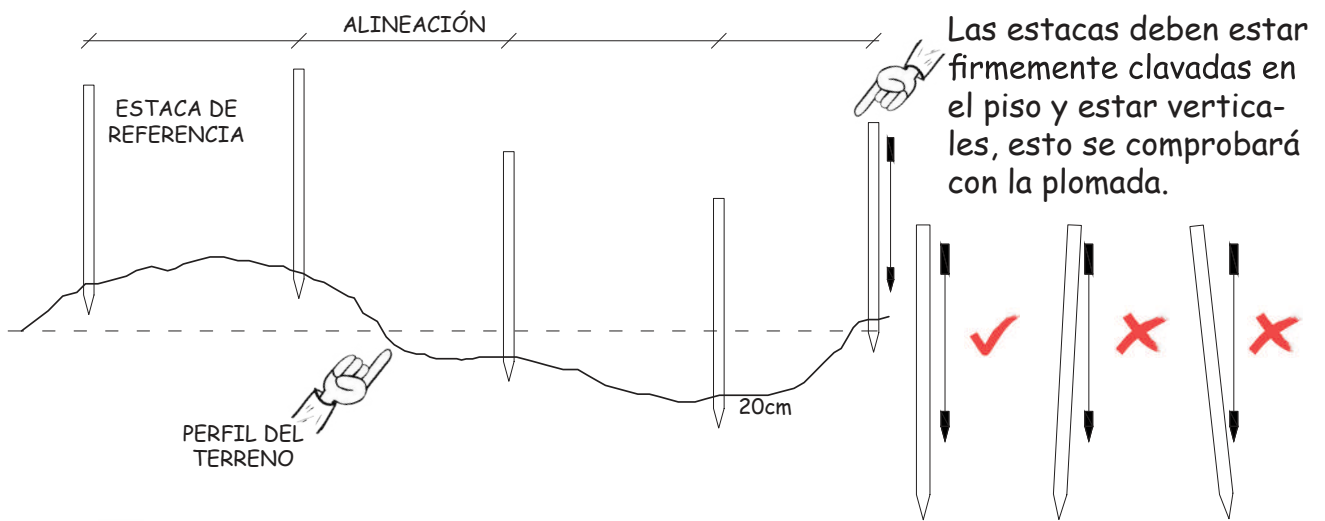


PRIMEROS PASOS

Antes de empezar a construir es muy importante que el terreno este limpio de piedras, árboles y vegetación y además plano.

Para nivelar (aplanar) el terreno se puede usar una manguera transparente de $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, sin agujeros, de no mas de 10 metros de longitud. Tambien se requiere de estacas de 1,5 metros de largo.

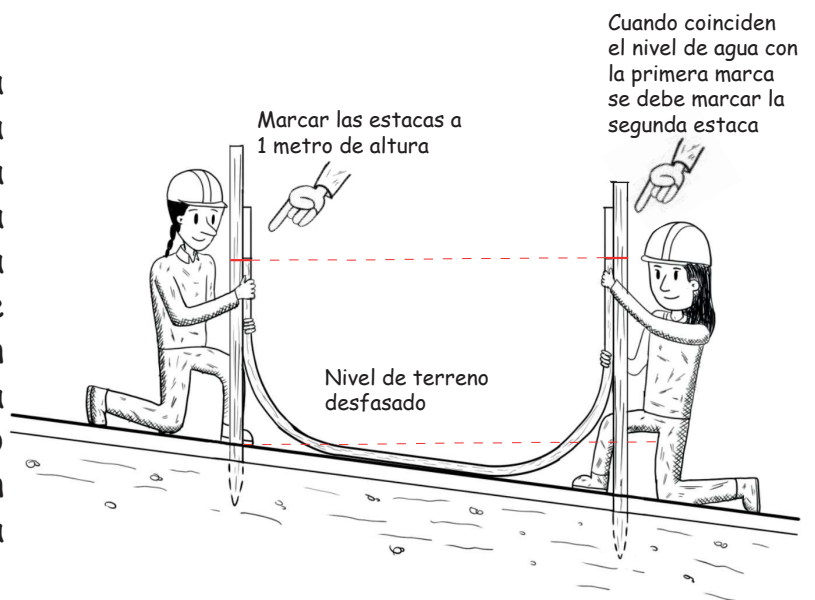
Como primer paso se coloca una estaca en el borde del terreno, luego se alinean otras estacas para pasar niveles con la manguera. Se deben realizar varias alineaciones dependiendo del área del terreno



La distancia entre estacas depende de cuán irregular sea el terreno. Se necesitarán más estacas mientras más subidas y bajadas.

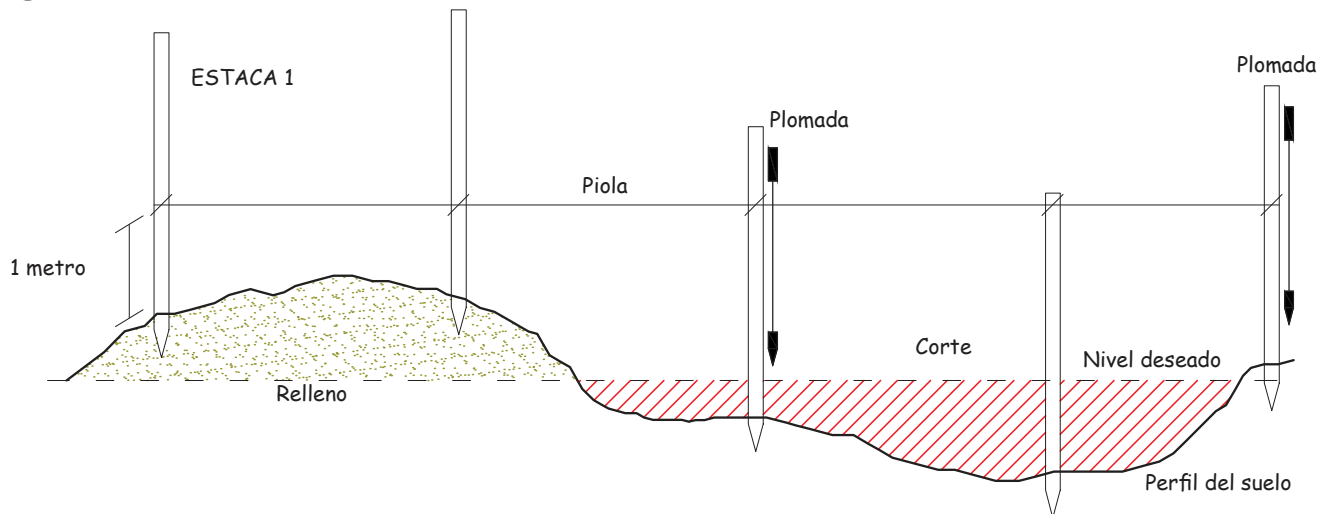
Se sugiere que esta distancia sea de máximo 8 metros para realizar con menor dificultad y más precisión el trabajo.

Luego se marca una distancia de 1 metro desde el piso en la primera estaca. Con la manguera llena de agua limpia se ubica una persona junto a esta estaca haciendo coincidir el nivel de agua con la marca. A continuación otra persona se coloca junto a la siguiente estaca y la marca justo en el momento en que coinciden el nivel de agua y la marca de la primera estaca.

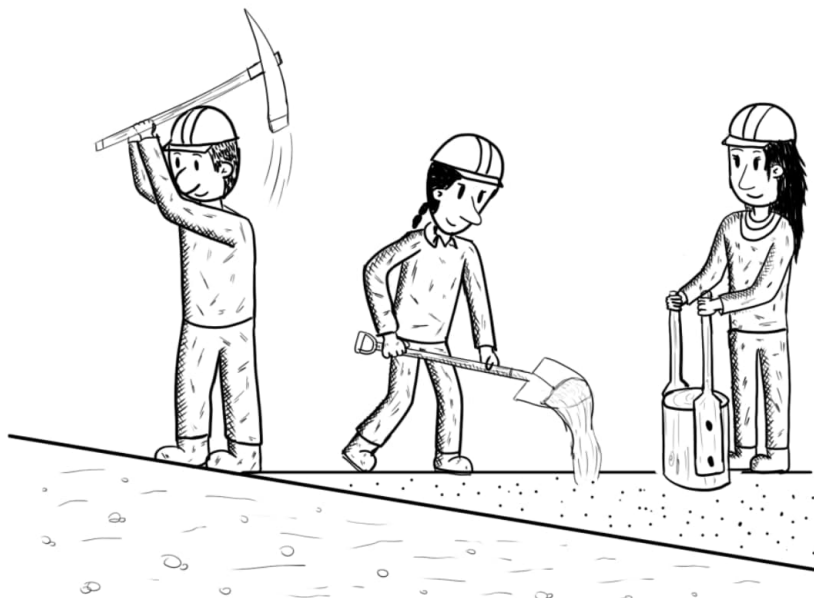
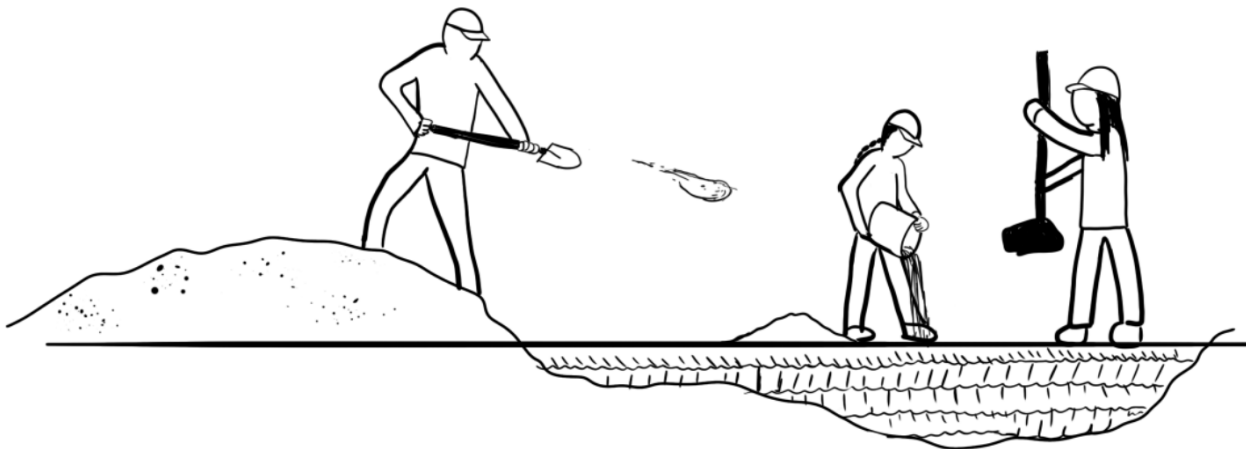


Después de marcar el nivel con la manguera en cada estaca, se tensa una piola que pasará por las marcas que señalan los niveles.

Luego con la plomada se mide la distancia desde la piola hasta el terreno, si esta distancia es mayor que un metro se necesita rellenar y si es menor o igual a un metro se necesita cortar el terreno.

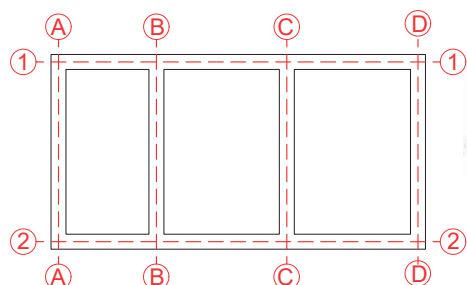


El relleno se recomienda hacerlo con capas de tierra libre de basura, sin materia orgánica como raíces, hojas o restos de madera. Las capas tendrán un espesor de 15 a 20 centímetros y se les compactará con un pison hasta que el terreno quede firme para colocar la siguiente capa.

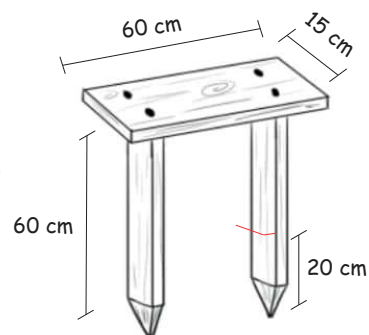
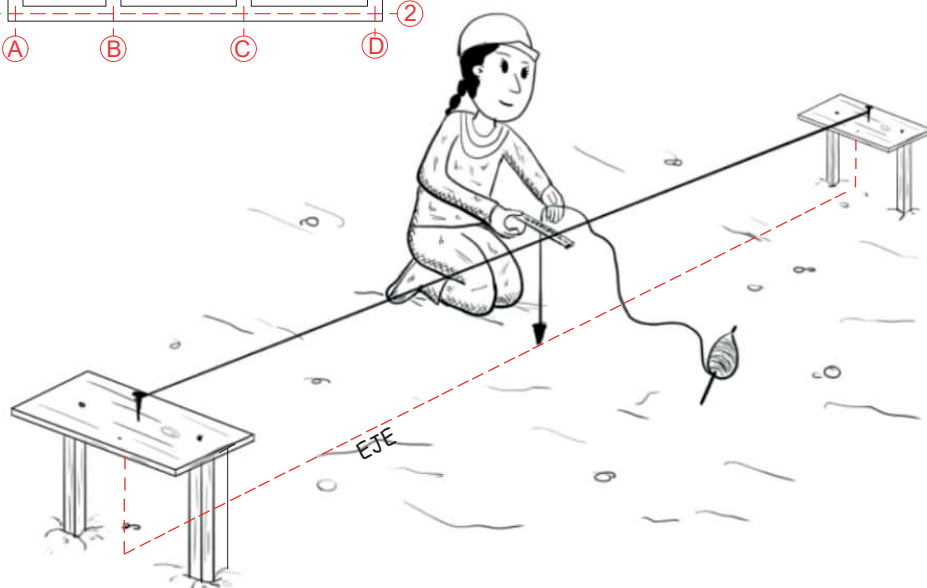


Luego de que el terreno ha quedado plano, se debe dibujar en él los ejes que marcan donde se construirán los cimientos de la casa.

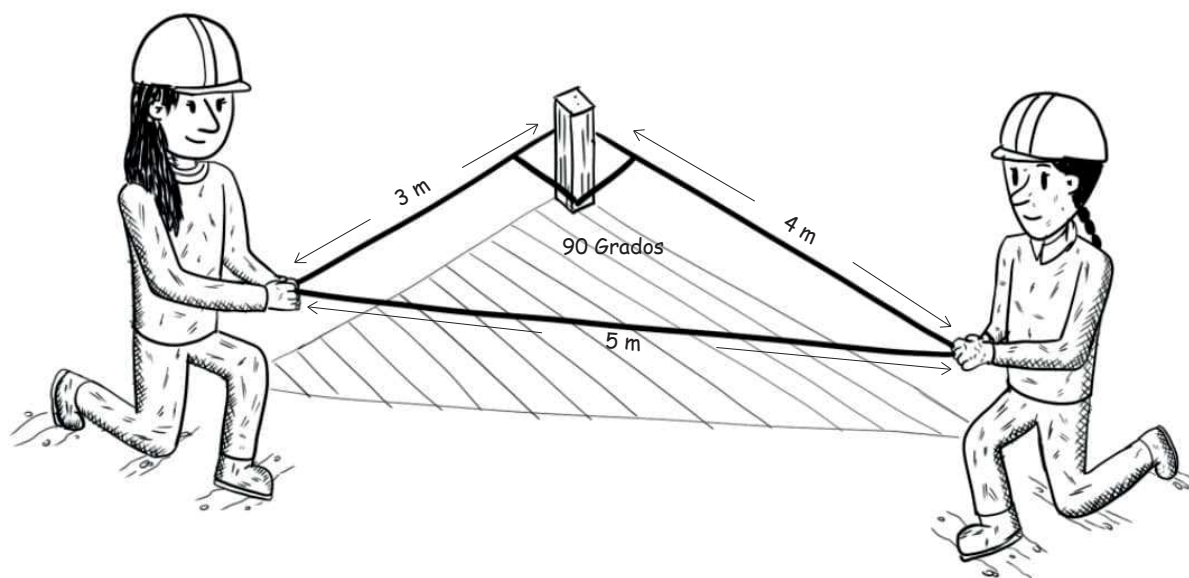
Para trazar en el terreno los ejes es común usar caballetes de madera, piolas y cal en polvo para señalar.



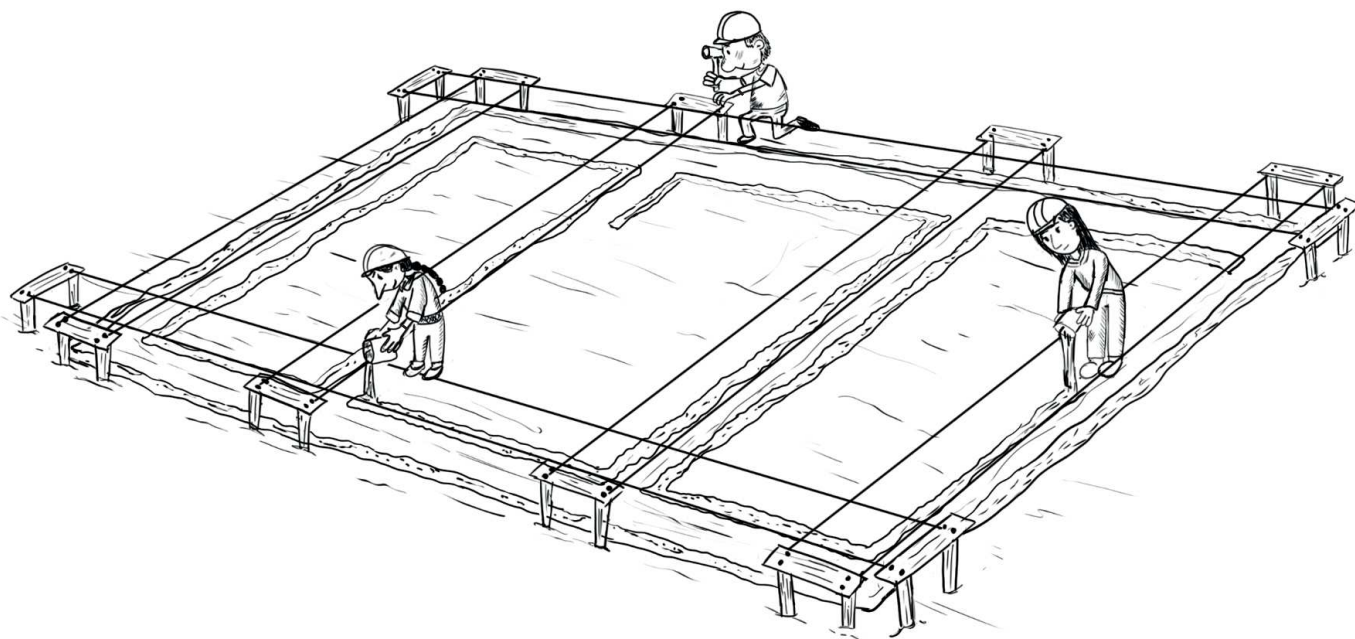
PLANO DE CIMENTACIÓN CON LOS EJES



Para trazar ejes a 90 grados (perpendiculares) se puede formar un triángulo cuyos lados miden 3, 4 y 5 metros. Esto se lo hace usando una cuerda que no sea elástica, haciendo un nudo en cada medida, que será verificada usando el flexómetro.



A cada lado del eje se mide la mitad del ancho de la cimentación, después se tensan piolas que servirán de guía para marcar con cal o cementina por donde se debe excavar. Para no afectar la piel de las manos se requiere el uso de guantes de caucho cuando se trabaja con la cal.



CONSTRUCCIÓN DE LA CIMENTACIÓN

En primer lugar, se debe excavar una zanja de 50 centímetros de ancho, la profundidad dependerá del tipo de suelo, si es duro o blando. Se excavará hasta encontrar suelo duro.

La tierra excavada debe estar por lo menos a 60 centímetros del borde de la zanja para evitar derrumbes.



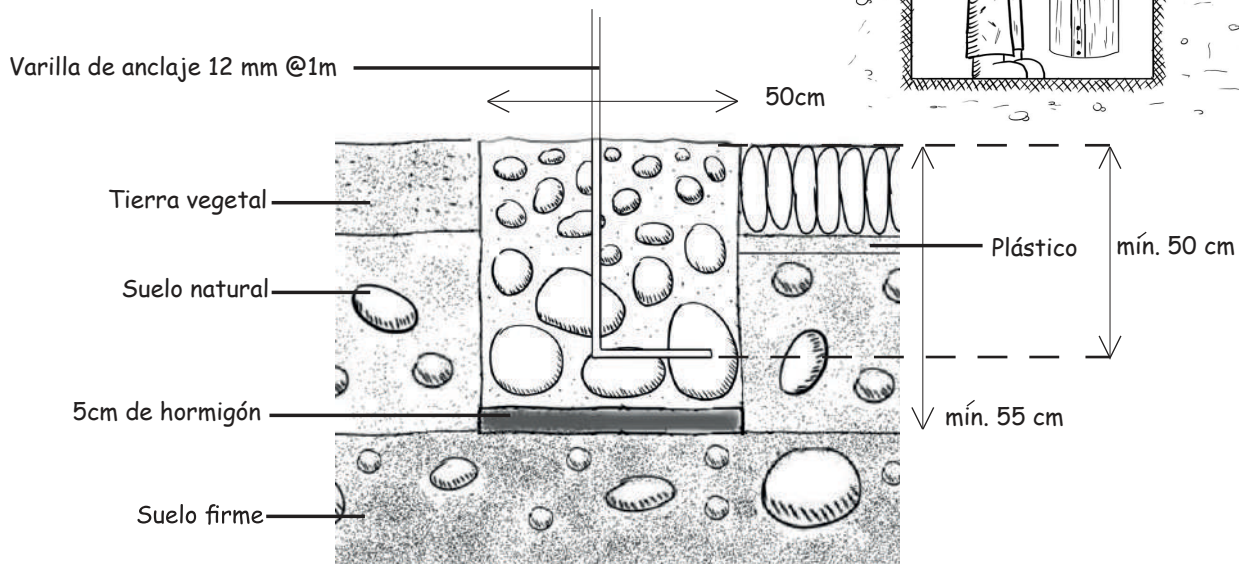
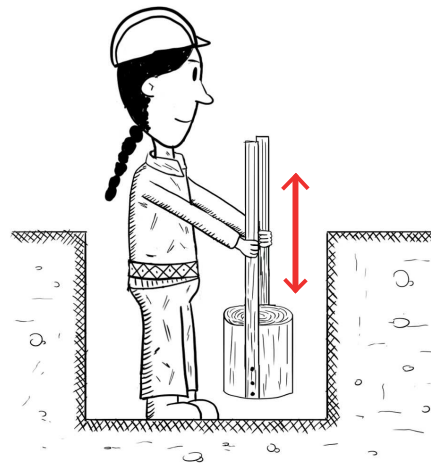
Para saber si el suelo es lo suficientemente duro se puede realizar las siguientes pruebas:

1. dejar caer una barra, en vertical, desde la altura de un metro. Si la barra se queda parada, el suelo es blando. Si la barra se cae, el suelo es duro.

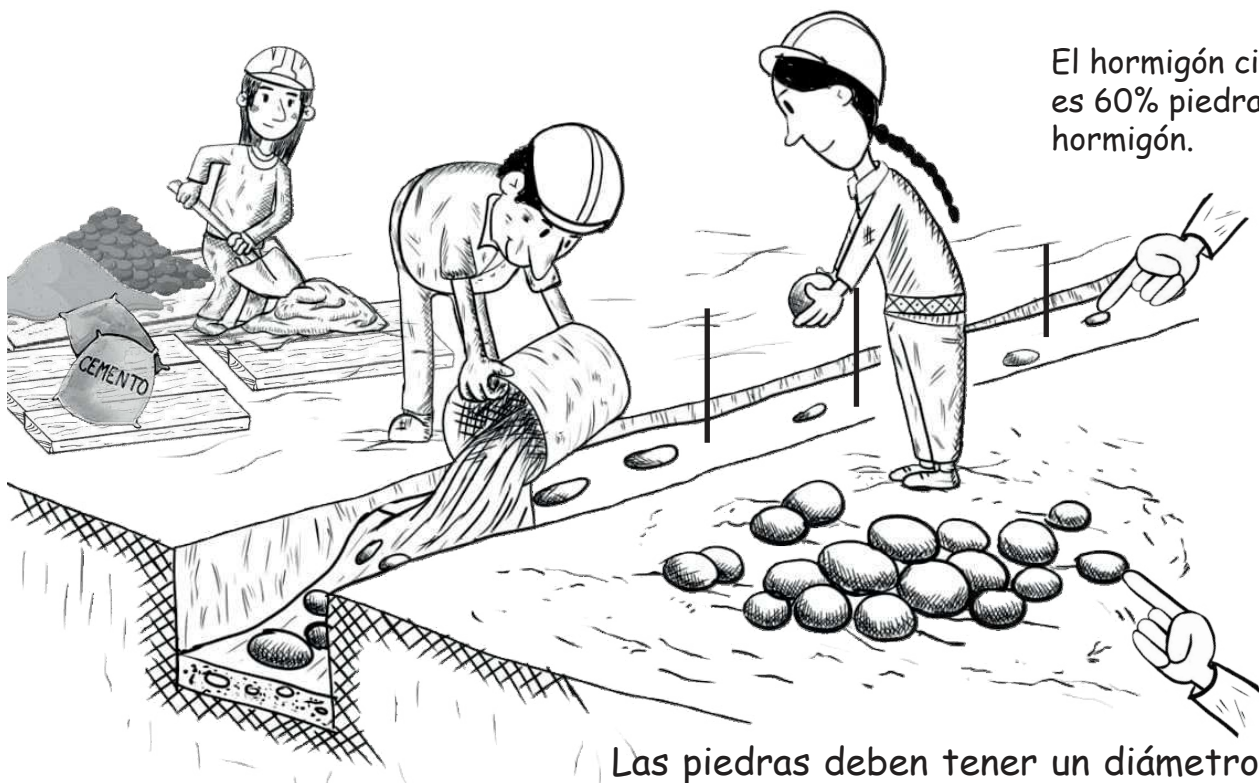
2. Colocar una persona de 65 Kilogramos (143 lb) sobre un cubo de madera dura de 3x3x3 centímetros colocado en el fondo de la zanja. Si el cubo penetra el suelo es blando, si no, es duro.



Luego se debe compactar con el pisón el fondo de la excavación. Entonces se debe llenar la zanja con hormigón ciclópeo



Primero se coloca 5 centímetros de hormigón, luego se coloca las piedras separadas aproximadamente 4 centímetros entre ellas, posteriormente vertemos el hormigón hasta unos 25 centímetros por encima de las piedras y repite el procedimiento hasta llenar la zanja.



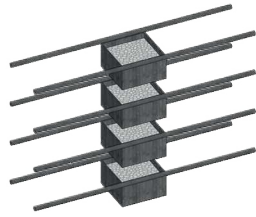
El hormigón ciclópeo es 60% piedra y 40% hormigón.

Las piedras deben tener un diámetro de entre 10 y 30 centímetros. empieza colocando las piedras más grandes.

El hormigón se mezcla por cada saco de cemento de 50 kilogramos con la siguiente cantidad de materiales:

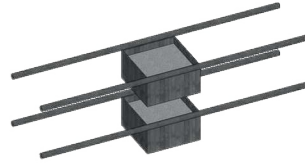


1 Saco de cemento de 50 kilogramos



4 parihuelas de ripio (max 18 milímetros)

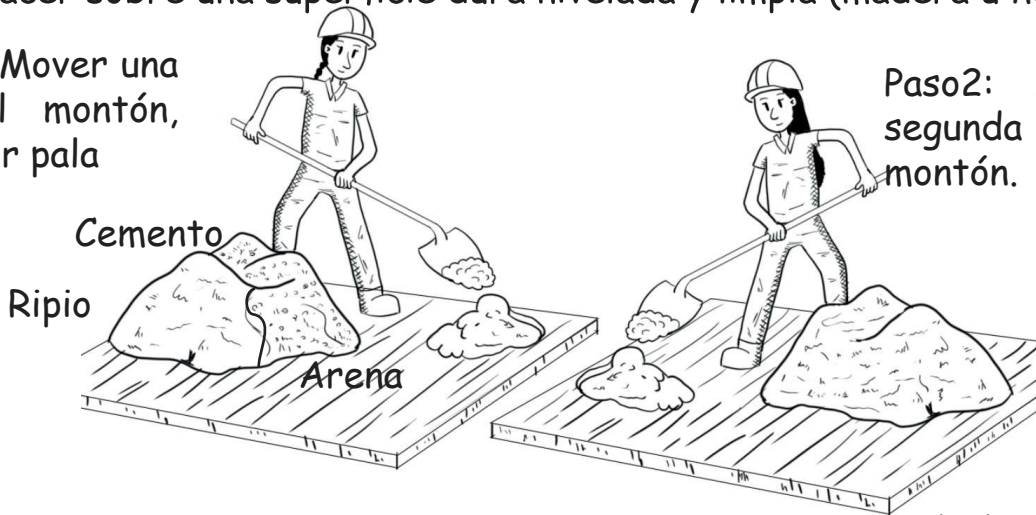
2 parihuelas de arena limpia



25 a 35 litros de agua limpia

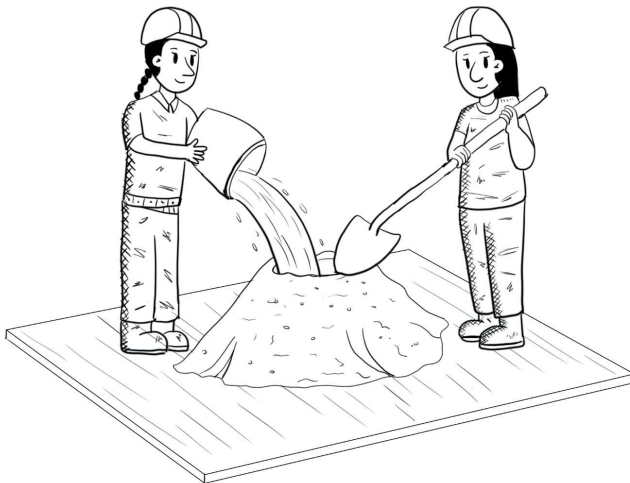
1. Se deben mezclar los materiales primero en seco sin añadir agua, esto se lo debe hacer sobre una superficie dura nivelada y limpia (madera u hormigón)

Paso1: Mover una vez el montón, pala por pala



Paso2: Mover una segunda vez el montón.

2. El agua debe añadirse poco a poco e ir mezclando cada vez. Debemos obtener un hormigón consistente, no muy aguado.

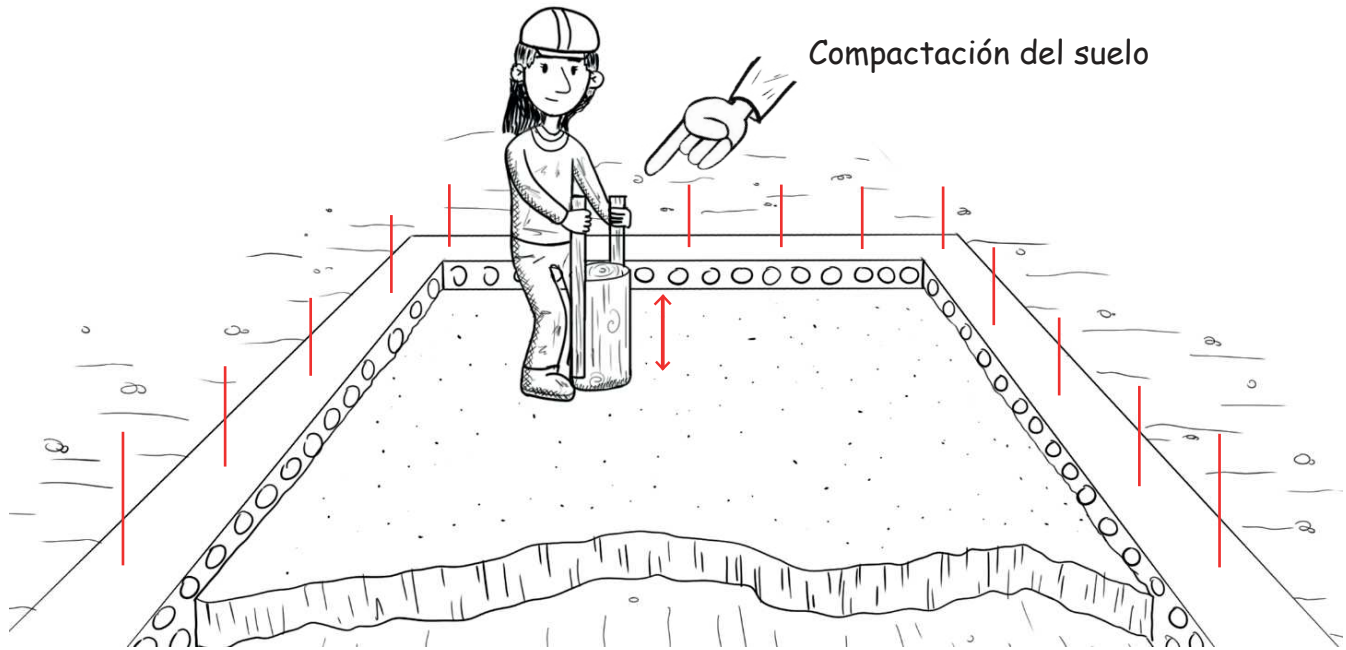


Un hormigón que fluye entre los dedos es demasiado líquido.

