



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Arquitectura

Estrategias de Construcción Resiliente: Sistemas
Prefabricados de Hormigón para Edificaciones Escolares
en República Dominicana

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Arquitectura Avanzada, Paisaje,
Urbanismo y Diseño

AUTOR/A: Concepción Morilla, Camila Fernanda

Tutor/a: Lerma Elvira, Carlos

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

CONTENIDO

RESUMEN	1
1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.1 Motivación	2
1.2 Objetivos	2
1.3 Metodología	2
2 CONSTRUCCIÓN ESCOLAR EN LA REPÚBLICA DOMINICANA	3
2.1 Periodo 1930-1960	3
2.2 Periodo 1970-2000	4
2.3 Periodo 2010-actualidad	7
3 PRINCIPALES VULNERABILIDADES DE LAS ESCUELAS.....	10
3.1 Amenazas naturales	10
3.1.1 Amenaza sísmica	10
3.1.2 Amenaza de ciclones tropicales	13
3.1.3 Amenaza de inundaciones	14
3.2 Vulnerabilidades estructurales	15
3.2.1 Efecto columna corta	16
3.2.2 Irregularidad en planta	18
3.2.3 Conexión viga-columna	19
3.2.4 Muros no estructurales y juntas de separación	20
3.2.5 Juntas de expansión	22
3.2.6 Materiales de baja calidad y ejecución deficiente	23
3.2.7 Colapso	26
4 NORMATIVA ACTUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN ESCOLAR EN RD	28
4.1 Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001)	28
4.2 Diseño de plantas físicas escolares niveles básico y medio (R-023)	31
5 SISTEMAS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN	32
5.1 Conceptos e historia	32
5.2 Coordinación dimensional	39
5.3 Planteamiento estructural	45
5.4 Fabricación, transporte y montaje	50
5.5 Elementos prefabricados de hormigón	53
5.5.1 Pilares	53
5.5.2 Vigas	54

5.5.3	Conexiones	54
5.5.4	Forjados	61
5.5.5	Paneles de hormigón	62
5.6	Ventajas e inconvenientes	63
5.7	Ejemplos de escuelas prefabricadas	65
6	PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONSTRUCCIÓN RESILIENTE CON SOLUCIONES PREFABRICADAS PARA EDIFICACIONES ESCOLARES.....	72
6.1	Técnicas constructivas	72
6.2	Mejora de la normativa	83
6.3	Colaboración interinstitucional	84
7	CONCLUSIONES.....	87
8	BIBLIOGRAFÍA	88
9	FIGURAS Y TABLAS	92

RESUMEN

Este TFM tiene como propósito desarrollar estrategias de construcción para la seguridad de las escuelas a partir de la identificación de las vulnerabilidades que afectan a las mismas, la evaluación de la normativa existente y el análisis de los sistemas prefabricados de hormigón, sus ventajas y desafíos en el contexto particular de la República Dominicana. La metodología implementada es cualitativa ya que interpreta las informaciones consultadas y a partir de estas formula recomendaciones específicas para la mejora edificaciones escolares del país. Los principales hallazgos de esta investigación, consistieron en la identificación de vulnerabilidades estructurales como diseño y ejecución deficiente de estas estructuras.

Palabras clave: Prefabricados de hormigón; Escuelas; Seguridad; República Dominicana.

ABSTRACT

This Master's Thesis aims to develop construction strategies for school safety by identifying the vulnerabilities that affect them, evaluating existing regulations, and analyzing prefabricated concrete systems, their advantages, and challenges in the specific context of the Dominican Republic. The methodology implemented is qualitative, as it interprets the consulted information and, based on this, formulates specific recommendations for improving the country's school buildings. The main findings of this research include the identification of structural vulnerabilities such as poor design and execution of these structures.

Keywords: Precast concrete; School; Safety; Dominican Republic.

RESUM

Aquest TFM té com a propòsit desenvolupar estratègies de construcció per a la seguretat de les escoles a partir de la identificació de les vulnerabilitats que les afecten, l'avaluació de la normativa existent i l'anàlisi dels sistemes prefabricats de formigó, així com les seues avantatges i desafiaments en el context particular de la República Dominicana. La metodologia implementada és qualitativa, ja que interpreta les informacions consultades i a partir d'aquestes formula recomanacions específiques per a la millora de les edificacions escolars del país. Els principals descobriments d'aquesta investigació consisteixen en la identificació de vulnerabilitats estructurals com el disseny i l'execució deficient d'aquestes estructures.

Paraules clau: Prefabricats de formigó; Escoles; Seguretat; República Dominicana.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación

En la búsqueda constante para ofrecer entornos educativos seguros, especialmente en países propensos a eventos naturales adversos como lo es República Dominicana, el diseño y la construcción de escuelas juega un papel crucial. La seguridad estructural es fundamental para asegurar que estas infraestructuras no solo sean capaces de resistir, sino también de recuperarse eficientemente de eventos como terremotos, huracanes o inundaciones.

Esta preocupación por la seguridad de los estudiantes y la necesidad de asegurar espacios educativos resilientes es lo que impulsa este trabajo a explorar y proponer el uso de sistemas prefabricados de hormigón como una respuesta a esta necesidad. El trabajo de fin de máster desarrollado a continuación aplica los conocimientos adquiridos en las asignaturas del máster de arquitectura avanzada, paisaje, urbanismo y diseño, el cual ha suministrado una visión integral sobre las últimas técnicas y sistemas de construcción industrializada que inspiraron este trabajo.

1.2 Objetivos

El objetivo general es desarrollar estrategias de construcción resiliente utilizando sistemas prefabricados de hormigón para mejorar la seguridad de las edificaciones escolares en la República Dominicana.

Los objetivos específicos son:

1. Identificar las principales vulnerabilidades y carencias de las edificaciones escolares existentes en el país.
2. Analizar la normativa actual que regula la construcción de escuelas en el país, identificando posibles carencias y áreas de mejora.
3. Evaluar las características, ventajas y desventajas del uso de sistemas prefabricados de hormigón para su uso en la construcción escolar.

1.3 Metodología

La metodología para este trabajo de investigación es cualitativa, este análisis involucra la interpretación de información y la formulación de recomendaciones. Se ha estructurado en varias fases: Revisión bibliográfica y documental, Análisis sobre la construcción escolar actual, Revisión y análisis de la normativa actual, Análisis de sistemas prefabricados de hormigón y Propuesta de Estrategias Constructivas Resilientes.

2 CONSTRUCCIÓN ESCOLAR EN LA REPÚBLICA DOMINICANA

El capítulo dos abarca la historia y evolución hasta la actualidad de la construcción escolar en República Dominicana, muestra desde estructuras rudimentarias hasta edificaciones más complejas y modernas. Inicialmente, las escuelas se construían con materiales locales y técnicas tradicionales, pero con el tiempo se fueron incorporando métodos y materiales más avanzados según la normativa utilizada en la época, aunque no siempre con la sismo-resistencia necesaria.

2.1 Periodo 1930-1960

Los programas oficiales de construcción de infraestructura educativa datan de la década de los años treinta, luego de la devastación causada por el Huracán San Zenón (fig. 1). En este periodo la tipología estructural utilizada en la edificación de escuelas se caracterizó por el uso de mampostería armada, entresijos y cubierta horizontal monolítica fundida in-situ en hormigón armado (fig. 2). En esta época no se utilizó código con diseño sísmico y el diseño se enfocaba en la amenaza natural de huracanes (World Bank, 2017).



Figura 1: Imagen del paso del Huracán San Zenón, 3 de septiembre del 1930. Fuente: OCI (2017).



Figura 2: Colegio Dominicana La Salle. Fuente: Historia Dominicana en Gráficas, Grupo de Facebook (2019).

2.2 Periodo 1970-2000

Para la década de los setenta, en las zonas sub-urbanas y rurales, se importa el modelo 'Johnson' (fig. 3), con pabellones de un solo nivel, muros de bloque y techos inclinados en hormigón armado.

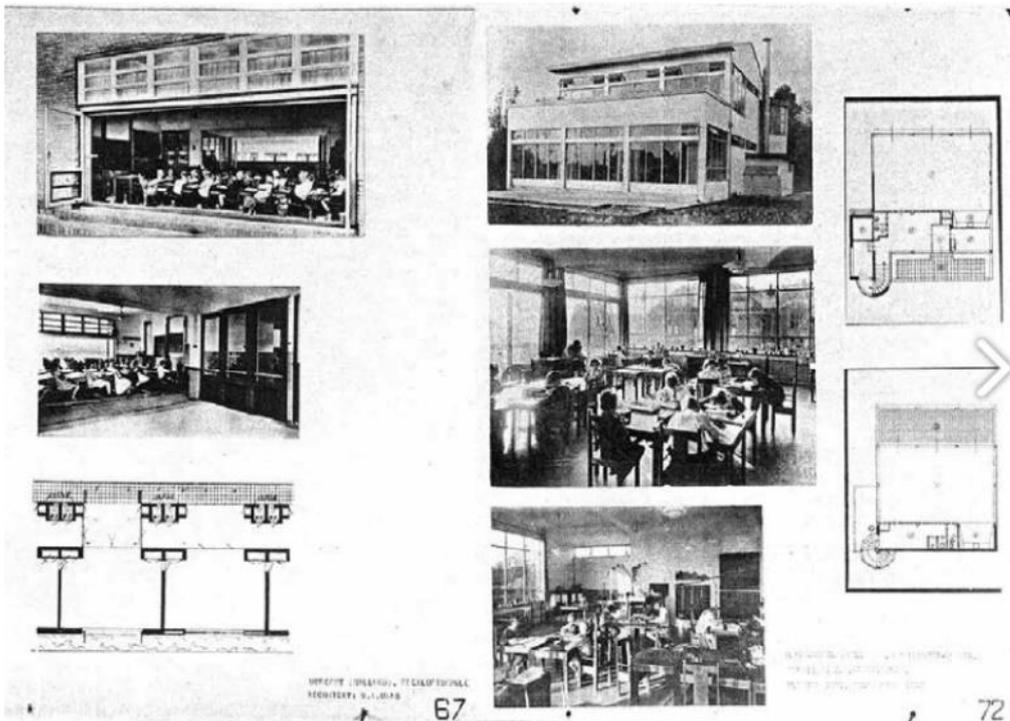


Figura 3: Ejemplos de escuelas modernas exhibidos en la Exposición Internacional de Escuelas Modernas. Fuente: Álbum Moser (1932-1933).

