



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Lecciones aprendidas de las construcciones vernáculas
para diseñar nuevos materiales en la ciudad de Riobamba.
El caso de la cal como materia prima.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje,
Urbanismo y Diseño

AUTOR/A: Nono Yaguachi, Johnatan Javier

Tutor/a: Serrano Lanzarote, Apolonia Begoña

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Lecciones aprendidas de las construcciones vernáculas
para diseñar nuevos materiales en la ciudad de Riobamba.
El caso de la cal como materia prima.

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje,
Urbanismo y Diseño

AUTOR/A: Nono Yaguachi, Johnatan Javier

Tutor/a: Serrano Lanzarote, Apolonia Begoña

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024



LECCIONES APRENDIDAS DE LAS CONSTRUCCIONES VERNÁCULAS PARA DISEÑAR NUEVOS MATERIALES EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA. EL CASO DE LA CAL COMO MATERIA PRIMA.

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
Escuela Técnica Superior de Arquitectura.
Trabajo Fin de Máster Máster Universitario en Arquitectura Avanzada,
Paisaje, Urbanismo y Diseño.
Curso académico: 2023 - 2024

Autora: Nono Yaguachi, Johnatan Javier.
Tutora: PhD. Begoña Serrano Lanzarote

MASTER

A rquitectura avanzada
P aisajismo
U rbanismo
D iseño



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Dedicatoria.

Figura 01.
Mi padre Gerardo Nono



a Dios, a mi familia desde mi abuelo Victor hasta mi ultima sobrna Meisi, esta inves-
tigación es un homenaje a la historia, el trabajo y el sacrificio de mi familia.

“La arquitectura comieza con poner dos
ladrilos juntos cuidadosamente.”
Ludwing Mies Van Der Rohe.

Resumen.

Esta tesis se centra en analizar las lecciones aprendidas de las construcciones vernáculas en la ciudad de Riobamba, con un enfoque particular en el uso de la cal como materia prima. Las construcciones vernáculas, arraigadas en la tradición y el contexto local, han demostrado una eficacia notable en términos de sostenibilidad, durabilidad y adaptabilidad. Este estudio propone aprovechar estas lecciones para el diseño de nuevos materiales que incorporen la cal, una materia prima abundante en la región. La investigación aborda aspectos históricos, técnicos y culturales relacionados con el uso de la cal, evaluando su viabilidad para promover la sostenibilidad y la innovación en la construcción contemporánea en la ciudad de Riobamba.

Los materiales de construcción de cal tienen una larga historia y han sido utilizados durante siglos por sus propiedades sostenibles y saludables. Sin embargo, en los últimos años, se han desarrollado nuevas tecnologías que han permitido crear materiales innovadores de cal con propiedades mejoradas.

Estos nuevos materiales ofrecen una serie de ventajas sobre los materiales tradicionales, incluyendo: Mayor resistencia y durabilidad mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico, mayor resistencia al fuego y menor impacto ambiental

Para implementar estos nuevos materiales en la construcción, es necesario desarrollar estrategias que permitan educar a los profesionales de la construcción sobre sus ventajas, promover la investigación y el desarrollo de nuevos materiales, y establecer normas y reglamentos que garanticen su calidad y seguridad.

Palabras clave: cal, sostenibilidad, diseño ecológico, materiales de construcción, arquitectura vernácula.

Abstract:

This thesis focuses on analyzing the lessons learned from vernacular constructions in the city of Riobamba, with a particular focus on the use of lime as a raw material. Vernacular buildings, rooted in tradition and local context, have demonstrated remarkable effectiveness in terms of sustainability, durability and adaptability. This study proposes taking advantage of these lessons for the design of new materials that incorporate lime, an abundant raw material in the region. The research addresses historical, technical and cultural aspects related to the use of lime, evaluating its viability to promote sustainability and innovation in contemporary construction in the city of Riobamba.

Calcium building materials have a long history and have continued to be used for centuries by their sustainable and healthy owners. However, in recent years, new technologies have been developed that have allowed the creation of innovative calce materials with million-dollar owners.

These new materials offer a number of advantages over traditional materials, including: Greater strength and durability, better thermal and acoustic insulation properties, greater fire resistance and lower environmental impact.

To implement these new materials in construction, it is necessary to develop strategies that allow construction professionals to be educated about their advantages, promote research and development of new materials, and establish standards and regulations that guarantee their quality and safety

Keywords: Lime, Sustainability and ecological design, construction materials, vernacular architecture.

Los ecuatorianos como «seres raros y únicos: duermen tranquilos en medio de crujientes volcanes, viven pobres en medio de incomparables riquezas y se alegran con música triste».

Alexander Von Humbold

Indice

CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Introducción.....	9
1.2. Justificación del estudio	10
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Objetivo general	11
1.3.2 Objetivos específicos	11
1.4. Metodología	12

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Sostenibilidad en la construcción vernáculas	14
2.1.1 Relación entre condiciones climáticas y arquitectura vernácula.....	16
2.2. La arquitectura vernácula en Ecuador y sus referentes	20
2.3. Materiales de construcción sostenibles	32
2.3.1 ODS relacionados con los materiales.....	34
2.3.2 Técnicas para la evaluación de materiales.....	36
2.4. La cal como material de construcción sostenible.....	40
2.5. Inmueble elaborado con revestimiento de barro y cal en la región de estudio....	48
2.6. Contexto inmediato de los fabricas de cal en la ciudad de Riobamba.....	52

CAPITULO III: MARCO METODOLOGÍCO

3.1 Recopilación de datos, fotografías y planos de las caleras cercanas a la ciudad de Riobamba(georreferenciación)	56
3.2 Recopilación de datos y fotografías y planos del proceso de la cal	62
3.3 Diseño y montaje del prototipo innovador con cal como materia prima ...	68
3.3.1 Encuesta sobre la aceptación y percepción de los materiales basados en la cal	68
3.3.2 Justificación de propuesta de materiales a base de cal	69
3.3.3 Ladrillos de cal	69
3.3.4 Elaboración del prototipo de cal.....	71
3.3.5 Procedimiento de la elaboración del ladrillo de cal.....	72
3.4 Ensayo de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y de los materiales basados en la cal	76
3.5 Resultados.....	78

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1. Conclusiones.....	81
4.2 Recomendaciones.....	83
4.3 Referencia.....	84

ANEXOS

1.1 INTRODUCCION

La arquitectura vernácula representa la manifestación intrínseca de la relación entre el ser humano y su entorno, fundamentada en la adaptación consciente a los recursos naturales y culturales locales (Vellinga, 2007). En contextos urbanos históricos como la ciudad de Riobamba, las construcciones vernáculas han perdurado a lo largo de generaciones, resistiendo el paso del tiempo y desafiando los avatares climáticos de la región. Estas edificaciones, erigidas con técnicas y materiales arraigados en la tradición local, han demostrado una notable eficiencia tanto en términos de sostenibilidad ambiental como de viabilidad estructural (Smith, 2010).

El presente estudio se enfoca en explorar y extraer lecciones fundamentales de las construcciones vernáculas en Riobamba, Ecuador, con un énfasis especial en el uso de la cal como materia prima. La cal, derivada de la calcinación de rocas calizas, ha sido históricamente una piedra angular en la construcción de comunidades y civilizaciones (Bukowski et al., 2015). Su presencia abundante en la región convierte a la cal en un recurso local estratégico para la innovación y el diseño contemporáneo de materiales arquitectónicos, en armonía con la identidad cultural y las necesidades actuales de sustentabilidad (Gutiérrez, 2018).

A través de una exhaustiva revisión de la arquitectura vernácula en Riobamba y un análisis detenido de las propiedades y aplicaciones de la cal como materia prima, este estudio pretende brindar perspectivas valiosas para la creación y adopción de nuevos materiales que fusionen el conocimiento tradicional con la moderna ingeniería y diseño arquitectónico. Estos nuevos materiales no solo podrían fortalecer la sostenibilidad y la resiliencia de las edificaciones urbanas, sino también enriquecer la herencia arquitectónica de Riobamba para las generaciones futuras.

1.2. JUSTIFICACION DEL ESTUDIO.

El estudio propuesto se enmarca en la necesidad de abordar los desafíos contemporáneos de la arquitectura en la ciudad de Riobamba, y otras regiones con un rico legado de construcciones vernáculas. La arquitectura vernácula es una manifestación de la adaptación humana al entorno local y a las condiciones climáticas, utilizando materiales y técnicas propias de la región (Vellinga, 2007). En Riobamba, este tipo de arquitectura ha perdurado a lo largo de generaciones, demostrando una notable eficiencia en términos de sostenibilidad y resistencia estructural (Smith, 2010). No obstante, el avance de la tecnología y la globalización han llevado al desuso de estas técnicas y materiales tradicionales en favor de opciones más industrializadas y estandarizadas.

La utilización de la cal como materia prima en la construcción, una práctica arraigada en la historia arquitectónica de Riobamba, ha sido subestimada en las últimas décadas, a pesar de su abundancia en la región (Bukowski et al., 2015). La revitalización de la cal como elemento central en la formulación de nuevos materiales arquitectónicos podría no solo conservar la identidad cultural y tradición constructiva local, sino también impulsar la sostenibilidad y la eficiencia en las edificaciones modernas (Gutiérrez, 2018).

Este estudio busca recuperar y comprender las lecciones aprendidas de la construcción vernácula en Riobamba, poniendo especial énfasis en la valorización y el empleo de la cal como materia prima para nuevos materiales. La investigación se propone reunir conocimientos históricos, técnicos y culturales para informar el diseño y desarrollo de materiales contemporáneos, fomentando la sostenibilidad, la resiliencia y la armonía con el entorno natural y cultural.

Al abrazar y aplicar estos principios, se pretende establecer una base teórica y práctica para futuras generaciones de arquitectos y urbanistas, fomentando la conservación del patrimonio arquitectónico local y la creación de una arquitectura moderna más consciente, ecológica y arraigada en la historia y tradición de Riobamba.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. OBJETIVOS GENERALES.

Conocer la disponibilidad y viabilidad de la cal como materia prima para la producción de materiales de construcción sostenibles en la ciudad, Riobamba.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

Analizar las propiedades físicas y químicas de la cal y cómo pueden contribuir a la sostenibilidad y diseño ecológico en la construcción.

Evaluar la aceptación y percepción de los profesionales de la construcción y la comunidad en general respecto a los materiales basados en la cal y su contribución a la sostenibilidad.

Desarrollar recomendaciones y estrategias específicas para promover la utilización de materiales basados en la cal en proyectos de construcción sostenible en la ciudad

Diseñar prototipos de materiales de construcción innovadores que utilicen la cal como componente principal y evaluar su desempeño en términos de sostenibilidad y diseño ecológico.

1.2. METODOLOGIA.

Mediante el proceso metodológico se busca fundamentos principalmente analíticos, basándose en la interpretación del marco teórico y un diagnóstico establecido con datos tomados del contexto historico conyuntural de la ciudad de Riobmba con respecto arquitectura vernacula y los hornos de cal para la toma de decisiones y formulación de un prototipo

Figura 02.
Metodología aplicada



Fuente: (Maza & Pullas, 2019)



figura 03:
Consumo energético mundial.



1. Fuente: World Watch Institute Report. 2003.

2.1. Sostenibilidad en la construcción vernáculas

(Sánchez, 2007) La sostenibilidad se erige como un desafío irrefutable en la sociedad contemporánea. Su logro implica que cada actividad, tanto a nivel individual como colectivo, es decir, puedan desarrollarse en el tiempo sin agotar los recursos en los que se basan. Desde la remota historia, las sociedades han confiado a la arquitectura la construcción de los hábitats artificiales (ciudades) del que se rodean. Pues con el pasar del tiempo esta disciplina se plantea como problema crítico, puesto que es responsable de un porcentaje muy elevado de los impactos ambientales que la ponen en peligro. Es crucial subrayar un hecho fundamental, del cual parece que la sociedad y sus gobernantes no están completamente conscientes: más de la mitad del consumo de energía a nivel mundial está vinculado de alguna manera con la edificación. Esto abarca la producción de materiales, la urbanización y construcción, así como el mantenimiento de los edificios en términos de calefacción, refrigeración, iluminación, purificación del agua y todas las operaciones necesarias para que los espacios sean habitables. En general, se estima que aproximadamente el 53% de la energía utilizada por los seres humanos en la Tierra está destinada a sostener estas actividades¹.

Actualmente, existe un consenso generalizado en el ámbito de las ciencias ambientales que respalda la idea de que la edificación, ya sea de forma directa o indirecta, representa la actividad humana con mayor impacto en el planeta. En

este contexto, la arquitectura ha venido desarrollando numerosas técnicas y procedimientos que forman un cuerpo en constante crecimiento de conocimientos (tales como **bioclimática, bioconstrucción, reciclaje, reutilización y gestión de residuos**) con el propósito de hallar enfoques que posibiliten la sostenibilidad del entorno habitable humano. Esto implica, como es evidente, un cambio drástico en las pautas y técnicas utilizadas en la concepción y realización de edificios y ciudades, buscando reducir de manera significativa el consumo de energía y, en general, el impacto asociado a nuestras actividades. Dado que esas arquitecturas evolucionaron en un contexto en el que la gestión cuidadosa de recursos extremadamente limitados era esencial, y estos recursos frecuentemente estaban disponibles solo con un esfuerzo considerable, es apropiado considerar que en el origen del desarrollo de esas "arquitecturas espontáneas" yace un conjunto significativo de claves que podrían mejorar el desempeño ambiental de la arquitectura contemporánea y, en consecuencia, su sostenibilidad.

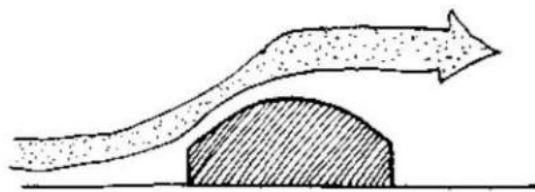
No obstante, planteamos que la sostenibilidad arquitectónica está arraigada en un valioso legado de estrategias medioambientales (aprovechamiento del entorno, condiciones locales, clima, elección de materiales y diversas circunstancias) que las arquitecturas vernáculas han perfeccionado a lo largo de siglos. En particular, sostenemos que la esencia fundamental de nuestra propuesta

figura 04:
Arquitectura sostenible mundial.



Nota: Elaboración propia.

figura 05:
El viento y las formas del igloo y del yurt.



YURT

figura 06:
Casa de Provenia protegida contra el viento del norte.

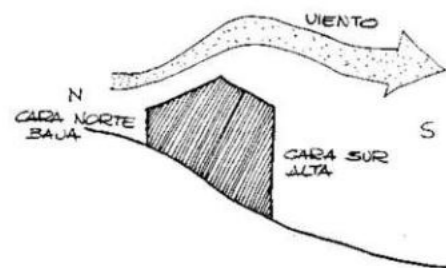
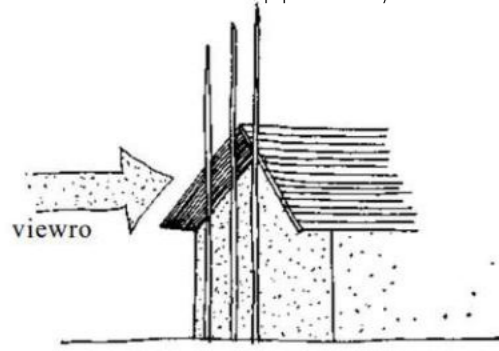


figura 07:
Palos utilizados en Suiza para proteger la casa de la fuerza del viento. (Adaptado de Weiss, Hauser und Landschaftender Schweiz, pp. 96-97).



2. Fuente: World Watch Institute Report. 2003.

aplicado en la construcción contemporánea sin la aplicación de los PRINCIPIOS CIENTÍFICOS DE LA ARQUITECTURA, respaldados por sus tres pilares fundamentales: **objetividad, inteligibilidad y renovación**, que posibilitan la extrapolación y la comunicación de resultados, aspectos en los que basamos la divulgación de los avances alcanzados (Sánchez-Montañés, 2007).