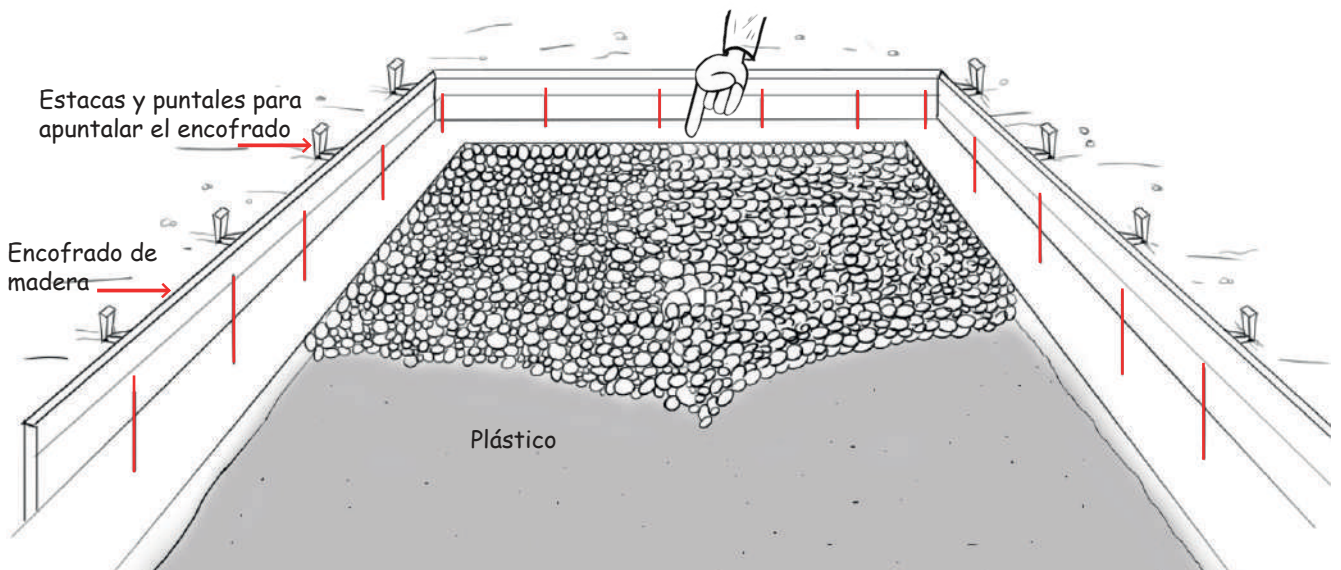
El hormigón debe ser utilizado dentro de la primera hora



Para hacer el piso se debe retirar aproximadamente 10 centímetros de suelo. Luego se compacta la superficie antes de colocar un plástico grueso para evitar la humedad. A continuación, se acomodan piedras de más o menos 10 centímetros de diámetro. Sobre esto se pone una malla electrosoldada de 15 x 15 centímetros y 4 milímetros de diámetro y se vierte una capa de hormigón de 10 centímetros de alto.

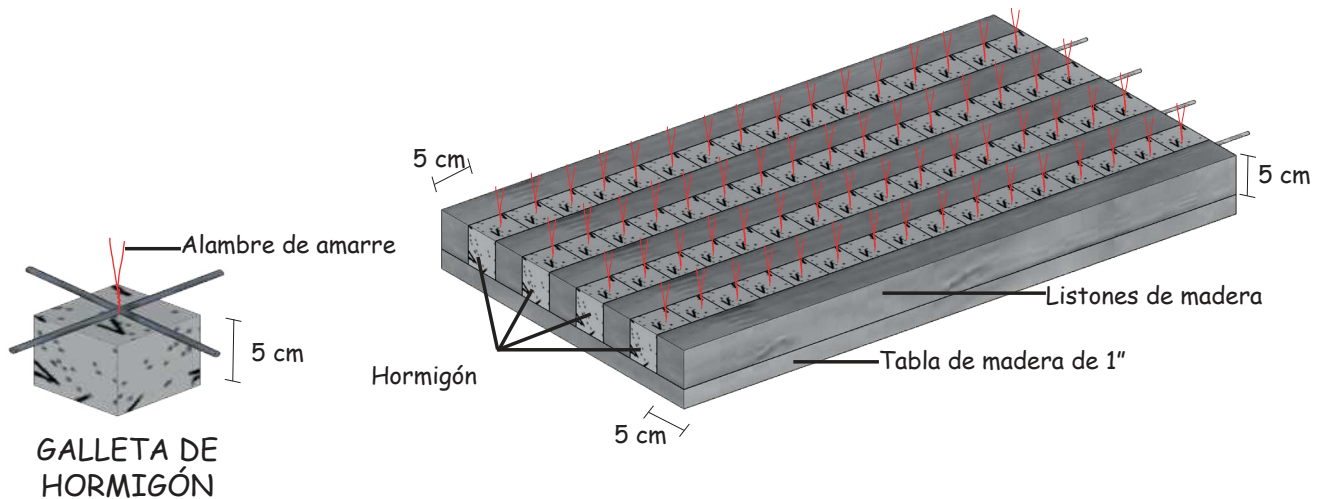


Piedras sobre plástico



Para garantizar que exista el suficiente recubrimiento de hormigón y así proteger el acero de la malla electrosoldada, se debe colocar unas alzas (galletas) las cuales se ubicarán cada 1,5 a 1,8 metros. Estas galletas tienen un alambre que les permite ajustarse a la malla para que no se muevan durante la colocación del hormigón.

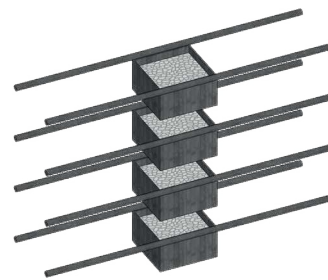
Para hacer los moldes de las "galletas" se puede usar madera y cortar el hormigón cuando todavía esté suave pero firme.



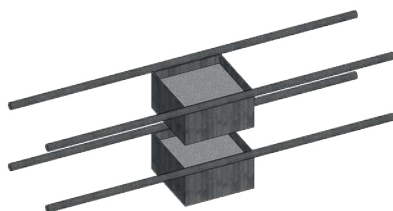
Para realizar el hormigón del piso y el sobrecimiento, se utilizará la siguiente dosificación.



1 Saco de cemento de 50 kg



4 parihuelas de ripio

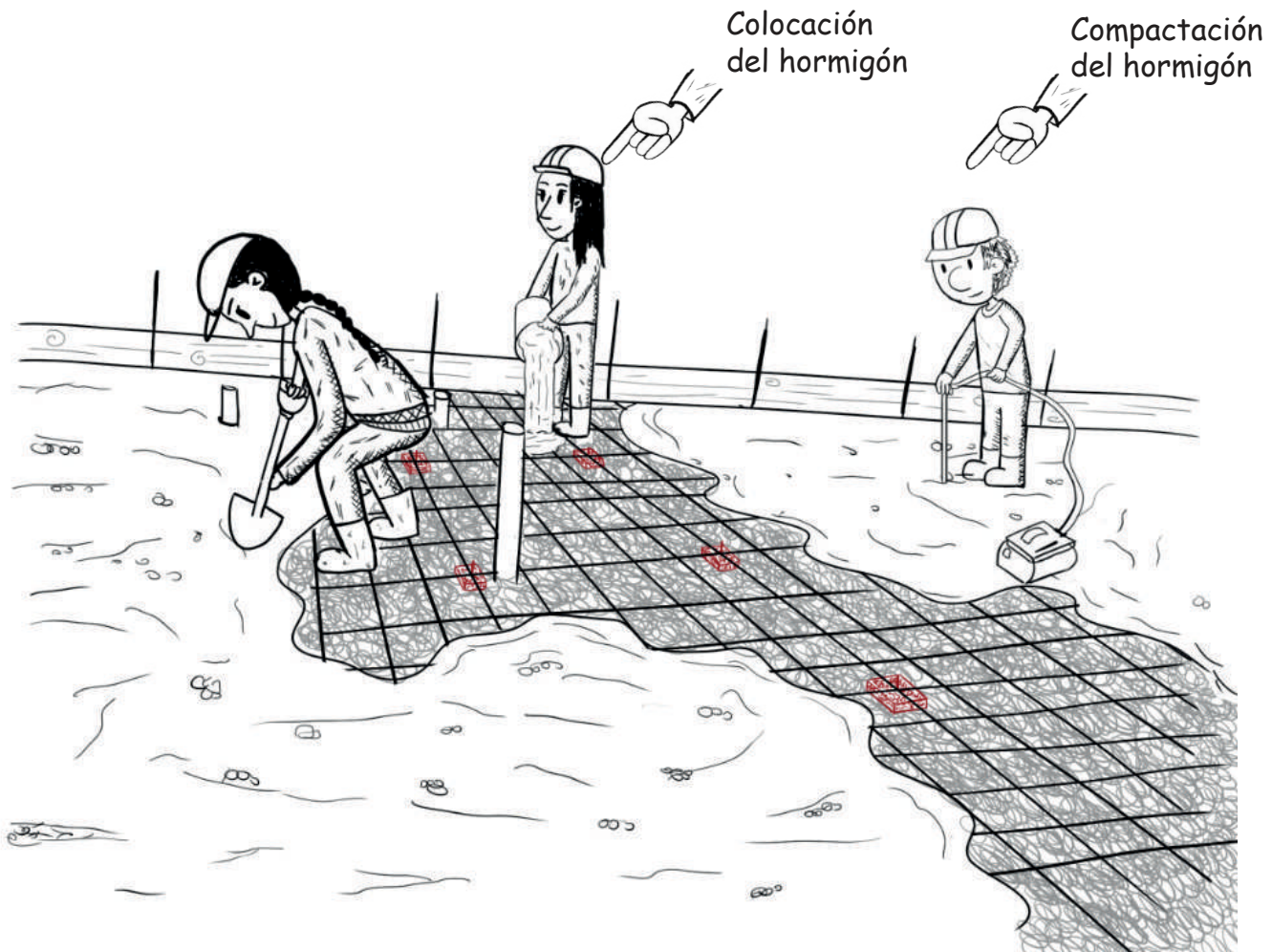


2 parihuelas de arena limpia

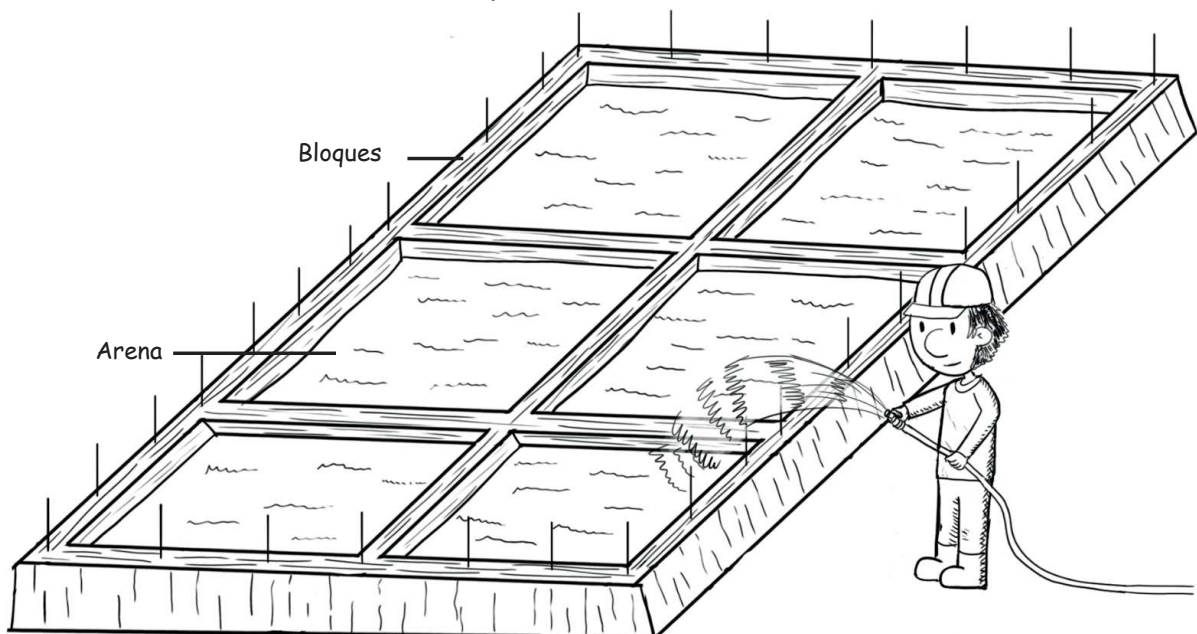


25 a 35 l de agua limpia

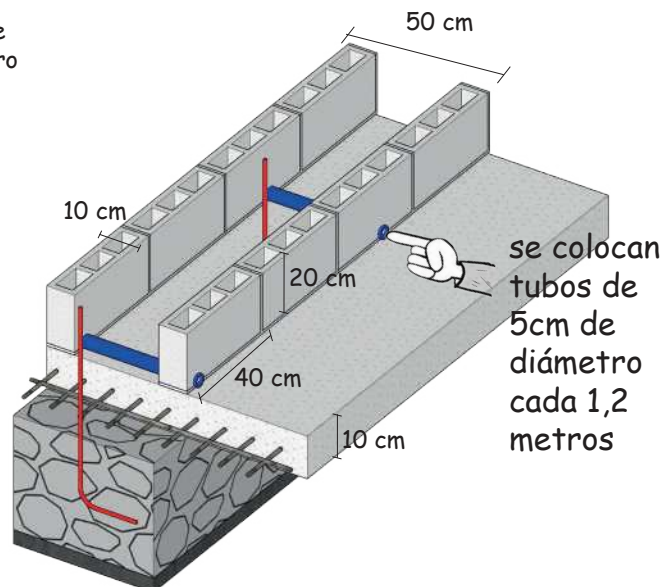
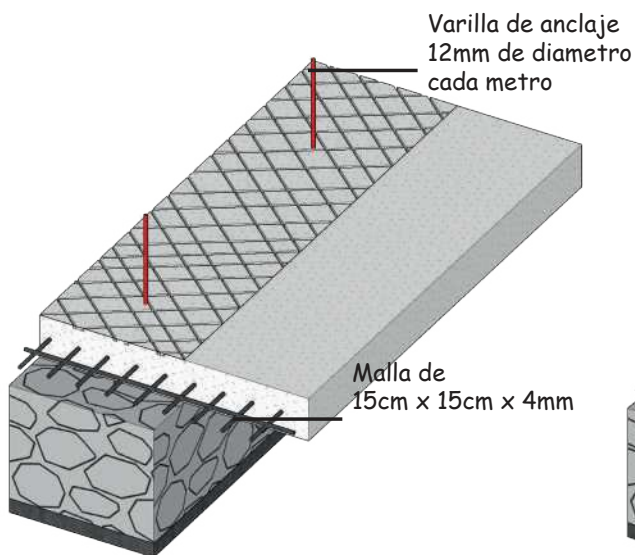
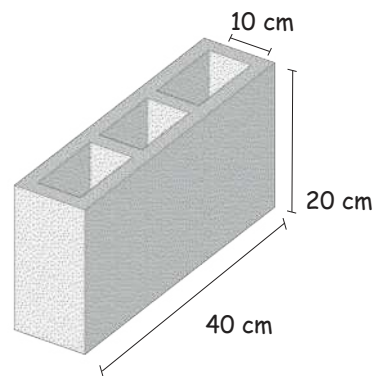
Para que el hormigón no pierda resistencia hay que colocarlo evitando que caiga a una altura mayor a un metro. También hay que vibrarlo, preferiblemente con un vibrador de aguja. Para esto hay que introducir la aguja en el hormigón de forma vertical hasta que la superficie quede brillante y no presente burbujas (aproximadamente de 5 a 15 segundos en cada punto). La separación entre puntos de vibrado debe estar entre 45 y 75 centímetros.



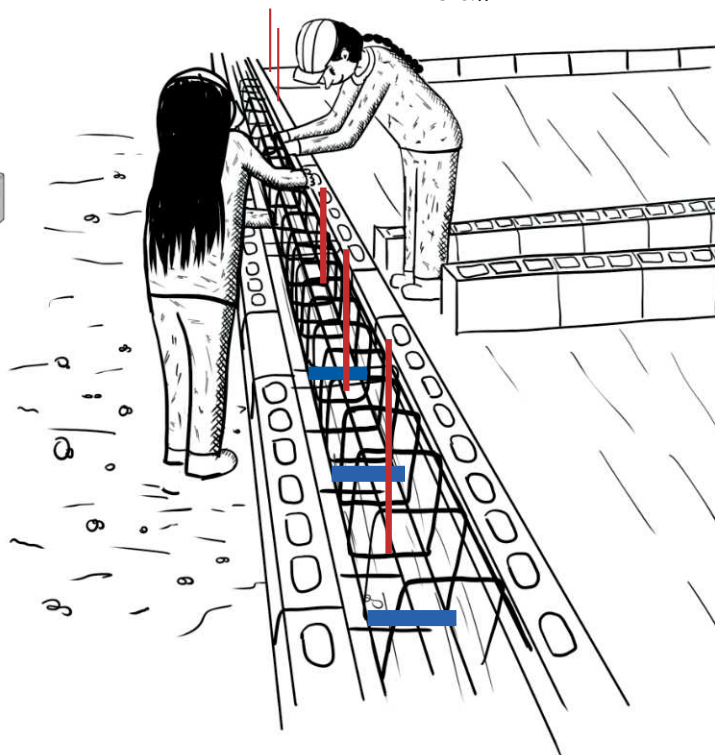
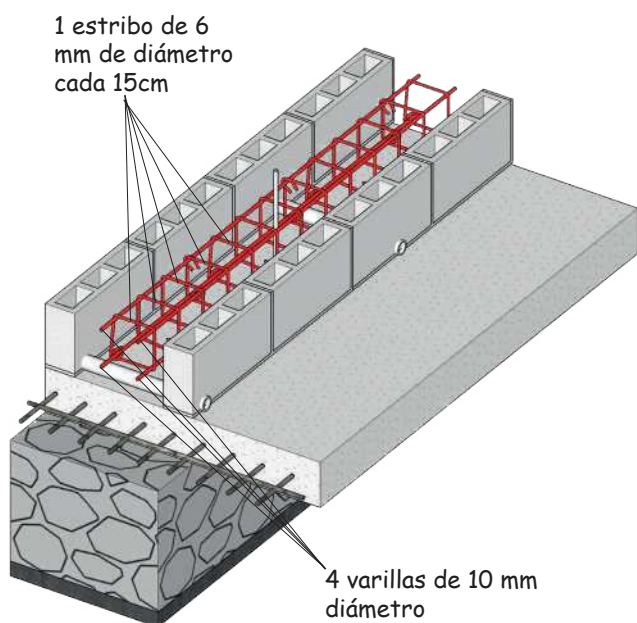
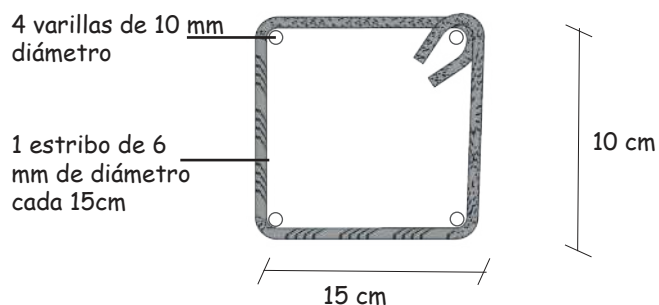
Una vez colocado el hormigón hay que curarlo manteniendo mojada la superficie por 7 días, para ello se puede utilizar el método de las "arroceras" formando "piscinas" con bloques y arena, luego inundándolos con agua limpia. Después de los 7 días se retira de las arroceras.



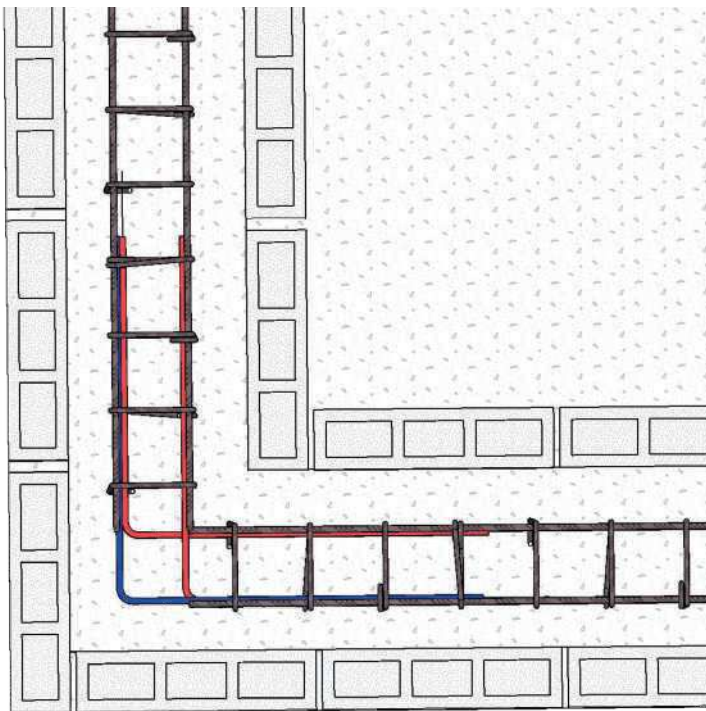
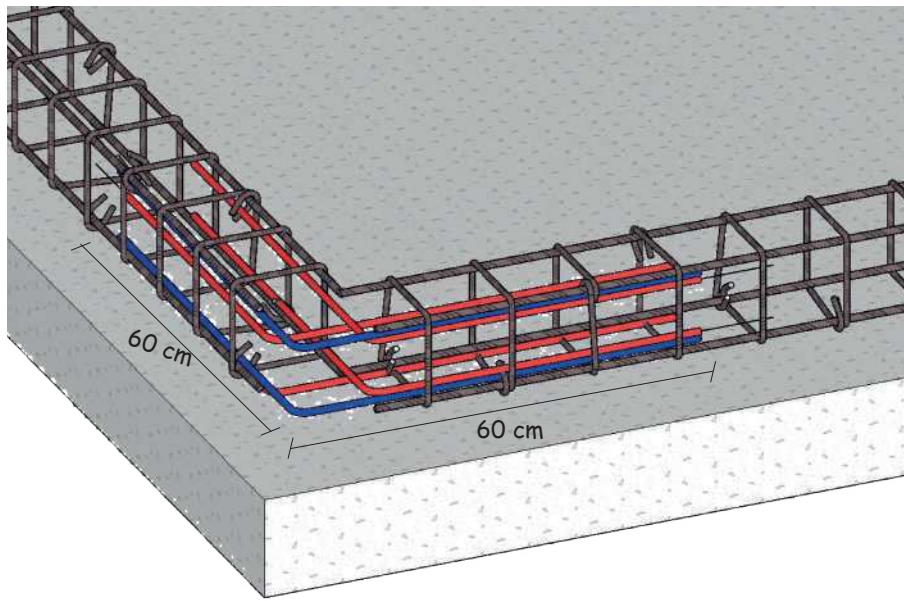
Luego para hacer el sobrecimiento, se coloca bloques de hormigón de 10 x 20 x 40 centímetros a una distancia entre ellos de 30 centímetros. Se usa un mortero realizado con 3 partes de arena y una parte de cemento. Se puede colocar 3 parihuelas de arena por cada saco de 50 kilogramos de cemento.



Dentro del sobrecimiento ubica la armadura de la cadena que servirá para conformar un anillo que mantenga juntas las paredes de nuestra casa ante un sismo.



Las esquinas del anillo deben reforzarse. Se recomienda usar 4 varillas adicionales, de 12 milímetros de diámetro y cruzarlas como muestran las líneas rozas de la imagen.



Estas varillas de refuerzo (representadas por las líneas rojas) se deben extender desde el interior. Adicionalmente se colocará 2 varillas en la parte exterior de la esquina como lo muestran las líneas azules.

A continuación se coloca hormigón en el sobrecimiento. Se usa un vailejo para un buen acabado.

Además, se puede compactar el hormigón usando una varilla lisa de punta redondeada de 16 milímetros de diámetro y 60 centímetros de longitud. La compactación se realiza picando el hormigón con la varilla

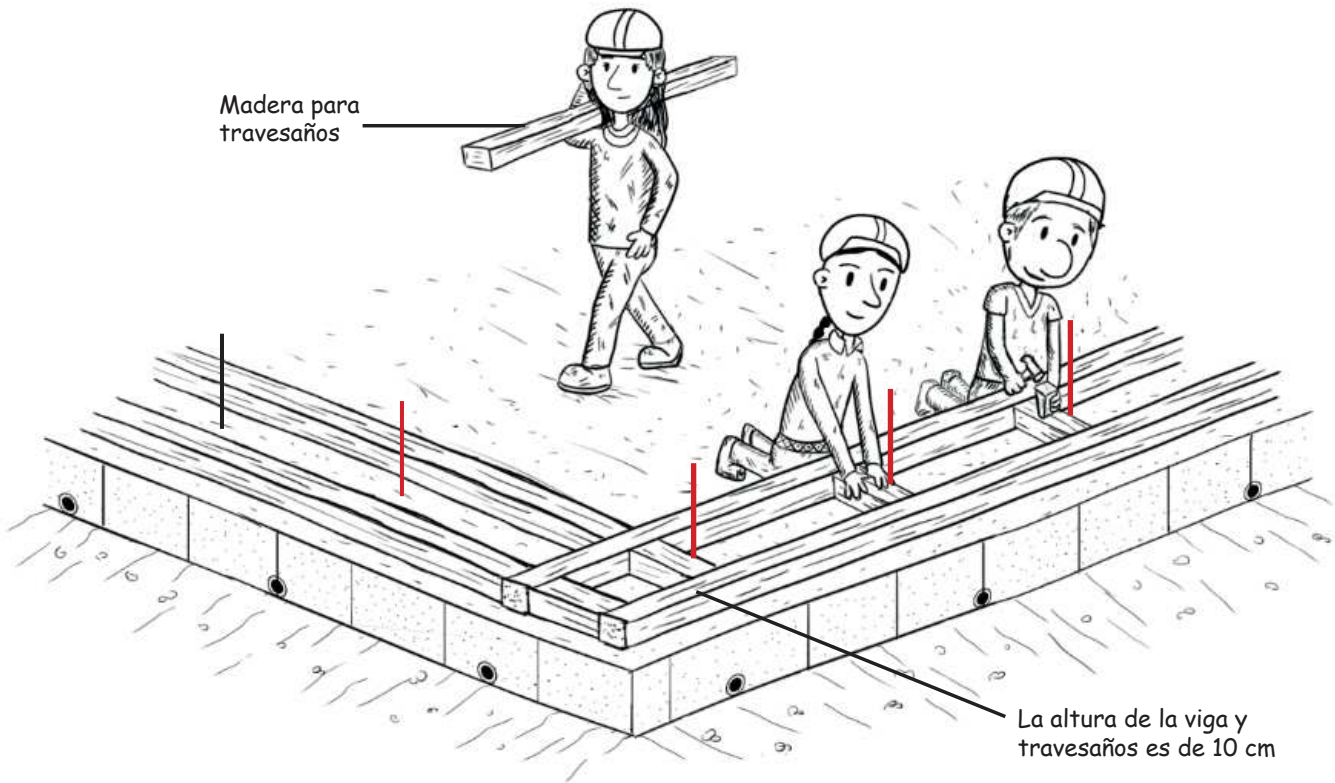


Luego, que el hormigón haya endurecido, es conveniente cubrir con pintura asfáltica el sobrecimiento. De esta manera se protege a las paredes de fardos de la humedad que pueda ascender por capilaridad.



LEVANTAMIENTO DE PAREDES

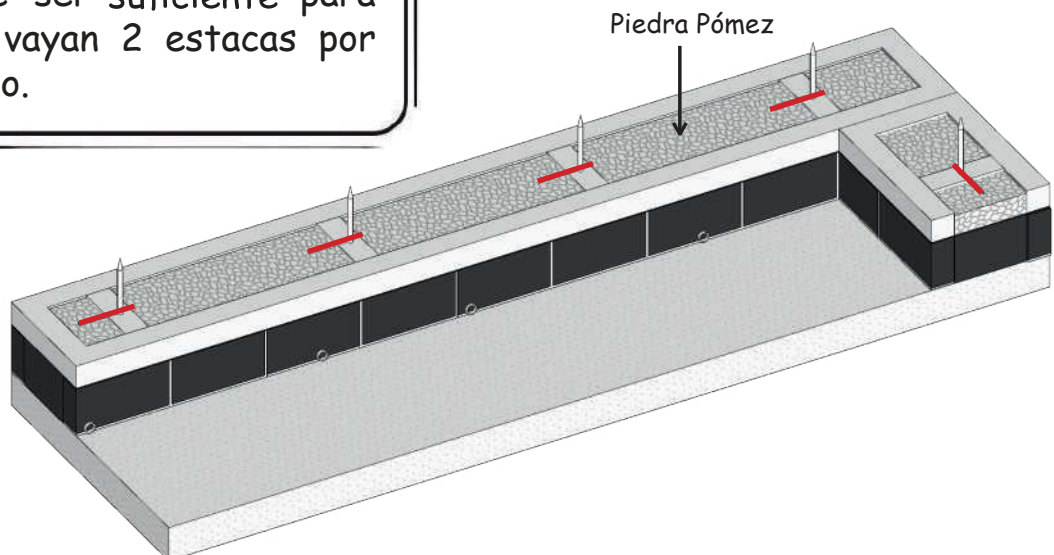
Después, se ubica la viga inferior, cuidando que los travesaños queden junto a las varillas de anclaje.



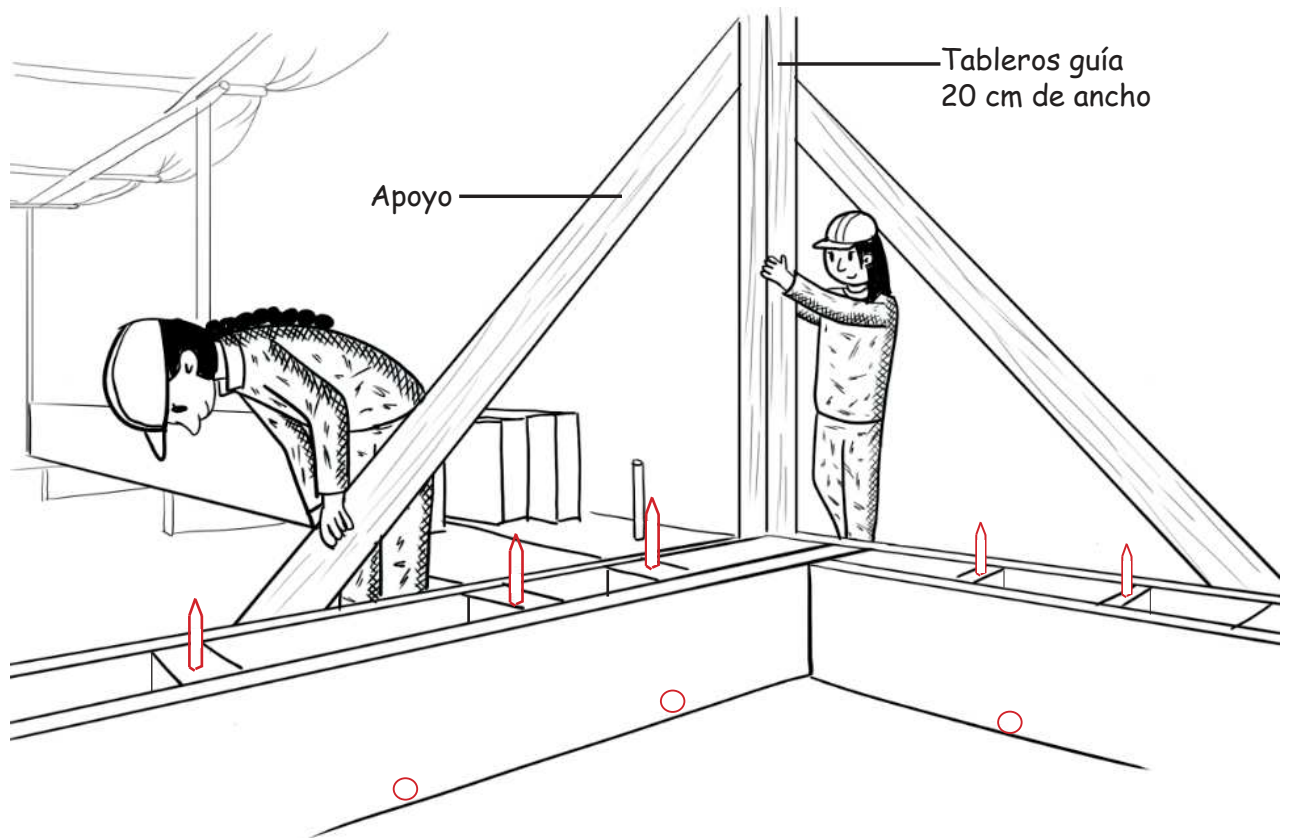
A continuación, se doblan las varillas sobre los travesaños para amarrar la viga. También se colocan las estacas de la primera hilera haciendo perforaciones en los travesaños.

Para reforzar la barrera anti-humedad, se ubica piedra pómez entre los travesaños.