Pese a tener problemas de ventilación e iluminación en el entorno tropical, es la tipología proliferante en el interior del país, siendo replicada hasta comienzos de los años noventa, con pequeñas variaciones formales de adaptación ambiental de aleros en techos, aperturas de huecos de ventilación o de tamaño de ventanas para la entrada de iluminación (fig. 4). También se comenzaron a utilizar cubiertas livianas a dos aguas, utilizando sistemas de anclaje resistentes a vientos fuertes.



Figura 4: Ejemplo Nacional Escuela Antonio Duvergé, tipo Johnson, 1962. Fuente: OCI (2017).

Es hacia comienzos de la década de los ochenta cuando se comienza a comprender que los sismos también representaban una amenaza para el país. Es entonces cuando los códigos de diseño sismo-resistente de otros países en la región como EE.UU. empezaron a ser implementados y aplicados a manera de recomendación a los diseños y construcciones del país. Aunque se siguieron utilizando los mismos materiales (muros en bloque de hormigón, losas, cubiertas y columnas en hormigón armado) las técnicas de diseño y construcción mejoraron considerablemente.

En este periodo, la tipología estructural utilizada fueron pórticos estructurales en hormigón armado en dirección longitudinal y relleno con muros en bloque de hormigón en dirección transversal, sin junta de separación (fig. 5). En algunos casos se implementaron cubiertas ligeras

a dos aguas con elementos metálicos anclados mecánicamente a la estructura, entrepisos fundidos in-situ en hormigón armado en una dirección y edificaciones de un nivel (fig. 6). Se utilizaron códigos sismorresistentes de otros países como EE.UU. pero de manera de recomendación desde los años ochenta.

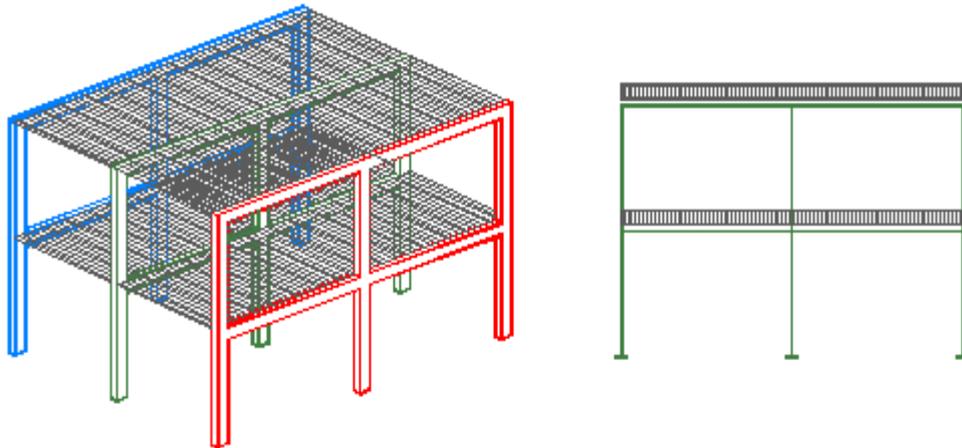


Figura 5: Pórticos de hormigón armado. Fuente: ZIGURAT Institute of Techonoly (2017).



Figura 6: Construcción del Centro Educativo Marcos Castañer 1997, San Cristóbal, República Dominicana. Fuente: Fundación Heres (2024).

2.3 Periodo 2010-actualidad

La generación más reciente de infraestructura educativa corresponde a la desarrollada mediante el Programa Nacional Edificaciones Escolares (PNEE) que, a partir del año 2010, debido al terremoto en Haití, hizo que el código sismo-resistente (R-001) se convirtiera en normativa y desde entonces es obligatorio su uso para los proyectos constructivos en el país. En la práctica, esto no ocurre y la construcción informal predomina, incluso en la construcción de infraestructura educativa nueva (World Bank, 2017).

La estructura actual consta de pórticos estructurales en hormigón armado rellenados con muros en bloque de hormigón (divisorios) sin junta de separación en la dirección longitudinal, y muros estructurales (carga) de bloques de hormigón en la dirección transversal (corta) (fig. 7).

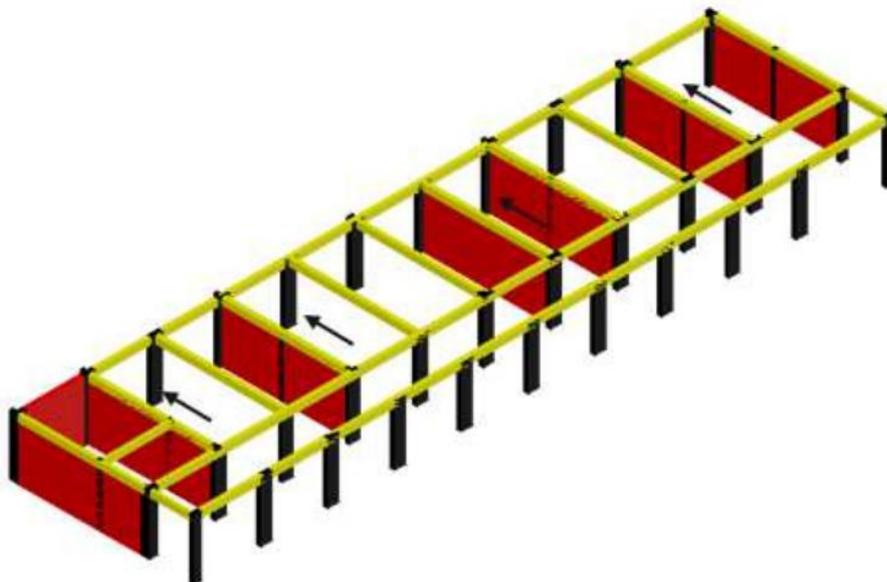


Figura 7: Estructura de pórticos y muros de cargas. Fuente: Moreno (2014).

La tipología estructural que se observa (fig. 8 y fig.9) se ha diseñado contemplando el efecto de sismo para las condiciones del país, utilizando pórticos robustos en hormigón armado con muros estructurales en mampostería confinada. Los entrepisos y cubiertas son fundidos monóticamente en hormigón armado. La fundación típicamente dispone de zapatas superficiales del mismo material.



Figura 8: Escuela en proceso de construcción. Fuente: CDN Noticias (2015).



Figura 9: Escuela Básica Ramón Julián Peña. Fuente: Ministerio de Educación (2016).

La planta rectangular de la escuela es de 9.23m x 36.42m (336.15m²) está dispuesta por 3 alturas de 3.20m cada una, 11 pórticos paralelos continuos de 36.42m, con 2 vanos de 4.37m y 2.50m consecutivamente, losas unidireccionales continuas de 10 vanos con luces variable; en su extremo izquierdo 3,68m, en el centro luces de 3.50m y el extremo derecho 4.73m. Se le da acceso a la cubierta por la escalera que sube al 4to nivel (fig. 10).

Actualmente, la construcción de escuelas en la República Dominicana ha avanzado hacia el uso de normas más estrictas y técnicas más seguras. Sin embargo, persisten desafíos importantes,

como la calidad variable en los detalles constructivos y la implementación efectiva de normativas sismo-resistentes. La normativa R-001, adaptada del ASCE 7 y aplicada desde 2011, establece espectros sísmicos locales, pero su aplicación no siempre ha sido uniforme ni suficiente para mitigar todos los riesgos.