2.1.1 Relación entre condiciones climáticas y arquitectura vernácula

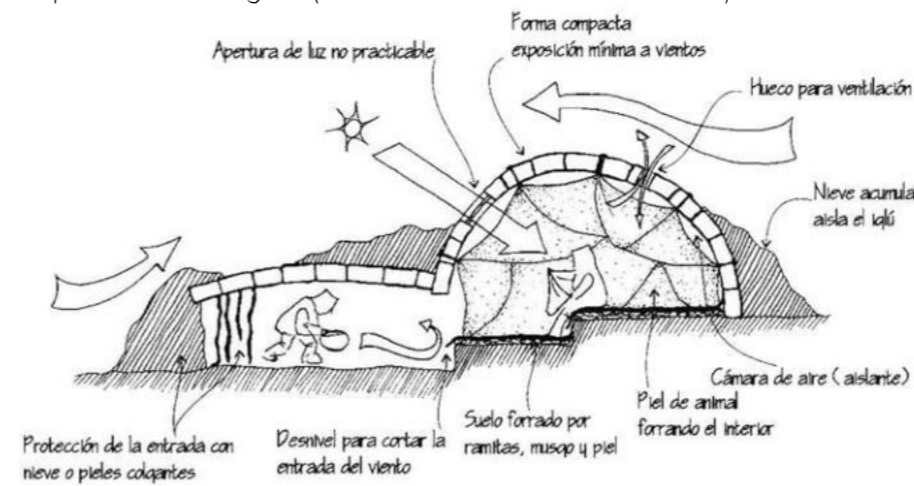
Según (Amos Rapoport, 1972) algunos precursores, se constató que la arquitectura sin arquitectos² había incorporado desde siempre los principios para construir un entorno cómodo, basándose en el conocimiento consciente de las particularidades climáticas y los materiales disponibles. Se observó que, en diversas ubicaciones, situadas en continentes diferentes y habitadas por culturas totalmente distintas que nunca habían tenido contacto entre sí, pero que compartían condiciones climáticas semejantes, se habían alcanzado soluciones arquitectónicas parecidas o casi idénticas.

Muchos han mencionado la influencia del clima en la arquitectura, algunos han rechazado esta idea. Sin embargo, se ha desarrollado una corriente cultural que se basa en una exaltación sistemática y a menudo no crítica de la "perfección" de la arquitectura tradicional en términos de adaptación al clima. Incluso en la actualidad, no ha pasado mucho tiempo desde que esta tendencia de elogiar "la **sabiduría de lo simple**" sigue siendo relevante. Este enfoque tiene un marcado

matiz histórico y romántico, donde se idealiza una "edad dorada" del pasado y se consideran sus valores como metas para el futuro. El énfasis que ponemos en la rigurosidad científica, como herramienta esencial para modernizar los mecanismos de control ambiental de lo vernáculo, tiene como objetivo respaldar su relevancia y colocar estos mecanismos en el ámbito de acción del arquitecto, con un nivel de funcionalidad que la tradición popular les había negado.

En realidad, lo que necesitamos es un enfoque metodológico para el diseño arquitectónico que considere la necesidad de disminuir el uso de energía manteniendo o incluso mejorando el nivel de confort. Esta necesidad es relevante tanto en las naciones desarrolladas como en aquellas en desarrollo posiblemente es aún más crítica en estas últimas que en las primeras.

figura 08:
Sección esquemática del igloo (se han omitido muchos detalles).



fuentes: Vivienda y Cultura, Amos Rapoport., 1972

figura 09:
Casas situadas para conseguir la máxima protección de los vientos fríos en Suiza. (Adaptado de Weis, Häuser und Landschaften der Schweiz, p. 188).



figura 10:
Granja de Normandía. (Adaptado de Grillo, What is design?, p. 106 y observaciones del autor)

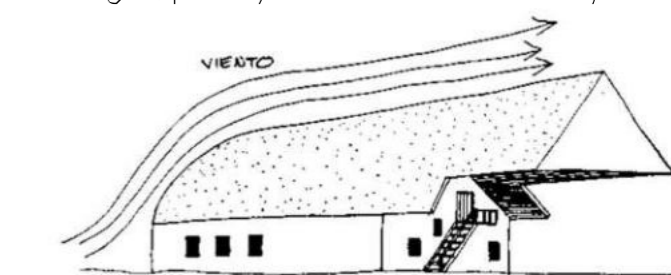
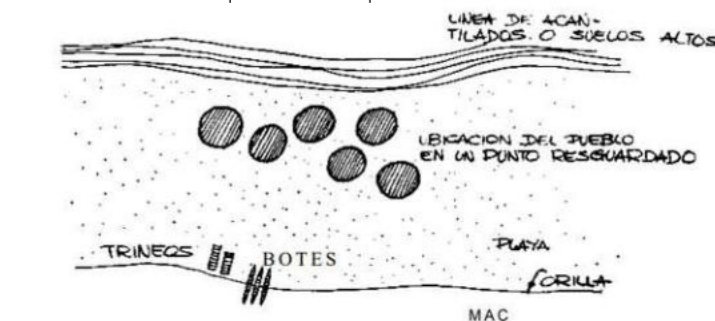


figura 11:
Situación del pueblo esquimal



fuentes: Vivienda y Cultura, Amos Rapoport., 1972

figura 12:
Soluciones Vernaculas en Europa y Asia

MATERIALES
Los elementos utilizados son madera, piedra y paja. El típico techo esta formado por una estructura de madera cubierta por paja de centeno apelmazada, llamada "COLMO" O "TEITO".

La gran pendiente de sus tejados evita que la nieve y el agua sobrecarguen de peso la techumbre.

Las chimeneas no son necesarias en esta arquitectura ya que el humo se filtra a través del techo de paja.

En el interior se reserva una parte como vivienda para las personas y la otra para el ganado.

Cuenta con gruesos muros de piedra y pizarra, que dotan a la palloza de gran inercia térmica.

El interior de la palloza se divide con paredes de tablas dejando un amplio espacio donde este tipo de construcción se adapta a la climatología resistiendo el frío y lluvias que a su vez sirven como buen resguardo en épocas de calor.

Por ultimo su orientación se hace según su topografía. La mayor superficie se expone al mediodía con el fin de captar radiación solar, pero las principales fuentes de calor se hallan en el interior de la. La ausencia de vanos en los muros responde a la necesidad de mantener el calor en invierno y también la utilización de materiales adecuados proporcionan a la palloza gran aislamiento como la paja de centeno en la cubierta.

LA PALLOZA

VIVIENDA TRADICIONAL DE LAS MONTAÑAS, CUBIERTA DE PAJA

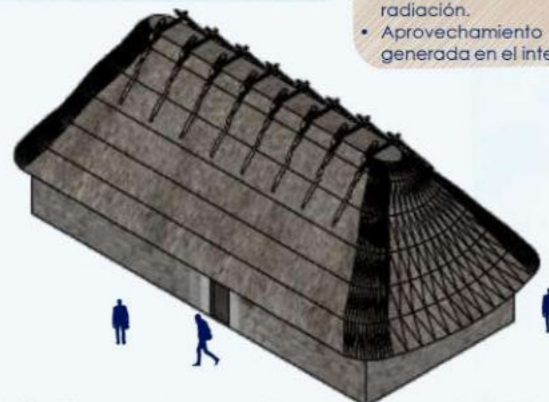
Ubicada en las sierras orientales de Lugo, estas estructuras son conocidas como una arquitectura de montaña, donde el clima es templado lluvioso y por verano frescos y cortos. Las condiciones adversas obligan a estas construcciones a estar dispuestas a soportar largos periodos aisladas del exterior por lo que existen en un mismo espacio vivienda y establo. Su economía es domestica autosuficiente ya que se basa en el aprovechamiento de los animales criados, por este motivo es que hombre y ganado conviven en estos asentamiento que a su vez responden también a lo necesario para sobrevivir por estos largos periodos. Esta economía de autosuficiencia favorece un asentamiento en casas individuales con parcelas irregulares que no siguen ningún trazado porque responde mas bien a las necesidades e interés de sus habitantes.

ANTECEDENTES
Las pallozas son el elemento arquitectónico mas característico de sierra de Ancares. Estas primitivas construcciones se pueden ver en toda la sierra.

ARQUITECTURA
Esta formada por una planta elíptica de considerables dimensiones, con gruesos muros de piedra y pizarra, con pocas ventanas, lo suficiente para conseguir la ventilación necesaria sin perder el calor interno.

CONSTRUCCION
Una palloza esta fabricada tomando en cuenta diferentes criterios.

- Edificación compacta
- Gran inercia térmica de cerramiento.
- Aprovechamiento de la radiación.
- Aprovechamiento de la energia generada en el interior.



Nota: El gráfico representa esquemáticamente el resumen sobre los tipos de construcción La Yurta y la Palloza para climas fríos y helados. Tomado de Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible (p.113), por F. Javier Neila Gonzales, 2004, Editorial Munilla-Lería.

LA YURTA

TIENDA TRANSPORTABLE EMPLEADA POR LAS TRIBUS NÓMADAS DE MONGOLIA

La YURTA mongol es una vivienda abatible y transportable adaptada a la climatología de la estepa de Asia Central y a las necesidades vitales cotidianas de los nómadas, ubicadas en el recorrido de Irán y Mongolia, atravesando Asia Central, optando un carácter nómada donde emplean materiales ligeros.

¿A que responde?

A una economía tradicional de la Región en la se desarrollan estas estructuras, donde predomina el pastoreo nómadas, si bien existe una población sedentaria aun quedan estos tipos de tribus que al desplazarse de un lugar a otro adaptan esta arquitectura.

DESCRIPCION FORMAL

DESCRIPCION CONSTRUCTIVA

Esta forma básica de la Yurta responde a una forma cilíndrica con una base de 3,5 a 6,5 de diámetro lo cual dan una forma cónica rebajada. Utilizando materiales tradicionales como la madera, fieltro de lana y una estructura metálica.

La estructura de la Yurta esta conformada de madera ligera, el cual forma un entramado que dan forma a un celosía en las paredes, como las varillas de la cubierta. El recubrimiento responde según la necesidad y clima.

Estas yurtas emplean materiales ligeros y cubrimientos de lanas y pieles que permiten una arquitectura desmontable y de fácil transporte. La integración visual de esta arquitectura con su entorno se mimetiza y camufla perfectamente aun siendo un elemento temporal.

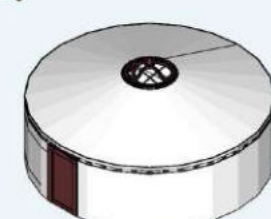
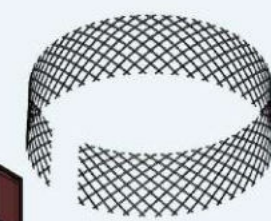
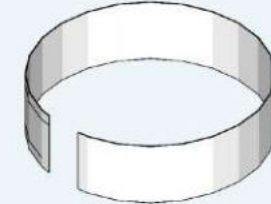
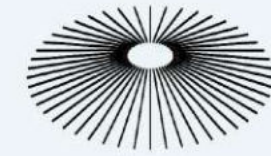
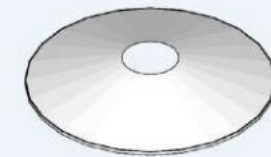


La parte superior de la estructura en este caso la cubierta se levantan una serie de varillas que se juntan en un anillo de compresión que es la pieza angular de la estructura.

Luego se recubre con fieltros de lana los cuales se pueden sustituir en climas mas cálidos por otras telas mas ligeras que facilitan la ventilación de la tienda.

Estos listones se terminan atando uno sobre otros para mayor rigidez y para incrementar a un mas su estabilidad estructural se enlaza al cerco de la puerta.

El proceso de construcción de la Yurta inicia con un enrejado expandible de forma cilíndrica que conforman los listones de madera



Nota: Elaboración propia.

figura 13:
Dos niños indígenas dentro de una choza, 1940 - 1950



fuente:
Instituto Nacional De Patrimonio Cultural Ecuador, 1900

2.2. La arquitectura vernácula en el Ecuador y sus referentes

(Sandoval, 2013) La arquitectura vernácula, también conocida como arquitectura espontánea, o arquitectura propia de una región, representa la respuesta fundamental del ser humano para protegerse de las condiciones climáticas adversas. A lo largo de la historia, esta forma de arquitectura ha demostrado ser un ejemplo de técnicas constructivas adecuadas para un área o región específica, utilizando materiales y recursos locales fácilmente accesibles. El objetivo primordial es lograr comodidad en la vivienda o construcción, como han afirmado el investigador.

La consideración y manipulación consciente de sombras, viento, calor y ventilación, adaptadas de forma natural con atención al clima, como señala Sánchez (1980), hacen que este tipo de edificaciones, en su mayoría viviendas, minimicen el uso de energía proveniente de fuentes artificiales para iluminación y climatización. En Ecuador, debido a su diversidad de zonas climáticas, es esencial estudiar la arquitectura vernácula no de manera global, sino analizando las respuestas arquitectónicas que se han originado en distintas regiones. Dado que estas regiones tienen características meteorológicas y geográficas variadas, las técnicas de construcción difieren en cada parte del país. Otro factor relevante, en línea con los planteamientos de Zevi (1969), que nos permite analizar la arquitectura vernácula, son las diversas etnias que habitan el territorio ecuatoriano.

En la actualidad, en el país, se reconocen como nacionalidades indígenas, según la definición adoptada por el CODENPE, a los pueblos o conjunto de pueblos con una larga historia anterior a la constitución del Estado ecuatoriano, que se autodefinen como tales. Estos grupos comparten una identidad histórica, idioma y cultura comunes, viven en un territorio específico y mantienen sus propias instituciones y formas tradicionales de organización social, económica, jurídica y política, así como el ejercicio de su autoridad propia.

Este concepto se interpreta de manera rigurosa en concordancia con las particularidades culturales y patrimoniales únicas de cada grupo étnico, incluyendo su idioma, territorio y estructura social. Es importante resaltar que este término, "nacionalidad", no debe confundirse con el término "nación", que se refiere a la afiliación al Estado ecuatoriano en términos de su división político-administrativa. En otras palabras, reconocer una nacionalidad indígena no implica la fragmentación del país; se trata de regiones que trascienden incluso el territorio del Estado ecuatoriano. Por ejemplo, casos como los Shuars, Achuaras, Secoyas, Sionas y Záparos, abarcan áreas culturales que se extienden por más de un país (Ecuador y Perú). Asimismo, los Awa, presentes en Colombia y Ecuador, representan otro ejemplo de esta dinámica.

figura 14: Cabaña indígena en la zona costera, junto a plantación de banano 1907.



fuente:
Instituto Nacional De Patrimonio Cultural Ecuador, 1910

figura 15:
Dos personas indígenas fuera de una choza, 1966



Fuente: Buitrón y Collier Jr., The Awakening Valley, 1968.

Aunque es un hecho que la **población indígena de la zona de estudio**, identificada como la minoría **Puruhá**, representa solamente el 7% del total de las nacionalidades indígenas, también es verdadero que desempeñan un papel crucial en la preservación de tradiciones y cultura. Estas comunidades étnicas siguen conservando sus aspectos culturales fundamentales, incluyendo su idioma, estilo de vida, formas de subsistencia, métodos laborales y estructuras familiares. Nos centramos en examinar las particularidades de la vivienda, las cuales están diseñadas considerando una serie de factores, especialmente el clima y el entorno **La arquitectura tradicional de la región andina** .

(Condor, 2020) La necesidad de resguardarse contra las condiciones climáticas y garantizar seguridad ha llevado a los seres humanos, desde los albores de la historia y en todas las áreas geográficas, a crear viviendas. En Ecuador, esta necesidad ha sido constantemente renovada debido a los frecuentes desastres naturales, lo que ha requerido una reedificación casi constante y la incorporación de ajustes consecuentes. Una característica notoria de la arquitectura vernácula en el país, especialmente evidente en la región interandina, es la amplia diversidad de formas, sistemas y materiales utilizados en áreas con climas y recursos similares. Estas variaciones son resultado de criterios complejos de diseño que incorporan patrones culturales, prácticas rituales, organización social, entorno paisajístico, materiales y tecnologías a lo largo de siglos.