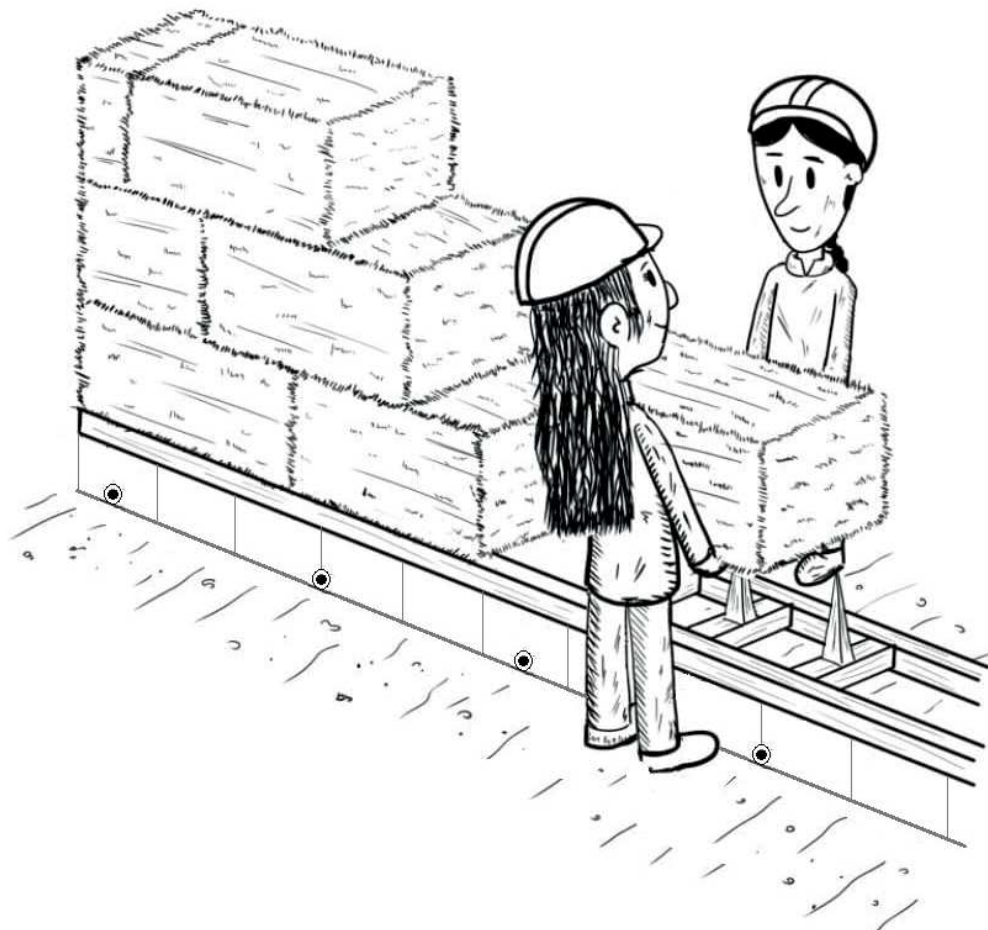
La cantidad de travesaños debe ser suficiente para que vayan 2 estacas por fardo.

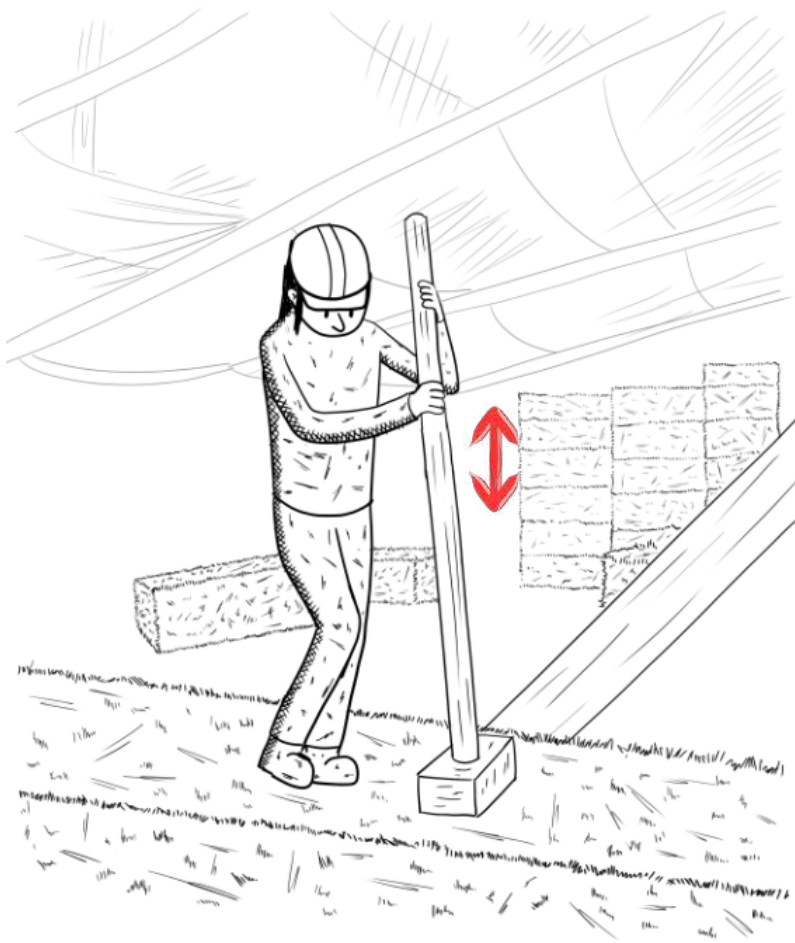


Luego se ubican en las esquinas, tableros de madera perfectamente verticales, estabilizados con 2 apoyos



Los fardos deben ser colocados en el muro a rompejuntas. La longitud máxima del muro sin arriostramiento es 6,5 metros de longitud.

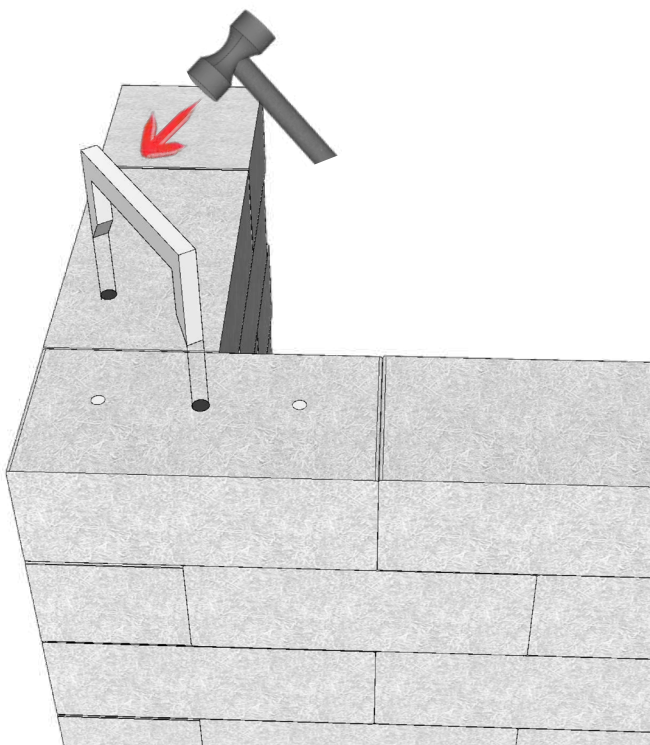




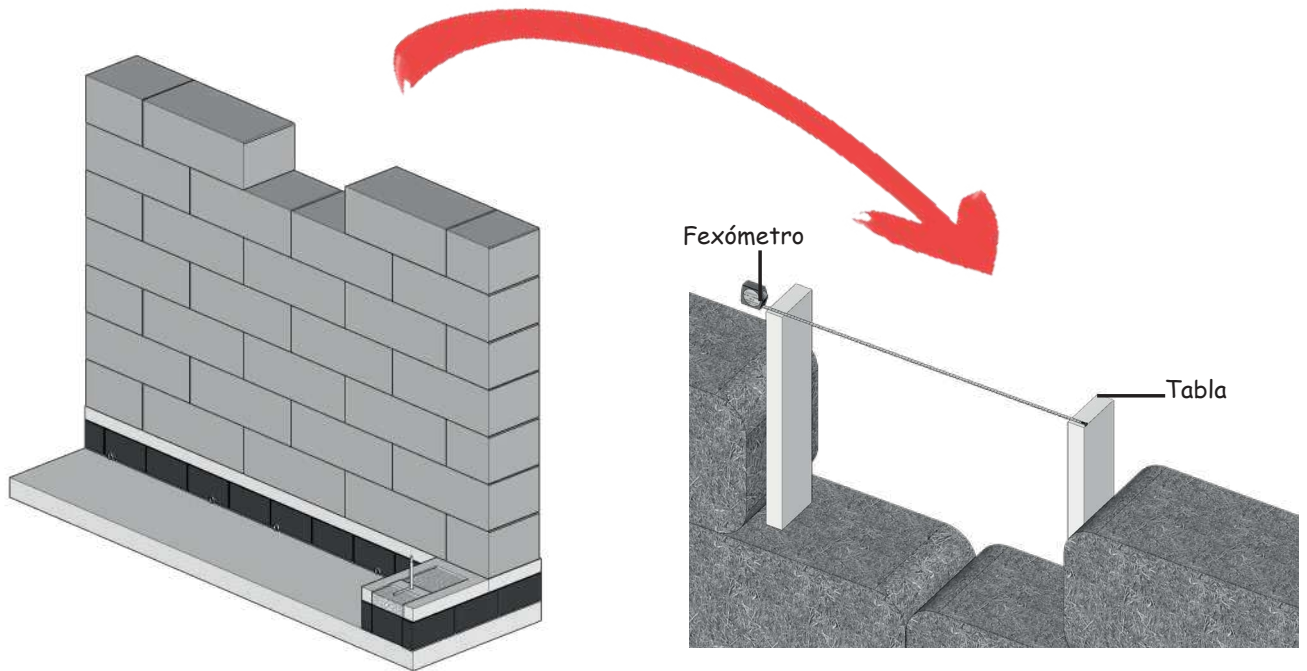
Se debe apisonar la primera hilera de fardos para que se claven a las estacas. En esta labor es muy útil el mazo de madera.

NO HAY QUE OLVIDAR

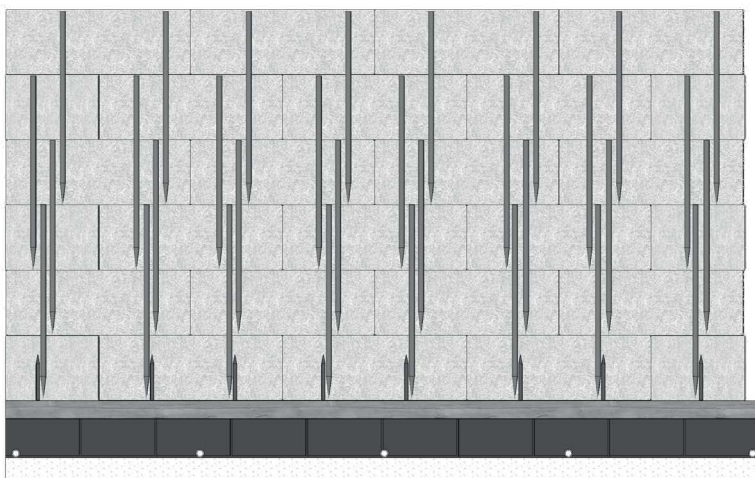
Es muy importante colocar las grapas en las esquinas de la casa. Como se indicó las grapas deben ir en cada hilera



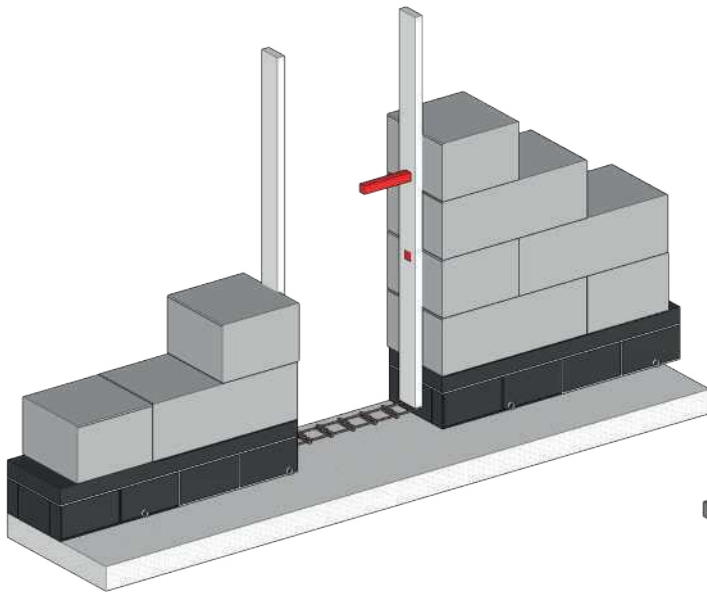
Para que los fardos queden a rompejuntas, se los debe cortar y asegurar como ya se indicó en el Capítulo 1. La longitud del corte se lo toma con la ayuda de dos pequeñas tablas. Como se muestra a continuación.



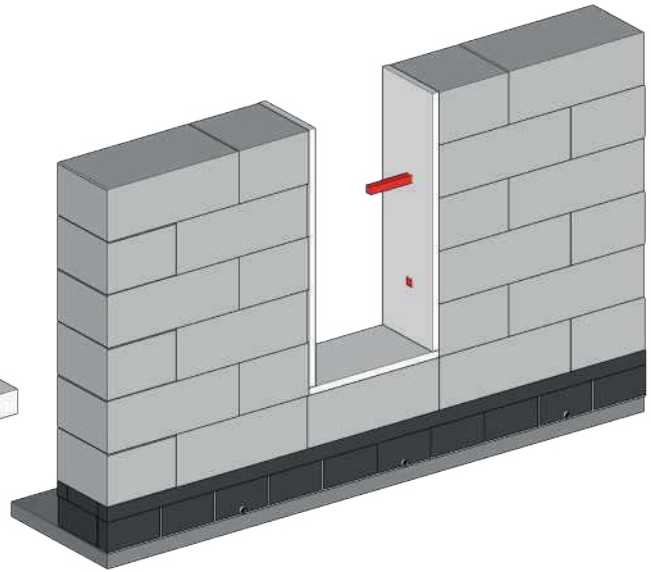
Otro aspecto importante para dar forma al muro es "coserlo" con pasadores de madera. Dos por fardo cada tres hileras. Los pasadores son estacas de un metro de longitud y 2,5 x 2,5 centímetros de sección. Esto está detallado en el capítulo 2 de este mismo manual.



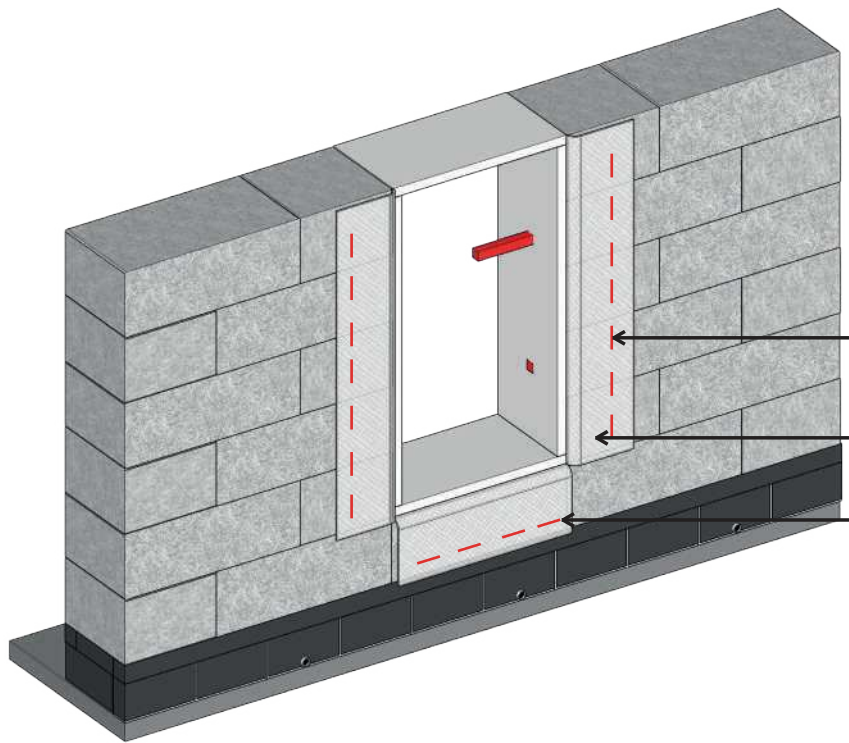
Los marcos de las puertas y ventanas deben colocarse a medida que se levantan los muros. Se ubican estacas para afianzarlos a los muros. La sección recomendada de las estacas es 2,5 x 2,5 centímetros y 30 centímetros de longitud. Deben penetrar completamente en el muro. Estas estacas deben colocarse una vez se hayan comprimido los muros



PUERTA



VENTANA



Clavija

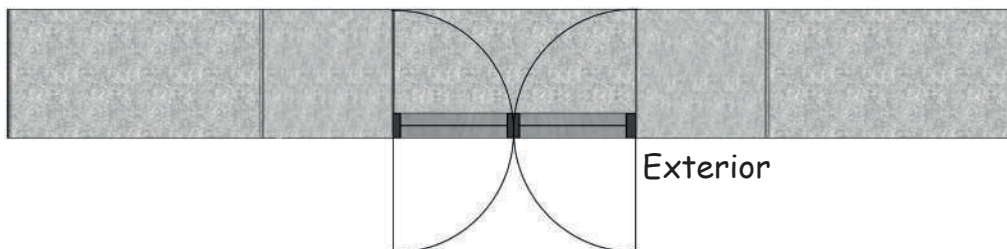
Clavijas hechas de alambre (10 cm de largo)

Malla de yute

Debajo de la malla de yute se puede colocar un plástico para proteger la parte baja de la ventana

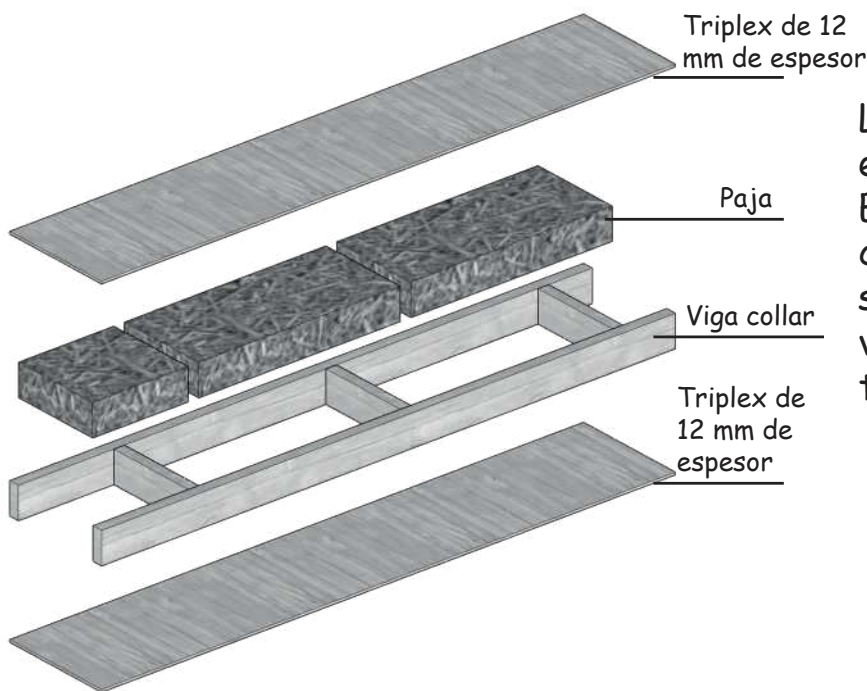
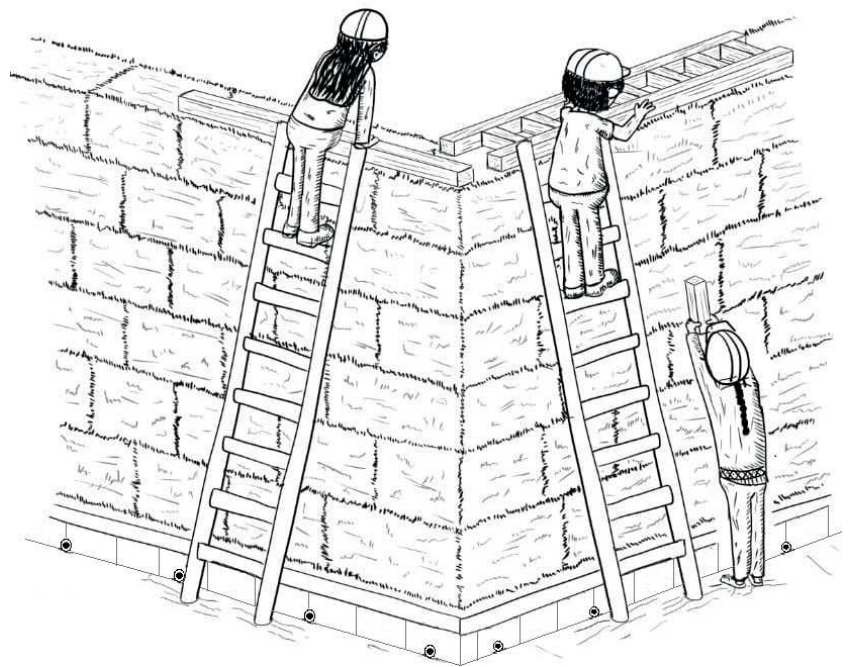
POSICIÓN DE LA VENTANA

Interior



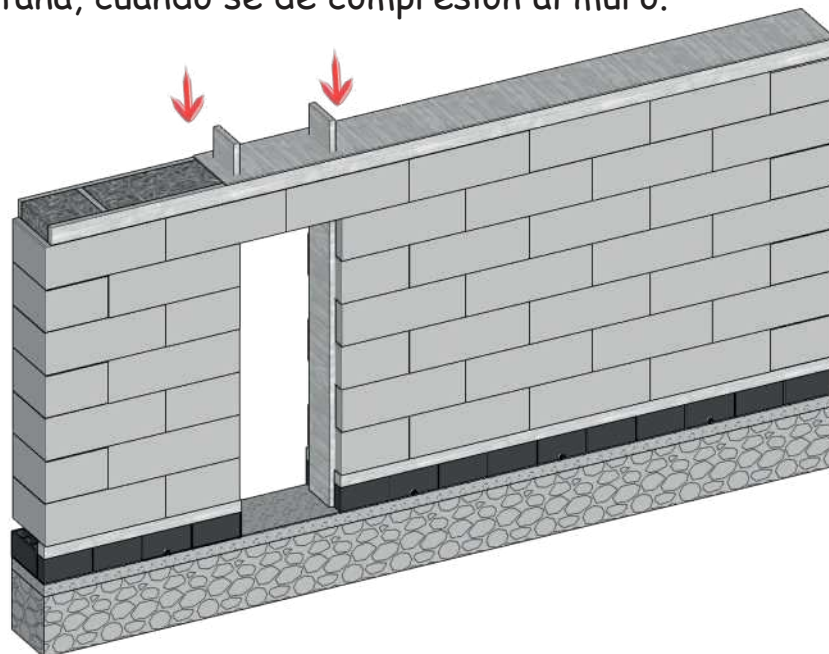
Exterior

Una vez que se ha completado la altura del muro (recordar que es de máximo 7 hileras o 2,8 metros) se coloca la viga collar superior. Para mayor facilidad se recomienda subir la escalerilla con la tapa inferior y una vez colocada se rellena de paja y se pone la tapa superior.



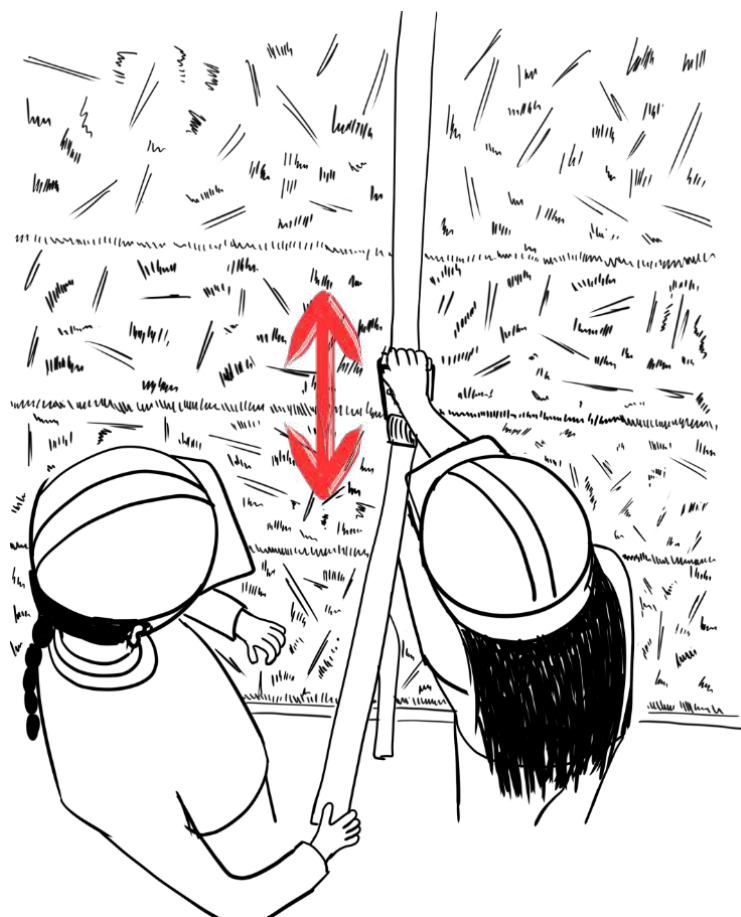
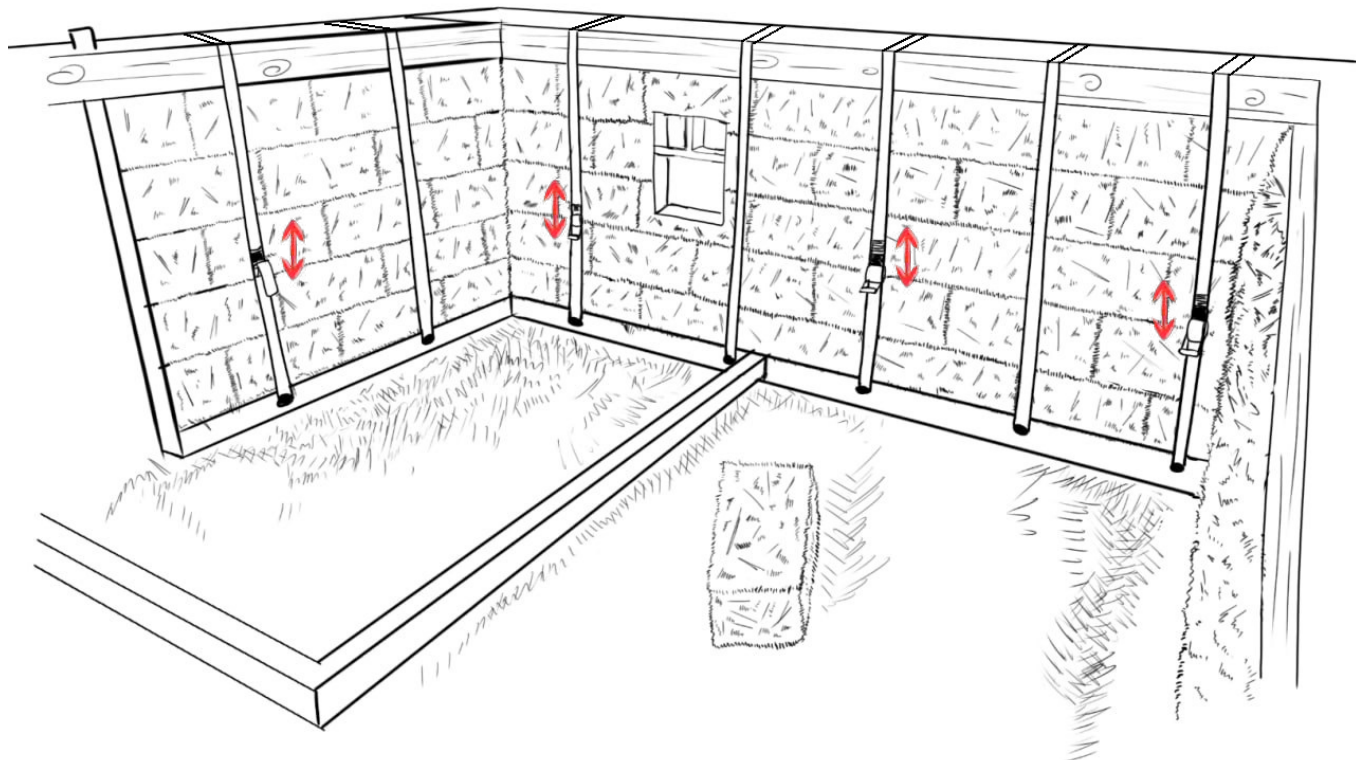
La paja de relleno sirve para evitar "puentes térmicos". Es decir sitios por donde el calor de dentro de la casa se escape. Las tapas de la viga collar pueden ser de tabla triplex u OBS.

En la viga collar hay que dejar orificios para que pasen los marcos de puertas y ventana, cuando se de compresión al muro.



Luego de haber colocado la viga collar se debe pasar las eslingas a través de los tubos de PVC del sobrecimiento. **Las eslingas abrazan la viga collar.** El sistema de ajuste de las eslingas debe quedar en ambas caras del muro, pasando una. Como se observa en la imagen.

Esto es importante, ya que, cuando se de compresión a los muros se debe hacer de forma simultánea y uniforme, para evitar que el muro se tuerza.

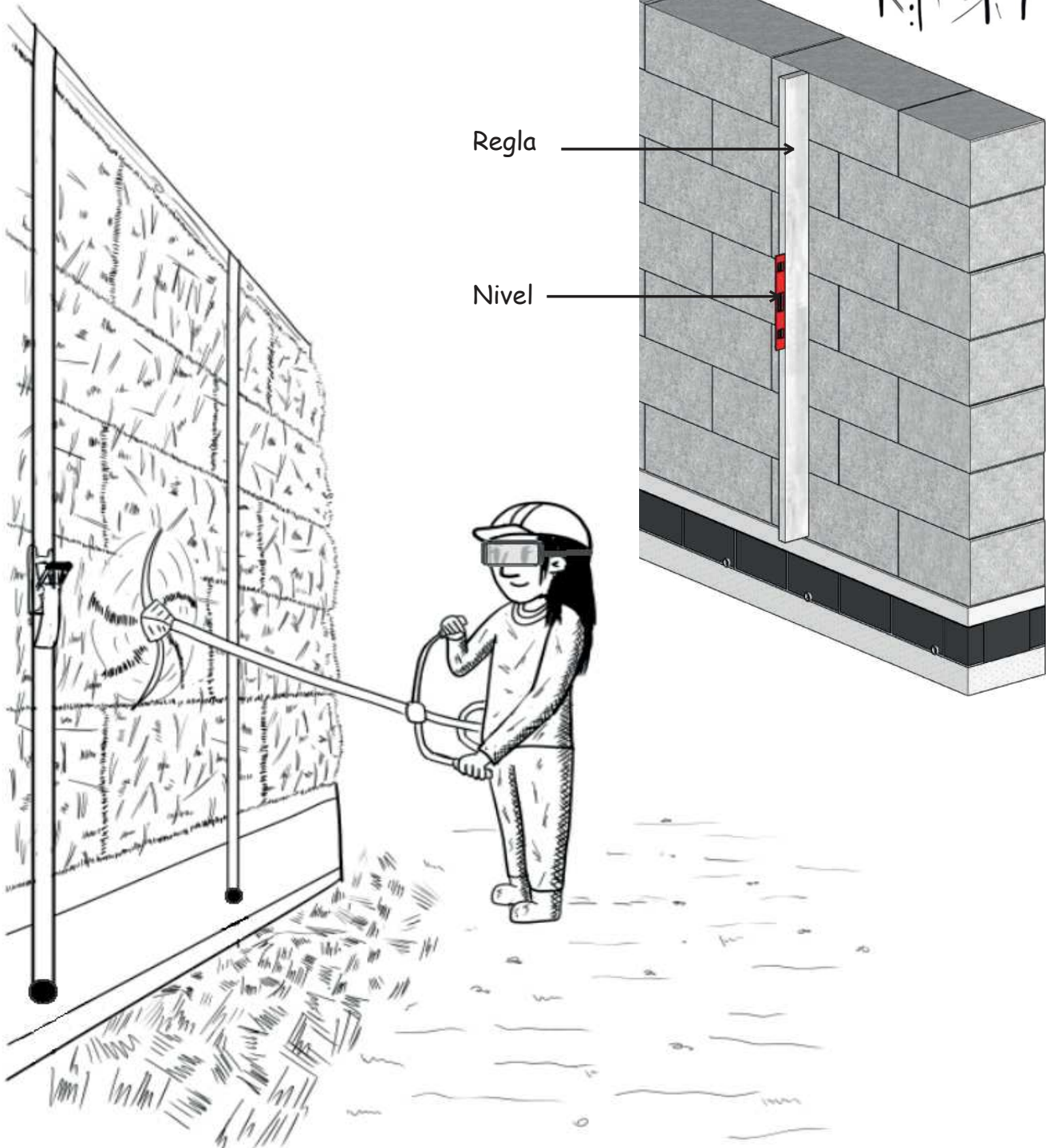


Una vez colocadas las eslingas una o dos personas deben situarse en cada sistema de ajuste. Como se observa en la imagen. Todos al mismo tiempo al mismo ritmo deben dar presión para comprimir el muro. Esta acción se realiza hasta cuando se ha bajado la altura del muro aproximadamente 5 cm.