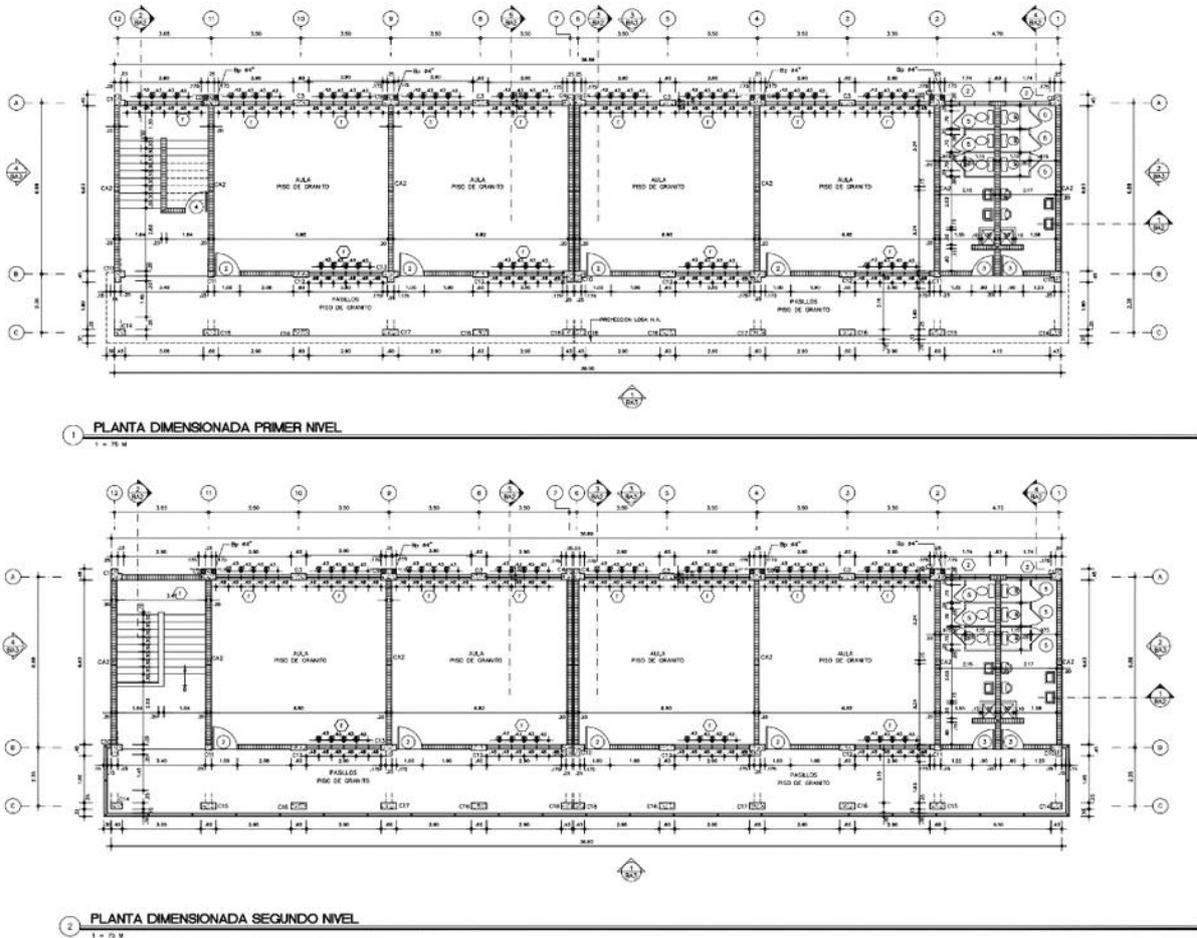


Figura 10: Planta arquitectónica Plantel escolar. Fuente: Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (2013).

3 PRINCIPALES VULNERABILIDADES DE LAS ESCUELAS

El capítulo tres se enfoca en identificar las principales amenazas y fallos estructurales que afectan a las escuelas en la República Dominicana, la evaluación de estos factores es esencial para comprender el riesgo al que están expuestas las edificaciones escolares y así poder desarrollar estrategias efectivas que mejoraren su resiliencia y seguridad.

3.1 Amenazas naturales

El concepto amenazas naturales se refiere específicamente, a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos (especialmente sísmicos y volcánicos) y a los incendios que, por su ubicación, severidad y frecuencia, tienen el potencial de afectar adversamente al ser humano, a sus estructuras y a sus actividades (Organización de los Estados Americanos, 1991).

La República Dominicana es un país situado en Centro América, en la parte oriental de la Isla Hispaniola, compartida con Haití (fig. 11). Cuenta con una población de 11.4 millones de habitantes, principalmente asentados en las zonas urbanas y costeras. La isla se ve expuesta a una variedad de amenazas naturales debido a su ubicación geográfica en el Caribe. Entre las más significativas se encuentran los terremotos, huracanes, inundaciones y deslizamientos de tierra (Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo, 2012).

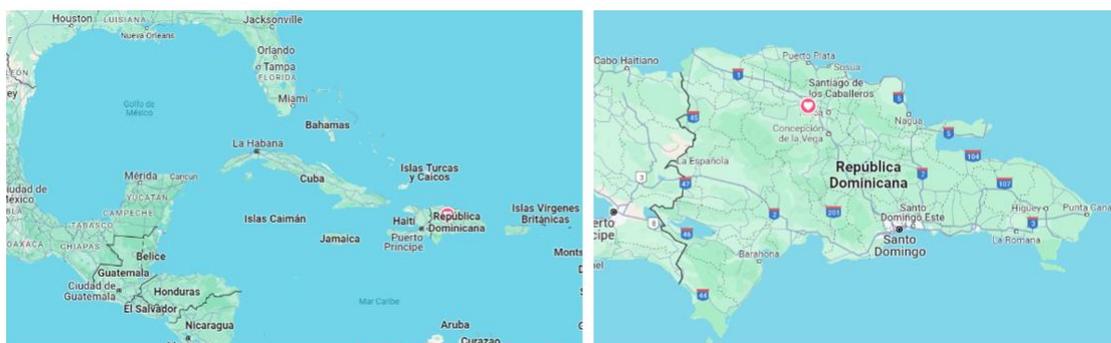


Figura 11: Ubicación República Dominicana. Fuente: Google Maps (2024).

3.1.1 Amenaza sísmica

En la República Dominicana la principal amenaza sísmica la representa la interacción entre la placa norteamericana con la placa del Caribe (fig. 12). La amenaza se debe a distintas fallas sísmicas activas, de dichas fallas cabe destacar la falla Septentrional (fig. 13) esta realiza un desplazamiento horizontal (transformante o de desgarre) que cruza la región norte de La Española y acomoda parte del movimiento entre las placas de Norte América y el Caribe; La falla

Septentrional constituye la mayor fuente de peligro sísmico para infraestructuras civiles en la región Norte (Erazo & Taveras, 2021).

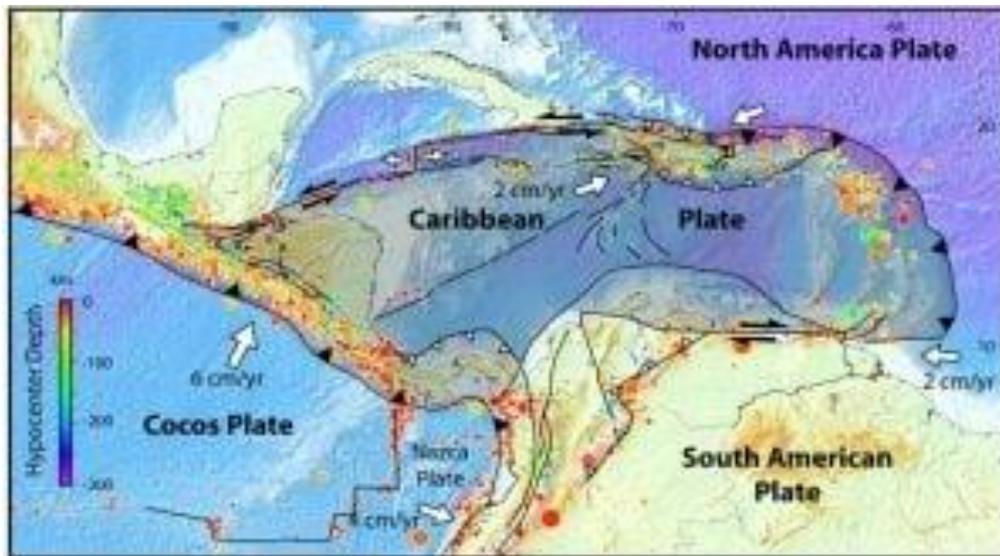


Figura 12: Tectónica de la Región del Caribe. Fuente: Molnar and Sykes,(1969).



Figura 13: Fallas Sísmicas isla La Hispaniola. Fuente: N Digital Web, (2024).

El mapa de Sismicidad Histórica (fig. 14). evidencia la presencia de varios sismos de magnitud considerable a través de la historia sísmica de la isla, abarcando desde el 1500 hasta el 1900, dentro de estos los más importantes y que más han afectado a las poblaciones dominicanas y haitianas se destacan, el terremoto del 4 de agosto del año 1946, con una magnitud de 8.1 grados de la escala Richter y el terremoto de Haití en el año 2010, 7.0 en la escala Richter (MEPyD, 2012).