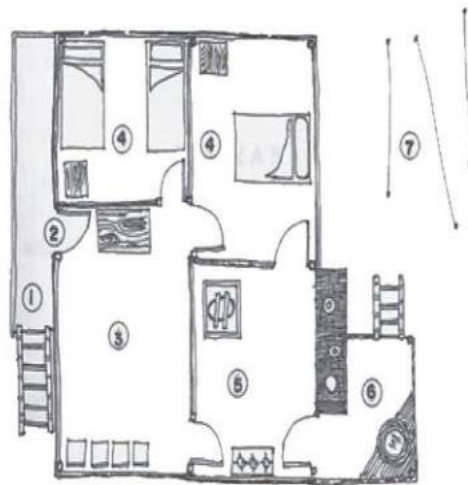
A pesar de estas variaciones, el clima sigue siendo el factor fundamental y primordial que, junto con otros elementos mencionados, configura gradualmente la esencia de una vivienda o asentamiento vernáculo. La necesidad de retener el calor, mantener bajos niveles de humedad ambiental y enfrentar lluvias esporádicas ha determinado que los materiales predominantes en las construcciones tradicionales andinas sean la tierra y la piedra. Las piedras se emplean para cimientos o sobre-cimientos, mientras que la alta capacidad de inercia térmica de la tierra la convierte en un material esencial para las paredes, ya sea utilizada sola en forma de adobe, tapial, cancahua o chamba, o combinada con materiales orgánicos como el bahareque, o transformada por fuego en ladrillos. Para la cubierta, se utilizan paja o tejas de arcilla cocida, colocadas sobre estructuras de madera o de "chaguarqueros". La eficiencia térmica, la protección contra el viento, la retención del calor central y la baja altura de las edificaciones son los principales elementos de diseño. En la región interandina, los materiales comúnmente utilizados son piedra para cimentación y sobre-cimientos, tierra en diversas formas constructivas como adobe, tapial, cangahua o chamba debido a su alta inercia térmica en las paredes, y combinada con materiales orgánicos para formar bahareque, además de ladrillo. Para las cubiertas, se emplean paja, teja asentada sobre estructura de madera o de "chaguarqueros".

figura 16:
Niños indígenas realizando trabajos de agricultura en Tena, provincia de Napo, 1938



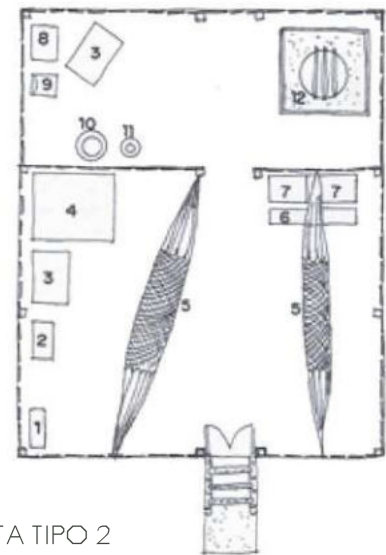
Fuente: Instituto Nacional De Patrimonio Cultural Ecuador, 1945

figura 17:
La arquitectura vernácula en el medio rural y de Manabi- Ecuador



PLANTA TIPO 1

1. Estar
2. Ingreso
3. Estar – Comer
4. Dormir
5. Cocinar
6. Lavar
7. Tender

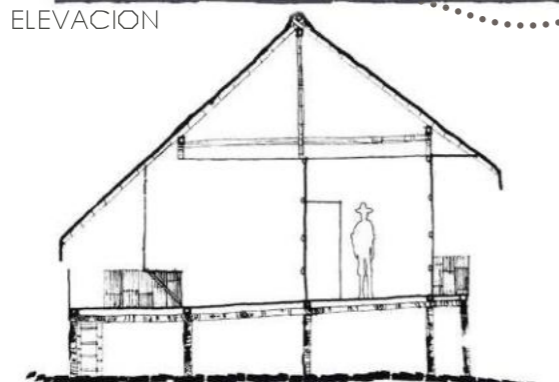


PLANTA TIPO 2

1. Almohada
2. Caja
3. Estera
4. Estrada
5. Hamaca
6. Banca
7. Mesa
8. Cajon
9. Silla
10. Barril
11. Botello
12. Fogon



ELEVACION



SECCION



ELEVACION

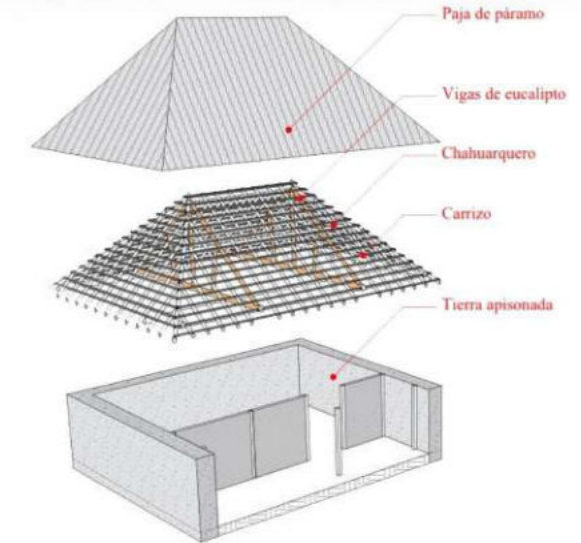
Fuente: (Sandoval, 2013), "Hábitat social, digno, sostenible seguro en Manta, Manabí, Ecuador"



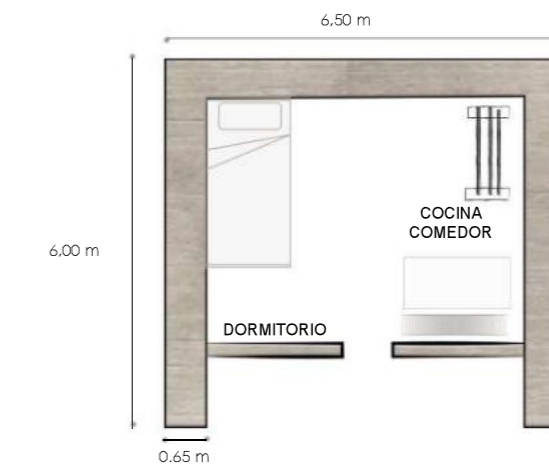
figura 18: La arquitectura vernácula en el medio rural y de Chimborazo- Ecuador



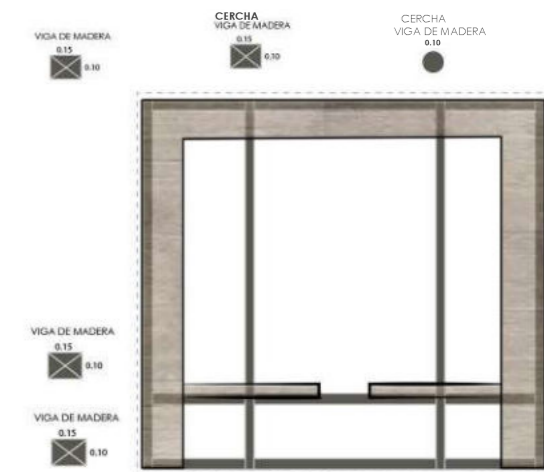
VIVIENDA TRADICIONAL PURUHA(CHOZA)



MATERIALES USADOS EN LAS VIVIENDAS



PLANTA TIPO



PLANTA ESTRUCTURACUBIERTA

fuelle: (Condor,2020)"Análisis arquitectónico constructivo de viviendas Vernáculas andinas en la comunidad de Rumi-cruz(Calpi, Riobamba, Ecuador)"

Casa Convento

Ubicación: Chone, Ecuador.
 Arquitectos: Enrique Mora
 Área: 125 m²
 Año: 2014

La Casa Convento incorpora elementos típicos de la arquitectura tradicional de la costa ecuatoriana, estableciendo un diálogo entre lo vernáculo y lo contemporáneo. Elevada del suelo, la vivienda posibilita la circulación del aire y evita daños en caso de inundaciones. Su diseño consta de tres habitaciones, áreas sociales y de servicio (comedor, cocina, sala, baño), conectadas a través de un espacio intermedio social que se abre al entorno, permitiendo la integración de la vegetación en la casa. Este espacio incluye hamacas y jardines que subrayan el acceso principal.

En la parte trasera de la vivienda se encuentra una cocina exterior con un fogón de leña, manteniendo la tradición culinaria manabita y controlando el humo producido. La habitación de la abuela cuenta con una terraza que establece una conexión visual con un área de bambú cercana a la vivienda. Por último, se instala un sistema de ventanas y puertas abatibles que permite varias configuraciones de apertura según la privacidad, uso, hora y relación interior-exterior que los habitantes requieran, generando un espacio dinámico y versátil.

figura 19: fotografía de la fachada principal de la casa convento.



fuelle: Plataforma arquitectura (2014), "casa convento"

figura 20: fSeccion A-A, casa convento.



fuelle: Plataforma arquitectura (2014), "casa convento"

Sección A-A'

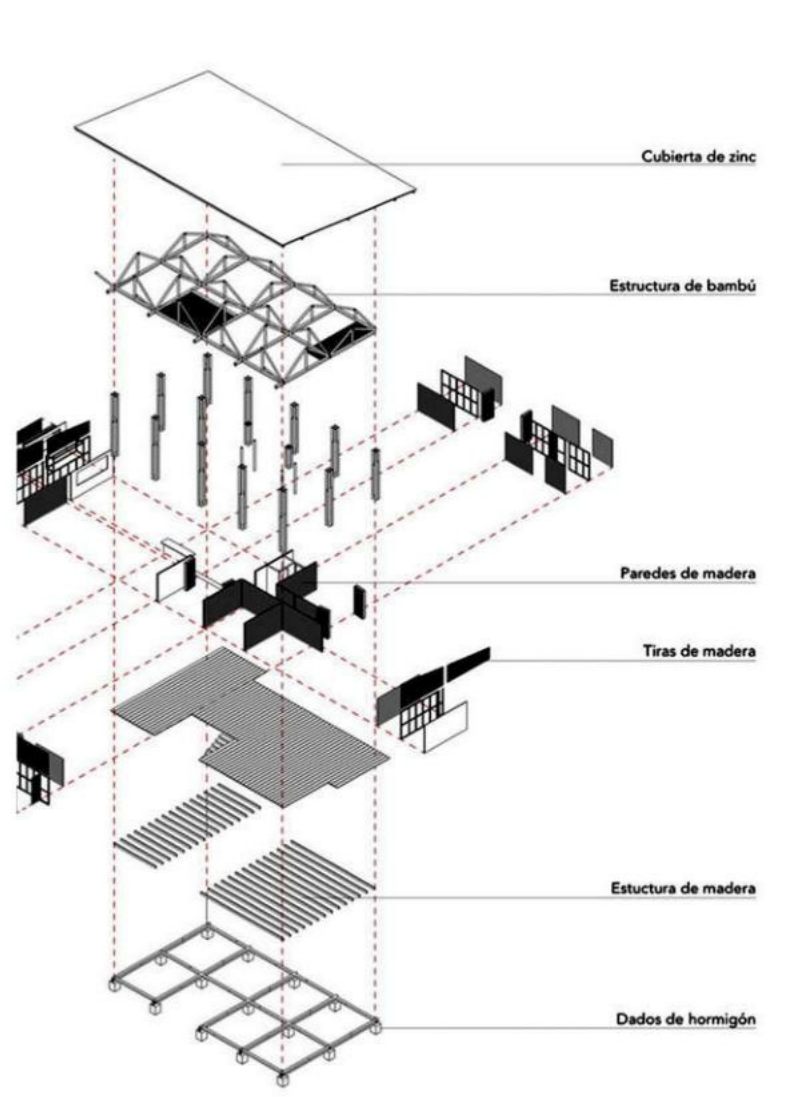
figura 21: Emplazamiento, casa convento.



fuelle: Plataforma arquitectura (2014), "casa convento"

Sección B-B'

figura 22: Ixometria explotada- casa Convento.

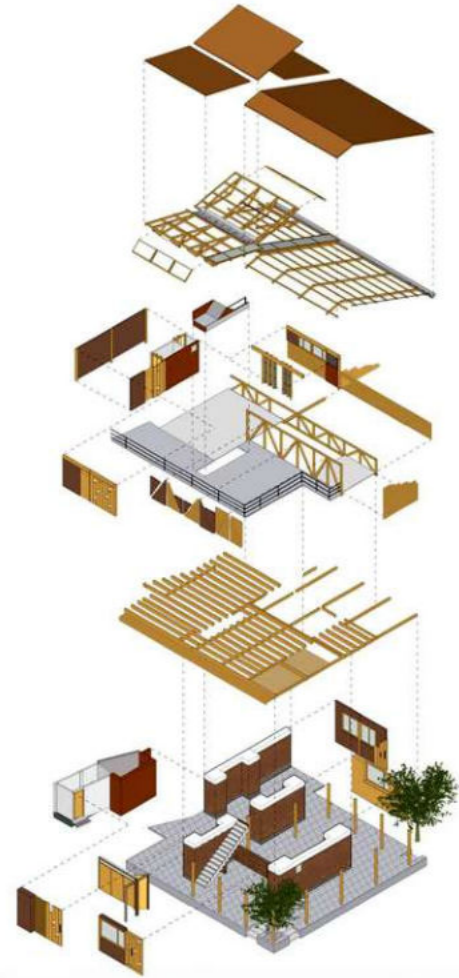


fuelle: Plataforma arquitectura (2014), "casa convento"

Casa Condor

Ubicación: Malacatos, Loja Ecuador.
Arquitectos: EB Estudio
Área: 230 m²
Año: 2019

figura 23:
Ixometría "Casa condor"



fuelle: Plataforma arquitectura (2019), "Casa condor"

figura 24:
Emplazamiento "Casa condor"



fuelle: Plataforma arquitectura (2019), "Casa condor"

figura 25.
Sistema constructivo, Casa Condor.



fuelle: Plataforma arquitectura (2019), "Casa condor"

La Casa Cónдор responde al programa arquitectónico que busca brindar espacios para recibir, alojar, cocinar y habitar. Se encuentra ubicada en uno de los valles de Loja, Ecuador, específicamente en Malacatos, donde el clima es cálido con épocas de lluvia intensa. La vivienda se sitúa en un terreno familiar de 0,2 hectáreas, en el cual previamente existía una vivienda precaria construida con adobe, madera, teja y tejuelos en el piso. Se tomó la decisión de "reciclar" esta estructura desmontando el adobe y la teja.