Luego de que se ha comprimido el muro, se debe verificar que ningún fardo quede salido. Si esto sucediera simplemente se lo ubica nuevamente en su lugar golpeándolo con el mazo de madera. Como se muestra en la imagen.

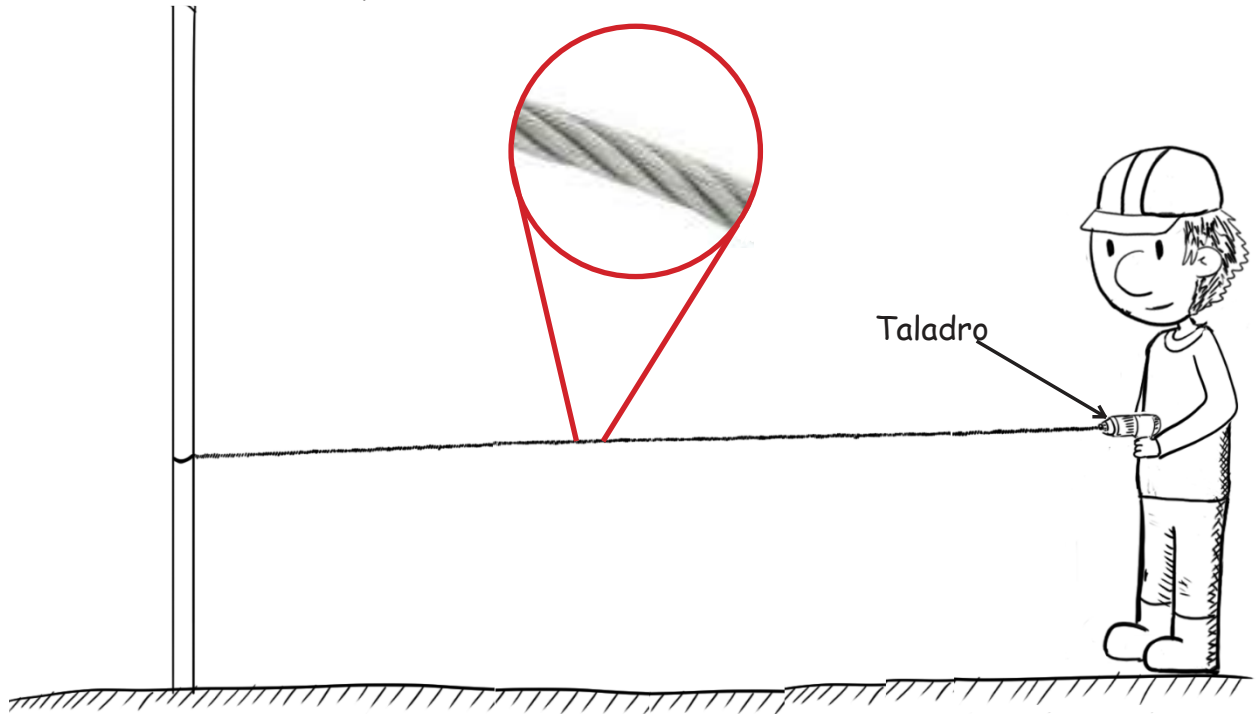


Debido a la compresión del muro, puede que haga falta "igualar" las caras de las paredes, para que queden planas. Esto se lo realiza con un cortador de césped o setos. Se puede comprobar la verticalidad del muro con una regla de madera a la que se le adopta un nivel de mano.

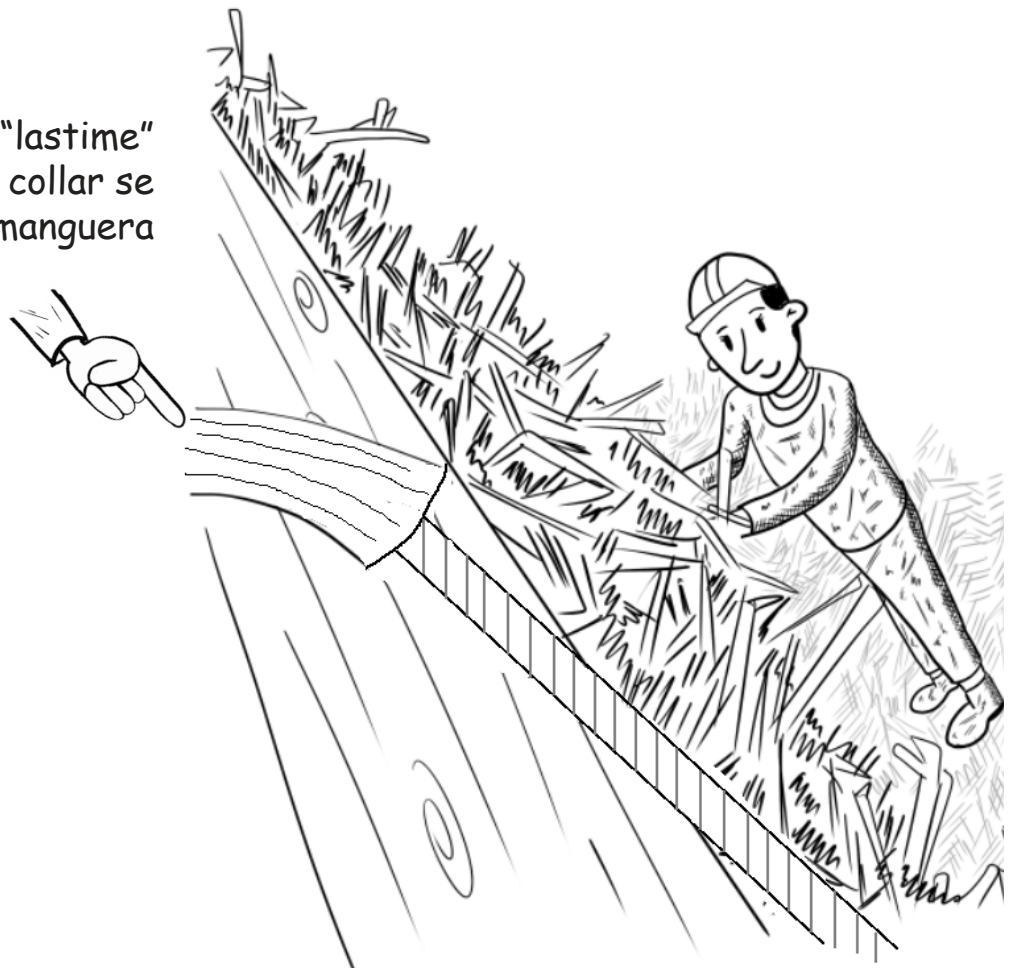


Luego de que se han comprimido los muros se debe reemplazar las eslingas, una por una, por alambre trenzado (tensores). Se usa alambre galvanizado, calibre 18.

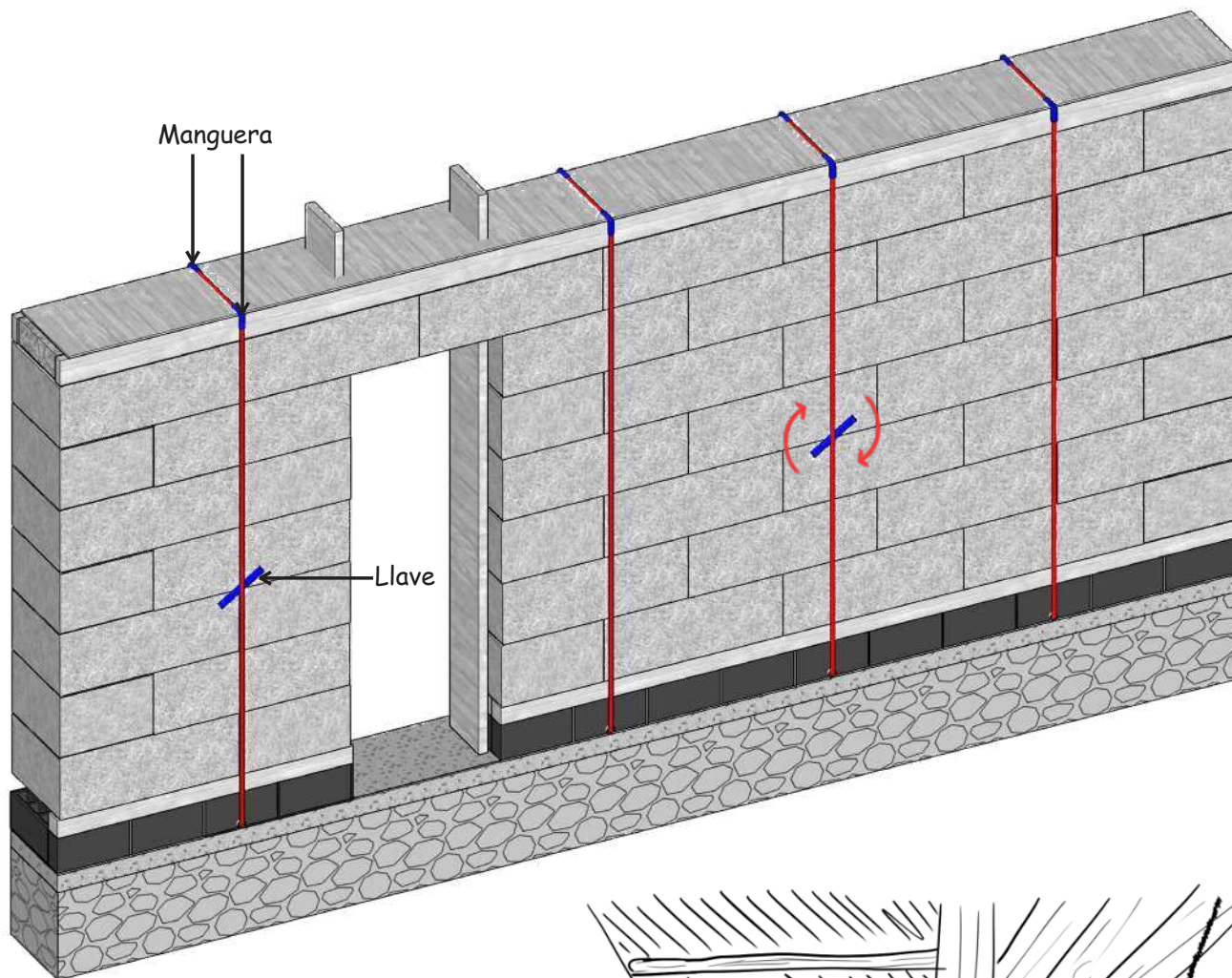
Para trenzar el alambre nos podemos ayudar con un taladro. Se inserta 3 hilos de alambre en el orificio donde se ubica la broca, posteriormente se tensan los alambres y se trenzan cuando se activa el taladro.



Para evitar que se "lastime" la madera de la viga collar se colocan trozos de manguera en las esquinas.

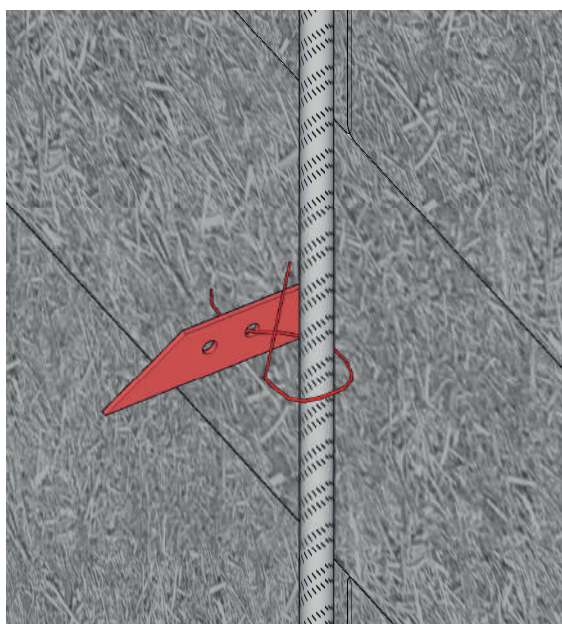


Los tensores deben colcarse lo suficientemente ajustados . Para ello se aplica presión usando una "llave de madera".



La "llave de madera" es un trozo de madera que se traba en el tensor para "ahorcarlo" y de esta forma "templarlo". La "llave" puede quedar en el muro, no hace falta sacarla.

Es conveniente que los tensores se "cosan" a la pared. De esta forma no estorbarán cuando se revoquen los muros. Se usa la "aguja para coser fardos" y piola de polipropileno.



Una vez se coloca la piola en la aguja se la introduce en el muro hasta atravesarlo. Se amarra el alambre trenzado con la piola y se saca la aguja, de tal forma que la piola que sujeta el alambre se pueda amarrar con el de la cara opuesta del muro.

Muro de paja

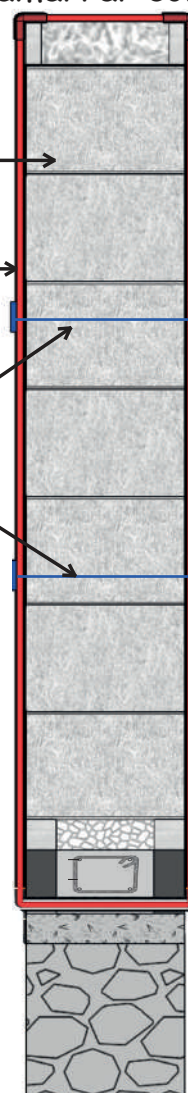
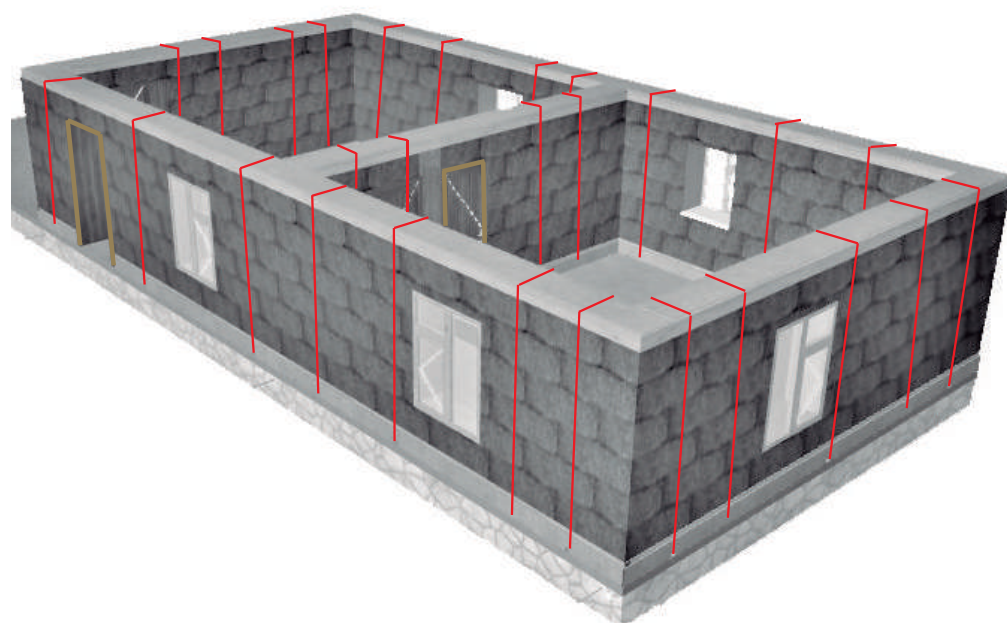
Tensor

Piola de polipropileno

1/3

1/3

1/3



REVOCADO

Las paredes de fardos de paja deben ser cubiertas. Principalmente para protegerlas de la humedad.

Los componentes del mortero son:

TIERRA ARCILLOSA.- Para reconocerla fácilmente se puede realizar la siguiente prueba:

1. Formar cuatro bolitas con tierra de la zona. Utilizar la tierra de la zona que se considera apropiada para emplearla como material de construcción y agregarle una mínima cantidad de agua para hacer cuatro bolitas (ver imagen). La cantidad de agua es la mínima necesaria para formar sobre las palmas de las manos cada una de las bolitas, sin que éstas se deformen significativamente a simple vista, al secarse.



2. Dejar secar las cuatro bolitas.

Las cuatro bolitas deben dejarse secar por 48 horas, asegurando que no se humedezcan o mojen por las lluvias, derrames de agua, etc.



NO SE ROMPE

SI

Sirve el suelo tiene arcilla

SE ROMPE

NO

Usar este suelo le falta arcilla



3. Presionar las cuatro bolitas secas.

Una vez transcurrido el tiempo de secado, se debe presionar fuertemente cada una de las bolitas con el dedo pulgar y el dedo índice de una mano (ver imagen). En el caso que luego de la prueba, se quiebre, rompa o agriete al menos una sola bolita se debe volver a formar cuatro bolitas con los mismos materiales y dejando secar en las mismas condiciones anteriores.

* Tomado de la norma peruana de construcción con tierra E080

TIERRA ARCILLOSA.- Para usarla en la obra y mezclarla con los otros ingredientes del mortero, es mejor si está en estado semilíquido, con una consistencia cremosa como el yogurt (**Barbotina**). Para probar que esté bien realizada, introduzca su mano en la barbotina, debe penetrar fácilmente y salir como si estuviera cubierta con un guante fino de barro.

ARENA.- Tiene la función de disminuir fisuras y aportar resistencia al mortero. No se recomienda el uso de arena de playa o de río porque tiene forma redondeada, es mejor usar arena de mina, cuya forma es irregular.

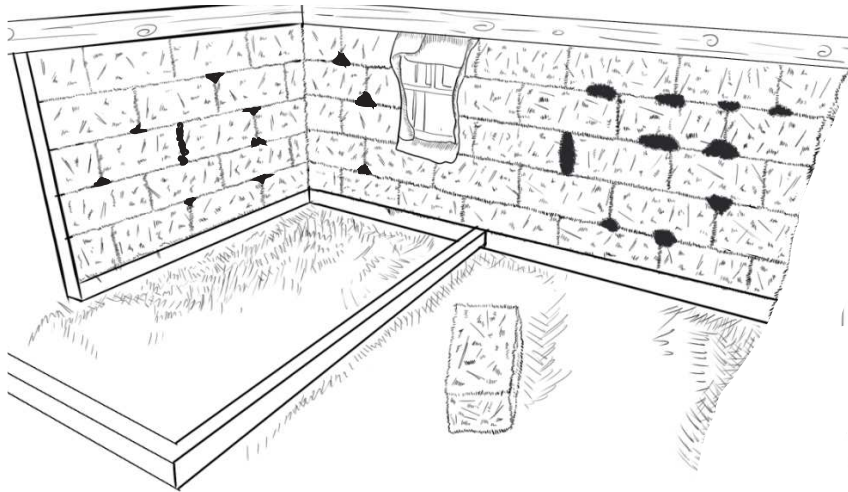
Tanto la tierra como la arena deben estar tamizadas. libres de piedras y raíces.



FERMENTANTE. - Para garantizar la durabilidad e impermeabilidad del recubrimiento de la casa se recomienda usar un fermento. Se lo hace colocando suficiente agua en un recipiente grande y limpio. Posteriormente se añade hojas de penco picadas. Las hojas deben estar libres de espinas. Los trozos de hojas son de aproximadamente 3x3 centímetros. Se deja reposar esta mezcla por 15 días.



PAJA.- Se usa la paja más pequeña de entre 2 y 5 centímetros que se suelta como consecuencia de la manipulación de los fardos.



Antes de empezar a cubrir las paredes con el revoco es conveniente rellenar los huecos que pudieron haber quedado entre los fardos, con paja larga embarrada con barbotina.

CAPA DE IMPRIMACIÓN. - Para garantizar una buena unión es aconsejable aplicar barbotina a la pared antes de revocar. Esto favorece la adherencia de las siguientes capas. La capa de imprimación es de 2 centímetros de espesor aproximadamente.

La aplicación se puede hacer de forma manual, tratando de conseguir que la barbotina penetre lo mas posible dentro de la paja.



Recordemos que la barbotina tiene consistencia de yogurt espeso y es muy pegajosa.

Para que penetre la barbotina se la hunde con los dedos en la paja.



CAPA DE CUERPO.- La capa de cuerpo que se coloca sobre la pared. Forma un todo estructural con el muro, ya que trabaja con los fardos de paja como una estructura tipo sánduche, aportando resistencia y rigidez. Esta capa tiene un grosor medio de 4 centímetros. También permite nivelar la superficie del muro. Se comporta como un regulador térmico natural integrado en la casa, almacena el calor del sol durante el día y lo libera lentamente por la tarde cuando hace más frío. También esta capa es un buen regulador de humedad. Es el soporte del enlucido.

Dosificación sugerida para 50 litros (si se usan cubos de 10 litros)

3 cubos de barbotina espesa

3 cubos de paja corta (5 centímetros de longitud)

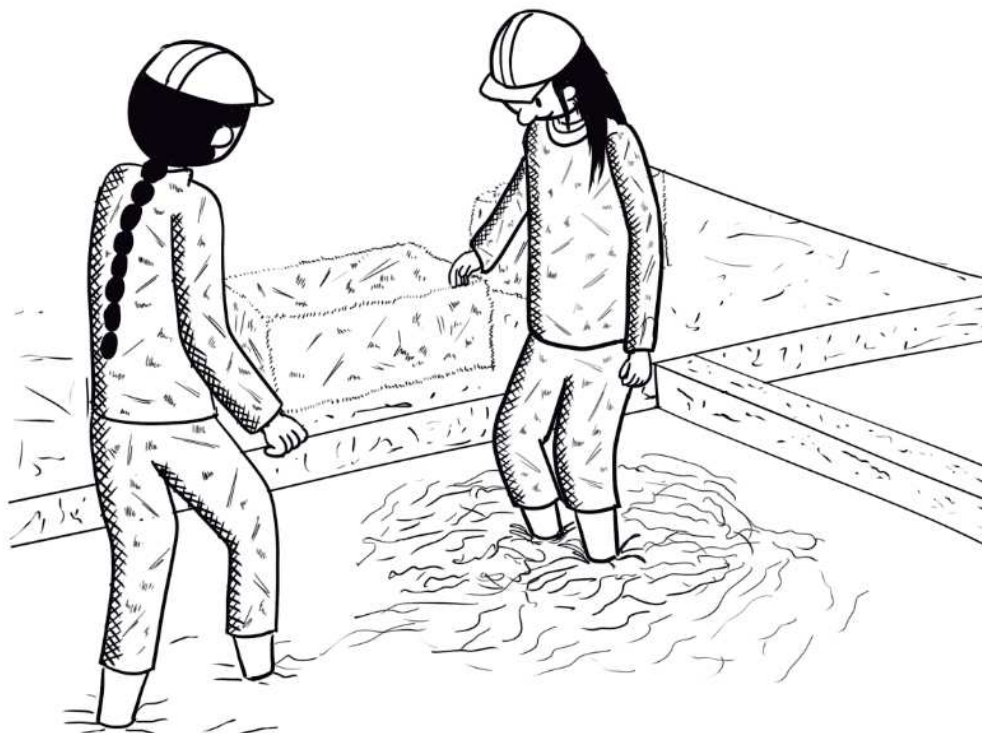
1/2 a 1 cubo de arena

1 cubo de cal

1/2 litro de fermentante

Agua suficiente para que quede la consistencia adecuada

Se tiende un plástico sobre el piso. En primer lugar se coloca la barbotina, luego la arena y la paja. Se puede mezclar usando los pies desnudos. Por último se añade el líquido fermentante. La consistencia debe ser suficiente como para que se pueda tomar mezcla con las manos sin que se escurra entre los dedos. Además, no debe ser dura, sino flexible y suave.



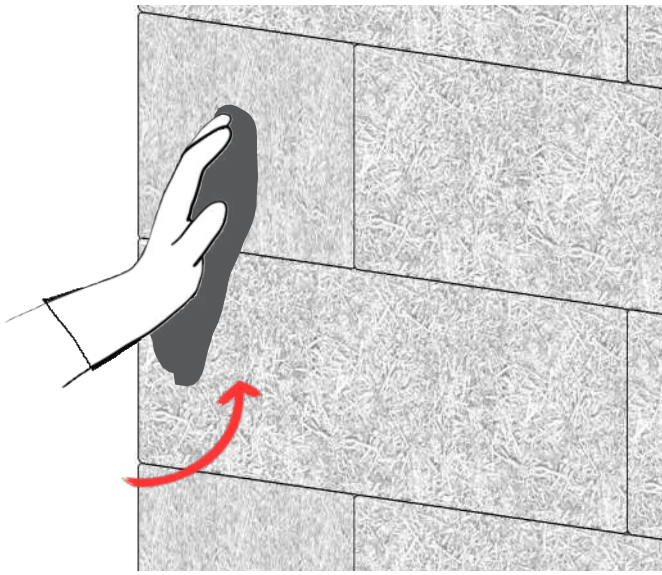
Se recomienda dejar "dormir" el barro por 3 días. Se lo debe dejar tapado con un plástico negro. Pasado este tiempo mezclamos nuevamente con los pies y de ser necesario se añade más agua para suavizarlo.

Por último se añade la cal. Luego que el barro tiene cal solo se lo puede manejar con guantes para evitar daños en la piel

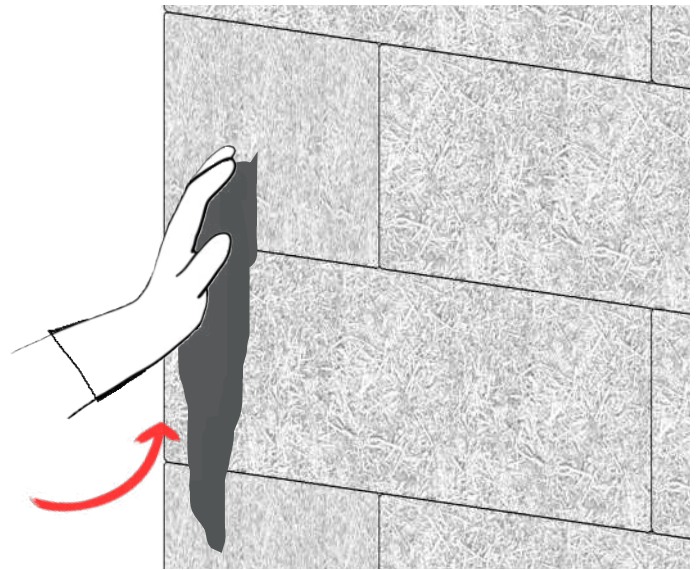
A continuación, se empieza a cubrir las caras del muro con la capa de cuerpo. Dado que esta capa nivelará la superficie, embarramos la pared en una franja de 10 centímetros de ancho a todo lo largo de la parte superior. Luego se verifica que quede nivelada con una madera larga que se usa como regla.



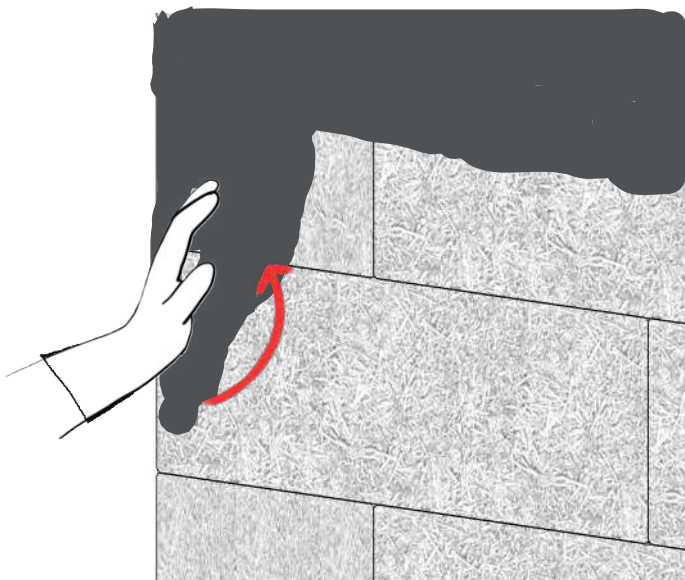
Se usa esta franja como guía, para continuar recubriendo las paredes. Si la capa de imprimación se ha secado conviene humedecerla un poco antes de colocar la capa de cuerpo. La forma de colocar el barro con las manos cubiertas con guantes, es como sigue:



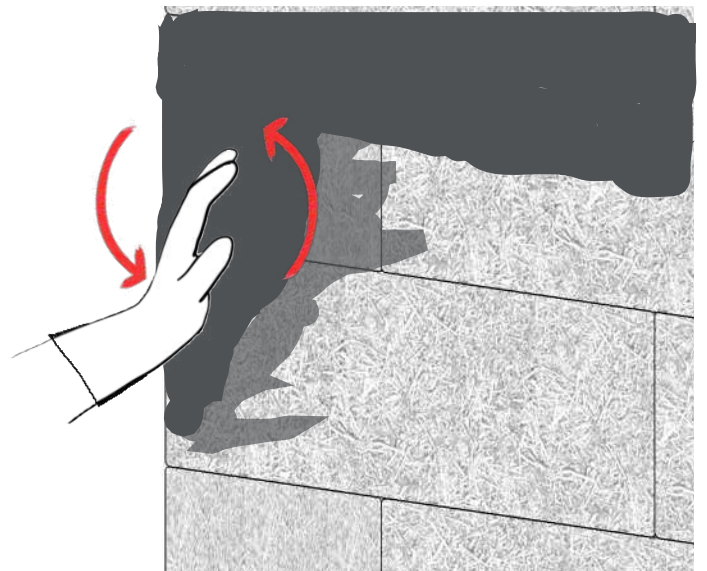
1. Empujar



2. Presionar de forma ascendente

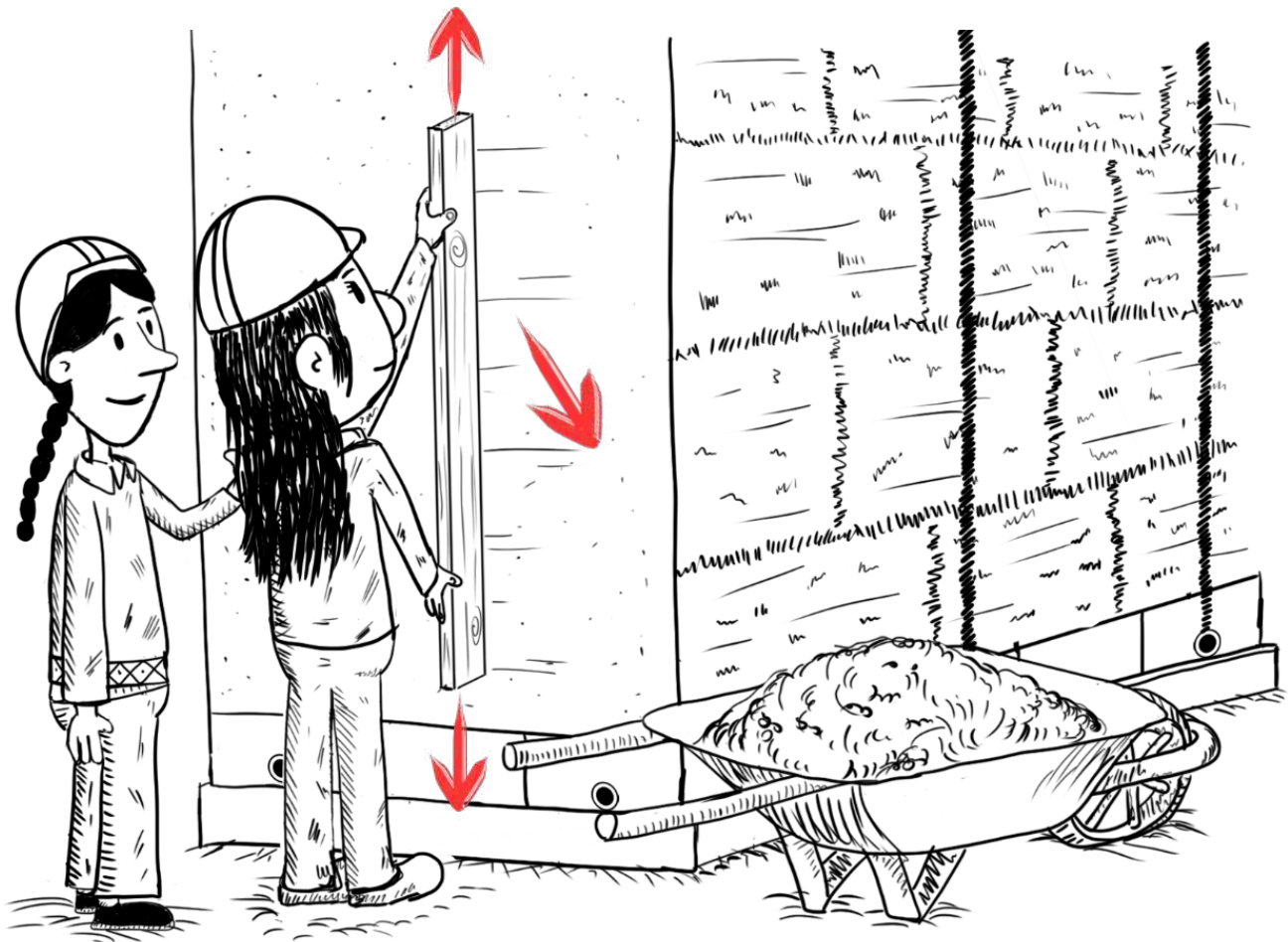


3. Subir-unir



4. Acariciar

NIVELACIÓN.- Utilizando el borde ángulo de una regla de un metro de longitud se nivela la capa de cuerpo realizando un movimiento en diagonal de arriba hacia abajo.