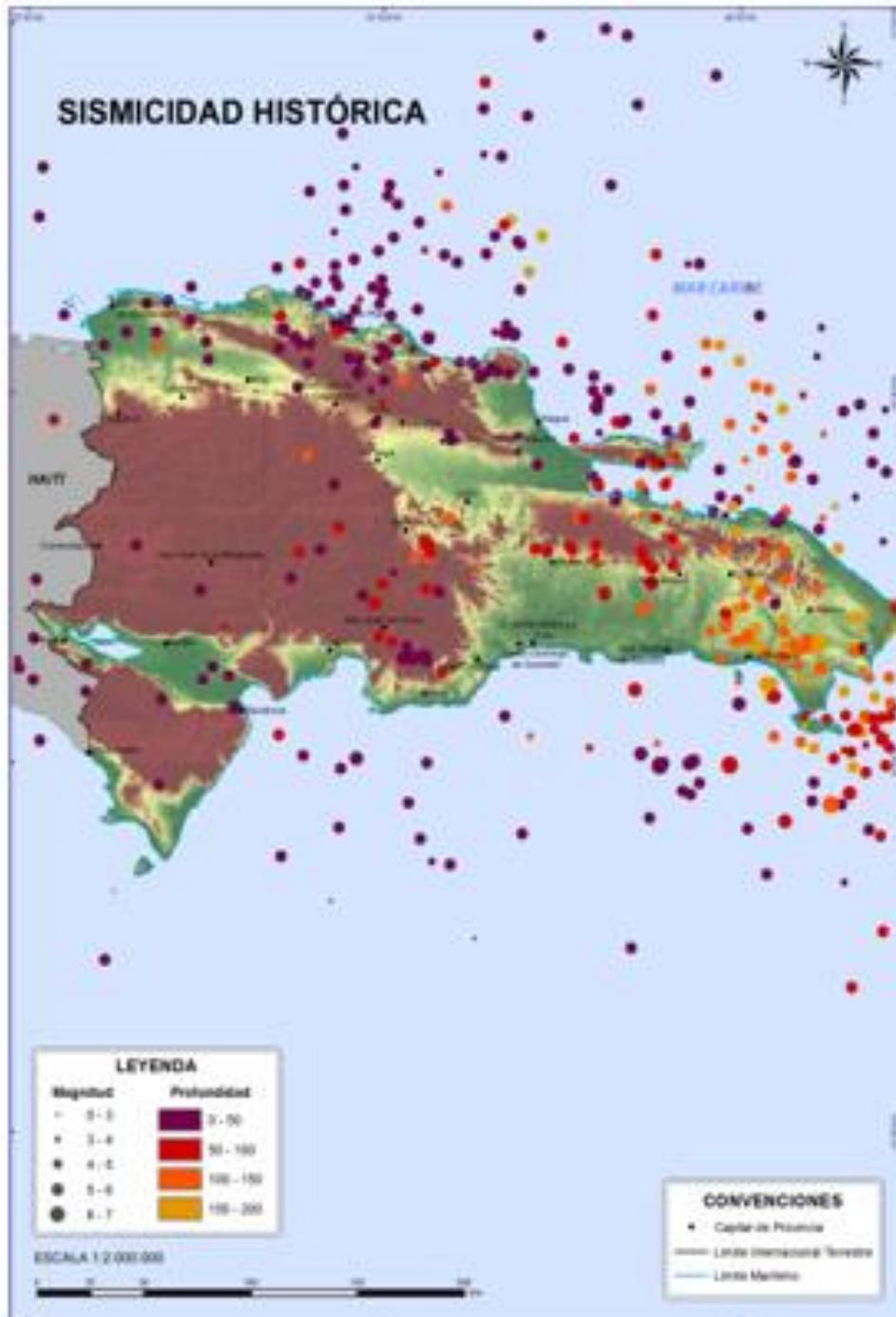


Figura 14: Sismicidad Histórica. Fuente: Rosario Michel, G. (2012).

En la República Dominicana los sismos más recientes son el ocurrido el 22 de septiembre del 2003, el cual afectó considerablemente las ciudades de Puerto Plata y Santiago de los Caballeros ubicadas en la zona norte del país, la zona más sísmica de la isla (fig. 15), un alto porcentaje de las viviendas sufrió daños estructurales importantes así como muchas escuelas, dos de las cuales colapsaron (MEPyD, 2013).

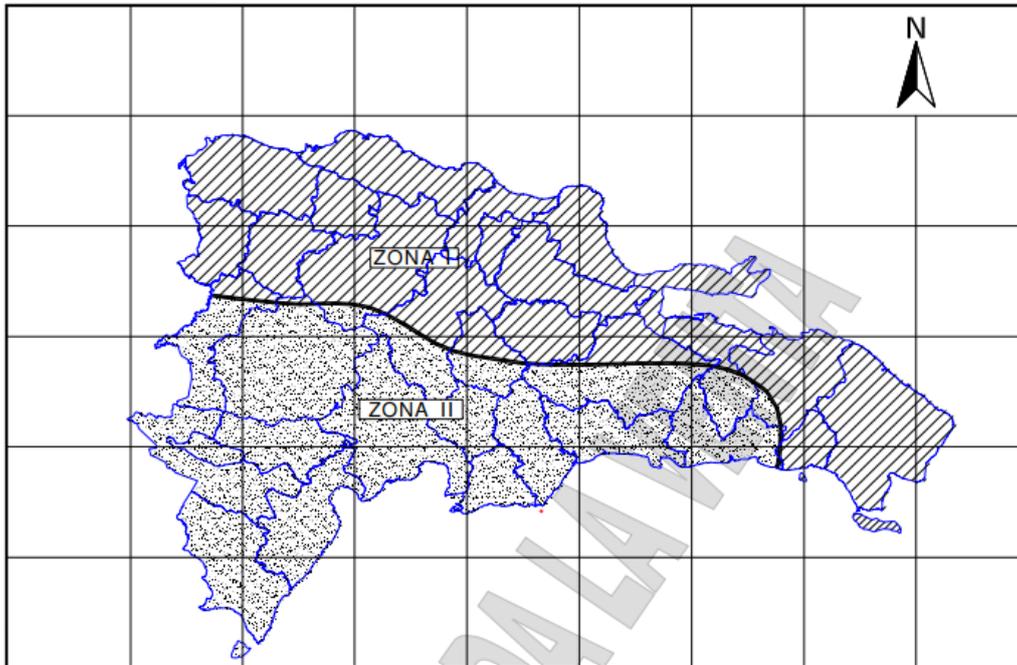


Figura 15: Zonificación Sísmica. Fuente: Reglamento Sísmico R-001 (2011).

3.1.2 Amenaza de ciclones tropicales

La más frecuente de las amenazas climáticas a la que se encuentra expuesta la República Dominicana son los ciclones tropicales. Estos se enmarcan dentro de una temporada que se extiende de junio a diciembre cada año.

Los huracanes corresponden a la categoría más fuerte de ciclones tropicales que son sistemas de tormentas con una circulación alrededor de un centro de baja presión. Se generan normalmente en la zona tropical del planeta, por lo cual se les conoce normalmente como ciclones tropicales y pueden recorrer miles de kilómetros, cambiando su intensidad en función de las condiciones oceánicas y meteorológicas que encuentran en su trayectoria.

Existen registros desde el 1502 cuando un huracán destruyó por primera vez la Villa de Santo Domingo, situada en la margen oriental del río Ozama y luego en los años de 1508 y 1509, fue atacada nuevamente en la actual localización de la margen occidental. Registros más documentados aparecen desde el 1851 recordándose en la población por sus efectos, los ciclones de San Cirilo y San Ciriaco a comienzos del siglo XX, y más adelante el famoso ciclón de San Zenón del 1930 con su gran cantidad de víctimas y destrucción generalizada de la ciudad de Santo Domingo (fig. 16). El 22 de septiembre del 1998, el huracán Georges azotó la República Dominicana, produciendo 283 muertes y miles de viviendas dañadas. De un total de 4,806

escuelas, 1,334 quedaron afectadas, 203 dañadas, 203 totalmente destruidas y 433 fueron utilizadas como albergues.

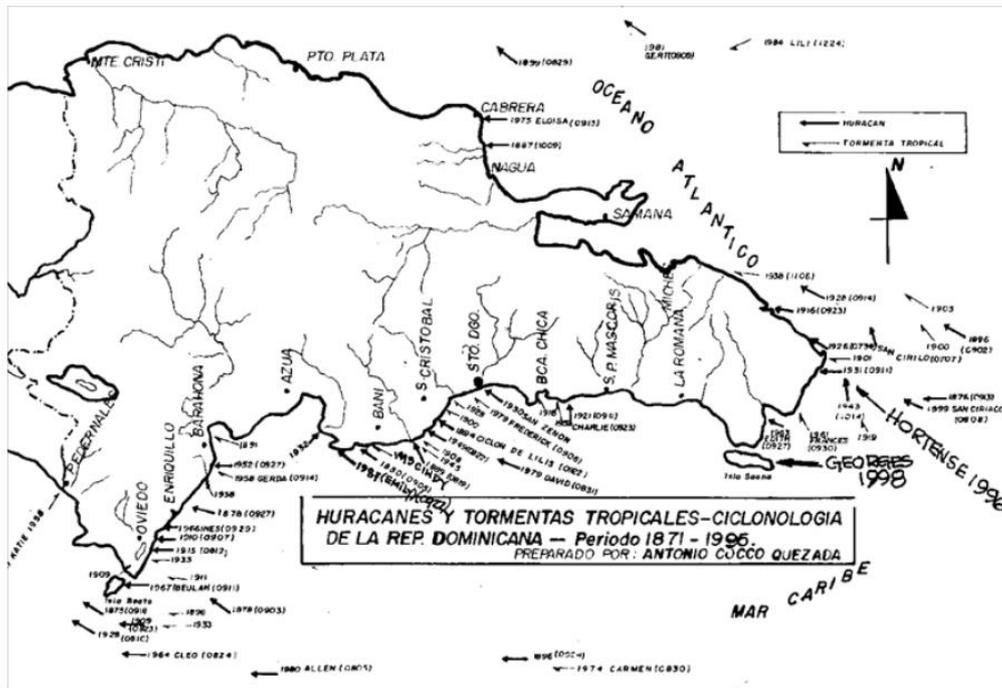


Figura 2: Huracanes y Tormentas Tropicales. Fuente: Cocco Quezada, A (2013).