El entorno rural en este lugar se caracteriza por la presencia de casas construidas con Tapia, bahareque, adobe, y ladrillos fabricados en el pueblo de Malacatos. La mano de obra local poseía los conocimientos necesarios para construir con estos sistemas tradicionales. En base a esta consideración, se optó por una estructura principal de Tapia y madera, utilizando mamposterías de adobe,

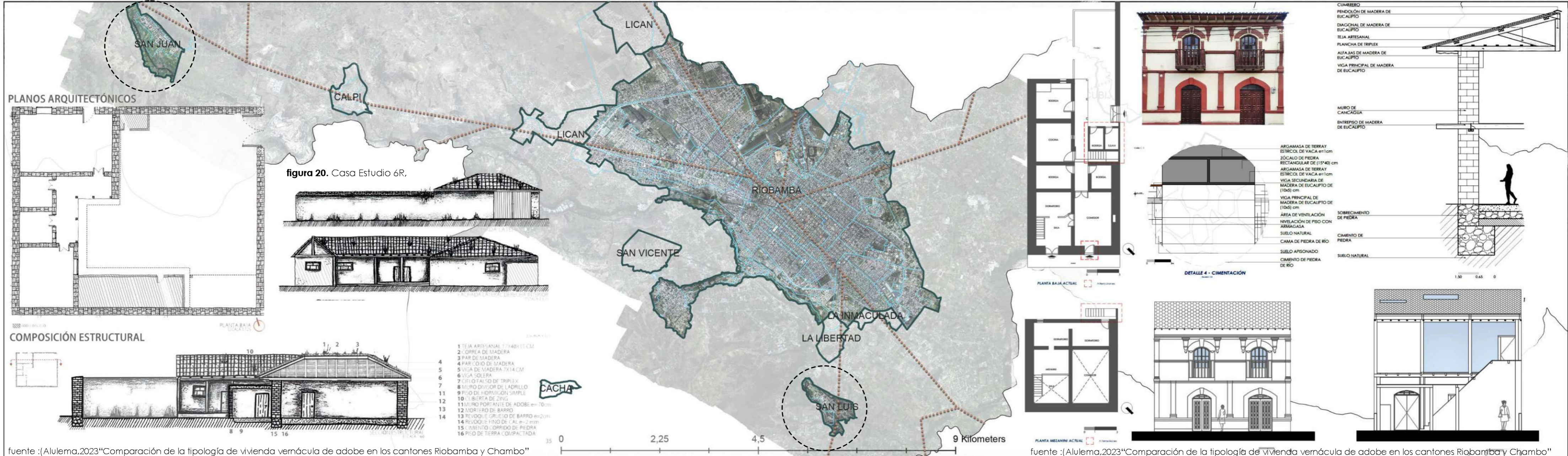
figura 26.
Muro de tapial, Casa Condor.



fuelle: Plataforma arquitectura (2019), "Casa condor"

bahareque, carrizo y ladrillo en las zonas húmedas. Para la cubierta, se empleó teja, aprovechando materiales reciclados. En la distribución espacial de Casa Cónдор, los portales y terrazas tienen un papel predominante, ya que satisfacen la necesidad de estar al aire libre y disfrutar de las vistas, requisitos esenciales según el programa definido por la familia.

figura 27. Infografía "Construcciones vernaculas en Riobamba"



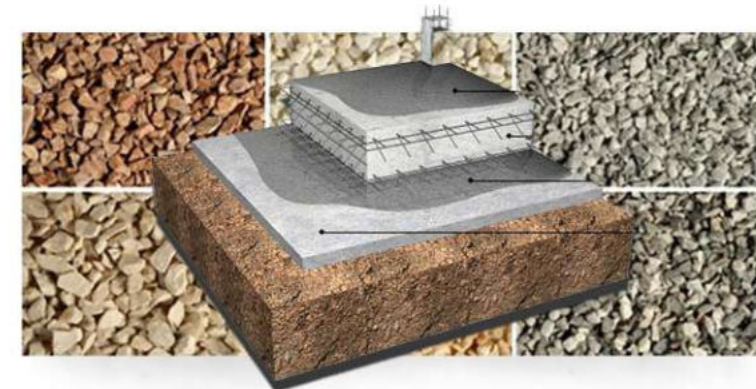
fuelle : (Alulema,2023"Comparación de la tipología de vivienda vernácula de adobe en los cantones Riobamba y Chambo"

fuelle : (Alulema,2023"Comparación de la tipología de vivienda vernácula de adobe en los cantones Riobamba y Chambo"

Cimentaciones

Hormigón con árido reciclado, hormigón armado con fibras de polipropileno, estabilización de suelos con cal, aditivos ecológicos.

figura 28. Cimentación con hormigón armado reciclado.



Nota: Elaboración propia

Estructuras

Materiales pétreos pertenecientes a la construcción tradicional (tapial, adobe, BTS y mampostería), bloques aligerantes, bloques de cañamo, tierra cal, madera (aserrada, laminada y contralaminada)

figura 29. Muros de construcción tradicional de tapial.



Nota: Elaboración propia

2.3. Materiales de construcción sostenibles

(Degren, 2019) Existe una variedad de consideraciones al decidir qué material utilizar en distintas partes de una construcción. Dependiendo de su función, ya sea estructural, aislante o estética, se buscan ciertas propiedades mecánicas mínimas, características térmicas, o acabados y texturas adecuadas. Hasta el momento, los materiales "convencionales" como el hormigón o la madera han sido empleados por cumplir con estas necesidades sin considerar su impacto ambiental o su huella de carbono en el planeta. Sin embargo, debido al cambio climático y la evidente contaminación en nuestro entorno, el factor medioambiental de los materiales está empezando a considerarse en la elección.

Es claro que uno de los aspectos fundamentales para mitigar el impacto de las obras de construcción implica examinar los tipos de materiales empleados en el proceso edificativo. Estos materiales son los principales causantes de impactos ambientales significativos debido a la extensión de recursos naturales, al uso excesivo de energía y a las emisiones de gases y residuos generados durante su producción y manejo al final de su vida útil. Un material se considera sostenible cuando genera un menor impacto en el entorno ambiental. En general, estos materiales provienen de fuentes naturales, se elaboran utilizando recursos renovables o reciclados, y poseen una larga durabilidad. Al elegir un material, se deben considerar los siguientes criterios:

Provenientes de recursos renovables.

Utilización eficiente de recursos no renovables y baja energía incorporada.

Reciclaje o reutilización de materiales.

Bajas emisiones de sustancias tóxicas (COVs, formaldehído, etc.) a lo largo de su ciclo de vida.

Duraderos, versátiles y flexibles durante su uso.

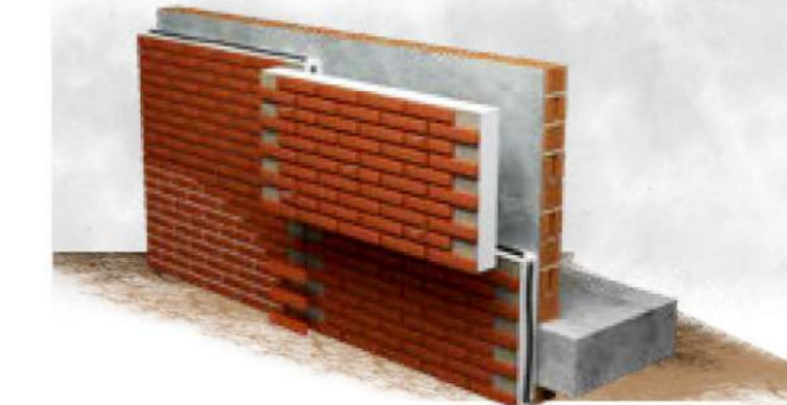
Reciclables o reutilizables al final de su vida útil.

Por esta razón, la exploración de alternativas sostenibles que ofrezcan propiedades similares a los materiales tradicionales, pero con un impacto ambiental positivo está en constante crecimiento. Los diversos materiales calificados como sostenibles que se están comercializando como reemplazos a los materiales más comúnmente utilizados en la actualidad.

Cerramientos

Volvemos a la construcción tradicional, a los bloques y ladrillos cara vista (que decora los cerramientos y revestimientos)

figura 30. Cerramiento de ladrillo tradicional.



Nota: Elaboración propia

Cubiertas

Ajardinada extensiva o ecológica (tipo INTEMPER o ZINCO)

figura 31. Detalle de una cubierta verde.



Nota: Elaboración propia

Aislamientos

Naturales frente a los sintéticos; corcho, cañamo, fibra de madera, celulosa, lino, lana, algodón.

figura 32. Aislamiento de corcho para la cubierta a dos aguas.



Nota: Elaboración propia

Impermeabilización

Lamina de bentonita, de polietileno, de caucho sintético

figura 33. tela asfáltica para impermeabilizar el suelo



Nota: Elaboración propia

2.3.1 ODS relacionados con los materiales.

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible tienen como meta instaurar transformaciones en el estilo de vida actual para alcanzar un futuro más sostenible, tanto desde una perspectiva medioambiental como social. En ambas esferas, la industria de la construcción desempeña un papel crucial, como hemos examinado a partir de los datos previos. Esto implica que tanto el proceso de manufactura como la implementación en la construcción y la posible reutilización, o no, de diversos materiales de construcción inciden directamente en el medio ambiente, y, por ende, el concepto de construcción sostenible y la investigación de materiales que minimicen el impacto están conectados con varios ODS.

ODS 3. Salud y bienestar y ODS 6. Agua limpia y saneamiento

En primer lugar, los objetivos 3 y 6 buscan reducir la contaminación del agua, aire y suelo para prevenir muertes causadas por productos químicos y disminuir la proporción de agua contaminada para facilitar su reutilización. Dado que una parte significativa de los productos químicos que provocan esta contaminación proviene de polvos, emisiones y desechos de la producción de materiales comúnmente utilizados en la edificación, explorar la aplicación de nuevos materiales con procesos de fabricación distintos que generen menos residuos se relaciona directamente con estos objetivos, contribuyendo así a la salud y al medio ambiente.

ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico y ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras

En cuanto a los objetivos 8 y 9, que buscan actividades productivas que generen empleo, fomenten la innovación y transformen la industria para que sea más sostenible y respetuosa con el medio ambiente, están igualmente relacionados con la creación de materiales sostenibles. Esto se debe a que se trata de una nueva industria que está surgiendo también en países en vías de desarrollo, optando por reutilizar los materiales ya existentes o los residuos generados de otras actividades para darles un nuevo uso, una perspectiva que no se había contemplado hasta ahora.

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

Igualmente, la búsqueda de alternativas en la construcción para reducir el impacto negativo en el medio ambiente está intrínsecamente vinculada con la idea de arquitectura sostenible propuesta en el objetivo 11, centrado en ciudades y comunidades sostenibles. Utilizar en la edificación materiales que no contaminen el entorno natural ni durante su fabricación ni en su aplicación, y que además permitan su reutilización, brinda oportunidades para que las ciudades continúen creciendo mientras se reduce la contaminación y los residuos.

Carpintería

Madera

figura 34. marco de madera de la localidad

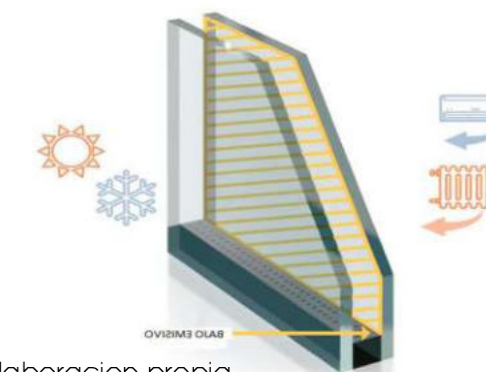


Nota: Elaboración propia

Acrilamiento

Vidrio de baja emisividad, vidrio control solar

figura 35. Vidrio doble para el control rayos solares.



Nota: Elaboración propia

Pavimentos

Madera, linóleo, corcho, textiles naturales. Pétreos se emplean como elemento de acumulación térmica.

figura 36. Adoquines con pigmentos naturales.



Nota: Elaboracion propia

Revestimiento exterior

Madera, revoco, estuco y mortero monocapa de cal.

figura 37. Revestimiento de cal



Nota: Elaboracion propia

ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles

Desde la perspectiva del objetivo 12, la incorporación de la economía circular en la construcción, al utilizar materiales provenientes del reciclaje de otros, permite una gestión ecológica de los desechos generados, logrando así una producción más responsable y desvinculando el crecimiento económico de la degradación ambiental.

2.3.2 Técnicas para la evaluación de materiales

(Velepucha, 2017) La conciencia ambiental en el ámbito de la construcción está experimentando un crecimiento a nivel global. Este aumento ha generado la necesidad de desarrollar herramientas para supervisar, regular y evaluar la compatibilidad medioambiental de productos y procedimientos. Entre las técnicas más ampliamente empleadas para analizar el comportamiento se encuentran:

ACV – Análisis de Ciclo de Vida (Life Cycle Assessment): se trata de un enfoque de evaluación diseñado para comprender los impactos en los diferentes aspectos medioambientales de un producto específico durante su ciclo de vida. Este ciclo abarca las entradas, salidas y actividades desde la producción, el consumo/uso hasta la disposición final del producto, incluyendo la extracción de la materia prima. El propósito de este análisis del ciclo de vida de los materiales es

promover la sostenibilidad de la actividad humana mediante intervenciones preventivas.

Los edificios, vistos como bienes de consumo, no se escapan a esta evaluación, aunque presentan una mayor complejidad debido a la diversidad de materiales y a las numerosas variables propias de la construcción.

En los análisis para evaluar el ciclo de vida de un edificio, se examina el impacto ambiental originado por la producción de todos los materiales utilizados en la construcción.

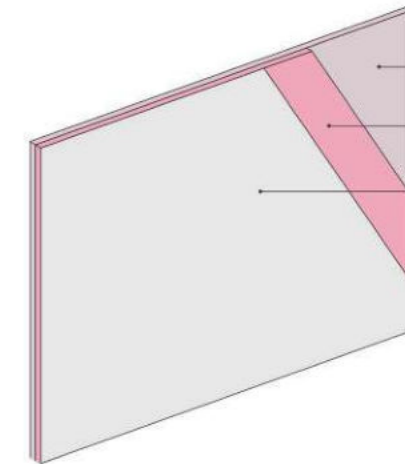
Se emplean bases de datos que contienen datos estadísticos recopilados por diversos organismos y compañías en varios países. Estos datos contienen información sobre el impacto ambiental generado durante la producción de materiales y productos, desde la extracción de materias primas hasta su llegada al consumidor.

Utilizando un software especializado como herramienta principal, se crea un modelo digital de la edificación que se va a construir, incorporando toda la información relevante sobre los materiales propuestos, condiciones climáticas, sistemas de iluminación y ventilación, entre otros aspectos. Esto permite valorar la construcción desde su edificación hasta su eventual demolición en un período estimado de 50 a 75 años.

Pinturas y Tratamientos

Pinturas ecológicas, pinturas plásticas. Tratamientos para la madera y los metales ecológicos y al agua.

figura 38. Pintura de cal con pigmentos naturales



Instalaciones

Tuberías de polipropileno y polietileno.

figura 39. Tubería de pvc para instalaciones hidrosanitarias



Nota: Elaboracion propia

La Evaluación de la Sostenibilidad es un método menos formal y científico en comparación con el ACV. Consiste en una serie de preguntas diseñadas para recopilar datos sobre los impactos en el medio ambiente y en la salud humana. Estas preguntas no buscan obtener respuestas precisas debido a la complejidad de los datos recopilados. En lugar de eso, se enfocan en recopilar información sobre los impactos y los riesgos que cada material puede presentar. Además, pretenden brindar orientación y asistencia en la selección de materiales.

Energía incorporada de los materiales se refiere a la cantidad total de energía utilizada en todas las etapas de vida de un material. Cuando un producto está compuesto por varios materiales, la energía incorporada incluye todos los insumos de energía de cada uno de sus componentes, así como los insumos necesarios para su ensamblaje. Cuantificar este tipo de energía es altamente complejo y las estimaciones de energía incorporada pueden variar significativamente según diferentes variables, como las condiciones regionales, los procesos de fabricación, los materiales reciclados y las fuentes de energía. Por lo tanto, se debe tener precaución al utilizar las cifras de energía incorporada.

La Huella ecológica o Huella del desarrollo es un indicador que permite cuantificar físicamente la sostenibilidad en términos de recursos renovables. Representa la medida de la demanda humana sobre los ecosistemas del planeta

en relación con la capacidad ecológica de la Tierra para regenerar sus recursos. La huella ecológica se refiere al área de suelo y agua biológicamente productivos necesarios para mantener una población humana con un determinado nivel de consumo. La huella per cápita, también llamada planetoide personal, es el cociente entre la huella y el número de habitantes.

El planetoide personal engloba la superficie de suelo agrícola para producir alimentos, pastos para animales, bosques para madera, papel y absorción de dióxido de carbono, suelo para viviendas y carreteras, así como la superficie marina para la pesca. Por otro lado, la biocapacidad se refiere a la superficie biológicamente productiva local que los habitantes de un territorio pueden utilizar. La diferencia entre la biocapacidad y el planetoide personal se denomina déficit ecológico, y un déficit negativo indica un desequilibrio en el que el consumo local supera la capacidad local.