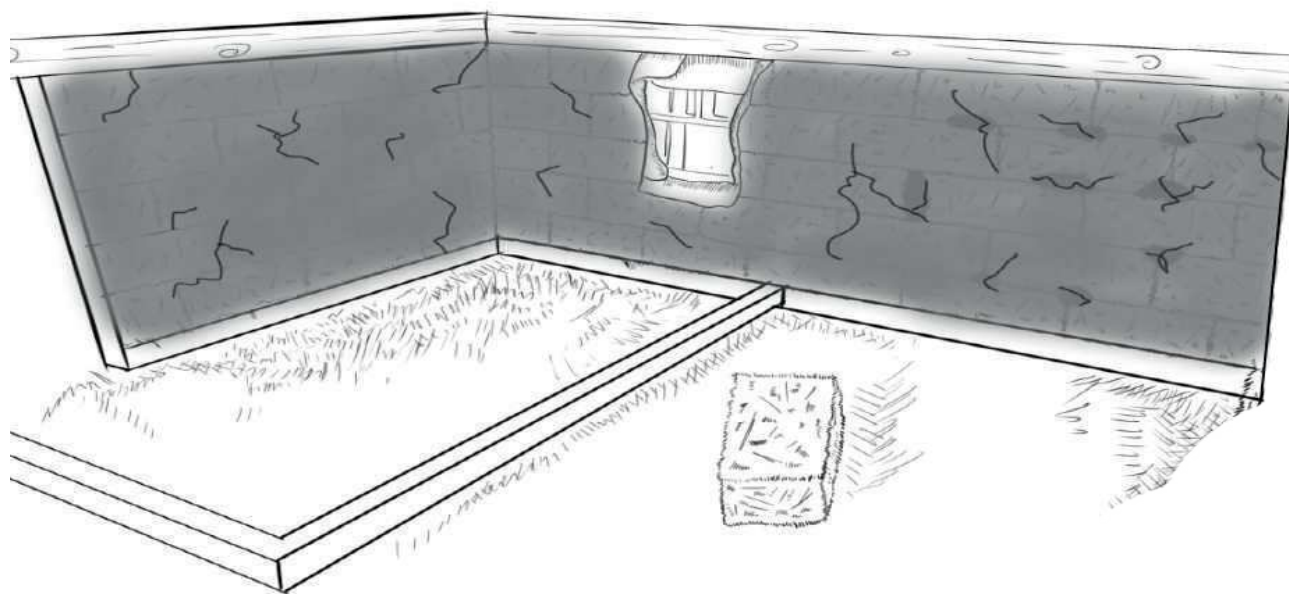
Luego de haber revocado ambas caras de todas las paredes hay que dejar que el barro se seque totalmente. Aproximadamente un mes o dos dependiendo del clima. Mientras tanto se puede ganar tiempo construyendo la cubierta. Esto es muy recomendable ya que así se protege las paredes de la lluvia.

Las fisuras comenzarán a aparecer rápidamente en las paredes. Estas pueden ser pequeñas o largas y profundas. Esto es buena señal, mientras no haya desprendimiento del revoco de la pared.

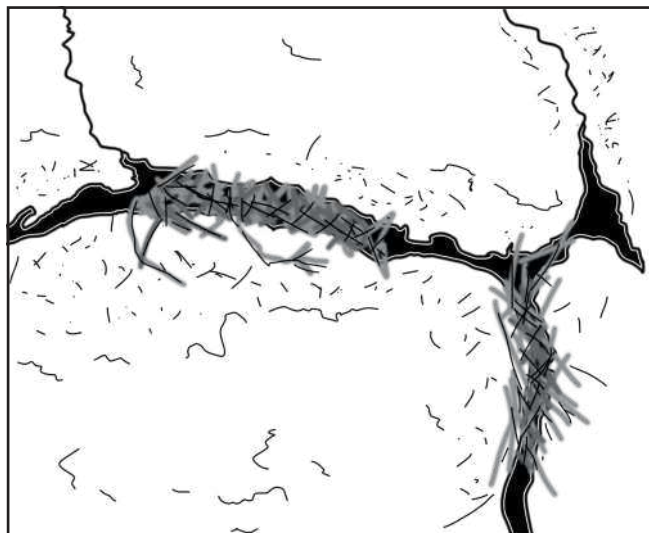
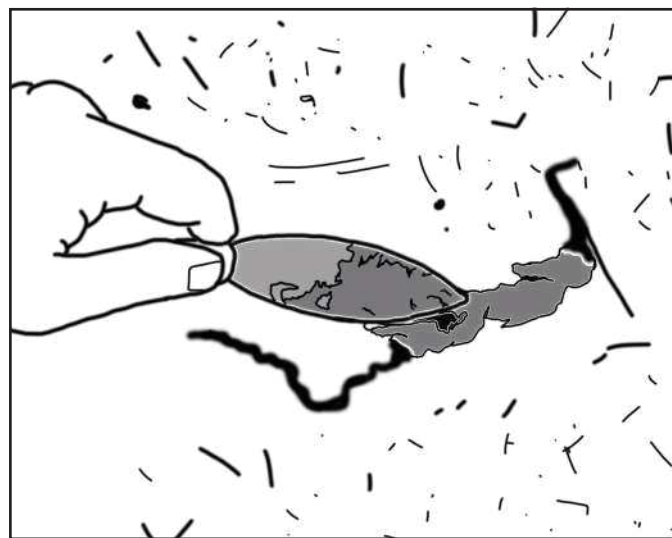
La intensidad de las fisuras se puede controlar usando los ingredientes de la capa de cuerpo. Por ejemplo, la cal absorbe una gran cantidad de agua y acentúa el tamaño de las fisuras, mientras que la arena tiene el efecto contrario.

RELLENO DE FISURAS.- Después de que ha transcurrido el tiempo necesario para que se seque la capa de cuerpo. Antes de aplicar el acabado es conveniente "reparar las fisuras", siguiendo estos pasos:

La pasta hay que aplicarla sobre una superficie mojada. Esto se lo logra salpicando agua sobre la fisura a reparar.



Las fisuras pequeñas de menos de 3 centímetros de profundidad se rellenan usando una espátula pequeña, con una mezcla de arcilla y arena en una proporción 1:2 y suficiente agua para obtener una pasta muy pegajosa sin fragmentarse.

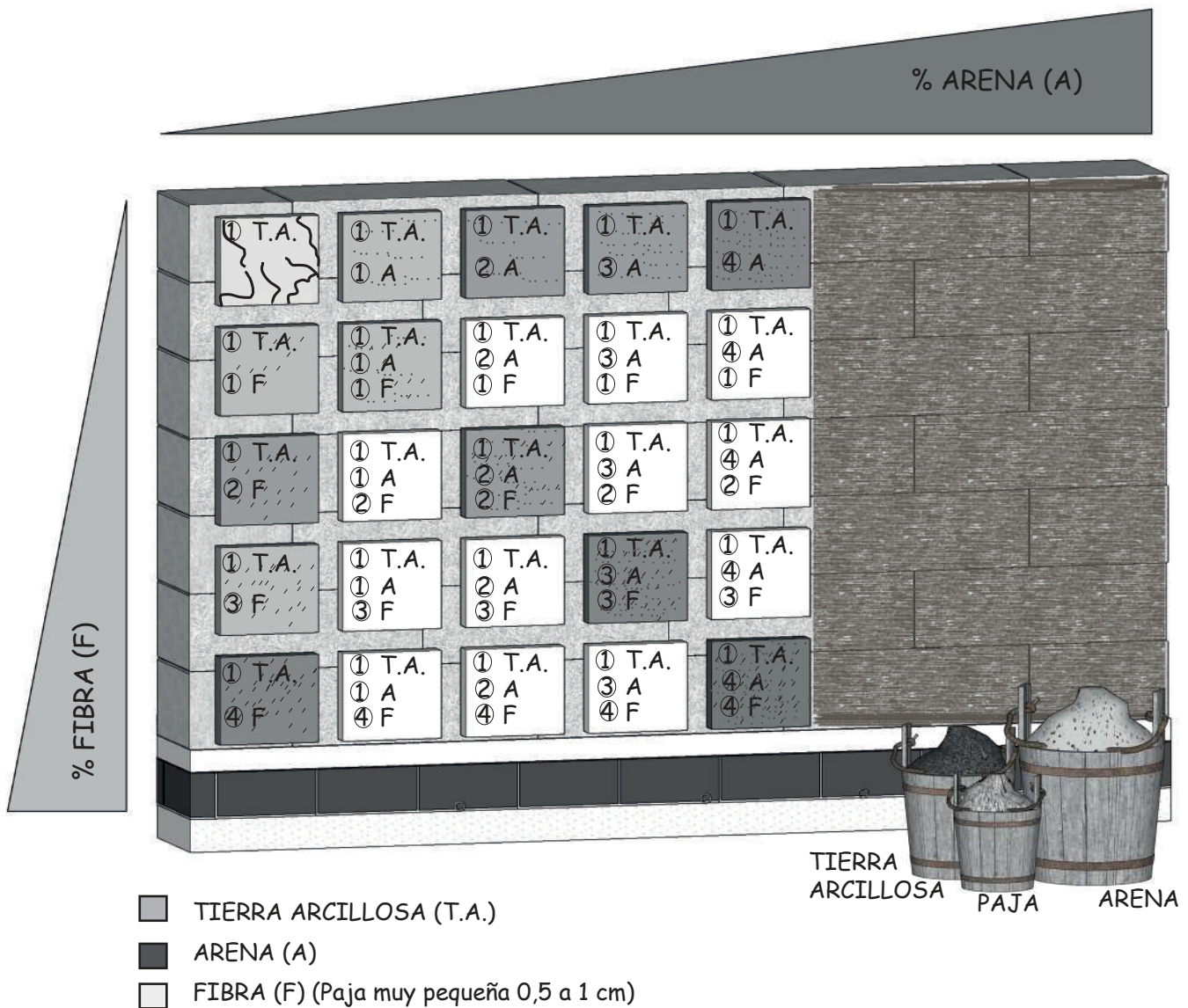


Las grietas que tengan más de 3 centímetros de profundidad se rellenan con paja seca y luego se aplica la misma pasta en ambos casos hay que asegurarse de que la pared quede tan plana como sea posible, para que no sea necesario variar el grosor de la capa de acabado.

CAPA DE ACABADO.- Para realizar la mezcla para esta capa es muy recomendable hacer pruebas de dosificación. Sobre una de las paredes de la casa se coloca mortero con distintas proporciones de tierra arcillosa, arena y paja. En cuadros de 40x40 centímetros. Se deja secar 2 días, las proporciones de material que se usa en cada mortero, tiene que ver con los siguientes criterios:

- * Si el revoco se agrieta hay que añadir más paja o arena.
- * Si el revoco se desmorona fácilmente al tocarla hay que usar menos arena o más arcilla.

Se escoje la dosificación que produjo el mortero con el que se realizó el cuadro que se fisuró menos y es más resistente. Luego para hacer la mezcla se añade cal. La cantidad de cal es aproximadamente la tercera parte de la cantidad de tierra arcillosa. Es decir, por cada 3 medidas de tierra arcillosa se agrega 1 medida de cal.

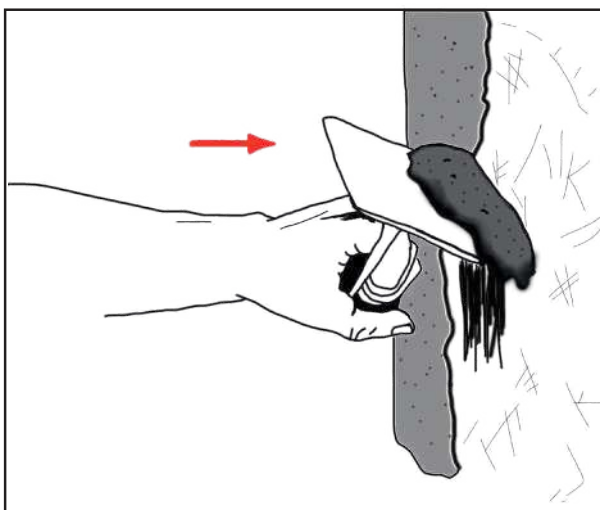


La capa de acabado o "enlucido" se aplica empezando por la parte superior de la pared y se va descendiendo hasta cubrir toda la superficie.

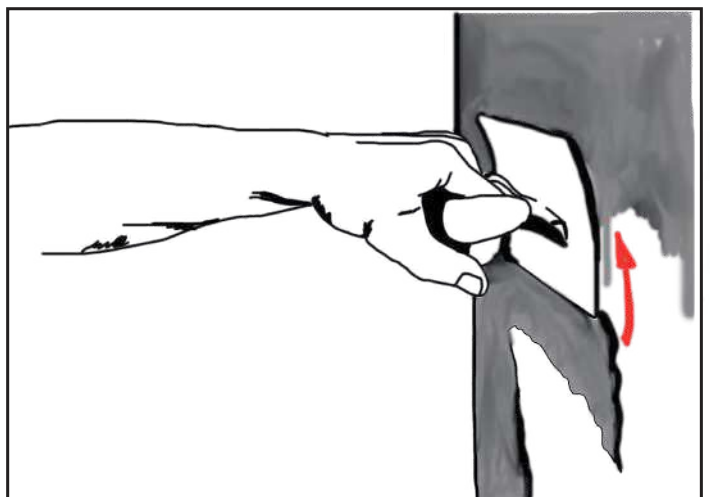
Antes de aplicar esta capa se debe humedecer la pared con una brocha o un aspersor. Se lo hace por tramos de un metro cuadrado. El muro absorberá rápidamente el agua, así que se repite esta actividad por lo menos dos veces hasta que la pared tome un color oscuro. Si no se hace esto, la superficie estará demasiado seca para que se adhiera apropiadamente el enlucido.



La mezcla se aplica sobre la pared con una llana, como se muestra en la imagen.



1. Aplicar la mezcla sobre la pared con la llana.



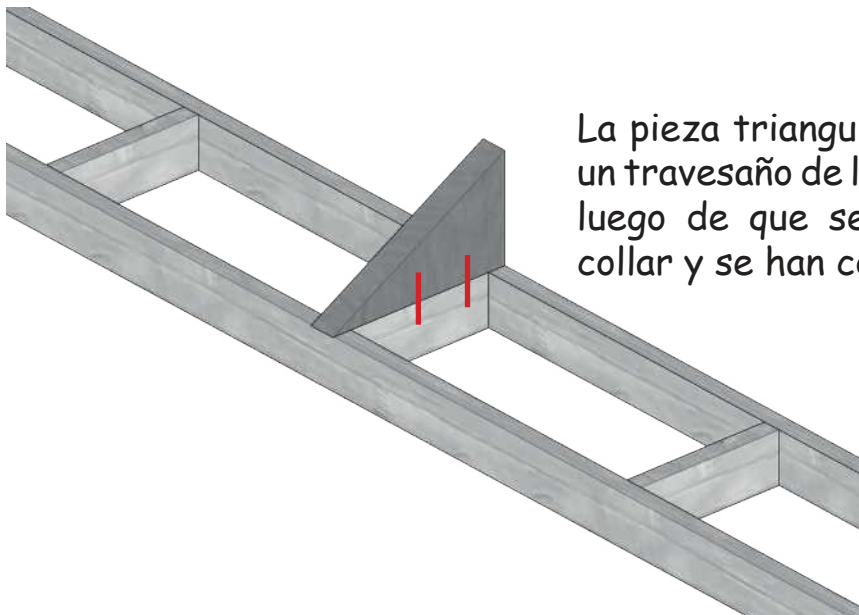
2. Deslizar hacia arriba para unir con la capa de imprimación.

CONSTRUCCIÓN DEL TECHO

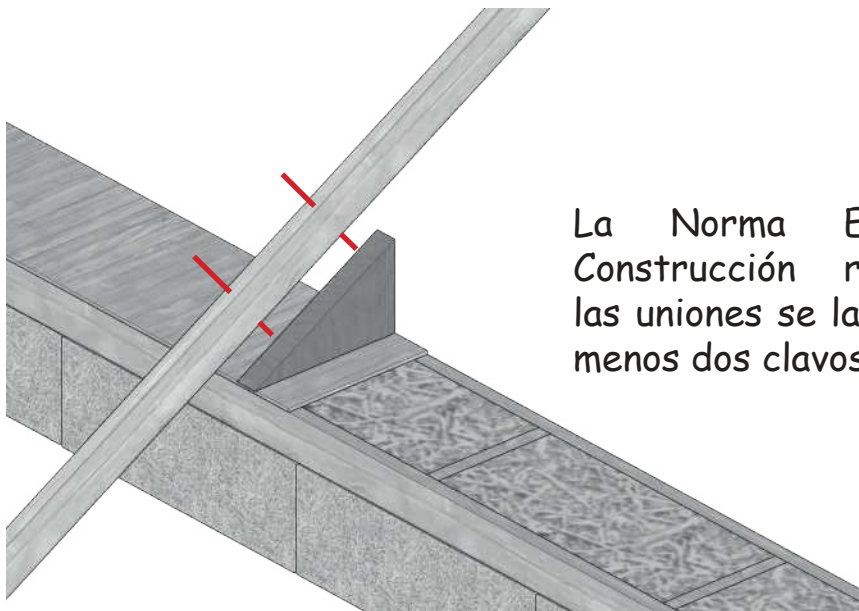
El techo se lo construye mientras se espera que la capa de cuerpo se seque. Se puede usar madera de Eucalipto y u otra de similares características.



Es importante asegurarse que el peso del techo se reparta sobre la viga collar, para esto se puede usar piezas de madera triangulares.



La pieza triangular debe quedar sobre un travesaño de la viga collar y se coloca luego de que se ha rellenado la viga collar y se han comprimido los muros.

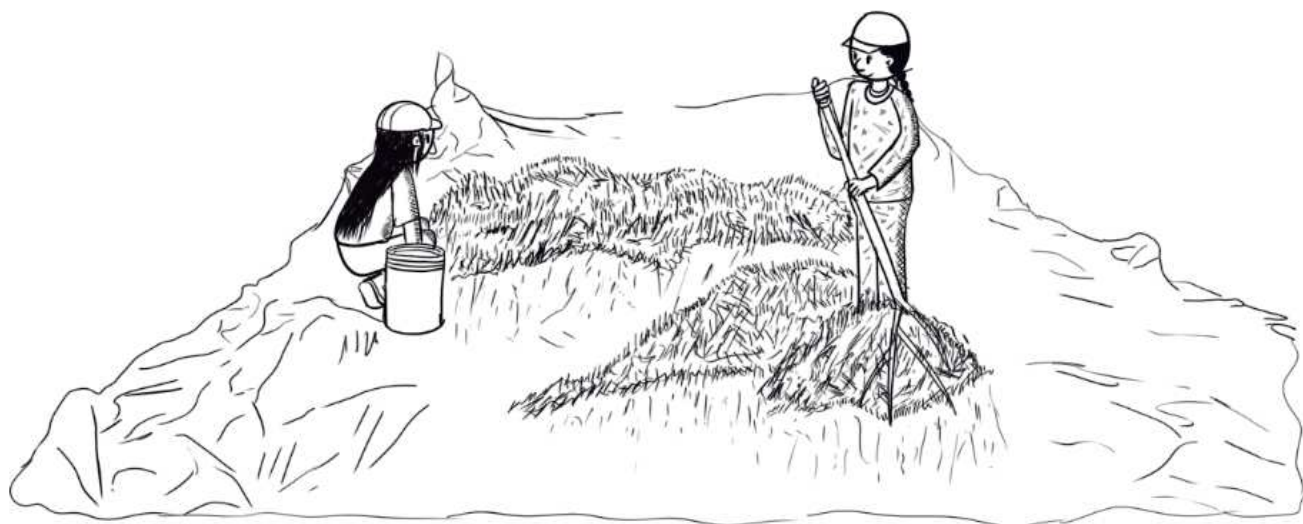


La Norma Ecuatoriana de Construcción recomienda que las uniones se las realicen con al menos dos clavos.

AISLAMIENTO DEL TECHO

Para impedir que el calor que se genera dentro de la casa escape, se recomienda aislar el techo. Esto se lo puede hacer usando paja suelta embarrada con barbotina y cal. en proporción 1:1

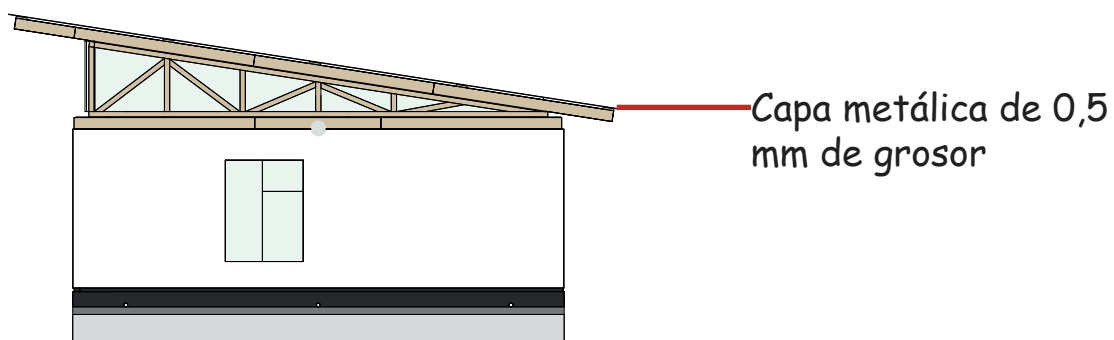
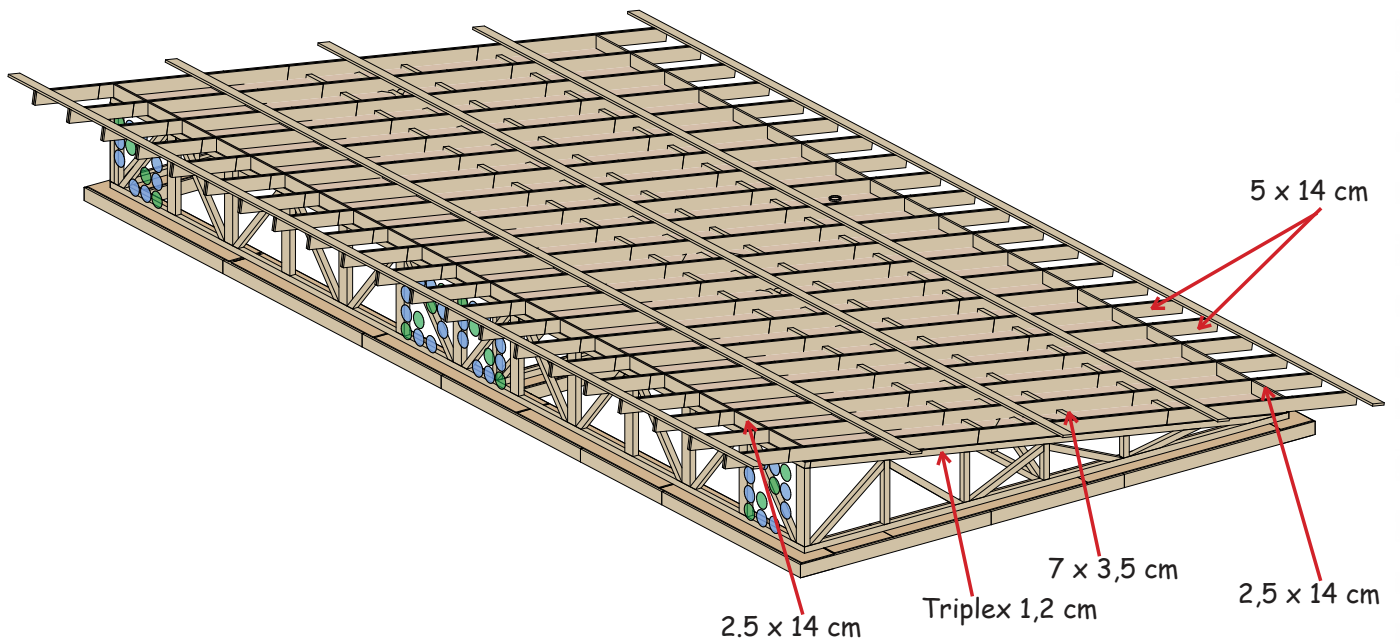
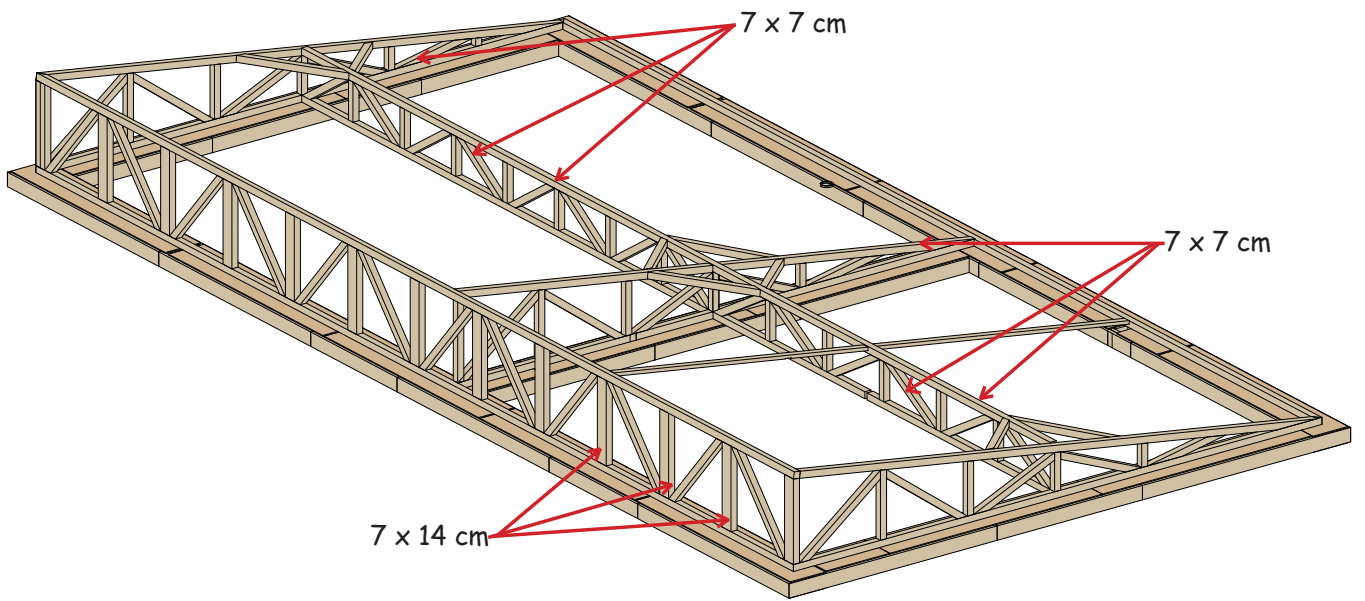
Se moja a la paja con esta pasta y se deja secar al sol. esto se lo puede hacer con un rastrillo



Luego se coloca la paja tratada sobre el techo. Debajo de la cubierta que puede estar formada por planchas metálicas. Hay que tener cuidado de cerrar cualquier abertura para impedir el paso de ratones al techo. Se puede usar malla metálica para esto.



Secciones sugeridas para luces de menos de 6,5 metros (400 a 450 fardos)

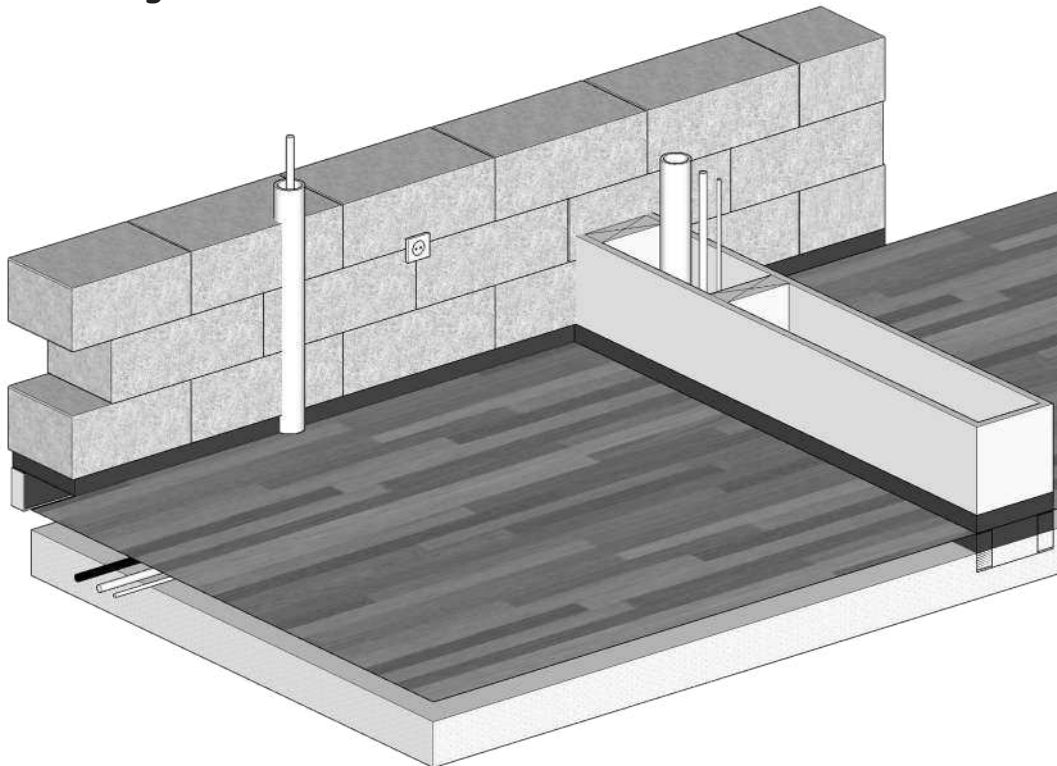


INSTALACIONES ELÉCTRICAS Y SANITARIAS

Las instalaciones sanitarias, se recomienda, que vayan por el piso y subirlas por paredes interiores que no sean de paja. Sin embargo, se puede instalar esta tubería dentro de los revocos.

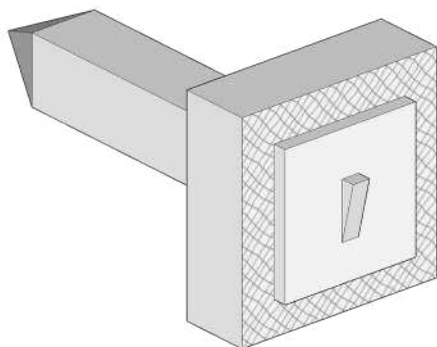
Otra alternativa es extraer la paja necesaria para empotrar los tubos antes de colocar el revoque. En cualquier caso conviene encamisar las tuberías, es decir, pasarlas por el interior de otro tubo que proteja el muro en caso de posibles roturas. Siempre será más conveniente dejar los tubos por fuera de los muros y ocultarlos con algún mueble.

Es mejor usar tubos de plástico, ya que estos no necesitan soldarse eliminando el riesgo de incendios.



Así mismo las instalaciones eléctricas se colocan dentro de tubos plásticos para protección de los muros en caso de generación de calor.

Es importante mencionar que si los fardos están suficientemente compactos el riesgo de incendio es mínimo, ya que el poco oxígeno en el interior de los fardos propicia su extinción.



Los interruptores y enchufes se pueden colocar en los marcos de puertas y ventanas o en estacas de madera que se clavan en el muro de paja. La longitud de la estaca debe ser ligeramente menor al ancho del muro.



¡Construiste tu propia casa con fardos de paja! Ahora disfrútala, cuidala y dale el mantenimiento necesario para que se conserve en buen estado.



Si aparecen grietas hay que repararlas y pintar cada año con pintura hecha con agua y cal.



BIBLIOGRAFÍA

California Residential Code 2016, . (2016). Appendix S Strawbale Construction. Retrieved from <https://up.codes/viewer/california/ca-residential-code-2016/chapter/S/strawbale-construction#S>

Holcim Ecuador S.A. (2020). Elaboración de hormigón con cemento Holcim. Retrieved from https://www.holcim.com.ec/sites/ecuador/files/2022-06/holcim_fuerte.pdf

Minke, G., & Krick, B. (2018). Manual de Construcción con Fardos de Paja.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2016). Guía práctica de la construcción para no profesionales. Aplicando la norma ecuatoriana de la construcción NEC2015. Retrieved from <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/18884/7/GUIA%207%20trabajadores%20no%20profesionales.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, C. (2014). NEC_SE_MD. Retrieved from Estructuras de madera: <https://online.portoviejo.gob.ec/docs/nec8.pdf>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú. (2017). Norma E.080. Retrieved from Diseño y Construcción con Tierra Reforzada: https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=109376#:~:text=La%20norma%20se%20orienta%20al,confortables%20y%20de%20f%C3%A1cil%20difusi%C3%B3n.