3.1.3 Amenaza de inundaciones

Una inundación se define como la ocupación del agua de zonas que normalmente están libres de ella. Los procesos de inundación pueden ocurrir bien sea por el desbordamiento de ríos, por el crecimiento de la marea o por eventos como por ejemplo un tsunami que crea una inundación súbita en la zona costera (fig. 17).

Dada la frecuencia de las tormentas, huracanes, ciclones y demás fenómenos climáticos, República Dominicana constantemente tiene zonas inundadas, víctimas y edificaciones destruidas. Varias escuelas se encuentran ubicadas en zonas donde las inundaciones son frecuentes, lo cual hace que no haya una buena calidad en el estudio y también resulta varias veces en el cierre de la escuela. Disponer de una infraestructura educativa segura es primordial, ante un desastre natural, serán las aulas de las escuelas las que se convertirán en refugios de las familias que pierden sus hogares. Esto implica que la seguridad de las escuelas y sus ocupantes requiere de un nivel de resiliencia aún mayor para que la comunidad siga percibiendo que se trata de un lugar seguro.



Figura 3: Inundaciones en República Dominicana. Fuente: Que pasa MediaNetwork Web (2017).

3.2 Vulnerabilidades estructurales

La Organización Panamericana de la Salud (2000) describe que una vulnerabilidad estructural ocurre cuando una estructura es susceptible a presentar posibles daños en aquellas partes de la edificación que lo mantienen en pie ante un sismo intenso, por ejemplo, esto incluye cimientos, columnas, muros, vigas y losas.

Para identificar las vulnerabilidades que afectan a las edificaciones escolares de la República Dominicana, existentes y de obra nueva, fue importante hacer una revisión y análisis de los estudios nacionales e internacionales sobre la materia, como el realizado por López & Martínez (2003) sobre los daños observados en las escuelas de Puerto Plata por el terremoto de 2003, el informe de Reyes (2015) sobre la evaluación cualitativa de la calidad sismo-resistente de los nuevos planteles escolares y el realizado por el World Bank (2017) para escuelas más seguras en la República Dominicana, a partir de los resultados presentados en estos estudios se identificaron las vulnerabilidades más comunes que presentan las escuelas de la República Dominicana:

a) Diseño deficiente

La falta de la consideración adecuada de las cargas sísmicas o de viento y los errores en la distribución de masas y rigideces pueden llevar a efectos indeseables como el efecto columna corta, muros no estructurales adosados a columnas que colapsen fácilmente y

plantas irregulares que pueden causar torsión y esfuerzos adicionales a los elementos sismo-resistentes.

b) Conexiones inadecuadas

Esta vulnerabilidad consiste en conexiones deficientes entre vigas y columnas que pueden fallar bajo cargas extremas, y la falta de juntas de expansión adecuadas puede causar daños en diferentes partes de la estructura.

c) Materiales de baja calidad

El uso de materiales de baja calidad o inadecuados para las condiciones específicas del sitio, mala dosificación, tamaño incorrecto de los agregados, no usar la cantidad de acero requerido.

d) Técnicas constructivas inapropiadas o ejecución deficiente

Un personal no capacitado da como resultado una mala ejecución de los detalles constructivos que pueden comprometer la integridad estructural de una edificación, como es un vaciado incorrecto, mala colocación de estribos en columnas y vigas, uso excesivo de pañete y elementos mal alineados.

e) Construcción sin adherencia a las normas y estándares sismo-resistentes

Existen la normativa de Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001), adaptada del ASCE 7 y aplicada desde 2011, pero su aplicación no siempre ha sido uniforme.

Las consecuencias que estas vulnerabilidades pueden ocasionar en una edificación que se enfrenta a un evento extremo pueden ser tan graves como:

- Daños estructurales: Fisuras, colapsos parciales o totales de la estructura.
- Riesgos para la seguridad: Amenaza directa para la vida de los ocupantes y usuarios del edificio.
- Costos económicos: Altos costos de reparación y reconstrucción, así como pérdidas económicas indirectas por la interrupción de actividades.

3.2.1 Efecto columna corta

El efecto de columna corta consiste en una restricción parcial del desplazamiento lateral del cuerpo de una columna, que obliga a concentrar toda la demanda de deformaciones y tensiones en su porción libre (Beauperthuy & Urich, 2011). Se presenta cuando hay paredes que no

abarcan toda la altura, sino que dejan un espacio vacío para la ventana, como ocurre en la mayoría de las escuelas de República Dominicana que no tienen la altura total del entrepiso por razones arquitectónicas de iluminación o ventilación, induciendo una falla en la parte superior de las columnas (fig.18 y fig.19).



Figura 4: Escuela San Marcos, Puerto Plata 2003. Fuente: López et al., (2003).



Figura 5: Escuela Especial De Sordomudos Cristiano para Educación, Marañon, Santo Domingo Norte. Fuente: Reyes (2015).

3.2.2 Irregularidad en planta

De acuerdo con el informe realizado por el World Bank, que data de 2017, las escuelas visitadas para este informe técnico, presentaron irregularidad en su diseño en planta. En el reporte se presenta que el concepto modular simple (fig. 20) que el Ministerio de Obras Públicas y construcción (MOPC) presentó durante la misión, estas mismas escuelas, supervisadas por la Oficina de Cooperación Internacional (OCI) del MINERD, es evidente una irregularidad en planta que podría causar torsión y esfuerzos adicionales a los elementos sismo-resistentes. Con vacíos interiores en el diafragma que separan la edificación en varias estructuras independientes, aumentando innecesariamente la vulnerabilidad de las escuelas. Esta planta irregular es totalmente diferente a la que comúnmente presentan la mayoría de los planteles escolares en el país (fig.21).

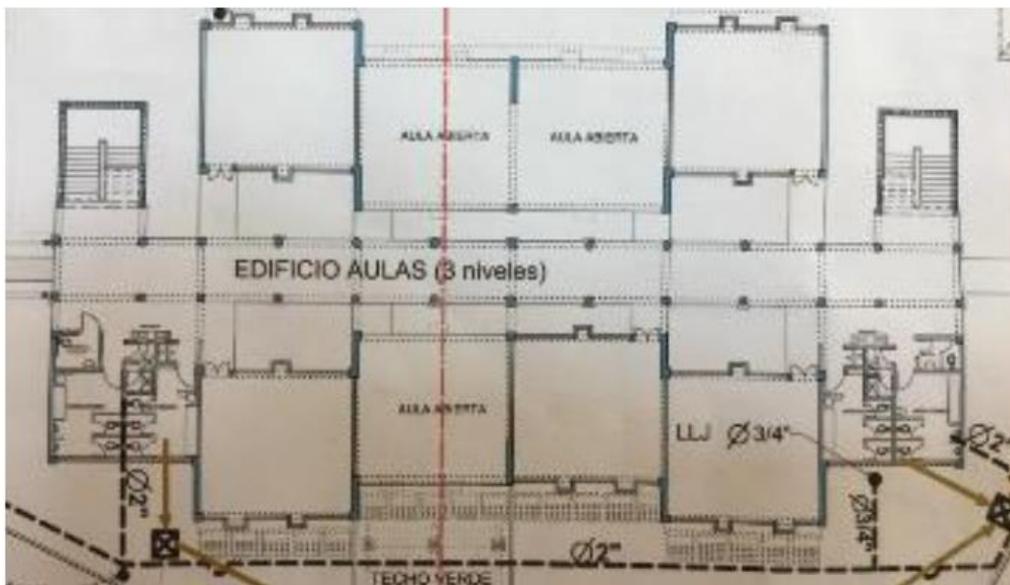


Figura 7: Escuela en construcción Juan Bosch 1 con irregularidad en planta. Fuente: World Bank (2017).

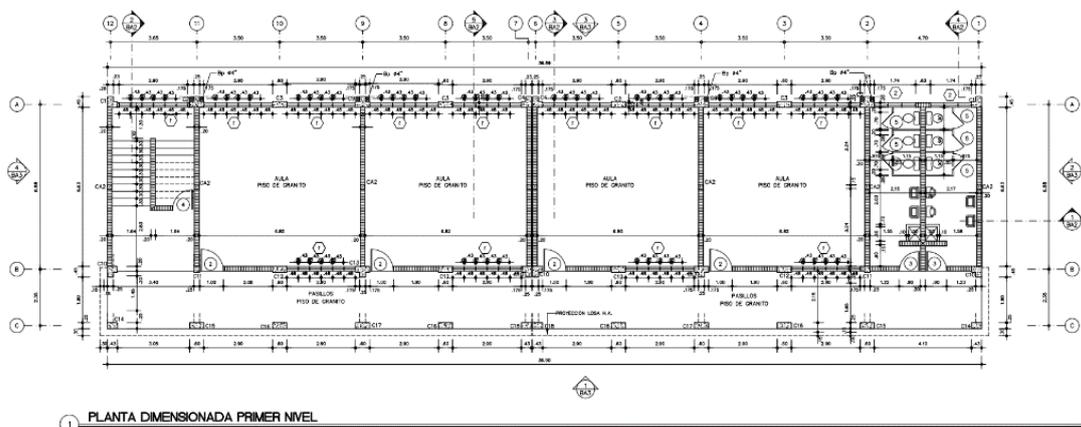


Figura 6: Planta arquitectónica Plantel escolar. Fuente: Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (2013).