Mochila Ecológica es un indicador que incluye los recursos no renovables. Representa la cantidad de materiales involucrados en el ciclo de vida de un producto y que permanecen como residuos en un vertedero. La mochila ecológica de materiales mínimamente procesados, como grava o piedra, es pequeña. Sin embargo, materiales procesados como metales, concreto y plásticos tienen grandes flujos ocultos. Por ejemplo, la producción de una tonelada de cemento requiere 5.5 toneladas de combustible, 1.8 toneladas de materias primas y alrededor de 0.5 toneladas de CO₂. Sustituir materiales reciclados por materiales vírgenes en un producto puede reducir sustancialmente la mochila ecológica del producto.

figura 40. El templo de Amón



fuentes: Temple of Beit El Wali | Lake Nasser Attractions

figura 41. La cisterna de Micenas



fuentes: Revista: The Annual of the British School at Athens Volumen: 57 Páginas: 1-18 Año: 1962

2.4. La cal como material de construcción sostenible.

(Vázquez,2002) A lo largo de la historia y en diversas regiones, existen registros significativos sobre el uso de cal en construcciones, incluso siendo mencionada en la Biblia, específicamente en Deuteronomio 27:2, que indica la orden de escribir la ley en piedras sobre el monte Ebal y revocarlas con cal al cruzar el Jordán hacia la tierra otorgada por Dios. Los primeros vestigios se remontan alrededor del año 7000 a. C. en la ciudad de Jericó, una de las ciudades neolíticas fortificadas más antiguas. Estas construcciones incluían casas hechas con ladrillos y suelos elaborados con morteros de cal.

En la primera etapa de la época **egipcia** (4000-2000 a. C.), la cal fue empleada como mortero en la construcción de las pirámides y el templo de Amón. Se encuentran indicios del uso de mortero de cal en este período, posiblemente influenciado por las invasiones extranjeras griegas y romanas.

Los **griegos** fueron pioneros en el uso del mortero de cal como lo conocemos actualmente. Este conocimiento les fue transmitido por los fenicios y su principal objetivo en esa época, aunque no el único, era revestir la apariencia tosca de los muros. Además, comenzaron a emplear la técnica de pulimentado en asentamientos como Micenas y Minos, así como en la cisterna de Micenas y en edificios de Festo y Malia en Creta.

Vitruvio es una fuente invaluable para entender los materiales utilizados en su

elaboración, incluyendo la cuidadosa selección de arena, cal y piedra para su cocción. La técnica del pulimentado implicaba triturar la cal y el carbonato del mortero para crear una estructura superficial densa que mejorara la **impermeabilidad, fuerza y durabilidad** del material. La masa era comprimida con pilones para llenar todos los espacios y eliminar las burbujas de aire. Según los escritos de Vitruvio, la mezcla de materiales se realizaba en proporciones específicas, como una parte de cal por tres de arena o dos partes de cal por cinco de arena, dependiendo de la calidad de los componentes y aditivos.

Los **romanos** introdujeron mejoras en los procesos de fabricación de cal y en las técnicas de aplicación y pulimento del mortero. También perfeccionaron la aplicación de múltiples capas y la adición de aditivos a las pastas, métodos que heredan de los constructores griegos. Denominaban al mortero de cal "Opus caementitium", y su uso es mencionado por Catón (II a. J:C). Esta técnica de construcción se desarrolló rápidamente, desplazando el antiguo método de construir con bloques ajustados sin mortero, conocido como "a hueso" o (opus quadratum), y el uso de ladrillos secos (later crudus).

La alta calidad de los morteros romanos se atribuye a la cuidadosa selección de materiales de primera calidad, como cal y áridos excelentes, así como a la homogeneidad y proporciones adecuadas en la mezcla. Además, la correcta cocción y apagado de la cal eran fundamentales (se preparaba calcinando

figura 42. Malia en Creta.



Fuente: Revista: Annual of the British School at Athens Volumen: 84 Páginas: 1-148 Año: 1989

figura 43. Acueducto Les Ferreres - Puente del Diablo



Fuente: Revista de Tarragona Volumen: 26 Páginas: 1-26 Año: 1958

calizas muy puras a 1000 °C). Se empleaban aditivos especiales como la **caseína** y la **albumina**, junto con **aceites y urea**.

Después de la caída del Imperio Romano, no se observan avances técnicos significativos en los morteros de cal de la época medieval. La disminución en la calidad se debió a la pérdida de los procesos romanos en la fabricación de cal, su selección, cocción y extinción, así como a la inadecuada proporción de las mezclas de ligantes y áridos y la falta de homogeneidad. A partir del siglo XII, se observa una mejora en la calidad de la mezcla, siendo más homogéneas y con cales mejor seleccionadas. Se empezaron a incorporar aditivos orgánicos como albúmina de huevo, goma arábiga, azúcar, cerveza, cera de abeja y arroz, entre otros, para mejorar la calidad del mortero.

Los **morteros islámicos**, especialmente en la España musulmana, ofrecen un campo de estudio interesante. Durante la época Nazarí, se utilizaban ampliamente las yeserías o estucos "andalusíes", que eran morteros a base de cal y yeso. Además, pigmentaban estas yeserías con agua de cal para servir de base para sus complejas policromías, destacando ejemplos en la Alhambra. En esa época se empleaban estucos de cal.

Introdujeron la técnica de construcción conocida como "Tapial", típica en fortificaciones. Esta técnica empezó a utilizarse en España en el siglo VIII y se generalizó durante el reinado de los reyes Ziríes a lo largo del siglo XI, mejorándose

en los períodos almorávide, almohade y nazarí. El "Tapial" consistía en una mezcla de tierra apisonada con cal ligeramente humedecida con agua, colocada en un molde o encofrado revestido con mortero de cal. Torres Balbás (1940), un experto en esta técnica describió "murallas de tapial, mezcladas con arcillas, arenas y cal revuelta y echadas en cajones, fabricas más sólidas que la piedra".

En los períodos del **Renacimiento y Barroco italiano**, se experimentó un notable avance en la utilización de estucos y revocos de cal. En la mayoría de las construcciones de ladrillo, incluyendo las columnas, se aplicaban revestimientos de estucos. Las piedras se reservaban para detalles ornamentales como basas, capiteles de columnas y huecos de puertas y ventanas (jambas, dinteles y alfeizares). También se empezaron a crear suelos de estuco.

La principal innovación de esta época fue la introducción de ligantes hidráulicos, capaces de endurecerse bajo el agua, previamente empleados por los romanos. La estabilidad ante el agua se basaba en una reacción lenta entre la cal, la sílice y la alúmina coloidal presentes en los productos cementantes, generando aluminosilicatos, principalmente cálcicos. La materia prima en este caso era caliza margosa.

En el siglo XVIII, se les dio importancia a los tratamientos en muros interiores y a la decoración de estucos en relieve. Se desarrollaron elementos con molduras.

Se introdujo el uso de la "scagliola", que imitaba el mármol en estucos coloreados. Hay numerosas descripciones de su utilización en esa época, incluyendo obras de Bramante en Milán en el siglo XV (Alesandrini et al., 1989), de morteros del siglo XVI en la República Dominicana (Luxán et al., 1996) y en Granada (Sánchez-Navas et al., 1992).

El descubrimiento del mortero moderno se remonta a 1756, cuando Smeaton buscó una cal que pudiera resistir la acción del agua del mar para utilizarla en el Faro de Eddyston (Plymouth). Los resultados fueron positivos al emplear calizas con cierto contenido de arcillas. En 1812, Vicat estudió las mezclas de calizas puras y arcillas, demostrando que las propiedades hidráulicas se debían a los compuestos formados durante la cocción conjunta de la cal y los constituyentes de la arcilla. A partir de este punto, se desarrolló una amplia gama de aglomerantes derivados del Portland.

Desde entonces, se comenzó a utilizar de manera generalizada los morteros de cemento en obras de conservación del Patrimonio Arquitectónico, dejando en segundo plano al material tradicional por excelencia, el mortero de cal. Esto condujo, en numerosos casos, a daños irreparables en muros de fábrica tradicionales. Aunque los morteros de cemento tienen propiedades notables, como alta resistencia mecánica, elevada impermeabilidad, alta conductividad térmica y alta adherencia, junto con un alto coeficiente de dilatación térmica

y elevado contenido en sales solubles, son incompatibles con los elementos de fábrica tradicionales y, por lo tanto, no son recomendables para intervenir en el patrimonio.

(Mies Van Der Rohe, 1995) afirmaba que era esencial orientar a los estudiantes en un recorrido bien estructurado a través de los materiales, yendo más allá de los objetivos hasta llegar a la formalización. Su deseo era llevarlos al mundo fundamentado de las construcciones primitivas, donde cada acción con un hacha o un cincel tenía un significado auténtico. Enfatizaba que los nuevos materiales no garantizan superioridad; el valor de cada material radica en lo que se logra con él. Su interés era comprender la verdadera naturaleza de los materiales. Aspiraba a un orden que asignara a cada elemento su lugar adecuado y a proporcionar a cada elemento lo que le corresponde de acuerdo con su esencia. Buscaba lograr esto de tal manera que el mundo de sus creaciones pudiera florecer desde su núcleo.

En la actualidad, hablar sobre la autenticidad en la sostenibilidad de la arquitectura conduce a explorar su aspecto material, enfocándose en el uso de materiales que encarnen esta cualidad. Un ejemplo destacado de un material que cumple con estos criterios es la cal, incluyendo todos sus productos derivados, como pastas, morteros y hormigones de cal. En adelante, se procederá a analizar la definición de un material sostenible y a presentar las razones por las cuales la cal

cumple con todos los requisitos, en consonancia con su naturaleza.

La valiosa cal, conocida como hidróxido cálcico, se une al dióxido de carbono presente en la atmósfera, transformándose en carbonato cálcico, y ha sido un componente esencial y necesario en la construcción a lo largo de los siglos. Sin embargo, ha perdido relevancia frente al auge de los nuevos materiales, en particular el cemento y los productos provenientes de la industria de los polímeros. Cuando se utiliza cemento en restauración, revestimientos e intervenciones en patrimonio histórico y arquitectura moderna, no se observan mejoras sustanciales en comparación con los revestimientos de mortero de cal. Lo mismo sucede con el uso de productos derivados de polímeros en restauración, que a menudo generan efectos perjudiciales. Todo esto está estrechamente relacionado con la sostenibilidad.

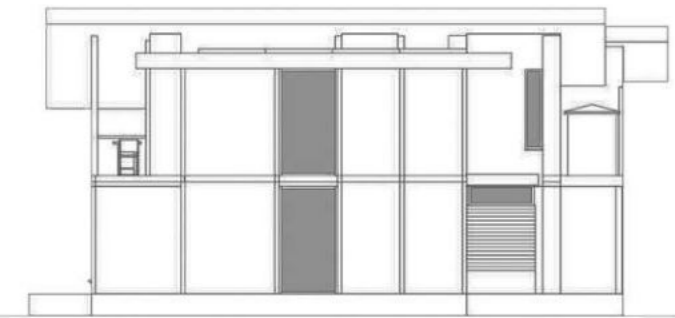
La cal eficiente posee notables propiedades, como su abundancia, fácil fabricación, capacidad de pigmentación, luminosidad, plasticidad antes y después de fraguar, facilidad de manejo, adherencia a diversos sustratos, versatilidad en trabajos ornamentales, impermeabilidad natural, transpirabilidad, endurecimiento con el tiempo, compatibilidad con hierro y madera, aislamiento térmico, protección de superficies, economía y durabilidad. Contribuye a la reducción del cambio climático, mejora del entorno y equilibrio con la naturaleza (aplicar un kilogramo de cal elimina 150 gramos de CO₂).

Históricamente, los revestimientos a base de cal han permitido plasmar ideas arquitectónicas y siguen haciéndolo hoy al proporcionar personalidad, luminosidad y color a los edificios a través de sus acabados. Los morteros de cal, gracias a su plasticidad, permiten una amplia gama de acabados. Al ser de naturaleza inorgánica, pueden mezclarse con pigmentos minerales, incorporándolos en su composición, lo que posibilita una amplia variedad de colores y tonalidades según la proporción de mezcla. Así, el arquitecto tiene a su disposición un material maleable para expresar su visión, personalizar su proyecto dándole singularidad y garantizar una durabilidad excepcional.

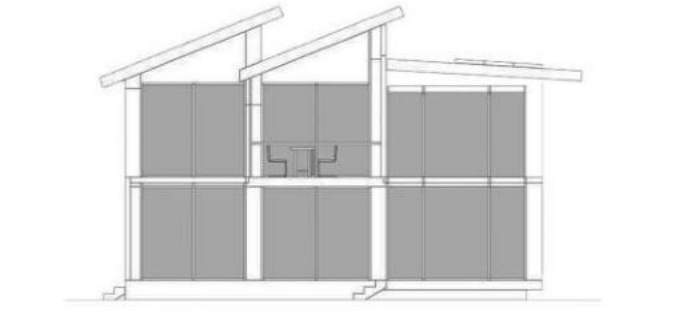
En la actualidad, los morteros de cal son cruciales debido a sus propiedades, destacando su sostenibilidad y su capacidad para aportar luminosidad, color y belleza plástica a la arquitectura en sus dos aplicaciones principales: restauración y revestimientos. A continuación, en la figura 1, se presentan los principales tipos de cal, los productos derivados y las aplicaciones más relevantes.

figura 44. Casa Natura y Arte
Premio de participación: Premio Nacional/BAQ2022

Ubicación: San Juan, Riobamba, Ecuador
Arquitectos: Nathalie Santamaria
Área: 230 m²
Año: 2022



FACHADA LATERAL



FACHADA FRONTAL

fuelle :(<https://baq2022.arquitecturapanamericana.com/proyectos/casa-natura-y-arte>).

2.5. Inmueble elaborado con revestimiento de barro y cal en la región de estudio.

La Madre Tierra enfrenta actualmente la devastación y contaminación causada por la actividad humana. La población en constante crecimiento, la industrialización, la explotación extensiva de recursos naturales, el consumo excesivo y la expansión de áreas urbanizadas están provocando la extinción masiva de especies y un cambio climático significativo. Nunca antes en la historia de la Tierra una sola especie había consumido tantos recursos y tenido la capacidad de perturbar el equilibrio global del planeta. Es vital recordar que, como seres humanos, somos solo una de las millones de especies que habitan este planeta. En este escenario, la construcción de viviendas e infraestructura emerge como uno de los principales contribuyentes a la contaminación y emisión de gases de efecto invernadero, los cuales están alterando el clima. Específicamente, el acero y el hormigón son los sistemas constructivos más ampliamente utilizados y ambos poseen una huella de carbono significativa, contribuyendo aproximadamente al 10% de las emisiones globales. El hormigón, siendo el sistema constructivo predominante, es responsable del 8% de las emisiones de CO2 a nivel mundial.

figura 45. Casa Natura y Arte/fotografía de la construcción.



fuelle :(<https://baq2022.arquitecturapanamericana.com/proyectos/casa-natura-y-arte>).

figura 46: Plantas arquitectónicas Casa Natura y arte.