Nitzkin, R., & Termens, M. (2016). Casas de paja, una guía para autoconstructores. Retrieved from <https://www.muscaria.com/casas-paja-una-guia-para-autoconstructores.htm>

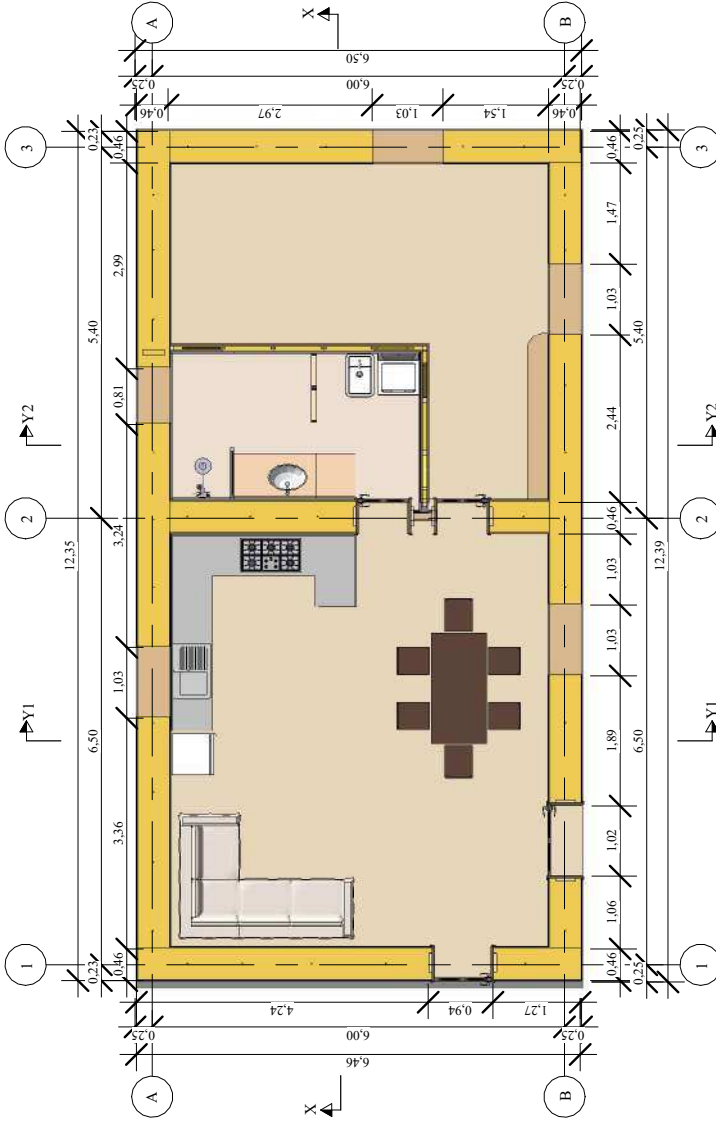
Pontificia Universidad Católica del Ecuador; Escuela Politécnica Nacional. (2017). Guía para la construcción de viviendas sismo-resistentes en mampostería confinada. Retrieved from <https://www.shareweb.ch/site/DRR/Documents/Types%20of%20activity/Structural-Measures/Guia%20para%20la%20construccion%20de%20viviendas%20sismo%20resistentes%20en%20mamposteria%20confinada.pdf>

Rijven, T. (2019). Entre paja y tierra. Retrieved from <https://ecohabitar.org/producto/entre-paja-y-tierra/>

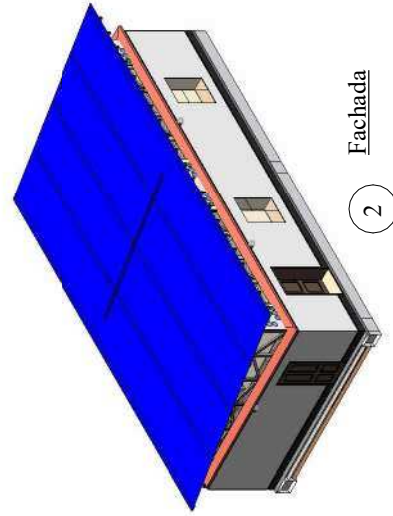
Swentzell, A., Steen, B., Bainbridge, D., & Eisenberg, D. (1994). La casa de fardos de paja. Retrieved from <https://es.slideshare.net/arqmiriam/28822761-lacasadefardosdepajalibrocompleto>

PLANOS DE VIVIENDA

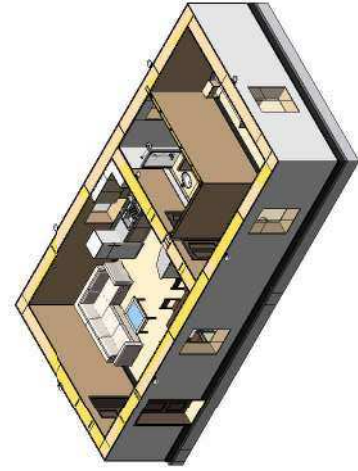
PROYECTO: CASA TIPO TAMO HUASI	
UBICACIÓN: OTAVALO	
CONTENIDO: PLANTA-ARQUITECTÓNICA Fachada Interior	
ESCALAS: 1 : 100	ARQ
FECHA: Octubre, 2020	01
ELABORADO POR: Ing. Paulina Viera MSc.	
SIMBOLOGÍA / TABLAS:	



1 PLANTA-ARQUITECTÓNICA
1 : 100



2 Fachada



3 Interior

<p>PROYECTO: CASA TIPO TAMO HUASI</p>	
<p>UBICACIÓN: OTAVALO</p>	
<p>CONTENIDO: Fachada Frontal Fachada Posterior Fachada L. Derecha Fachada L. Izquierda</p>	
<p>ESCALAS: 1 : 100</p> <p>ARQ</p>	
<p>FECHA: Octubre, 2020</p> <p>02</p>	
<p>ELABORADO POR: Ing. Paulina Viera MSc.</p>	<p>SIMBOLOGÍA / TABLAS:</p>

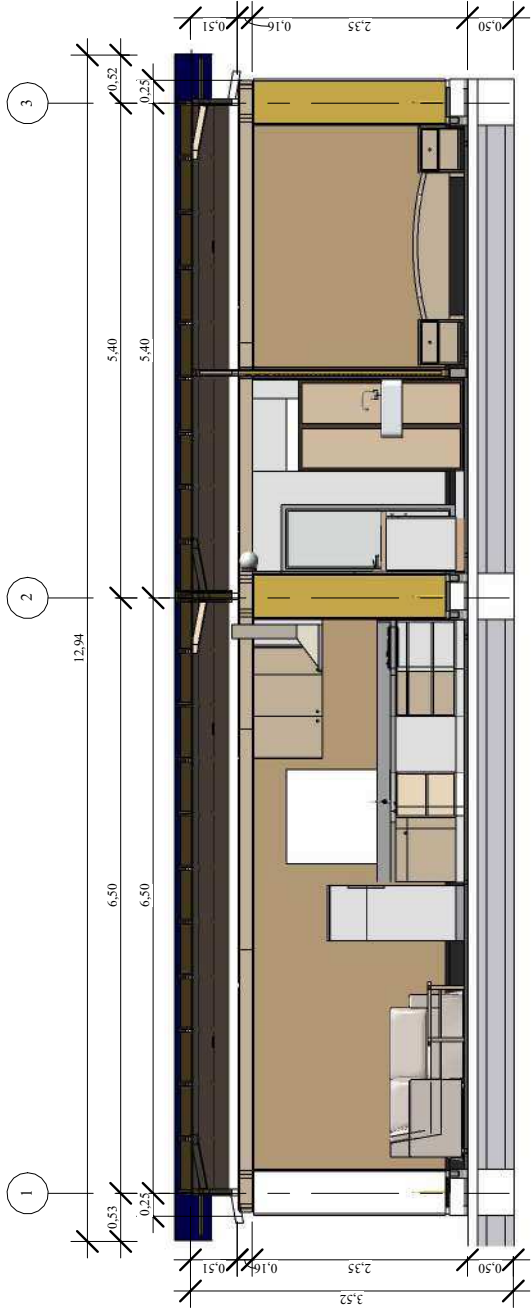
1 Fachada Frontal
1 : 100

2 Fachada Posterior
1 : 100

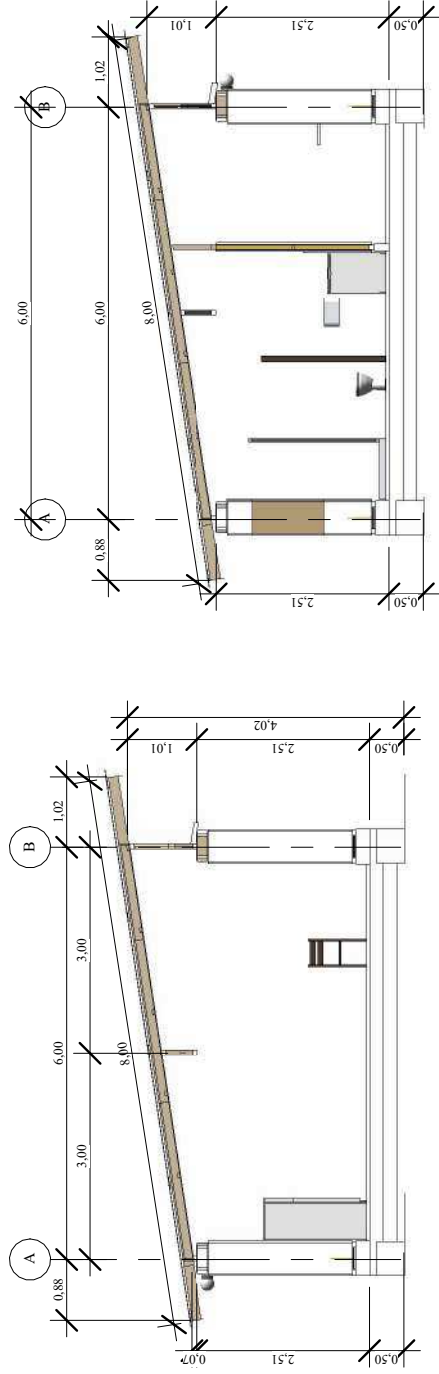
3 Fachada L. Derecha
1 : 100

4 Fachada L. Izquierda
1 : 100

PROYECTO: CASA TIPO TAMO HUASI	
UBICACIÓN: OTAVALO	
CONTENIDO: CORTE Y2-Y2 Corte X-X Corte Y1-Y1	
ESCALAS: As indicated	ARQ
FECHA: Octubre, 2020	03
ELABORADO POR: Ing. Paulina Viera MSc.	
SIMBOLOGÍA / TABLAS:	



1 Corte X-X
1 : 75

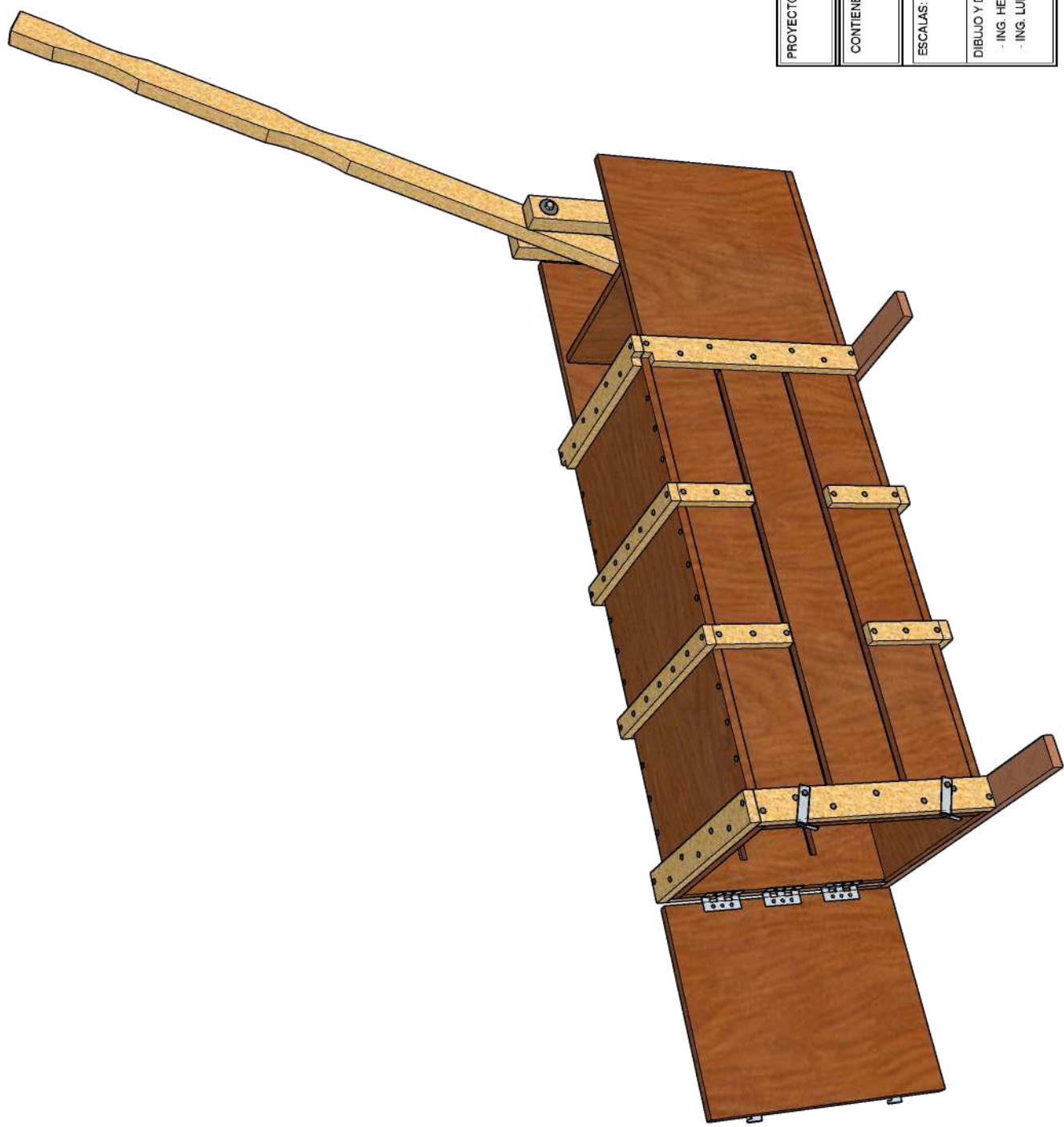


2 Corte Y1-Y1
1 : 100

3 Corte Y2-Y2
1 : 100

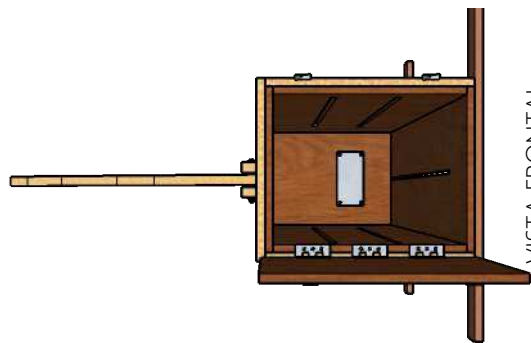
PLANOS ENFARDADORA

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

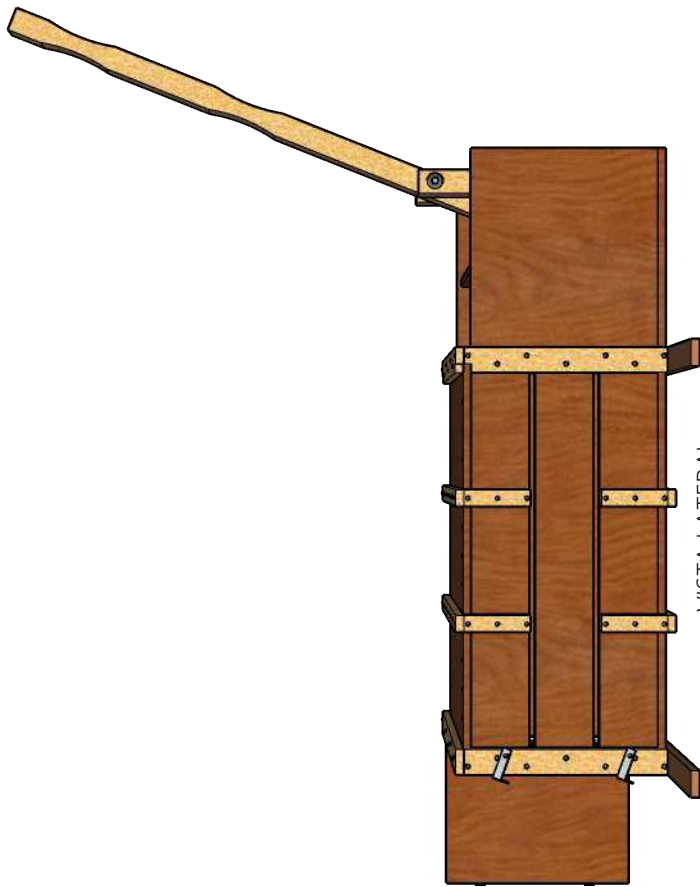


PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA VISTA 3D			
ESCALAS: 1 : 8	MES: ENERO	AÑO: 2023	LAMINA N°: 01
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA			

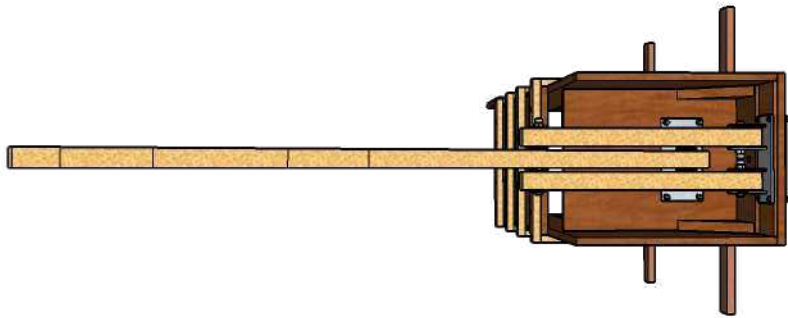
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



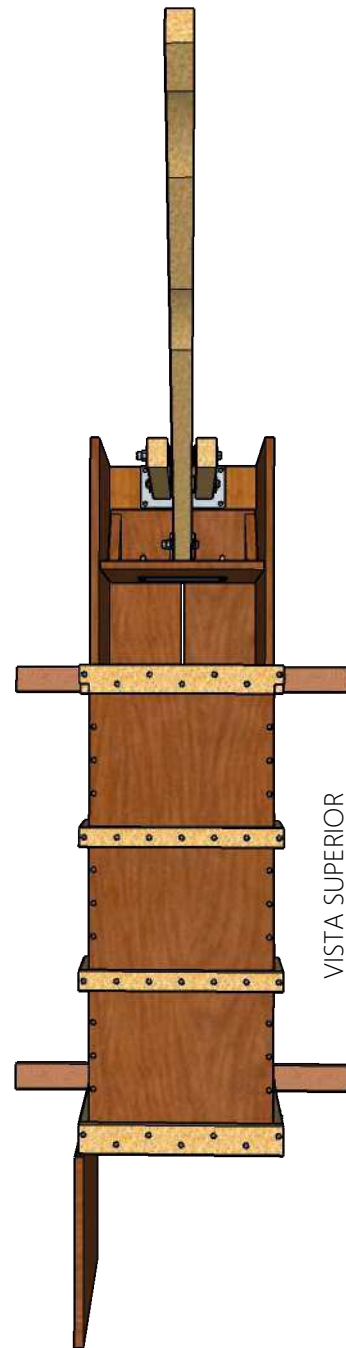
VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



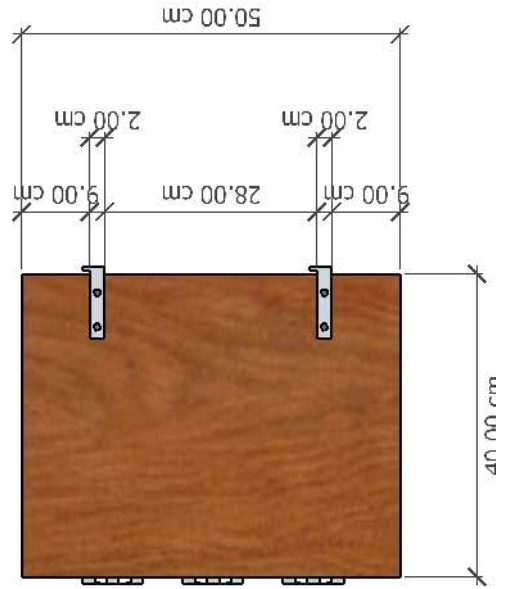
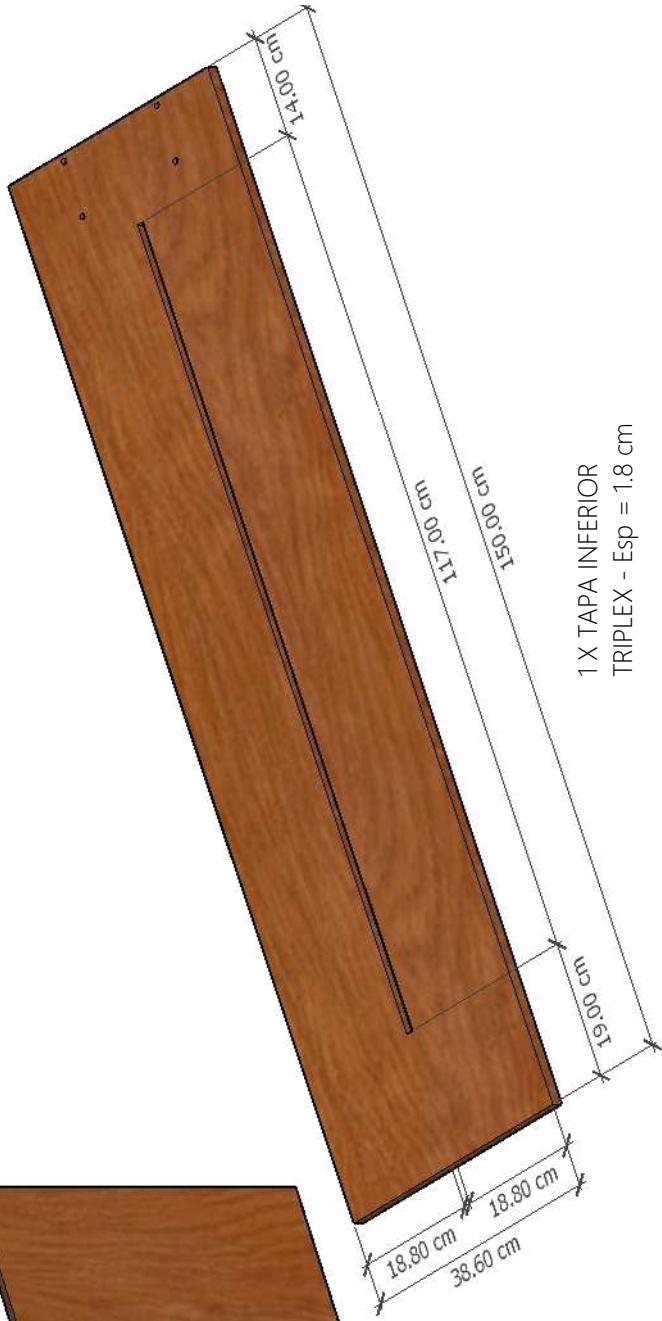
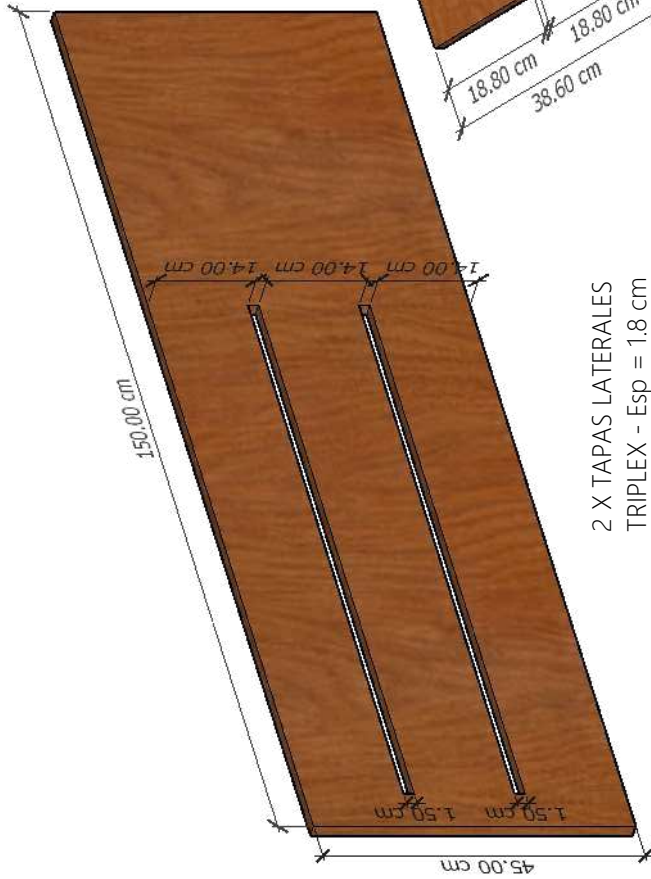
VISTA POSTERIOR



VISTA SUPERIOR

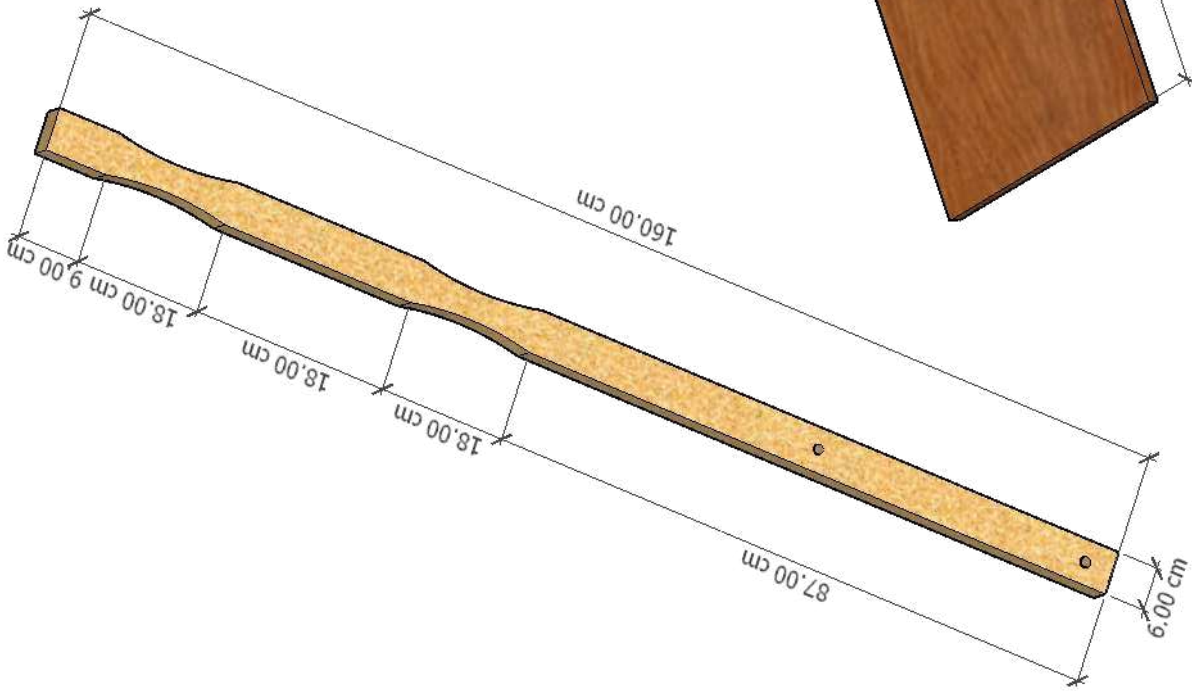
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA VISTA FRONTAL - ENFARDADORA VISTA LATERAL - ENFARDADORA VISTA POSTERIOR			
ESCALAS: 1:10	MES: ENERO	AÑO: 2023	LAMINA No. 02
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA AROCHA			

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

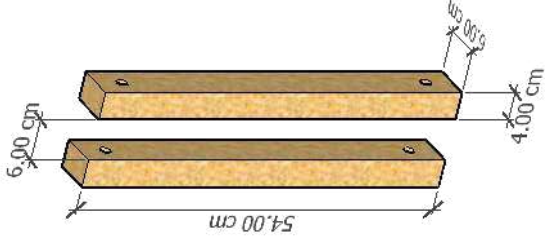


PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA TAPA LATERAL - ENFARDADORA TAPA INFERIOR - ENFARDADORA PUERTA PRINCIPAL			
ESCALAS:	MES:	AÑO:	
1:10	ENERO	2023	
DIBUJO Y DISEÑO:		LAMINA No.	
- ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA		03	

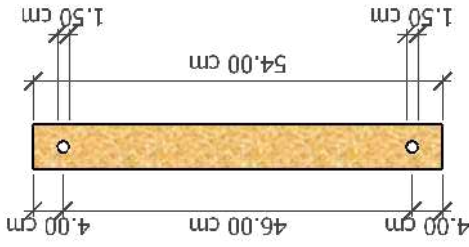
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



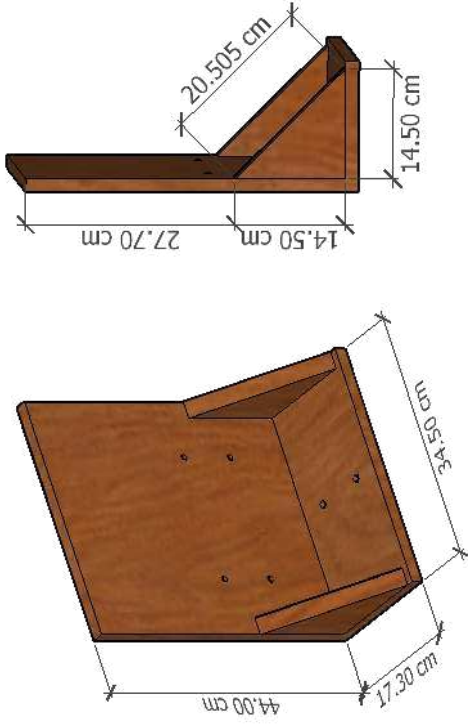
1 X PALANCA PRINCIPAL
TABLÓN 240 x 22.5 x 6 cm



2 X PALANCAS SECUNDARIAS
TABLÓN 240 x 22.5 x 6 cm



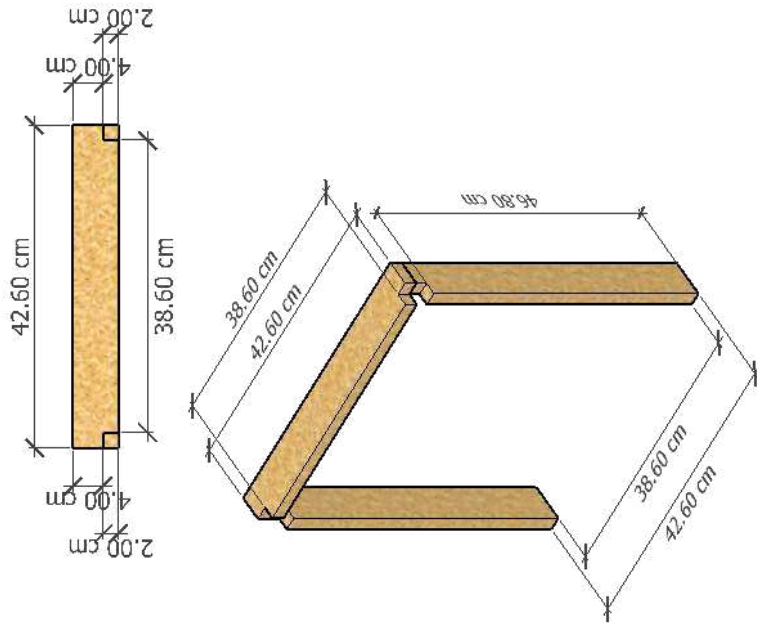
ELEMENTO DE COMPRESIÓN
TRIPLEX - Esp = 1.8 cm



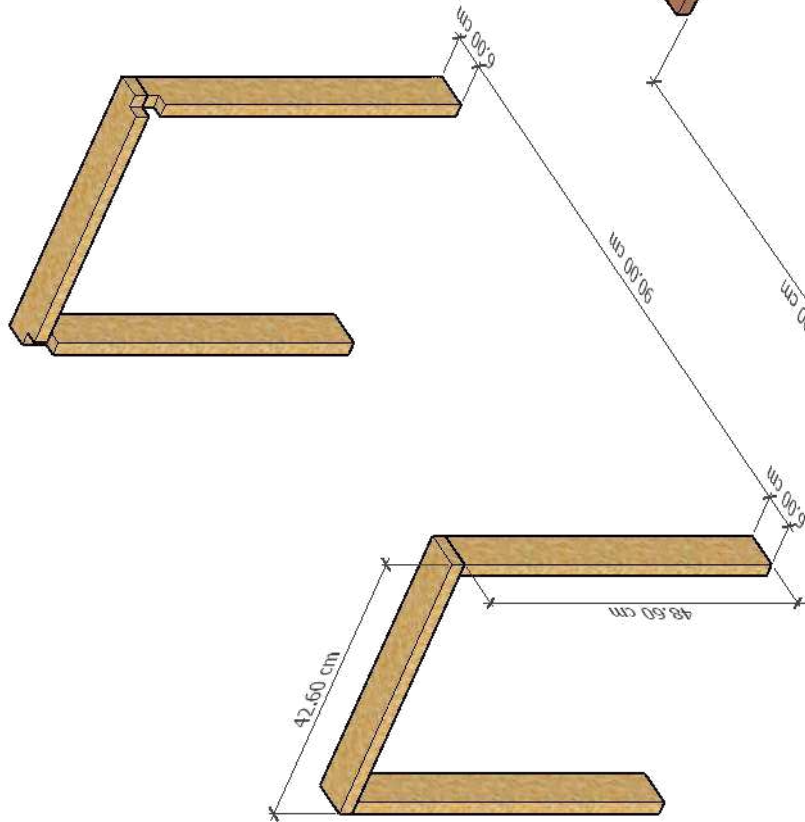
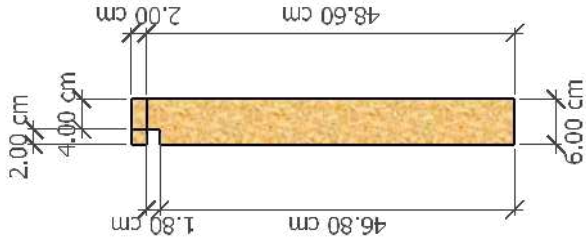
1 X TAPA SUPERIOR
TRIPLEX - Esp = 1.8 cm