3.2.3 Conexión viga-columna

Las conexiones viga – columna de concreto armado están conformadas por la unión entre una columna, y una o más vigas. Son una parte fundamental de las estructuras, ya que tienen una gran influencia en el comportamiento sísmico de una edificación. Una conexión con un diseño inadecuado, puede ocasionar la falla de la estructura, aun cuando las vigas y columnas se mantengan íntegras. En la conexión el punto más crítico se da en el nudo, donde se equilibran los cortantes y los momentos de la columna y las vigas (Patrón Corrales, 2020).

La Reforma y José Dubeau, dos de las escuelas afectadas por el terremoto de 2003 presentaron este fallo en su estructura, en la (fig. 22) se aprecia que la conexión entre las columnas del pasillo y la viga es evidentemente deficiente, el apoyo de la viga sobre la columna no excede dos pulgadas, esto provoca que no haya buena transmisión de cortante ni de momento entre las columnas y la viga, estas columnas que no colapsaron mostraron un deterioro severo en su parte superior (López & Martínez, 2003).



Figura 8: Escuela La Reforma, falta de aros, conexión Viga-Losa. Fuente: López et al., (2003).

La escuela José Dubeau, en su segundo nivel se ve el pórtico muy agrietado en la conexión viga-columna, particularmente en la viga que descansa sobre la columna (fig. 23). Otro problema recurrente es que las varillas de la columna aparentan estar cortadas dentro de la viga sin proveer suficiente anclaje. También se aprecia falta de acero de confinamiento. Por último, pudo apreciarse que el tamaño del agregado era mucho mayor que lo normal, lo que demuestra una ejecución deficiente y materiales de baja calidad.



Figura 9: Escuela José Dubeau, deterioro de la conexión Viga-Columna. Fuente: López et al (2003).

3.2.4 Muros no estructurales y juntas de separación

En cuanto a los elementos de fachada y tabiques, predomina el uso de mampostería con bloques de concreto. Cuando se diseña y construye correctamente, los bloques de mampostería en hormigón tienen refuerzo distribuido horizontal y verticalmente y se encuentran separados del sistema sismo-resistente.

Sin embargo, cuando erróneamente los muros son construidos sin juntas de separación con los pórticos de hormigón, que sí resisten cargas horizontales, se genera una situación de vulnerabilidad en la cual los muros colapsan fácilmente dentro de su plano ya que son más rígidos que el pórtico y atraerán esfuerzos laterales, como se aprecia en la (fig. 24).



Figura 10: Escuela Concepción Gómez, daños en paredes de bloques, dirección longitudinal. Fuente: López et al (2003).



Figura 25: Centro educativo básico, kelbyn obrero, mala ejecución de juntas y uniones. Fuente: Reyes (2015).



Figura 26: Escuela Básica La Redención, columna corta y muros no estructurales unidos a columna. Fuente: Reyes (2015).

En la gran mayoría de las escuelas del país se presentan muros no estructurales unidos a las columnas (fig. 25) así como una mala ejecución de uniones y juntas (fig. 26), el hecho de que se consideren como elementos no estructurales -muros divisorios- no implica que no afecten la respuesta de la estructura, por el contrario, estos elementos deberían ser considerados para el diseño y construcción de las nuevas escuelas.

3.2.5 Juntas de expansión

Hay que tener en cuenta para edificar en zonas sísmicas la simetría del conjunto de elementos, la distribución de los muros es importante que sea equitativa en el diseño, tanto en planta como en elevación, equilibrando el peso, evitando los momentos torsor. La escuela la Reforma muestra varias peculiaridades, se pudo observar que los pasillos tienen doble losa de piso, de forma tal que el techo del pasillo exterior está más bajo que el techo de los salones. El techo de los salones es también el piso de la segunda planta y se extiende al pasillo, por lo que el pasillo tiene doble techo la rotura de una posible junta de expansión que se da en la unión de un módulo de dos niveles con un módulo lateral de un nivel, los elementos estructurales allí concentrados proporcionan una zona más rígida que comparten los dos módulos (López & Martínez, 2003).



Figura 27: Escuela Reforma – doble losa. Fuente: López & Martínez (2003).

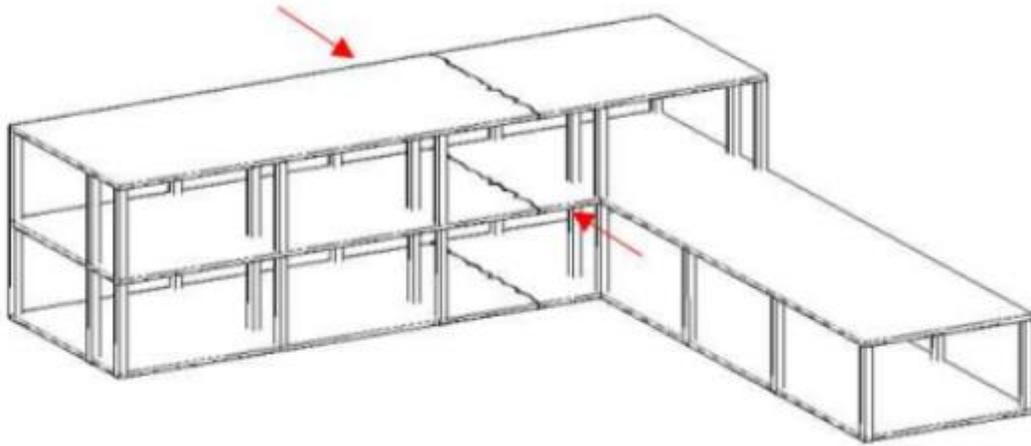


Figura 28: Asimetría del edificio, rotura de junta. Fuente: Moreno (2014).

3.2.6 Materiales de baja calidad y ejecución deficiente

El uso de materiales de baja calidad así como la falta de refuerzo adecuado en concreto, acero y otros componentes estructurales, son errores comunes en la construcción escolar dominicana, lo que lleva a una ejecución deficiente durante el proceso constructivo, así evidencia Reyes en su informe del año 2015, al analizar un total de 57 escuelas, en las provincias de Espaillat y Santo Domingo, la estadística mostro que en la provincia de Santo Domingo un 33% de las escuelas visitadas su calidad fue deficiente, 14 % regular, y la categoría de buena con un 53% corresponde a la calidad de las escuelas terminadas, pero sin garantía de que estas hayan sido bien ejecutadas, ya que todas presentan columnas cortas, aspecto importante para que estas fallen ante un terremoto importante.



Figura 29: Politécnico Madre Rafaela Ibarra, no hay continuidad en algunos ejes. Fuente: Reyes (2015).



Figura 30: Escuela básica Marañón 1, inclinación inaceptable sísmicamente de una de las columnas del segundo piso. Fuente: Reyes (2015).



Figura 31: Escuela La Redención, Calidad de concreto deficiente y presencia de columnas cortas.
Fuente: Reyes (2015).



Figura 32: Escuela básica Marañón 1, desface de columna fuera de su eje bajo nivel de piso, efecto inaceptable sísmicamente. Fuente: Reyes (2015).



Figura 33: Escuela básica Básima, columna apoyada sobre muro. Fuente: Reyes (2015).

3.2.7 Colapso

Se denomina colapso estructural al daño que se produce a una estructura y que compromete la capacidad portante o de soporte de la misma, puede provocar desde un colapso estructural total, pasando por pisos, techos y/o paredes inclinadas, desplazamiento apreciable y permanente en la estructura, grietas en columnas, vigas losas (placas de piso) y/o paredes portantes, uniones viga columna (Gub.uy, 2021). Más que una vulnerabilidad el colapso representa el peor de los escenarios en los que puede verse una estructura.

La escuela José Dubeau sufrió colapso en una parte de sus estructuras inferiores aplastando el nivel inferior (fig. 34) consecuencia del terremoto de 2003, después de severas lesiones en sus partes a causa de los movimientos sísmicos la estructura no pudo mantener su estabilidad. Se pudo observar que los pasillos tienen doble losa de piso, de forma tal que el techo del pasillo exterior está más bajo que el techo de los salones, el techo de los salones es también el piso de la segunda planta y se extiende al pasillo, por lo que el pasillo tiene doble techo (López & Martínez, 2003).

Este liceo está localizado a un bloque de la Escuela La Reforma, y es la otra escuela que sufrió colapso. En este caso se derrumbó una parte del edificio principal que era una expansión posterior, el techo de la parte colapsada aparentaba descansar únicamente en la viga trasera y estaba conectado débilmente al resto de la estructura existente.



Figura 34: Escuela La Reforma, piso colapsado, terremoto Puerto Plata 2003. Fuente: López & Martínez (2003).

4 NORMATIVA ACTUAL PARA LA CONSTRUCCIÓN ESCOLAR EN RD

Este capítulo ofrece una revisión resumida y puntual de la normativa actual para la construcción escolar en la República Dominicana, analizando los reglamentos R-001 y R-023. La revisión de estos reglamentos permitirá identificar los puntos específicos donde se menciona el uso de prefabricados de hormigón, evaluando si la normativa admite y regula el uso de estos en la construcción general y, por ende, en la construcción escolar.