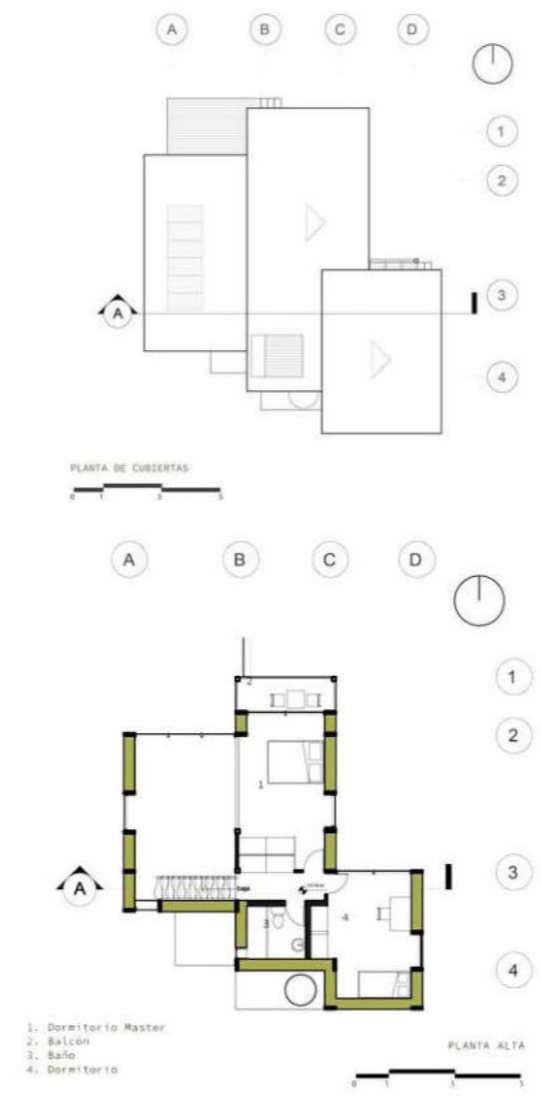


figura 47: Fotografías de proceso de construcción.



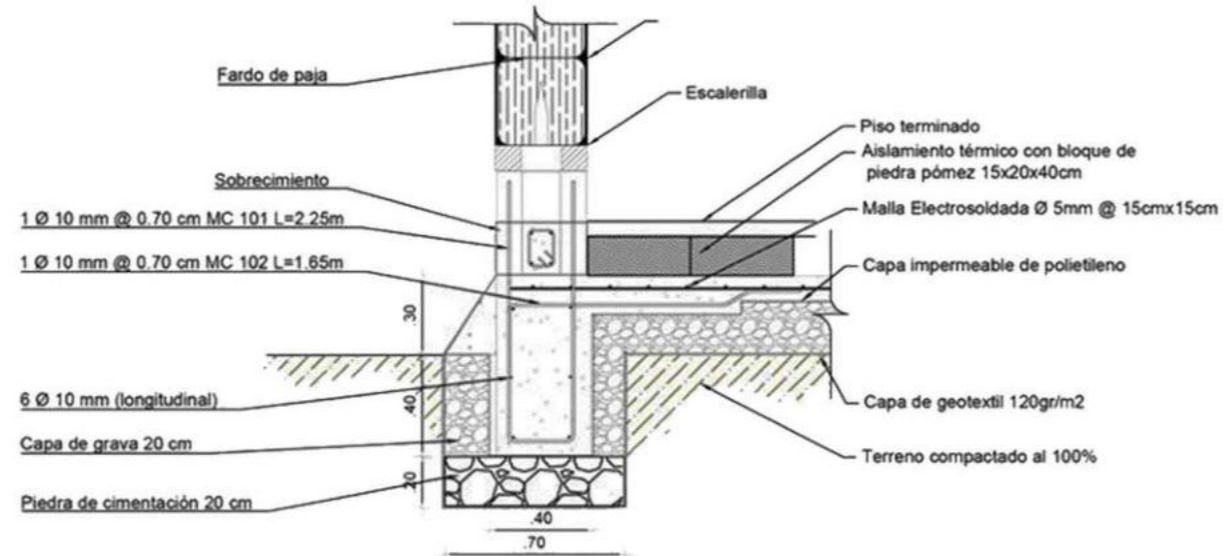
fuelle :Unach.ec/ Estudiantes y docentes de la carrera de Arquitectura participaron en la socialización

por estas razones, es imperativo cuestionar, reflexionar y, sobre todo, tomar medidas para reducir nuestra huella ambiental. Es urgente explorar alternativas de sistemas constructivos con un menor impacto ambiental. El proyecto Casa Natura y Arte, situado en San Juan a 3200 metros sobre el nivel del mar y rodeado de un entorno natural a los pies del Taita Chimborazo, se enfoca en investigar sistemas constructivos menos contaminantes, biodegradables, sostenibles y que rescatan los saberes ancestrales. La majestuosa montaña y el sol guían la orientación y distribución de los volúmenes arquitectónicos para garantizar que cada espacio tenga vistas panorámicas y aproveche la luz solar para retener calor. Se experimenta con un sistema de postes y vigas utilizando fardos de paja de cebada, un cereal que se cultiva en el mismo terreno y que tradicionalmente se cosechaba al ritmo de canciones (jahuay).

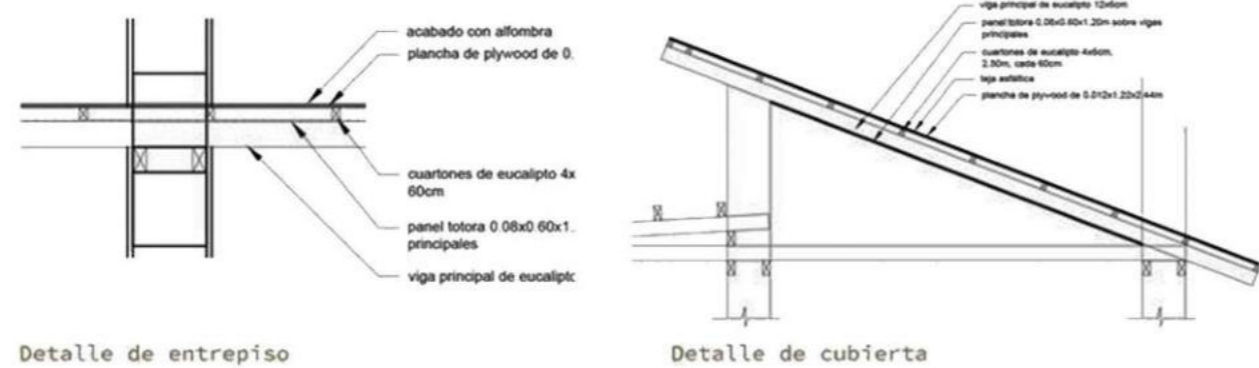




figura 48: Detalles constructivos, Casa natura y Arte



Detalle de cimentación

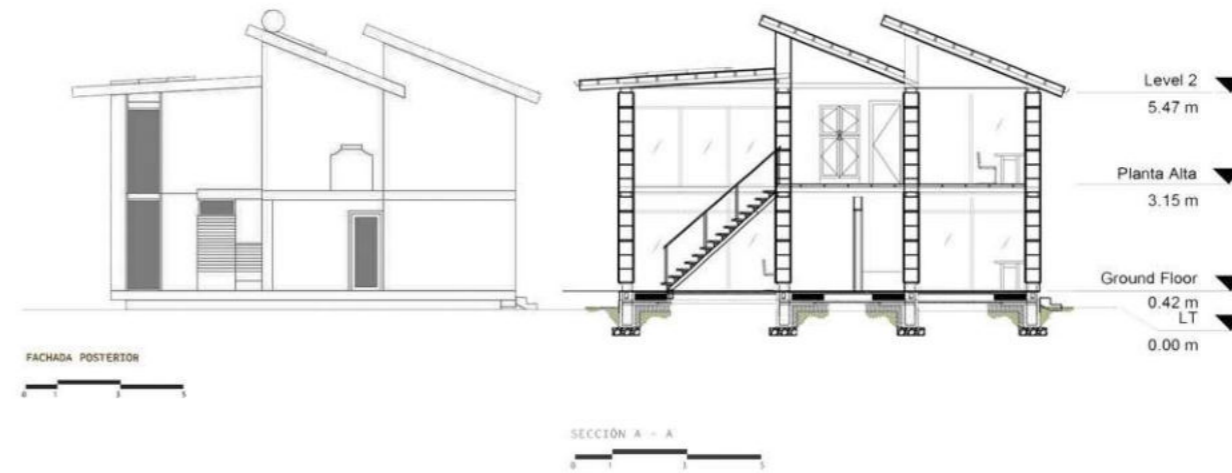


Detalle de entrepiso

Detalle de cubierta

fuelle :(<https://baq2022.arquitecturapanamericana.com/proyectos/casa-natura-y-arte>).

figura 49. Casa Natura y Arte/Materiales Utilizados



fuelle :Unach.ec/ Estudiantes y docentes de la carrera de Arquitectura participaron en la socialización



2.6. Contexto inmediato de los fabricas de cal en la ciudad de Riobamba.



Fuente: FUNESPA, 2020, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba (GADMR).

figura 50:
fabrica de cal en la parroquia de San Juan.



Nota: Elaboracion propia

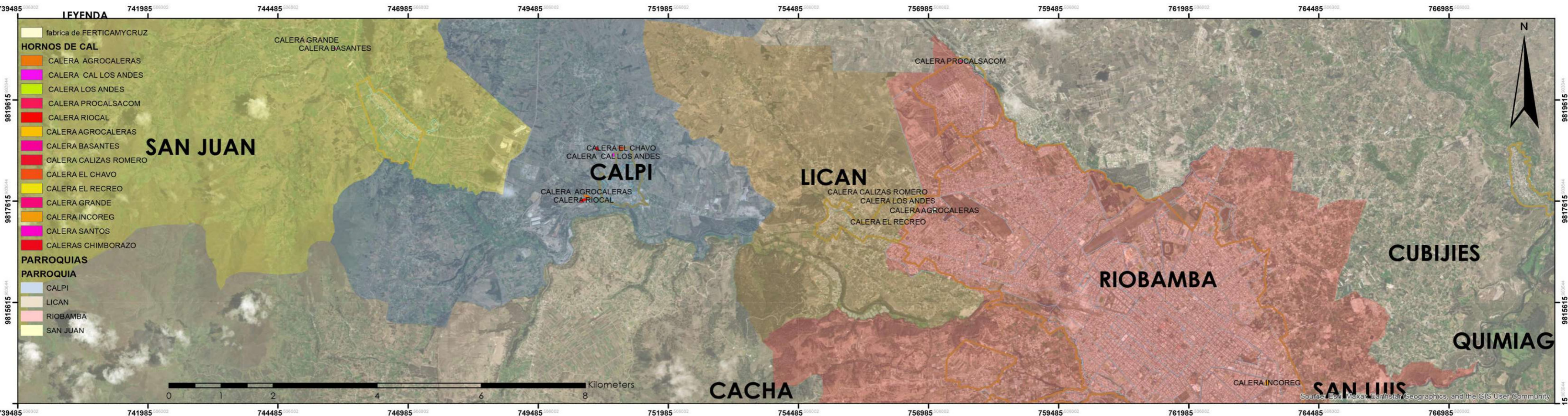
En el contexto inmediato de las fábricas de cal en la ciudad de Riobamba, se sumerge en un entorno rico en historia y tradición industrial. La ciudad, ubicada en la región central de Ecuador, ha sido testigo del desarrollo de estas instalaciones que desempeñan un papel fundamental en la construcción y el desarrollo urbano. Las fábricas de cal no solo representan un componente esencial en la materialización de estructuras, sino que también encarnan la esencia misma de la identidad local. Las fábricas de cal se encuentran ubicadas en las parroquias de Lican, Calpi y San Juan (como se observa en la figura), inmerso en un paisaje donde la combinación de técnicas tradicionales y modernas se entrelaza, proporcionando un desafío estimulante para la creación de diseños que respeten la herencia industrial de Riobamba, al tiempo que incorporan innovaciones que contribuyan al progreso sostenible de la ciudad.

Las fábricas de cal en Riobamba tienen raíces que se remontan a períodos tempranos de la colonización española. La necesidad de materiales de construcción duraderos y adaptables para edificar las estructuras coloniales condujo a la producción de cal en la región.

A medida que Riobamba ha enfrentado cambios en su entorno económico y social, las fábricas de cal también han enfrentado desafíos y han tenido que adaptarse para seguir siendo relevantes en el panorama industrial.



3.1 Recopilación de datos, fotografías y planos de las caleras cercanas a la ciudad de Riobamba(georreferenciación)



Fuente: FUNESPA, 2020, Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Riobamba (GADMR).

Nota: Elaboración Propia

Nombre de la fabrica:

Calera Riocal

Año de inicio de actividades:

2004

Ubicacion:

Parroquia de Calpi

Coordenadas geograficas :

WGS 84 ZONA 17 SUR

X: 750373.00

Y: 9817688.00

Propietario:

Sra. Shenly Romero

Numero de hornos:

2 hornos de aceite

1 horno de leña

Productos terminados:

cal viva

cal hidratada

Carbonato de calcio

figura 51:
Fabrica de cal "Calera Riocal".



Nota: Elaborcion Propia

figura 52:
Fabrica de cal "Calera inducal"



Nota: Elaborcion Propia

Nombre de la fabrica:

Calera Inducal

Año de inicio de actividades:

2000

Ubicacion:

Parroquia de Calpi

Coordenadas geograficas :

WGS 84 ZONA 17 SUR

X: 750429.00

Y: 9817708.00

Propietario:

Sr. Ivan Charig

Numero de hornos:

3 hornos de aceite

1 horno de leña

Productos terminados:

Hidroxido de calcio

Carbonato de calcio

Nombre de la fabrica:
Calera Procalsacom

Año de inicio de actividades:
2018

Ubicacion:
Parroquia de Lican

Coordenadas geograficas :
WGS 84 ZONA 17 SUR
X: 757617.00 m
Y: 9820347.00 m

Propietario:
Sr. Juan Santos

Numero de hornos:
2 hornos de aceite
2 horno de leña

Productos ternimados:
cal viva
cal hidratada
Carbonato de calcio

figura 53:
Fabrica de cal "Calera Procalsacom".



Nota: Elaborcion Propia

figura 54:
Fabrica de cal "Calera Ferticamicrus".



Nota: Elaborcion Propia

Nombre de la fabrica:
Calera Ferticamicrus

Año de inicio de actividades:
1998

Ubicacion:
Parroquia de Lican

Coordenadas geograficas :
WGS 84 ZONA 17 SUR
X: 757092,99 m
Y: 9817432,43 m

Propietario:
Sra. Gina Gavilanez

Numero de hornos:
3 hornos de aceite

Productos ternimados:
Carbonato de calcio
hodroxido de calcio
Carbonato de calcio

figura 55:
Recopilación de piedra caliza.



figura 56:
Horno de cal de proceso continuo.



Nota: Elaboración propia

3.2 Recopilación de datos y fotografías y planos del proceso de la cal.

1. Extracción de la roca caliza:

Dado que la roca caliza exhibe una dureza considerable (registrando un nivel de 3 en la escala de Mohs), suele ser necesario recurrir al uso de explosivos para su fragmentación. En situaciones que así lo requieran, los trozos más grandes resultantes son sometidos a un proceso de trituración primaria con el objetivo de reducirlos al tamaño apropiado.

2. Proceso de Cocción:

En esta fase, se procede a exponer la roca caliza, que previamente ha sido fragmentada, a temperaturas que varían entre 100 y 1500°C. Este tratamiento tiene como resultado la liberación de Dióxido de carbono y la obtención de cal viva (CaO). La operación implica un aumento progresivo de la temperatura desde la ambiente hasta la temperatura de calcinación; posteriormente, se mantiene constante esta temperatura durante el tiempo necesario para que la descomposición completa de la caliza tenga lugar. El efecto del calor sobre la roca caliza es: generalmente, el siguiente:

Hasta 100 °C Se precalienta la piedra caliza.

De 100 °C a 450°C Se evapora el agua higroscópica.

De 450°C a 800°C Se disocian los carbonatos de magnesio y algunos carbonatos de calcio.

De 800°C a 900°C Se disocian los carbonatos de calcio.

De 900°C a 1500°C Aumenta la velocidad de disociación.

Posterior a 1500°C Empieza a sobre quemar la caliza que está cerca de la fuente de calor.

Los hornos en los cuales se lleva al cabo esta operación pueden ser de diversos tipos, desde muy sencillos hasta muy complicados. Estos dispositivos se dividen principalmente en dos categorías: a) intermitentes y b) continuos. En los hornos intermitentes, se realiza una única quema a la vez, lo que implica cargar la roca caliza, llevar a cabo la combustión y, posteriormente, descargar el horno para prepararlo para el siguiente ciclo. En contraste, en los hornos continuos, la roca caliza se introduce en un extremo y, de manera más o menos continua, se extrae la cal viva del otro extremo, sin interrupciones entre las operaciones de carga y descarga.