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA PALANCA PRINCIPAL - ENFARDADORA PALANCA SECUNDARIA - ENFARDADORA ELEMENTO DE COMPRESIÓN - PLACA SUPERIOR			
ESCALAS:	1:10	MES: ENERO	AÑO: 2023
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIEIRA ARROBA		LAMINA No. 04	

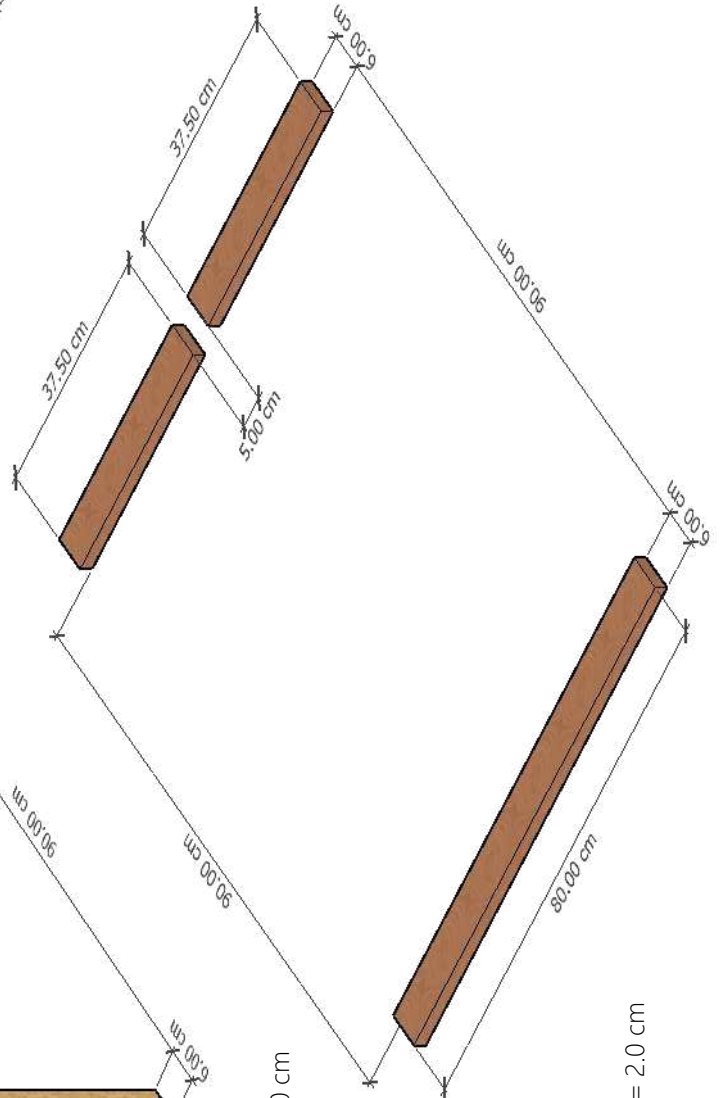
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



DETALLE DE REFUERZOS EXTREMOS
TIRAS MADERA - Esp = 2.0cm



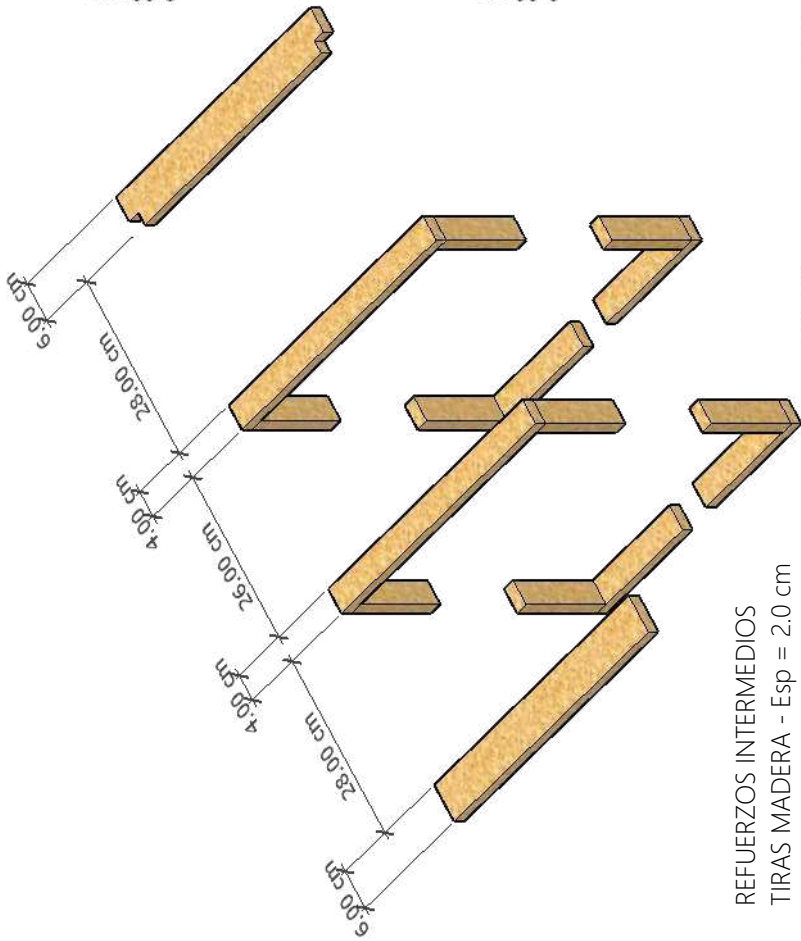
REFUERZOS EXTREMOS
TIRAS MADERA - Esp = 2.0 cm



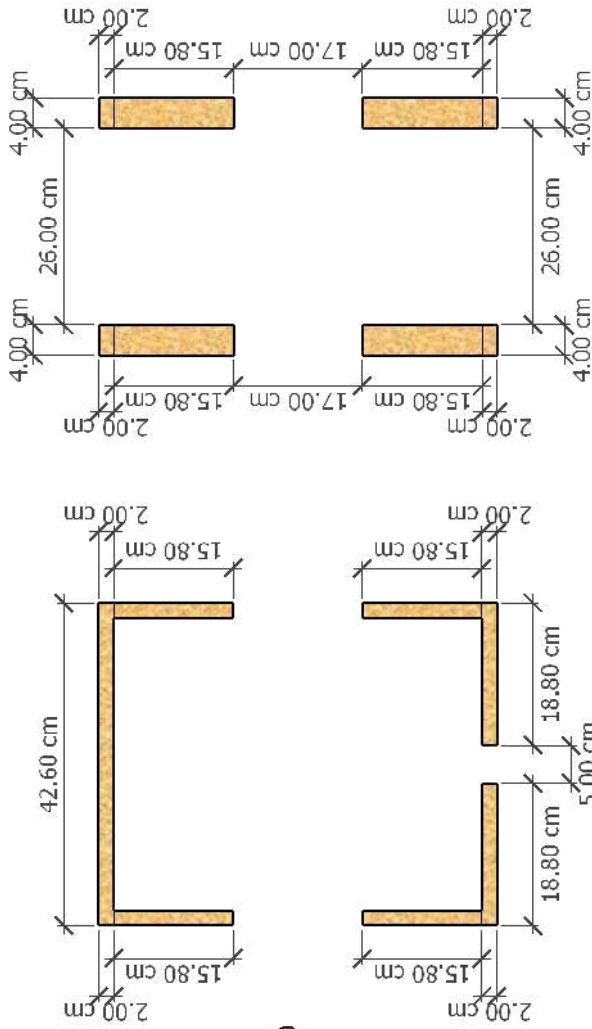
APOYOS LATERALES
TIRAS MADERA - Esp = 2.0 cm

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA REFUERZOS EXTREMOS - ENFARDADORA DETALLE DE REFUERZOS EXTREMOS - ENFARDADORA APOYOS LATERALES	
ESCALAS: 1:10	MES: ENERO
ANO: 2023	LAMINA No. 05
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA AFROBA	

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

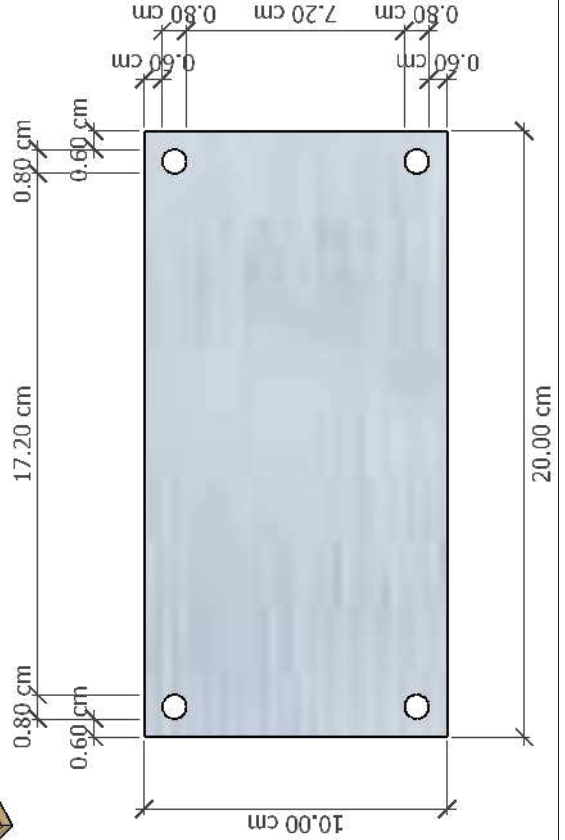


REFUERZOS INTERMEDIOS
TIRAS MADERA - Esp = 2.0 cm



VISTA FRONTAL REFUERZOS INTERMEDIOS
TIRAS MADERA - Esp = 2.0 cm

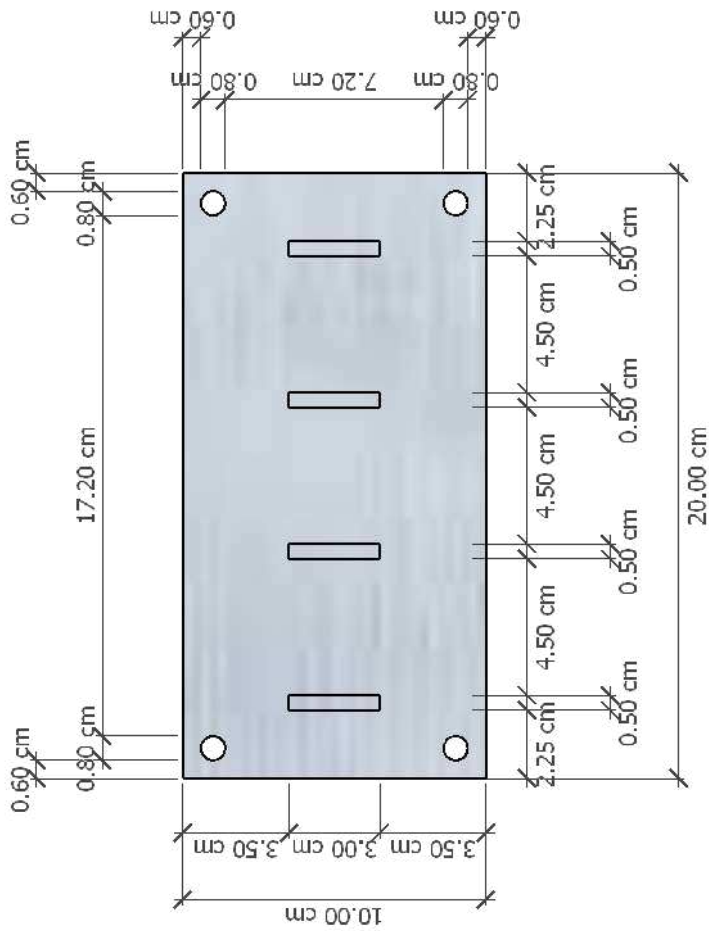
VISTA LATERAL REFUERZOS INTERMEDIOS
TIRAS MADERA - Esp = 2.0 cm



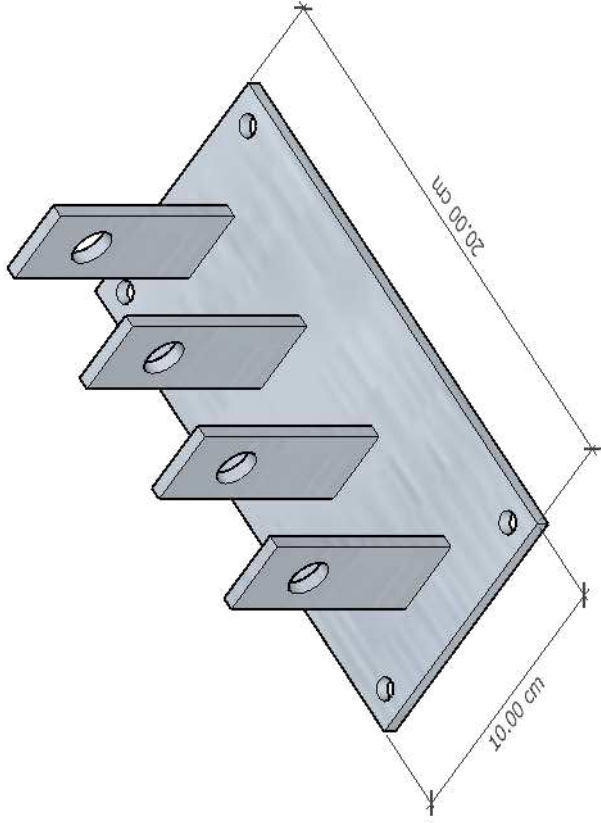
2 X PLACA SECUNDARIA
- PANEL DE COMPRESIÓN
- BASE PLACA PRINCIPAL
ACERO A36 - Esp = 2.0 mm

PROYECTO: CONSTRUCCION DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA REFUERZOS INTERMEDIOS - ENFARDADORA VISTAS REFUERZOS INTERMEDIOS - ENFARDADORA PLACAS SECUNDARIAS	
ESCALAS: 1:10	MES: ENERO
AÑO: 2023	LAMINA No. 06
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA-ARROBA	

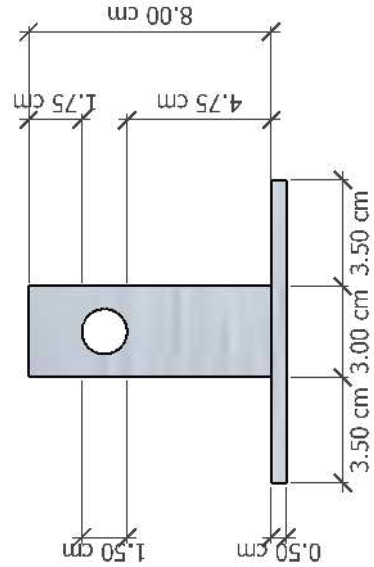
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



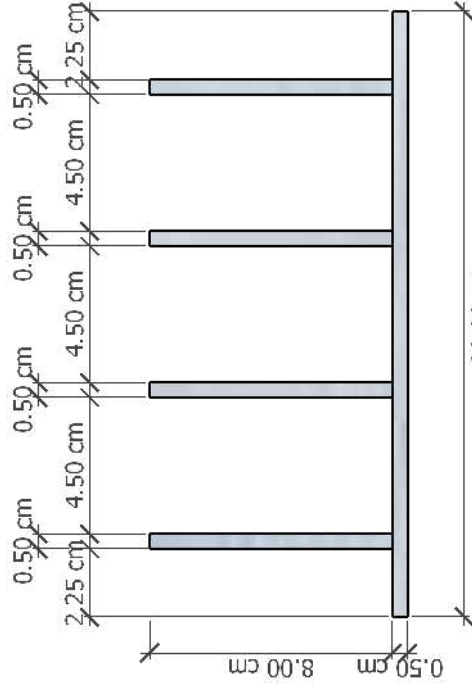
VISTA SUPERIOR PLACA PRINCIPAL BASE
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm



PLACA PRINCIPAL BASE 3D
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm



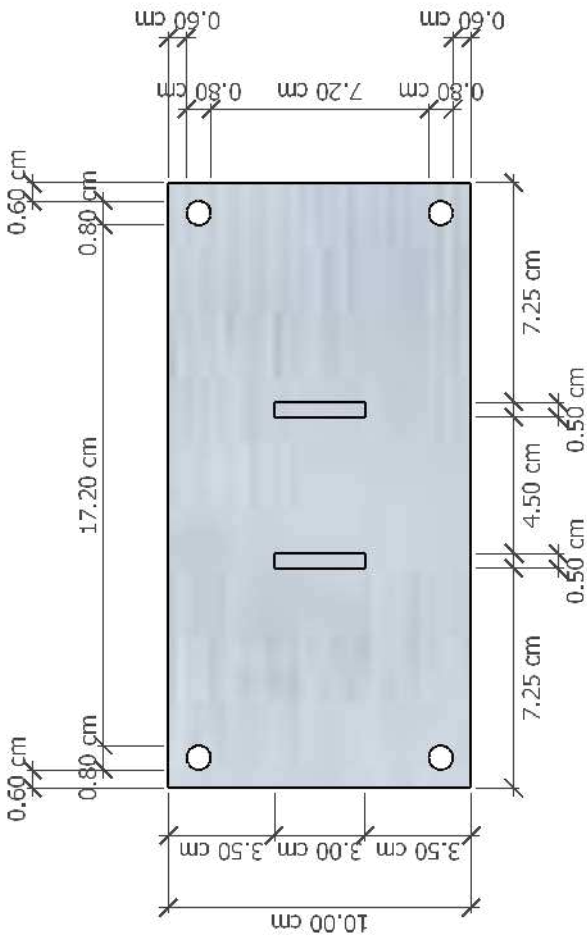
VISTA POSTERIOR PLACA PRINCIPAL BASE
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm



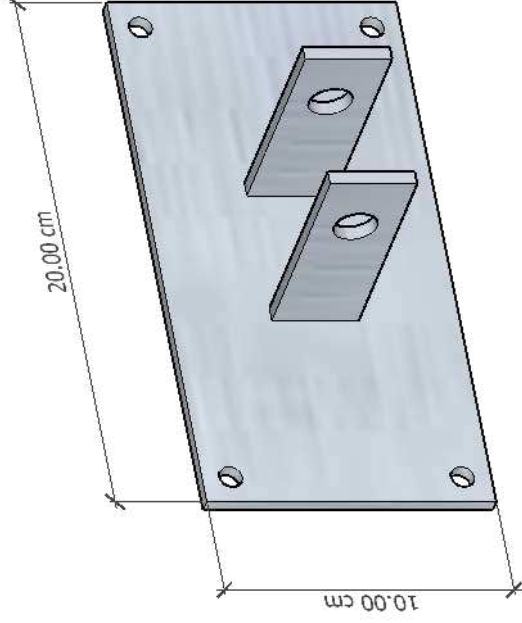
VISTA LATERAL PLACA PRINCIPAL BASE
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA PLACA PRINCIPAL - ENFARDADORA PLACA PRINCIPAL VISTAS SUPERIOR, POSTERIOR - ENFARDADORA PLACA PRINCIPAL VISTA LATERAL	
ESCALAS: 1:5	MES: ENERO AÑO: 2023
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA	
LAMINA No. 07	

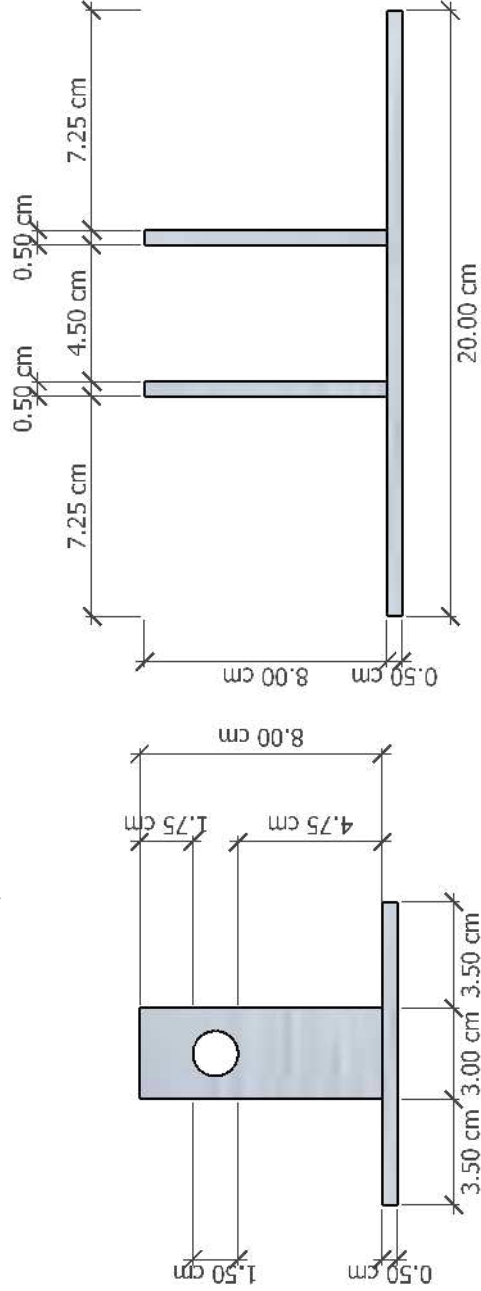
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



VISTA SUPERIOR PLACA DE COMPRESIÓN
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm



PLACA COMPRESIÓN 3D
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm



VISTA POSTERIOR PLACA DE COMPRESIÓN
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm

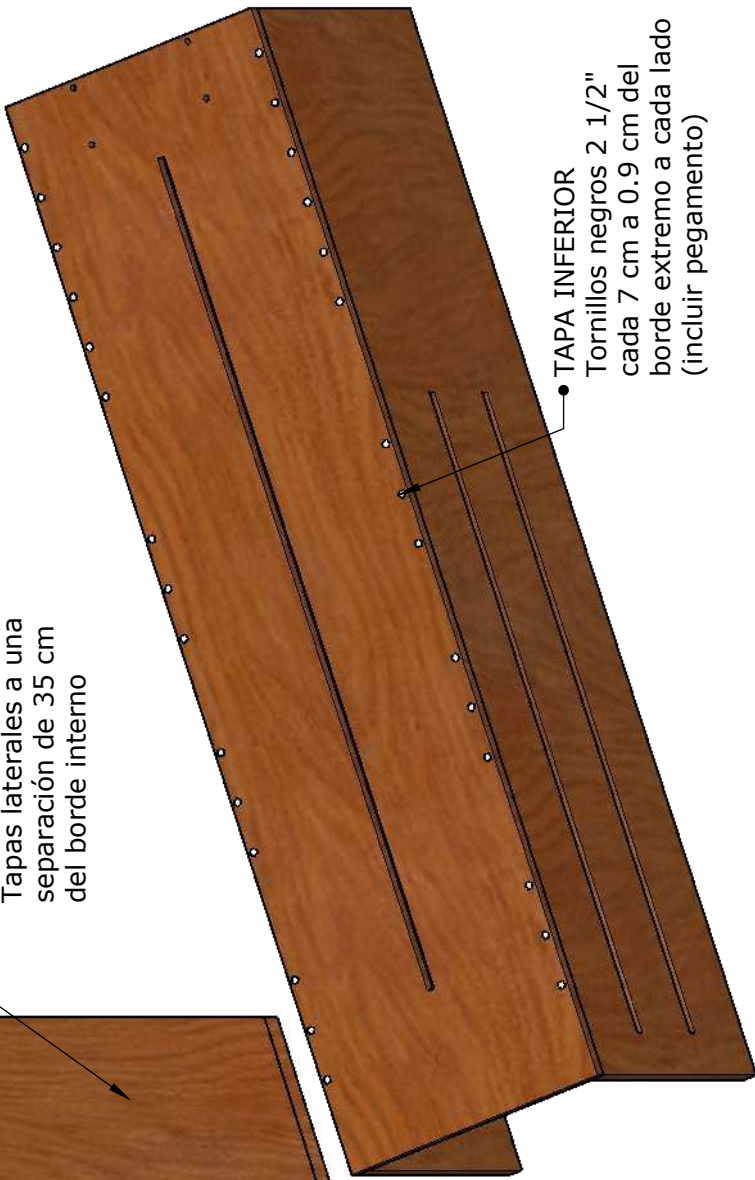
VISTA LATERAL PLACA DE COMPRESIÓN
ACERO A36 - Esp = 5.0 mm

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA PLACA DE COMPRESIÓN VISTA SUPERIOR - ENFARDADORA PLACA DE COMPRESIÓN VISTA POSTERIOR - ENFARDADORA PLACA DE COMPRESIÓN VISTA LATERAL	
ESCALAS: 1:5	MES: ENERO
AÑO: 2023	LAMINA No. 08
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA	

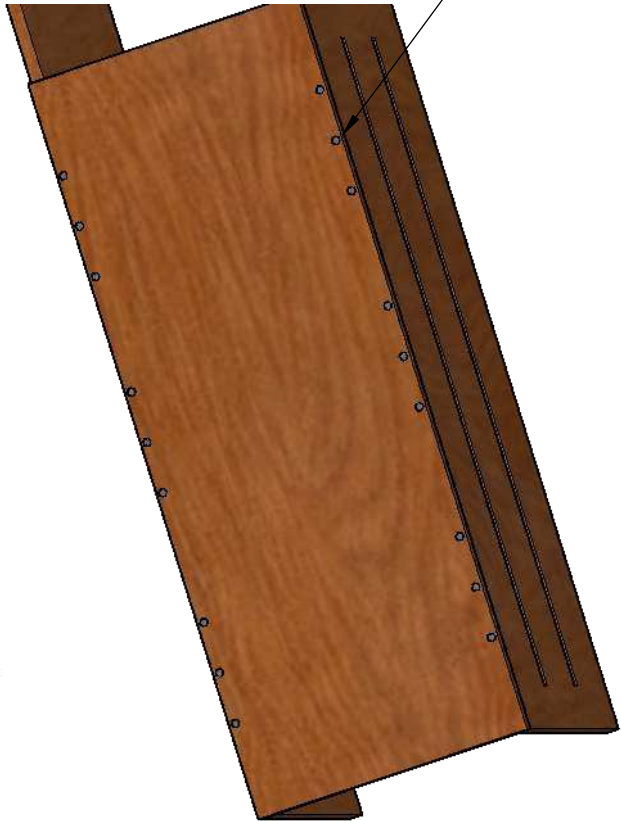
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



● ESTRUCTURA PRINCIPAL
Tapas laterales a una separación de 35 cm del borde interno



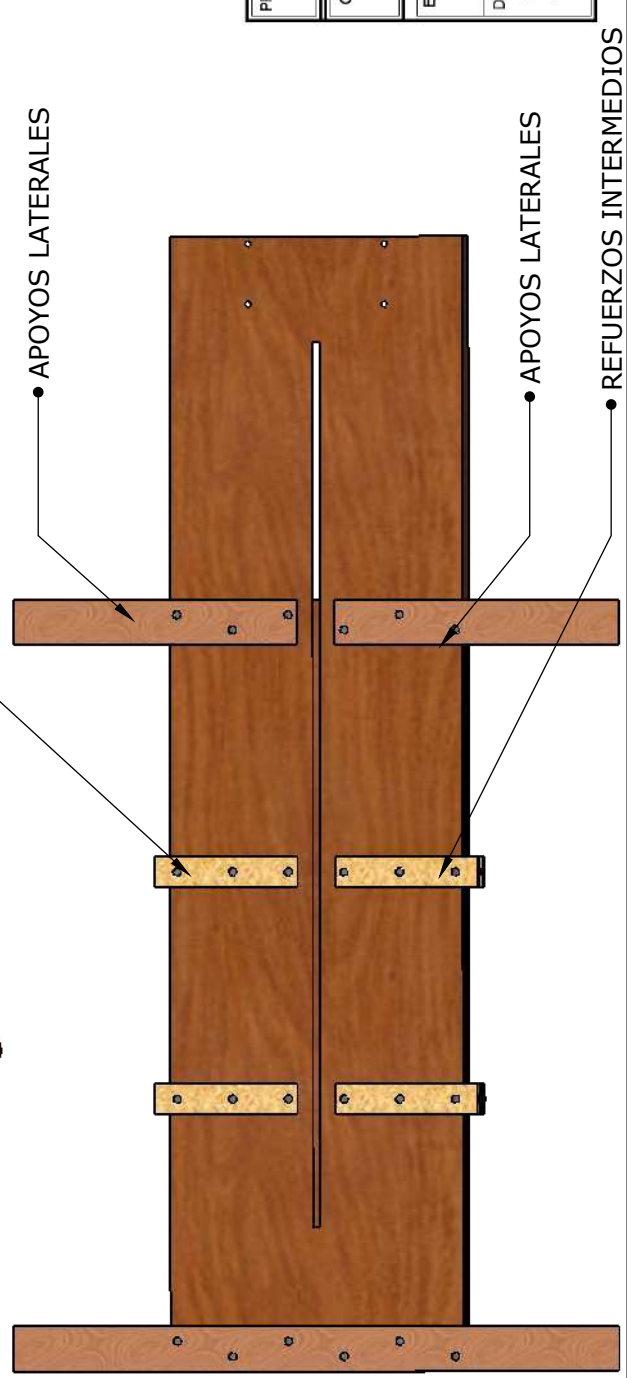
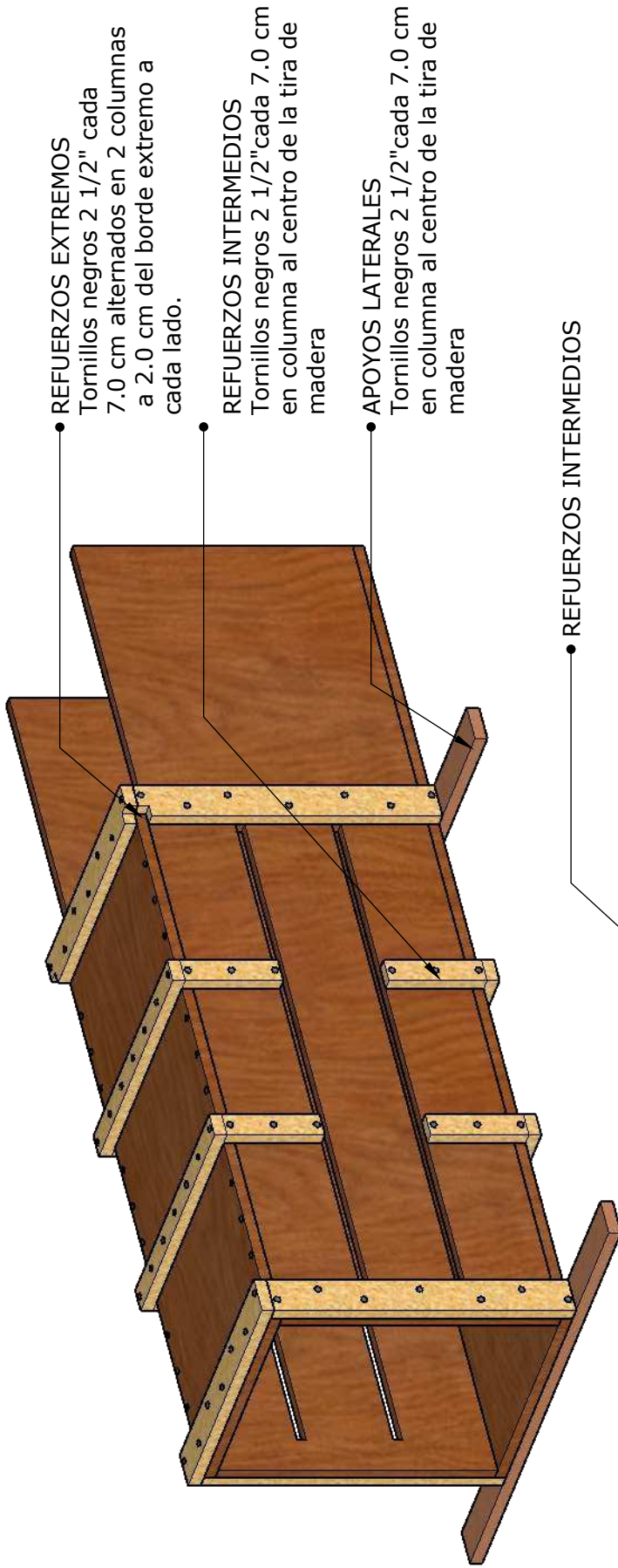
● TAPA INFERIOR
Tornillos negros 2 1/2" cada 7 cm a 0.9 cm del borde extremo a cada lado (incluir pegamento)



● TAPA SUPERIOR
Tornillos negros 2 1/2" cada 7cm a 0.90 cm del borde extremo a cada lado (incluir pegamento)