4.1 Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001)

El reglamento R-001, adaptado de la normativa ASCE 7, fue implementado en 2011 y establece los requerimientos mínimos que se deberán cumplir en el análisis y diseño sísmico de todas las estructuras que se erijan en el territorio nacional, para resistir los efectos de movimientos sísmicos, de tal forma que su estructura se mantenga estable, garantizando principalmente la seguridad humana.

El reglamento clasifica las edificaciones según su función o uso en cinco grupos: Grupo I incluye edificaciones e instalaciones esenciales; Grupo II abarca edificaciones e instalaciones riesgosas; Grupo III se refiere a edificaciones de ocupación especial; Grupo IV comprende edificaciones de ocupación normal; y Grupo V agrupa edificaciones no incluidas en los grupos anteriores.

El nivel de importancia que la R-001 le da a la infraestructura educativa corresponde al Grupo III: edificación de ocupación especial, donde predomina la seguridad y la protección de la vida de todas las personas que hacen uso de dichas edificaciones. Sin embargo, la resiliencia estructural para esta categoría no contempla la necesidad de que las estructuras puedan ser ocupadas de manera inmediata después de un evento o desastre natural, como es el caso de los hospitales y aeropuertos que hacen parte del Grupo I: Edificaciones e instalaciones esenciales.

En cuanto a su estructura, las edificaciones se clasifican en cinco grupos generales de acuerdo al sistema estructural utilizado para resistir las fuerzas sísmicas: Sistema Aporticado, Sistema de Muros, Sistema Dual, Sistema de Péndulos Invertidos o Sistema Estructural con una sola línea resistente y Sistemas Combinados. Estos a su vez están subdivididos en función de los materiales estructurales utilizados, y de su capacidad de absorción y disipación de energía. El sistema de muros, es el único que en su subclasificación menciona el uso de prefabricados con muros prefabricados intermedios de hormigón armado y muros prefabricados ordinarios de hormigón armado (fig. 35).

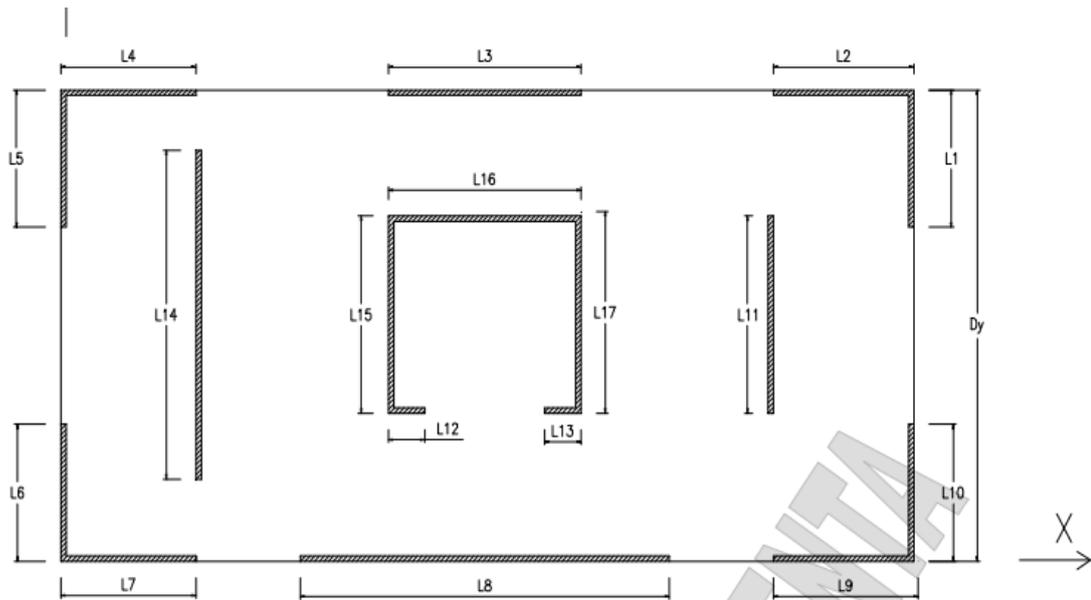


Figura 35: Sistema de muros ortogonales (x,y) Estructura Sistema 2. Fuente: Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001).

El R-001 aunque solo menciona el uso de prefabricados en un solo tipo de sistema de los cinco mencionados anteriormente, este no prohíbe el uso de los mismos, más bien en los artículos del 91 al 94 establece los criterios que las estructuras prefabricadas han de cumplir:

- Tener elementos sismo-resistentes en cada dirección, que garanticen que su comportamiento sea similar al de una estructura vaciada in situ.
- Las uniones deberán ser diseñadas para absorber y disipar la energía.
- Las losas constituidas por elementos prefabricados deberán tener la rigidez y resistencia suficientes para distribuir las fuerzas horizontales entre los elementos estructurales sismo-resistentes.
- Se deberá colocar una losa vaciada in situ sobre los elementos prefabricados, de un espesor mínimo de 5 cm Para los fines del diseño del diafragma.
- El diseño de las mismas, deberá cumplir con los requisitos del Capítulo 21, del American Concrete Institute, ACI-318.

Otro punto a tomar en consideración es que el reglamento en su artículo 89 indica que los edificios de pórticos rellenos de muros de mampostería con sistema aporcado, deberán ser tomados en cuenta en el modelo estructural los muros no estructurales construidos con materiales rígidos (mampostería, ladrillos, paneles de hormigón y poliestireno expandido u otros) que estén adosados a los elementos verticales del sistema sismo-resistente, y que coincidan con las líneas sismo-resistentes. Como se presentó en el capítulo anterior de

vulnerabilidades, en muros y juntas de separación (3.2.4), en la gran mayoría de las escuelas del país se presentan muros no estructurales unidos a las columnas, generando así una situación de vulnerabilidad e incumplimiento del reglamento vigente.

Para el análisis sísmico, se establece que todas las edificaciones deberán tener un sistema de elementos estructurales colocados en dos direcciones ortogonales para resistir las cargas gravitacionales y las fuerzas sísmicas predeterminadas. En caso de que los elementos estructurales no sean ortogonales en planta, las estructuras serán penalizadas por esta irregularidad. Las fuerzas sísmicas serán aplicadas en dos direcciones ortogonales entre sí y seleccionadas de tal forma que produzcan los efectos más desfavorables en los elementos estructurales. Para la estructuración, el reglamento detalla todos los requisitos para el planteamiento estructural, como la colocación de los elementos estructurales que forman el sistema resistente a cargas gravitacionales y a fuerzas horizontales, procurando una distribución regular de masas y de rigideces, que garanticen a la vez el flujo uniforme e ininterrumpido de las cargas, desde el techo hasta las fundaciones (fig. 36).

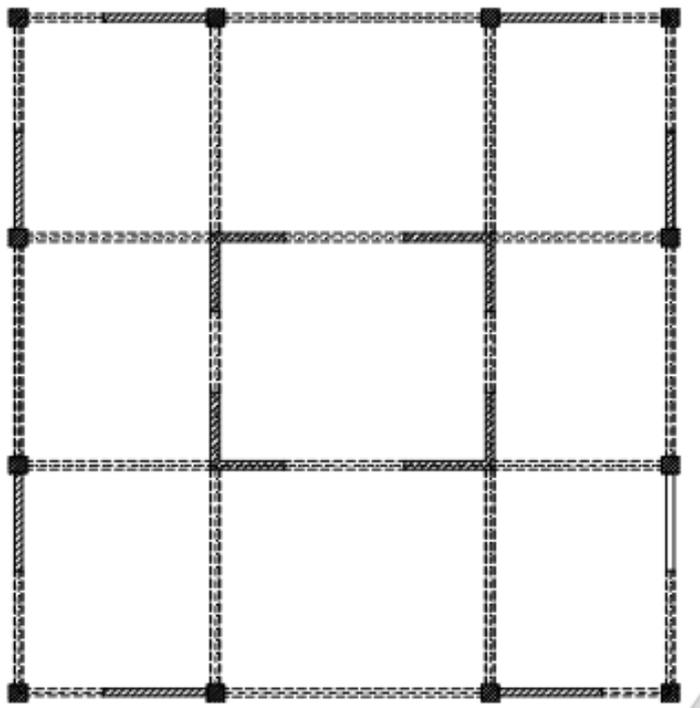


Figura 36: Ejemplo de distribución de los elementos resistentes en planta. Fuente: Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001).

4.2 Diseño de plantas físicas escolares niveles básico y medio (R-023)

El reglamento para diseño de plantas físicas escolares R-023, tiene por objetivo establecer los requisitos mínimos a cumplir en el diseño de la planta física escolar pública y privada de los niveles Medio, Básico y el pre-primario del nivel inicial, este complementa las especificaciones del R-001 y se enfoca en los detalles constructivos y los procedimientos de construcción que deben seguirse para asegurar la integridad estructural y la seguridad de las edificaciones escolares. Las siguientes recomendaciones generales son los criterios que deben cumplir las edificaciones escolares:

- Funcionalidad y habitabilidad
- Flexibilidad
- Simplicidad constructiva
- Coordinación modular
- Seguridad y/o estética
- Eficiencia y economía

Estos criterios como la funcionalidad y habitabilidad, quieren decir que el programa arquitectónico y el diseño cumpla con las exigencias funcionales del sistema educativo y las necesidades de los usuarios. La flexibilidad en la planta física escolar significa que debe ser adaptable y versátil en caso de crecer sus espacios o de necesitar modificaciones.