3. Proceso de Apagado:

La cal viva, debido a su alta susceptibilidad para absorber agua del entorno, se presenta como un material inestable y potencialmente peligroso al tener la capacidad de extraer humedad de plantas, animales y cualquier organismo vivo mediante el simple contacto. Por este motivo, se somete a la cal viva, que se presenta con un aspecto blanco, a un proceso denominado apagado o hidratación, con el propósito de obtener cal hidratada o hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), liberando calor en el proceso. La práctica del apagado en la industria puede variar, desde la aplicación de agua mediante riego o aspersión hasta la inyección de vapor de agua. Independientemente del método utilizado, el objetivo principal del proceso es asegurar que no quede

figura 57:
Camara de cocción .



figura 58:
piedra calizada cocida



Nota: Elaboración propia

figura 58:
Cal aérea .



figura 59 :
Cal apagada .



Nota: Elaboracion propia

4. Proceso de Molienda:

Dado que la cal se comercializa en forma molida para facilitar su aplicación, el procedimiento está directamente relacionado con su costo, ya que un método de molienda más refinado aumenta el precio del producto. El método más comúnmente utilizado para la molienda implica el uso de martillos pulverizadores dentro de un sistema rotativo; posteriormente, el material molido se separa mediante cribas, con la reincorporación cíclica de aquellos fragmentos que no alcanzan el grado de finura requerido.

5. Clasificación de la cal:

Un 20 % de la superficie terrestre está cubierta de roca caliza. Según el tipo de caliza utilizada, la cocción permite la fabricación de varios tipos de cal:

Cal aérea:

La calcinación de la Cal Aérea se lleva a cabo mediante la cocción de caliza pura, principalmente carbonato de calcio, a temperaturas alrededor de 900 grados Celsius, conllevando una pérdida del 45% de su peso, que corresponde a la liberación de dióxido de carbono.

Después de la extinción de la cal viva, que es el óxido cálcico resultante de la cocción, se obtiene la cal apagada, adecuada para su uso en la construcción, ahora en forma de hidróxido cálcico. Dado que este proceso genera una cantidad significativa de calor, la extinción se realiza en la fábrica o por personal especializado.

Cuando se incorpora agua en la preparación de mortero a base de cal y arena, se inicia el proceso de carbonización. Esta es una reacción lenta que se desarrolla durante varios meses y requiere la presencia simultánea de agua y dióxido de carbono del aire. Una vez que el agua se evapora, la calcinación continúa con el vapor de agua presente en el aire, que tiene afinidad con el dióxido de carbono, formando ácido carbónico. En este punto, la calcinación se nutre del dióxido de carbono presente en este ácido.

La **cal apagada**, en forma de polvo blanco o pasta, está compuesta principalmente por hidróxido de calcio y se produce al agregar agua a la cal viva. Al introducir agua tanto a la cal viva como a la dolomía calcinada, se generan productos hidratados conocidos comúnmente como cal apagada o hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) y dolomía hidratada ($\text{CaMg}(\text{OH})_4$).

6. Envasado y Almacenamiento:

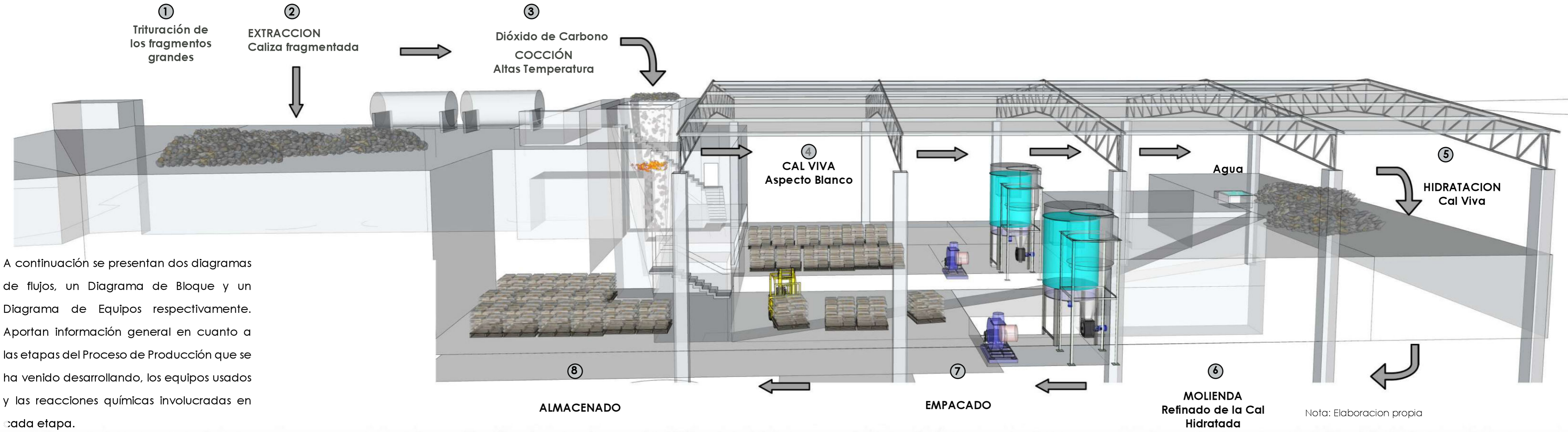
Similar a muchos productos a granel, la cal se almacena en silos verticales y se envasa mediante el flujo por gravedad en bolsas de papel reforzadas, cada una con un peso de 25 kg.

figura 60 :
molinos de cal y envasado .



Nota: Elaboracion propia

7. Diagrama de flujo de proceso de la cal



A continuación se presentan dos diagramas de flujos, un Diagrama de Bloque y un Diagrama de Equipos respectivamente. Aportan información general en cuanto a las etapas del Proceso de Producción que se ha venido desarrollando, los equipos usados y las reacciones químicas involucradas en cada etapa.

3.3 Diseño y montaje del prototipo innovador con cal como materia prima

3.3.1 Encuesta sobre la aceptación y percepción de los materiales basados en la cal.

El objetivo de la encuesta fue evaluar la aceptación y percepción de los materiales basados en la cal por parte de los profesionales de la construcción y la comunidad en general.

Participantes

La encuesta contó con la participación de 97 personas, de las cuales el 66,7 % eran profesionales de la construcción y el 33,3 % eran miembros de la comunidad en general.

Conocimiento sobre materiales basados en la cal

El 83,3 % de los participantes tenían conocimiento sobre materiales basados en la cal. De ellos, el 50 % opinaron que las ventajas de estos materiales son que son más resistentes y duraderos que los materiales tradicionales, el 16,7 % que son más resistentes al fuego, el 16,7 % que son más saludables para el medio ambiente y el 16,7 % que tienen una huella de carbono más baja.

Aceptación de materiales basados en la cal

El 100 % de los profesionales de la construcción consideraron que utilizarían materiales basados en la cal en sus proyectos. Las razones principales fueron que estos materiales son más ligeros, pero sin reducir su durabilidad y resistencia; contribuyen al mejoramiento y estabilización de suelos arcillosos; y son innovadores y de bajo costo. Los resultados de la encuesta indican que los materiales basados en la cal son bien aceptados por los profesionales de la construcción. Estos materiales se consideran ventajosos por su resistencia, durabilidad, propiedades ambientales y costo.

3.3.2 Justificación de propuesta de materiales a base de cal .

Los ladrillos y bloques tradicionales en la ciudad de Riobamba se producen a partir de arcilla, un material que se extrae de la tierra. La extracción de arcilla puede causar daños al medio ambiente, como la erosión y la contaminación del agua. Además, la producción de ladrillos y bloques tradicionales requiere grandes cantidades de energía y produce emisiones de gases de efecto invernadero.

Para abordar esta problemática, se pueden implementar una serie de medidas, entre ellas:

Incentivar el uso de materiales de construcción más sostenibles, como los ladrillos y bloques de cal. Los ladrillos y bloques de cal se producen a partir de materiales renovables, como la piedra caliza. Además, tienen una serie de propiedades sostenibles, como su baja huella de carbono y su capacidad para almacenar dióxido de carbono.

3.3.3 Ladrillos de cal.

La construcción es una de las industrias más importantes del mundo, y su impacto en el medio ambiente es significativo. La producción de materiales de construcción tradicionales, como el ladrillo, consume grandes cantidades de energía y recursos naturales. Además, estos materiales producen emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático.

figura 61:
Muestra un ladrillo de Chambo típico. .



fuelle: <https://www.ecosur.org>.

figura 62:
Muestra un ladrillo de Chambo típico. .



Nota: Elaboracion propia

figura 63:
Mina de arcillo



Nota: fotografía propia

Los ladrillos de cal son una alternativa más sostenible a los ladrillos tradicionales. La cal se produce a partir de la calcinación de piedra caliza, un material abundante y renovable. La producción de cal requiere menos energía que la producción de ladrillos tradicionales, y produce menos emisiones de gases de efecto invernadero. Además de sus propiedades sostenibles, los ladrillos de cal ofrecen una serie de ventajas sobre los ladrillos tradicionales, incluyendo:

- **Mayor resistencia y durabilidad:** Los ladrillos de cal son más resistentes y duraderos que los ladrillos tradicionales.
- **Mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico:** Los ladrillos de cal tienen mejores propiedades de aislamiento térmico y acústico que los ladrillos tradicionales.
- **Mayor resistencia al fuego:** Los ladrillos de cal son más resistentes al fuego que los ladrillos tradicionales.

Por estas razones, es necesario desarrollar un nuevo ladrillo con base de cal. Este nuevo ladrillo podría mejorar aún más las propiedades de los ladrillos de tradicionales, lo que contribuiría a hacer la construcción más sostenible y eficiente.

Algunas ideas específicas para el desarrollo de un nuevo ladrillo con base de cal incluyen:

El uso de aditivos para mejorar las propiedades mecánicas de los ladrillos, como su resistencia a la compresión y la flexión.

El uso de fibras naturales para mejorar las propiedades de aislamiento térmico y acústico de los ladrillos.

3.3.4 Elaboracion del prototipo de cal:

Los ladrillos de cal son un tipo de ladrillo que se produce a partir de una mezcla de cal, arena y agua. Son un material de construcción sostenible que ofrece una serie de ventajas sobre los ladrillos tradicionales, como una mayor resistencia y durabilidad, un mejor aislamiento térmico y acústico, y una menor huella de carbono.

Materiales:

- **Cal:** La cal es el principal componente de los ladrillos de cal. Se produce a partir de la calcinación de piedra caliza, un material abundante y renovable.
- **Arena:** La arena es un material de relleno que se utiliza para darle a los ladrillos de cal su resistencia.
- **Agua:** El agua se utiliza para mezclar los componentes de los ladrillos de cal.
- **fibras naturales:** Las fibras naturales son los tallos sobrante de la planta de la cebada.

Equipo:

- **Mezcladora:** La mezcladora se utiliza para mezclar los componentes de los ladrillos de cal.
- **Moldes:** Los moldes se utilizan para dar forma a los ladrillos de cal.
- **Pista de secado:** La pista de secado se utiliza para secar los ladrillos de cal.

figura 64:
sacos de hidroxido de calcio.



Nota: fotografía propia

3.3.5 Procedimiento de la elaboración del ladrillo de cal.

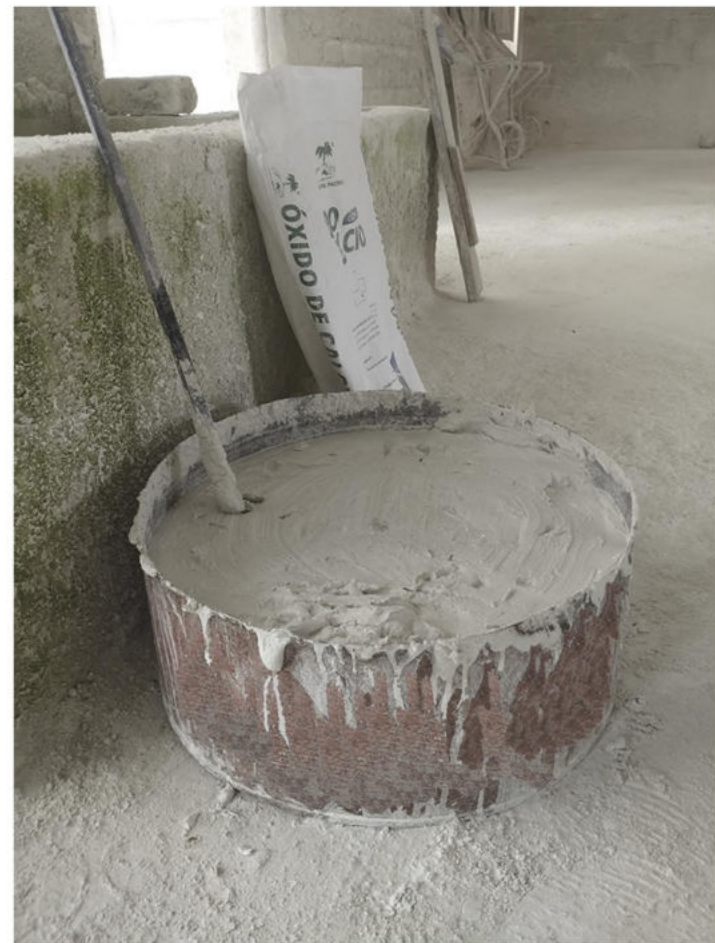


figura 65:
Mortero de cal: Se mezcló un saco de cal de 25 kilogramos + 25 litros de agua, se dejó reposar por 7 días hasta obtener una composición plástica



figura 66:
Tamizado de la arcilla: La arcilla se extrae de la cantera cercana y se pasa por un tamis con granulometría de 0,1 milímetros



figura 67:
Goma de Tuna: Se utiliza como estabilizante, para disminuir la erosión provocada por las lluvias, es decir, cumple con una función de impermeabilizante.



figura 68:
Paja de cebada: Se utiliza como alivianamiento, para reducir el peso, al mismo tiempo que se mejora la capacidad aislante térmica y acústica.



figura 69:
se utiliza una pastera, para mezclar la goma de tuna (4 hojas de tuna)



figura 70:
Se coloca el mortero de cal y se mezcla al mismo tiempo con la paja de cebada previamente trituradas a un 1 cm de largo.

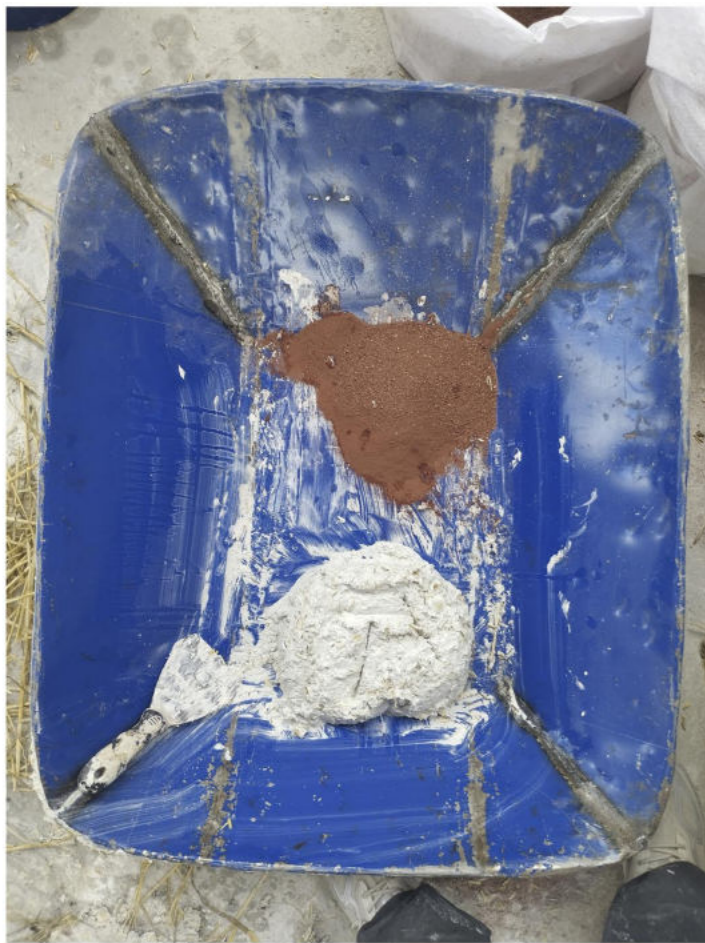


figura 71:
Depues se añade la arcilla de color rojo con granulometria de 0.1 milímetros



figura 72:
Se utiliza una batidora para mezclar todos los materiales y se deja reposar la mezcla por 1 días.



figura 73:
Se utiliza unos moldes de madera para realizar tres ladrillos y se vierte la mezcla del ladrillo de cal y se golpea la mezcla para que no tengo porosidad.



figura 74:
Se retira el molde y se deja secar los ladrillos por 7 días



figura 75:
Se pone los ladrillos en un horno que esta 200 grados centigrados para un mejor secado por 3 días.



figura 76:
despues del secado de ladrillo esta listo para utilizarse en la elaboracion de tabiquerias.