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA ARMADO ESTRUCTURA PRINCIPAL	
ESCALAS: 1:5	MES: ENERO AÑO: 2023
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA	
LAMINA No. 09	

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

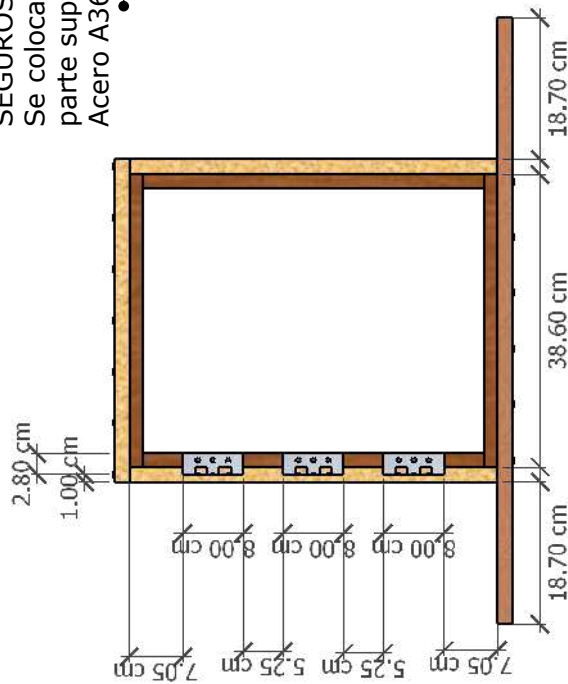


PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA ARMADO ESTRUCTURA PRINCIPAL 3D - ENFARDADORA ARMADO ESTRUCTURA PRINCIPAL VISTA SUPERIOR			
ESCALAS: 1:20	MES: ENERO	AÑO: 2023	LÁMINA No. 10
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIEIRA ARROBA			

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

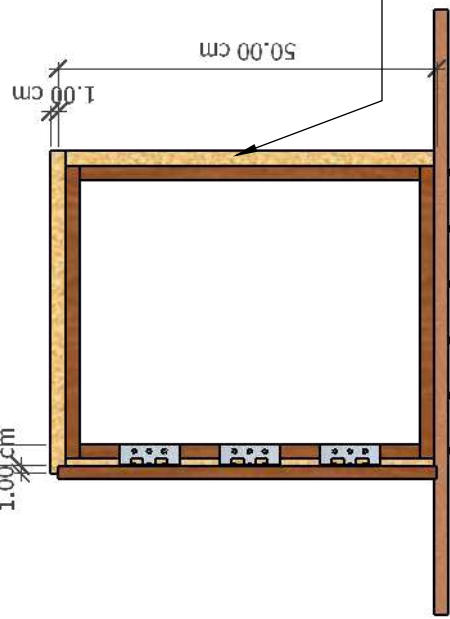
SEGUROS PUERTA

Se coloca a 9.0 cm de la parte superior e inferior. Acero A36 7.5 x 2.0 cm - Esp = 2.0mm



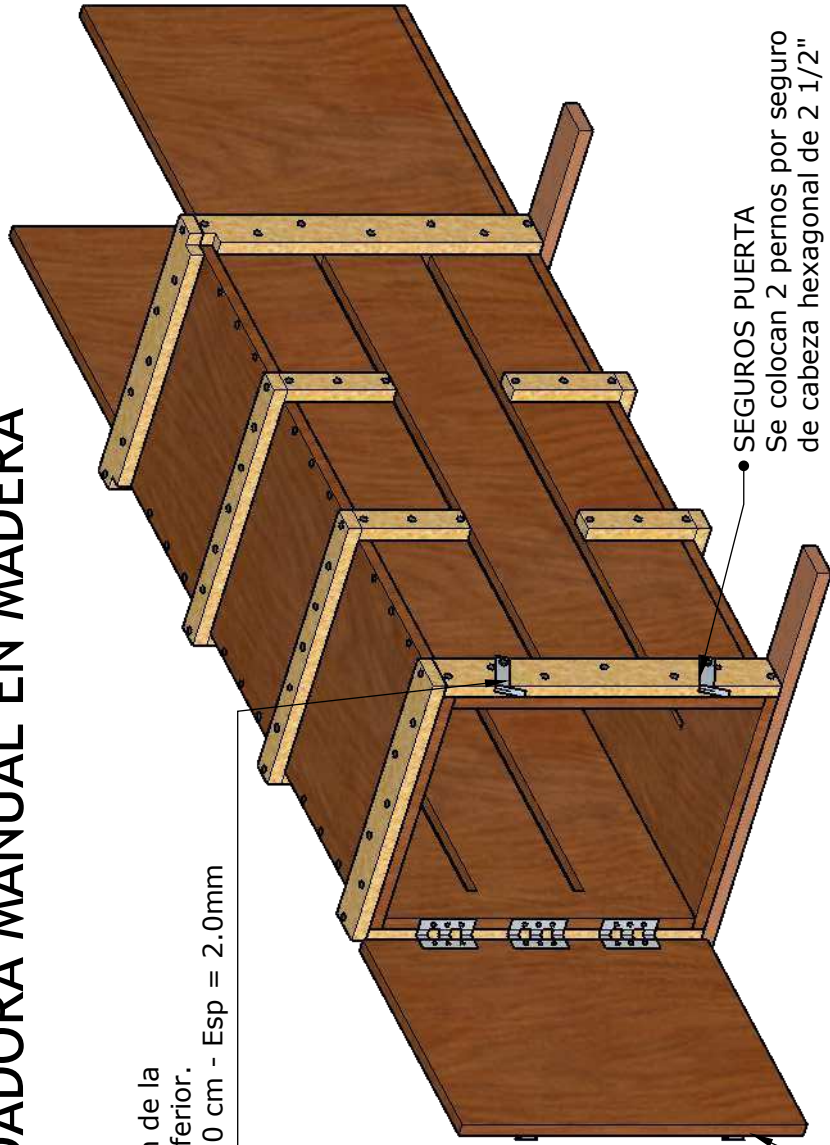
BISAGRAS DE BRONCE 3" PUERTA PRINCIPAL

2.80 cm
1.00 cm



PUERTA PRINCIPAL

Se coloca a 1.0 cm a cada lado de la esquina superior izquierda



SEGUROS PUERTA

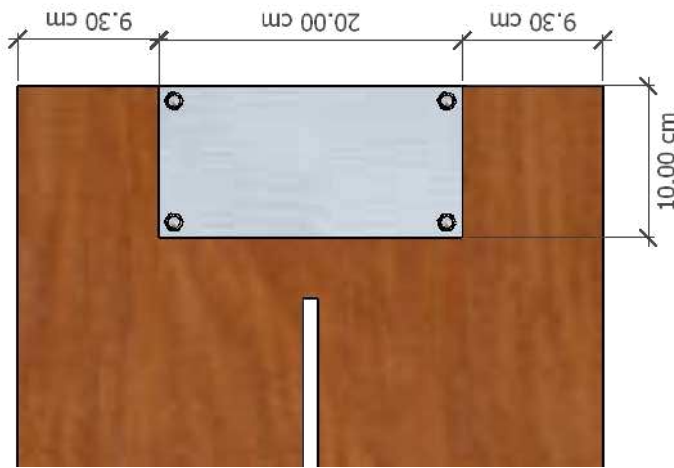
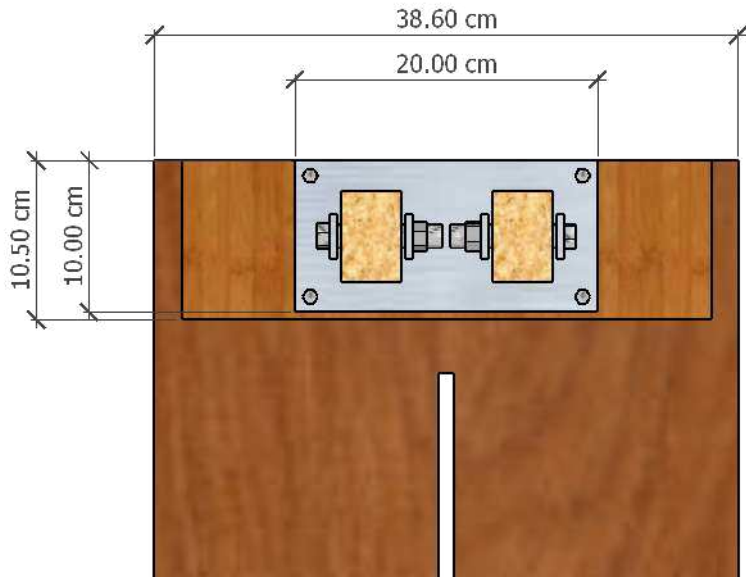
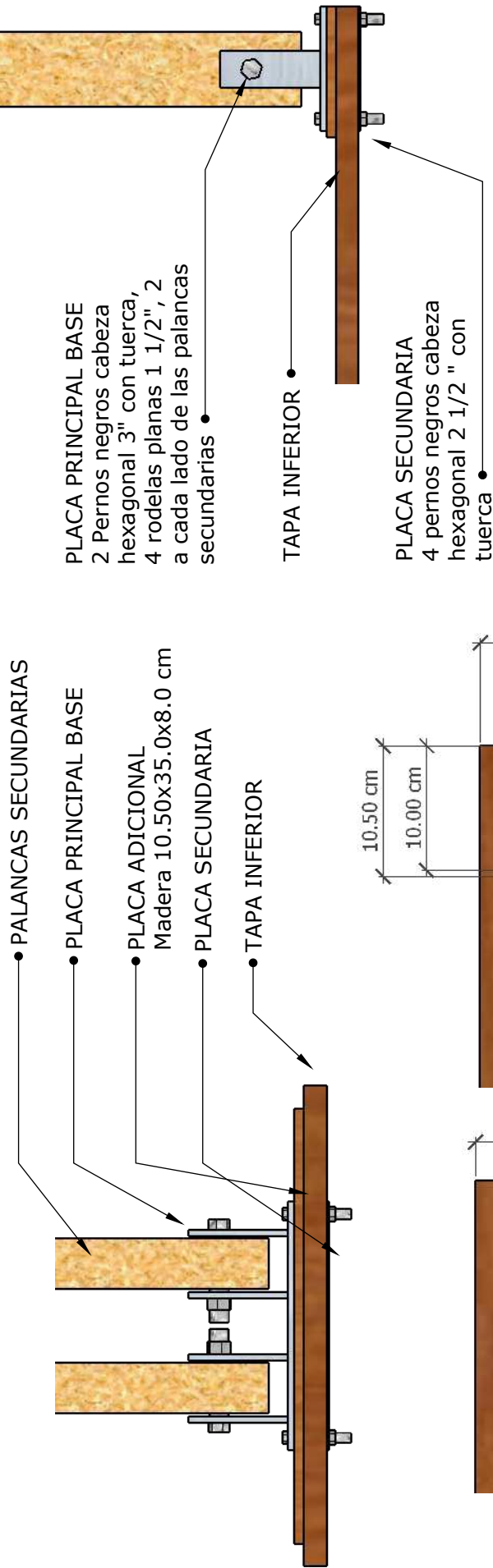
Se colocan 2 pernos por seguro de cabeza hexagonal de 2 1/2" con tuercas

SEGUROS PUERTA

Se coloca a 9.0 cm de la parte superior e inferior. Acero A36 7.5 x 2.0 cm - Esp = 2.0mm

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA PUERTA PRINCIPAL 3D - ENFARDADORA BISAGRAS Y PERNOS PUERTA PRINCIPAL	
ESCALAS: 1:20	MES: ENERO AÑO: 2023
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA	
LAMINA No. 11	

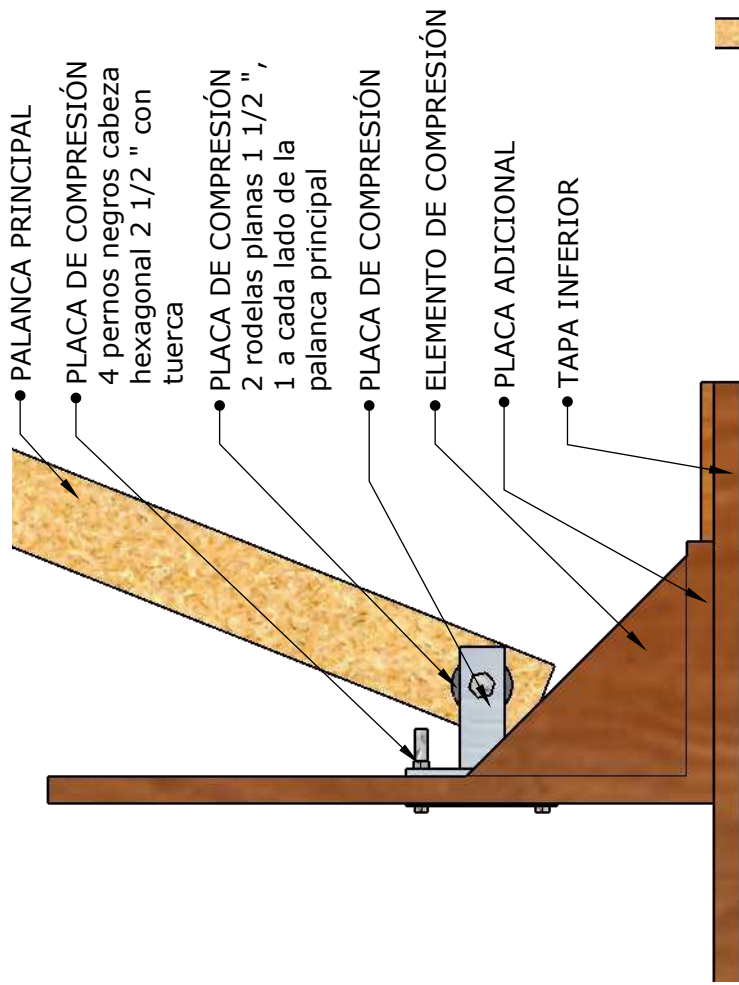
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



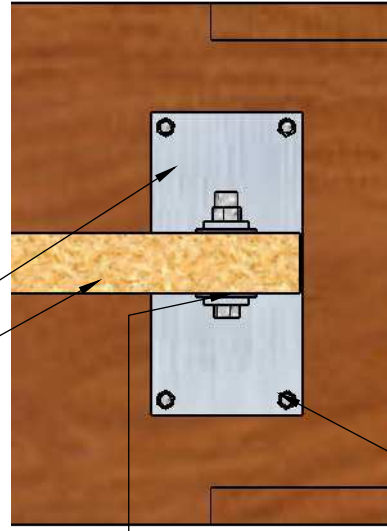
ESTRUCTURA PALANCAS SECUNDARIAS
VISTA INFERIOR Y SUPERIOR

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA ESTRUCTURA PALANCAS SECUNDARIAS: VISTA SUPERIOR E INFERIOR - ENFARDADORA DETALLES ENSAMBLAJE PALANCAS SECUNDARIAS	
ESCALAS: 1:20	MES: ENERO AÑO: 2023
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA-ARROBA	
LAMINA No. 12	

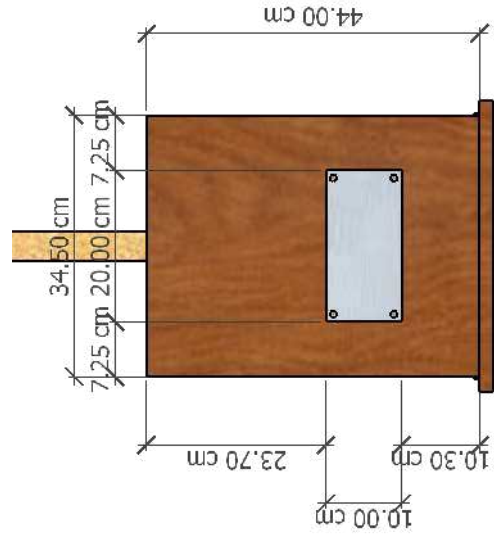
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



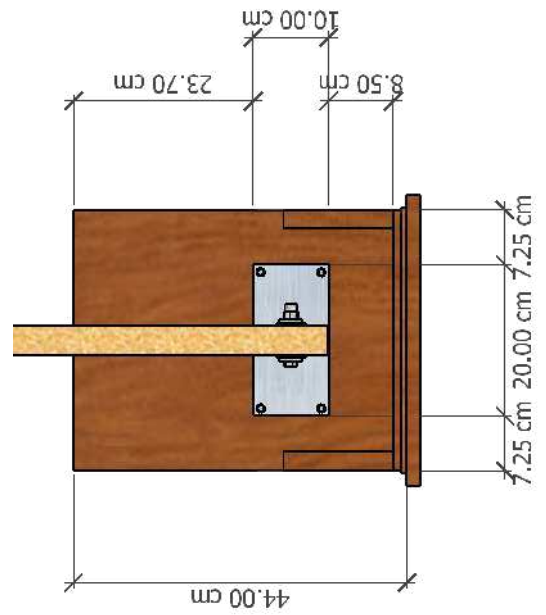
- PLACA SECUNDARIA
- PALANCA PRINCIPAL
- PLACA DE COMPRESIÓN
2 Pernos negros cabeza hexagonal 3" con tuercas,
2 rodajas planas 1 1/2", 1 a cada lado de las palancas secundarias
- 2 Pernos negros cabeza hexagonal 3" con tuercas,
4 rodajas planas 1 1/2", 2 a cada lado de las palancas secundarias



ESTRUCTURA DE COMPRESIÓN
DETALLES

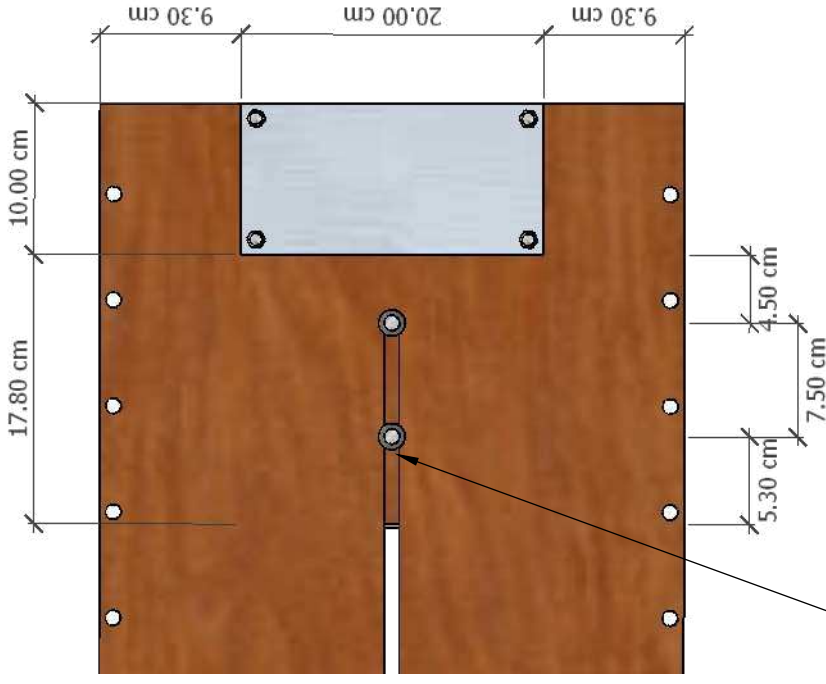


ESTRUCTURA DE COMPRESIÓN
VISTA FRONTAL Y PORTERIOR



PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA	
CONTIENE: - ENFARDADORA ESTRUCTURA DE COMPRESIÓN - ENFARDADORA VISTA FRONTAL Y POSTERIOR	
ESCALAS: 1:20	AÑO: 2023
MES: ENERO	LAMINA N°: 13
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA	

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



● PALANCA PRINCIPAL

● 1 Perno negro cabeza hexagonal 6.5" con tuerca, 4 rodajas planas 1 1/2", 2 a cada lado de las palancas secundarias

● PALANCAS SECUNDARIAS

● ELEMENTO DE COMPRESIÓN

● 1 Pernos negros cabeza hexagonal 3" con tuerca, 2 rodajas planas 1 1/2", 1 a cada lado de las palancas secundarias

● PLACA COMPRESIÓN

● PLACA PRINCIPAL BASE

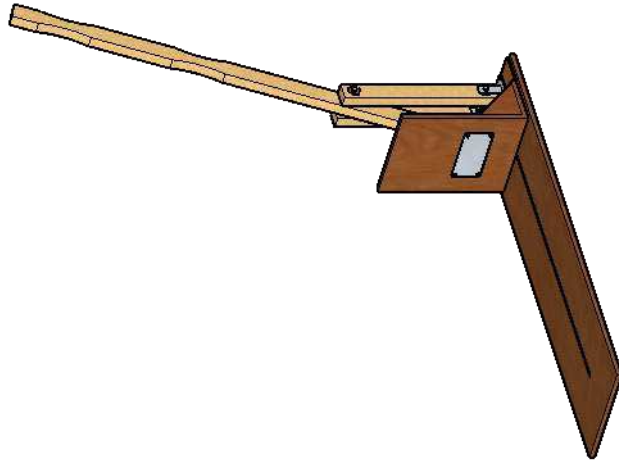
● PLACA SECUNDARIA

VISTA INFERIOR
 Pernos se deben colocar a una distancia del borde derecho de 5.30 y 12.8 cm al elemento de compresión

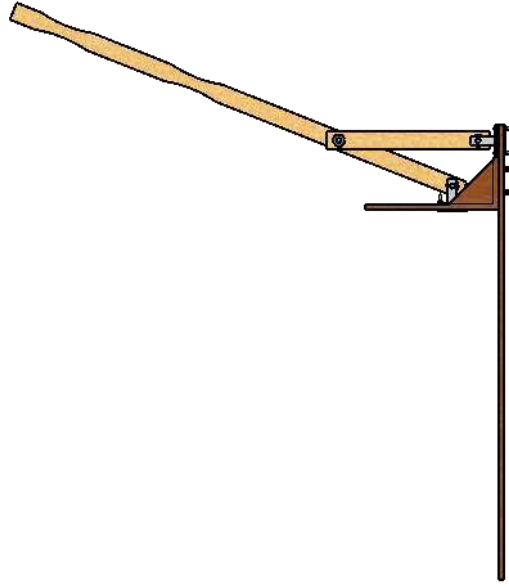
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA SISTEMA DE COMPRESIÓN VISTA INFERIOR			
ESCALAS:	1:20	MES:	ENERO
		AÑO:	2023
DIBUJO Y DISEÑO:		LÁMINA N.º	
- ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ		14	
- ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA			

SISTEMA DE COMPRESIÓN DE LA MÁQUINA ENFARDADORA EN MADERA, DETALLES, VISTA INFERIOR

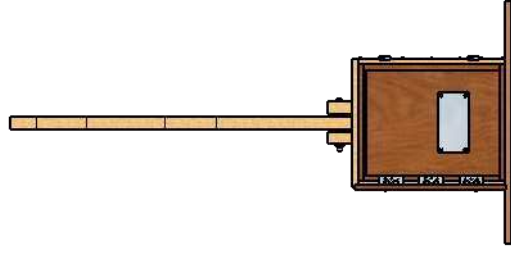
ENFARDADORA MANUAL EN MADERA



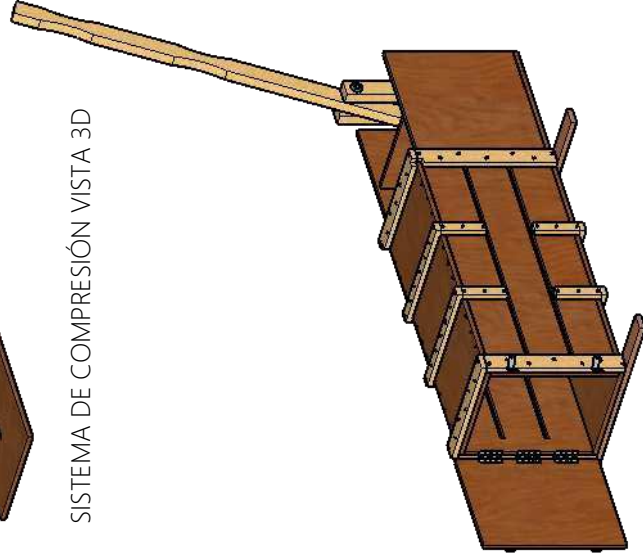
SISTEMA DE COMPRESIÓN VISTA 3D



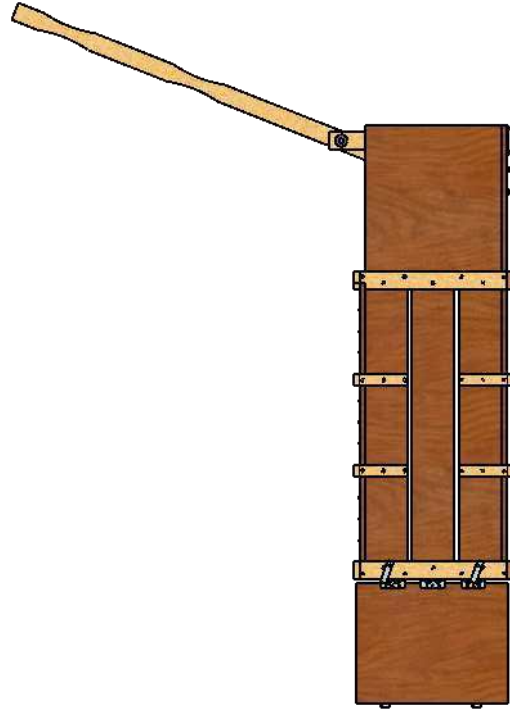
SISTEMA DE COMPRESIÓN VISTA LATERAL



SISTEMA DE COMPRESIÓN FRONTAL



ENFARDADORA CONSTRUIDA 3D

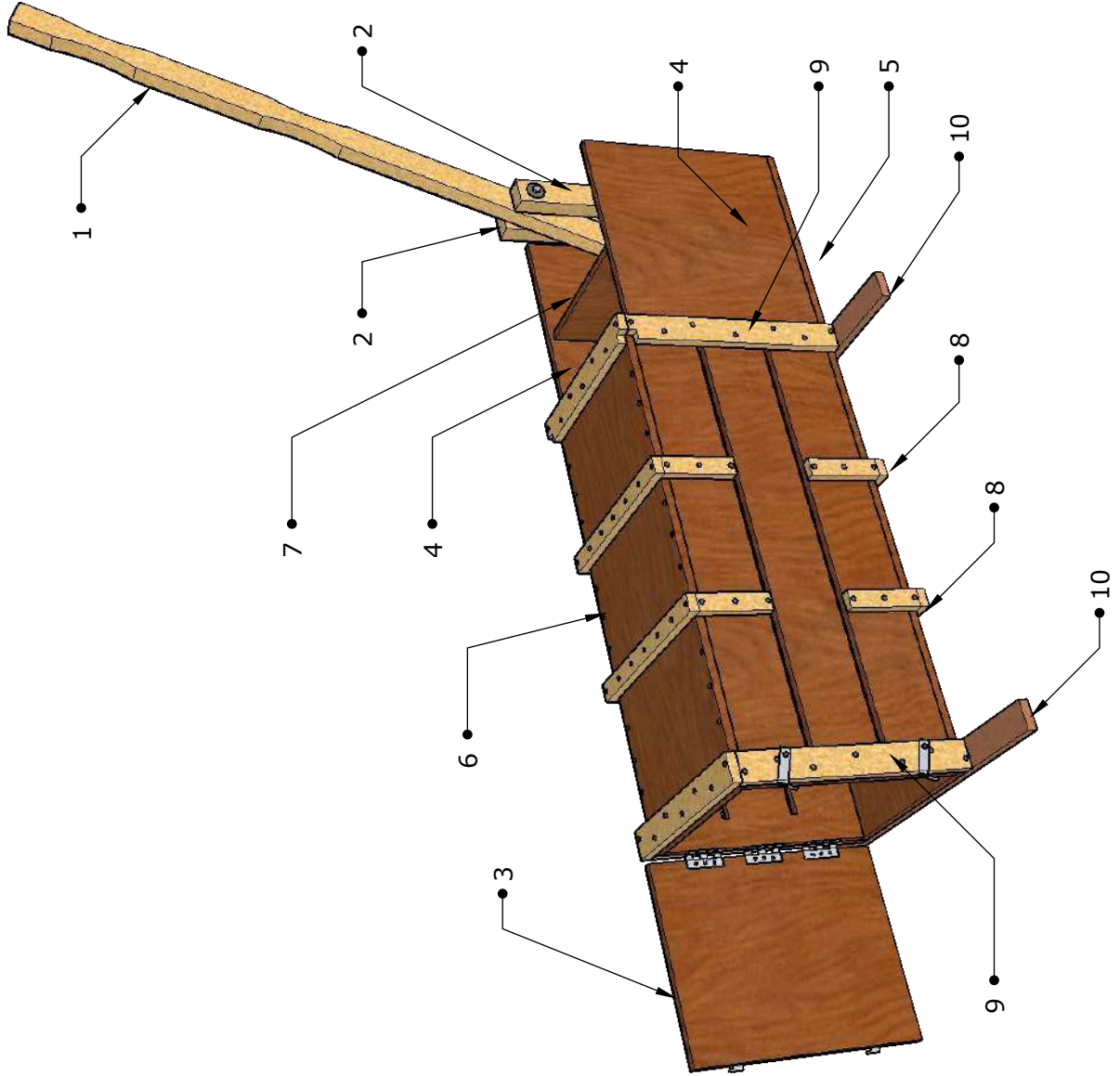


ENFARDADORA CONSTRUIDA VISTA LATERAL

PROYECTO: CONSTRUCCION DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA			
CONTIENE: - ENFARDADORA SISTEMA DE COMPRESIÓN VISTA 3D - ENFARDADORA SISTEMA DE COMPRESIÓN VISTA LATERAL - ENFARDADORA VISTA 3D Y LATERAL			
ESCALAS: 1 : 50	MES: ENERO	ANO: 2023	
DIBUJO Y DISEÑO: - ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ - ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA		LAMINA No.	15

ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

ELEMENTOS Y MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE ENFARDORA MANUAL EN MADERA			
N°	ELEMENTO	MATERIAL	UNIDAD CANTIDAD
1	PALANCA PRINCIPAL	TABLÓN DE LAUREL 240 x 22.5 x 6 cm	u 3
2	PALANCA SECUNDARIAS		
3	PUERTA PRINCIPAL		
4	TAPAS LATERALES		
5	TAPA INFERIOR	TABLERO TRIPLEX 122 x 244 x 1.6 cm	u 3
6	TAPA SUPERIOR		
7	ELEMENTO DE COMPRESIÓN		
8	REFUERZOS INTERMEDIOS		
9	REFUERZOS EXTREMOS	TIRAS DE MADERA 600 x 6 x 2 cm	u 3
10	APOYOS LATERALES		



PIEZAS QUE COMPONEN LOS SISTEMAS DE LA MÁQUINA ENFARDORA			
PIEZA U OBJETO	UNID CANT	ELEMENTO QUE COMPONE O UBICACIÓN	
BISAGRA DE BRONCE 3"	u 3	PUERTA PRINCIPAL	
PLACA DE ACERO INFERIOR DE LA BASE A36 200 x 100 x 2 mm	u 1	ANCLAJE DE PALANCA SECUNDARIAS	
PLACA DE ACERO SUPERIOR DE LA BASE A36 200 x 100 x 5 mm	u 1	ANCLAJE DE PALANCA SECUNDARIAS	
PLACA DE ACERO 1 PANEL DE COMPRESIÓN A36 200 x 100 x 2 mm	u 1	ANCLAJE PALANCA PRINCIPAL	
PLACA DE ACERO 2 PANEL DE COMPRESIÓN A36 200 x 100 x 5 mm	u 1	ANCLAJE PALANCA PRINCIPAL	
PERNO NEGRO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA 3"	u 3	ANCLAJE PALANCA PRINCIPAL Y SECUNDARIAS	
PERNO NEGRO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA 3"	u 1	UNION PALANCA PRINCIPAL Y SECUNDARIAS	
PERNO NEGRO CABEZA HEXAGONAL CON TUERCA 2 1/2"	u 14	ANCLAJE ELEMENTO DE COMPRESIÓN, SEGUROS PARA PUERTA PRINCIPAL	
RODELA PLANA 1"	u 4	PERIOS DE ANCLAJE ELEMENTO DE COMPRESIÓN Y PUERTA PRINCIPAL	
RODELA PLANA 1 1/2"	u 10	PERNOS DE ANCLAJE PALANCA PRINCIPAL Y SECUNDARIAS	
TORNILLO NEGRO MADERA 2 1/2"	u 70	UNION TAPAS SUPERIOR, INFERIOR, LATERALES, REFUERZOS INTERMEDIOS Y EXTERIORES	
CLAVOS DE ACERO LISO 1/2"	kg 1	UNIONES ELEMENTO DE COMPRESIÓN	
SEGUROS DE ACERO	u 2	PUERTA PRINCIPAL	
PEGAMENTO P/MADERA CARPINTERO 16 OZ.	u 1	UNION TAPAS SUPERIOR, INFERIOR, LATERALES, REFUERZOS INTERMEDIOS Y EXTERIORES	

PROYECTO: CONSTRUCCION DE ENFARDADORA MANUAL EN MADERA

CONTIENE: - ENFARDADORA VISTA 3D
- LISTA DE MATERIALES UTILIZADOS

ESCALAS: 1:50 MES: ENERO AÑO: 2023

DIBUJO Y DISEÑO:
- ING. HENRY ANDERSON RAMOS RODRIGUEZ
- ING. LUISA PAULINA VIERA ARROBA

LAMINA No. **16**