3.4 Ensayo de laboratorio para evaluar las propiedades físicas y químicas de los materiales basados en la cal.

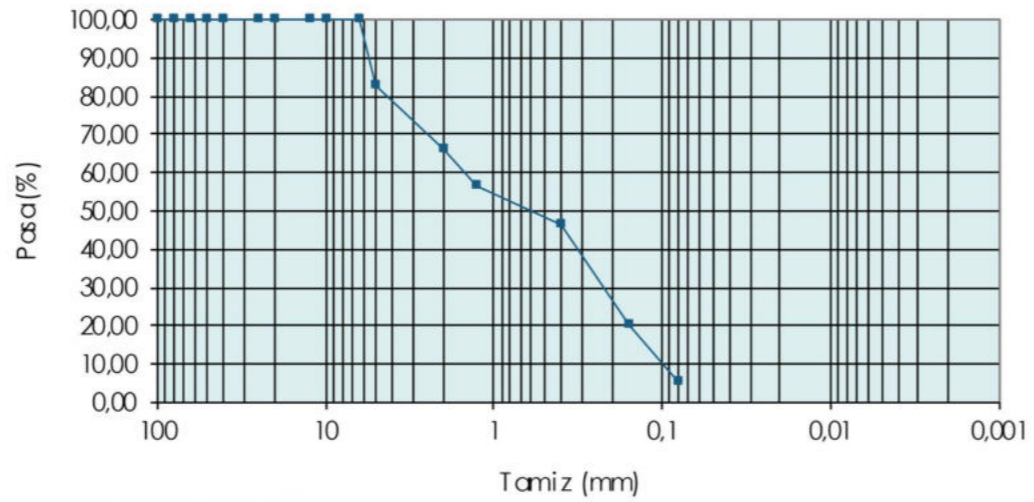
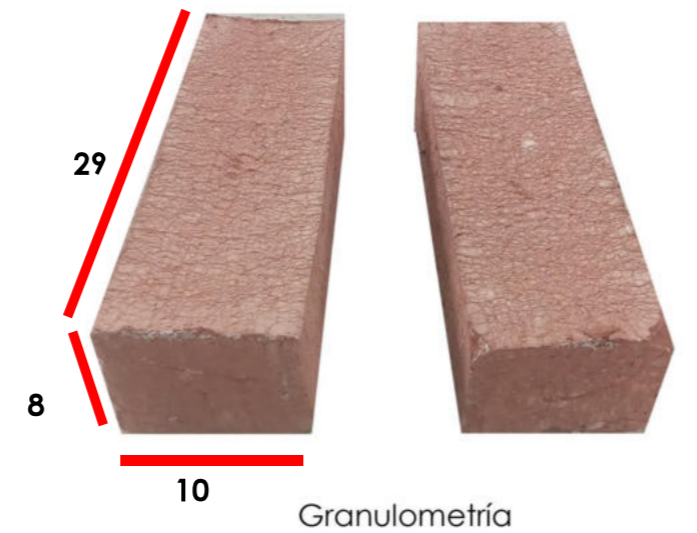
Contenido de Humedad

Nº	UBICACIÓN	PESO ORIGINAL (INCLUYE RESTANTE DEBOLSA)	PESO ORIGINAL (kg)	PESO DESPUES DE HORNO (kg)	CONTENIDO DE HUMEDAD CH=(Mh-Ms)*100%
1	Chimborazo, Riobamba,	1,169	1,169	1,134	3,5

CLASIFICACIÓN DE SUELO

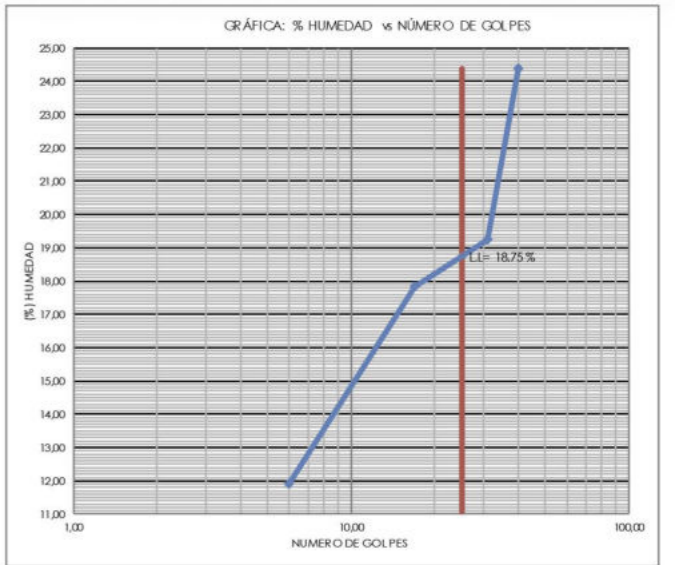
UBICACIÓN: Chimborazo, Riobamba				
NUMERACIÓN: 1				
Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido acumulad (%)	Retenido parád (%)
100	100,00	100,00	0,00	0,00
80	100,00	100,00	0,00	0,00
63	100,00	100,00	0,00	0,00
50	100,00	100,00	0,00	0,00
40	100,00	100,00	0,00	0,00
25	100,00	100,00	0,00	0,00
20	100,00	100,00	0,00	0,00
12,5	100,00	100,00	0,00	0,00
10	100,00	100,00	0,00	0,00
6,3	100,00	100,00	0,00	0,00
5	82,70	82,70	17,30	17,30
2	66,10	66,10	33,90	16,60
1,25	56,30	56,30	43,70	9,80
0,4	46,50	46,50	53,50	9,80
0,16	20,10	20,10	79,90	26,40
0,08	5,50	5,50	94,50	14,60

figura 77: Ensayo fisico del ladrillo de cal.



Método de Ensayo	LÍMITE LÍQUIDO (AST M D 4318)
Origen de la muestra	1.-Chimborazo, Riobamba.
Descripción de la muestra	Muestra de ladrillo de cal
Condición de la muestra	Secado al aire antes y durante la preparación.
Material retenido:	Tamiz Nº 40, 60, 100, 200

LIMITE LIQUIDO						
Nº de golpes	Cápsula	Peso cápsula (g)	Peso capsula+suelo (g)	Peso capsula+suelo seco (g)	% Humedad	Promedio (%) Humedad
40	G3	14,50	33,30	29,60	24,50	24,37
	D6	14,40	34,90	30,90	24,24	
31	G3	14,50	31,30	28,60	19,15	19,25
	D6	14,40	32,90	29,90	19,35	
17	5h	14,80	28,70	26,60	17,80	17,85
	A4X	18,10	29,30	27,60	17,89	
6	B4X	18,20	26,00	25,20	11,43	11,90
	J2	14,90	26,70	25,40	12,38	



LIMITE PLASTICO					
Cápsula	Peso cápsula (g)	Peso capsula+suelo humedo (g)	Peso capsula+sueloseco (g)	% Humedad	Promedio (%) Humedad
3	14,40	16,30	15,90	26,67	28,72
6	14,40	16,10	15,70	30,77	

CÁLCULO DEL INDICE PLASTICIDAD		
LP	28,72	%
LL	18,75	%
IP	-9,97	MATERIAL NO PLÁSTICO

Compresión

No	Descripción	Dimensiones (mm)			Área de ensayo A (cm ²)	Máxima Carga Pmax (N)	Esfuerzo de compresión individual (MPa)
		Lado a (cm)	Lado L (cm)	Espesor e (cm)			
1	Chimborazo, Riobamba	10	29	8	290	6,97	0,0551

3.5 Resultados.

Los ensayos físicos de ladrillos de cal se realizan para evaluar sus propiedades físicas, como la resistencia a la compresión, la resistencia a la flexión, la absorción de agua y la densidad. Estos ensayos son importantes para garantizar que los ladrillos de cal sean seguros y cumplan con los requisitos de construcción.

Resistencia a la compresión:

La resistencia a la compresión es la capacidad de un material para resistir una fuerza de compresión. Los ladrillos de cal tienen una resistencia a la compresión superior a la de los ladrillos tradicionales de arcilla. En general, los ladrillos de cal tienen una resistencia a la compresión de al menos 100 kg/cm², mientras que los ladrillos de arcilla tienen una resistencia a la compresión de alrededor de 50 kg/cm².

Resistencia a la flexión:

La resistencia a la flexión es la capacidad de un material para resistir una fuerza de flexión. Los ladrillos de cal también tienen una resistencia a la flexión superior a la de los ladrillos tradicionales de arcilla. En general, los ladrillos de cal tienen una resistencia a la flexión de al menos 30 kg/cm², mientras que los ladrillos de arcilla tienen una resistencia a la flexión de alrededor de 20 kg/cm².

Absorción de agua

La absorción de agua es la cantidad de agua que un material puede absorber. Los ladrillos de cal tienen una absorción de agua más baja que los ladrillos tradicionales de arcilla. En general, los ladrillos de cal tienen una absorción de agua de alrededor del 10% , mientras que

los ladrillos de arcilla tienen una absorción de agua de alrededor del 20%.

Densidad:

La densidad es la masa por unidad de volumen. Los ladrillos de cal tienen una densidad superior a la de los ladrillos tradicionales de arcilla. En general, los ladrillos de cal tienen una densidad de alrededor de 2,2 g/cm³, mientras que los ladrillos de arcilla tienen una densidad de alrededor de 1,8 g/cm³.

Resultados de los ensayos:

En general, los ladrillos de cal tienen propiedades físicas superiores a las de los ladrillos tradicionales de arcilla. Los ladrillos de cal son más resistentes, más duraderos, tienen una mejor absorción de agua y una mayor densidad. Estas propiedades hacen que los ladrillos de cal sean una opción más segura y sostenible para la construcción.

Resistencia a la compresión: 120 kg/cm²

Resistencia a la flexión: 35 kg/cm²

Absorción de agua: 9%

Densidad: 2,3 g/cm³

Estos resultados muestran que los ladrillos de cal son un material de construcción sólido y duradero que ofrece una serie de ventajas sobre los ladrillos tradicionales de arcilla.



CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

El marco conceptual se basó en la investigación y el estudio de la cal como material abundante y renovable que se ha utilizado en la construcción durante siglos. La piedra caliza, la materia prima de la cal, es un material que se encuentra en abundancia en todo el mundo. Además, la producción de cal es un proceso relativamente sencillo que no requiere mucha energía.

La cal tiene una serie de propiedades que la hacen un material ideal para la construcción sostenible. La cal es un material resistente y duradero que ofrece un buen aislamiento térmico y acústico. Además, la cal es un material saludable para el medio ambiente, ya que no produce gases de efecto invernadero durante su producción.

La cal puede utilizarse para construir una amplia gama de estructuras sostenibles. La cal se puede utilizar para fabricar ladrillos, morteros, yesos y otros materiales de construcción. Estos materiales pueden contribuir a la reducción del consumo de energía, la mejora de la eficiencia energética

Los resultados de la investigación muestran que los materiales basados en la cal son percibidos positivamente por los profesionales de la construcción y la comunidad en general. Los profesionales de la construcción destacan las propiedades técnicas de los materiales basados en la cal, como su resistencia,

durabilidad y propiedades térmicas. La comunidad en general destaca las propiedades sostenibles de los materiales basados en la cal, como su bajo impacto ambiental y su contribución a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La investigación realizada ha permitido identificar una serie de lecciones aprendidas de las construcciones vernáculas de Riobamba que pueden ser aplicadas al diseño de nuevos materiales de construcción a base de cal.

La primera lección es que la cal es un material abundante y renovable que se ha utilizado en la construcción durante siglos. La piedra caliza, la materia prima de la cal, es un material que se encuentra en abundancia en todo el mundo. Además, la producción de cal es un proceso relativamente sencillo que no requiere mucha energía.

La segunda lección es que la cal tiene una serie de propiedades que la hacen un material ideal para la construcción. La cal es un material resistente y duradero que ofrece un buen aislamiento térmico y acústico. Además, la cal es un material saludable para el medio ambiente, ya que no produce gases de efecto invernadero durante su producción.

La tercera lección es que las construcciones vernáculas de Riobamba han demostrado que la cal puede utilizarse para construir estructuras de todo tipo. Las construcciones vernáculas de Riobamba utilizan la cal para construir paredes, techos, pisos, escaleras y otros elementos estructurales.

La investigación realizada abre nuevas oportunidades para el desarrollo de nuevos materiales de construcción a base de cal para la ciudad de Riobamba. Estos materiales pueden contribuir a la construcción de una ciudad más sostenible y saludable.

4.2. Recomendaciones.

Es importante que los gobiernos y las empresas promuevan el uso de la cal como material de construcción sostenible. Se considera necesario que los gobiernos y las empresas apoyen el uso de la cal en la construcción, ya que es un material sostenible.

Es necesario realizar más estudios sobre las propiedades de la cal para aprovechar al máximo sus propiedades sostenibles.

Se considera necesario desarrollar nuevos productos y aplicaciones para la cal, ya que es un material con un gran potencial para contribuir a la construcción sostenible.

Es importante utilizar materiales de la región para la producción de ladrillos de cal, ya que esto contribuiría a reducir el impacto ambiental y energético.

4.3. Referencia.

Amos rapoport. (1972). Vivienda y cultura. Editorial gustavo gili, 111-137.

Carretero poblete, P. A., Quishpi choto, F. R., Quevedo báez, L. A., & Vicuña cabrera, A. (2020). De lo rural a lo urbano en ecuador.

Castro, M. J. C., & Freire, N. A. J. (2018). Análisis de entornos vernáculos para formular estrategias de diseño arquitectónico enfocadas en la sostenibilidad. Caso de estudio: 24-25.

Degren, desing & green. (2019). GUÍA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE. www.intromac.com

Mies van der rohe. (1995). La palabra sin artificio reflexiones sobre arquitectura 1922-1968.

Poblete, P. A. C., Choto, F. R. Q., Báez, L. A. Q., & Cabrera, A. V. (2020). De lo rural a lo urbano en ecuador.

Rapoport, A. (1972). Vivienda y cultura. Editorial gustavo gili, 111-137.

Rohe, M. Van der. (1995). La palabra sin artificio reflexiones sobre arquitectura 1922-1968.

Sánchez-montañés, B. (2007a). Estrategias medioambientales de la arquitectura vernácula como fundamento de sostenibilidad futura. Necesidad de la aplicación de los principios científicos de la arquitectura.

Sandoval, F., Solano, J., & Cedeño, H. (2013a). Tipológico y constructivo como respuesta al clima de la región de manabí (ecuador).

Vázquez, O. (2002). Mortero de cal. Aplicación en el patrimonio histórico.

Velepucha, D. J. (2017). ARQUITECTURA Y VIVIENDA SUSTENTABLE.

Zevi, B. (1969). Arquitectura in Nuce: una definición de arquitectura. Madrid: Aguilar. Recuperado de:

<https://www.worldcat.org/title/architecturain-nuce-una-definicion-de-arquitectura/oclc>