El resto de criterios como la simplicidad constructiva, coordinación modular, seguridad y/o estética, eficiencia y economía, se alinean con los criterios que caracterizan a las edificaciones prefabricadas. Respecto a su estructura el plantel escolar podrá ser de tres (3) tipos: a) Muros de Mampostería Armada, b) Acero y c) Pórticos en Hormigón Armado (preferible para edificaciones con más de 3 niveles).

El R-023 recomienda plantear soluciones que permitan que el proceso constructivo se realice con facilidad y rapidez, asimismo, el uso de materiales, técnicas y terminaciones cuyos resultados en términos de obra requieran costos mínimos de mantenimiento, lo mencionado anteriormente puede lograrse con soluciones prefabricadas.

En conclusión, el reglamento R-001 permite el uso de elementos prefabricados y no restringe su aplicación en la edificación general, por lo que pueden ser incluidos en el R-023 como sistema constructivo para edificaciones escolares, siempre y cuando como establece el R-001 las edificaciones que empleen estos elementos cumplan con los requisitos establecidos en los artículos 91,92,93 Y 94 y con los requisitos de la norma ACI-318.

5 SISTEMAS PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

5.1 Conceptos e historia

Según Grandoso (2008) en su artículo Industrialización v.s Prefabricación, el autor describe la industrialización como la aplicación a la producción de edificios de los procesos organizativos que se desarrollaron con la revolución industrial (técnicas de la ingeniería de producción), con el objeto de aumentar la productividad del sector. Para que se pueda hablar de industrialización se deben cumplir los siguientes factores:

- a) Continuidad de producción
- b) Normalización (estandarización de productos)
- c) Proceso constructivo integrado
- d) Organización del trabajo
- e) Mecanización (analizada como tendencia)
- f) Investigación y experimentación

En cuanto al término de prefabricación en cambio, como su nombre lo indica, se refiere a la producción de elementos constructivos y /o sistemas previamente a la ejecución de la obra que luego serán incorporados a la misma, mediante un conjunto de operaciones denominadas puesta en obra. Por lo tanto, lo dicho anteriormente, se refiere sólo a la mecanización y centralización en fábrica del proceso constructivo (o parte de él), aspectos estos importantes pero que sólo pueden configurar una parte del concepto de industrialización.

Otros autores como Gómez Jáuregui (2012) definen la industrialización como el proceso productivo que, de forma racional y automatizada, implica la aplicación de tecnologías avanzadas al proceso de diseño, producción, fabricación y gestión, empleando materiales, medios de transporte y técnicas mecanizadas en serie para obtener una mayor productividad.

Por otro lado, la prefabricación es el sistema constructivo basado en el diseño y producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica o taller fuera de su ubicación final y que, en su posición definitiva, tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa, conforman el todo o una parte de un edificio o construcción.

Uno de los primeros ejemplos de industrialización modular fue el encargo que obtuvo Leonardo Da Vinci en la región de Países del Loira en el siglo XVI, en el que planificó una serie de ciudades

modernas, estableciendo una fábrica encargada de la realización de elementos básicos constructivos con el fin de crear edificios de diferentes usos.

Estos elementos o piezas habían sido diseñados previamente con la idea fundamental de generar diversas tipologías edificatorias a partir de estos, de forma fluida y flexible. Durante ese mismo siglo XVI, destacaron la construcción de pabellones prefabricados que servía de refugios para el ejército francés durante las batallas con Inglaterra. Estos pabellones compuestos principalmente por madera como material principal, se montaban y desmontaban con gran facilidad debido al estudio previo de su diseño, además de también la facilidad de su transporte mediante barcos. Con la llegada de la Primera Revolución Industrial, en el siglo XIX, la construcción se vio muy favorecida desde el punto de vista de la industrialización, lo que la hizo experimentar grandes cambios. Algunos de estos cambios fueron los generados gracias al hierro fundido, con el que se construyeron puentes y cubiertas de edificios en Europa, o la producción de listones de madera en talleres ensamblados con clavos, lo que dio lugar a los edificios de tipología Balloon Frame (fig. 37).



Figura 37: Tipología Balloon Frame. Fuente: *The Language of Carpentry, Blog* (2024).

La primera patente de edificio prefabricado apareció en EEUU en el año 1889 (fig. 38), gracias al arquitecto Edward T. Potter, que diseñó módulos tridimensionales en forma de cajón apilable. Ya en el siglo XX, uno de los principales impulsores de la construcción modular prefabricada fue el diseñador e ingeniero francés Jean Prouvé.

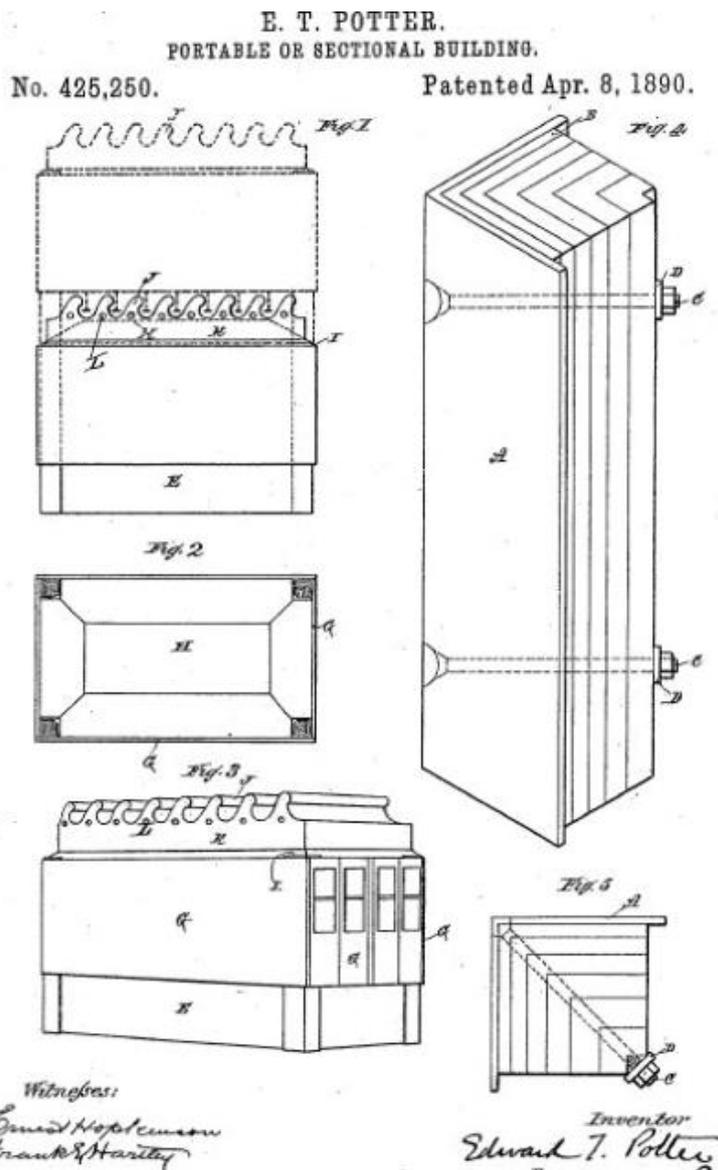


Figura 38: Primera patente de edificio prefabricado por Edward T. Potter (1889).
Fuente: Wikipedia (2024).

En un primer momento Prouvé empezó trabajando como herrero, aunque más tarde empezó a diseñar mobiliario y decoración lo que le permitió conocer a algunos arquitectos de renombre como Le Corbusier, al entrar a formar parte de la Union des Artistes Modernes. Este contacto tan estrecho con el mobiliario, le hizo entender la lógica de las viviendas en cuanto a su composición lo que le llevo a afirmar que «no existe diferencia alguna entre la construcción de un mueble y la de una casa».

Tras la Segunda Guerra Mundial, Prouvé participa en diferentes proyectos de arquitectura por su saber acerca de los metales, lo que le permite crear y diseñar diferentes elementos como las fachadas ligeras, el techo reticular de superficie variable o el Tabouret (sistema constructivo de

dos elementos: poste y viga). Uno de los proyectos que más destaco en cuanto a su sistema constructivo y a la facilidad de montaje y desmontaje fueron la casa desmontable de 8x8, que parten de la idea del sistema Tabouret, con un apoyo central y una viga principal como elementos base para ensamblar el resto de componentes de fachada y cubierta.

Jean Prouve empezó así a ampliar el catálogo de patentes y productos prefabricados en serie, por lo que empezó a trabajar con arquitectos de toda Europa, aunque sus trabajos se centraron en Francia. En 1954, llevó a cabo la construcción de su casa familiar en Nancy (fig. 39), realizada a su imagen y semejanza, enteramente mediante módulos.

Durante toda su vida, Prouvé estuvo en contacto con diferentes agentes de la construcción y entendía que el trabajo en equipo de forma colaborativa era el fin más importante, él decía: «Una obra construida solo puede ser colectiva, poco importa la firma». Con esta afirmación del propio Prouvé se deja claro que la arquitectura modular industrializada tiene como primera premisa, el trabajo de forma colaborativa de los diferentes agentes que intervienen en el proceso constructivo con el fin de obtener edificaciones lo más eficientes y sostenibles posibles.

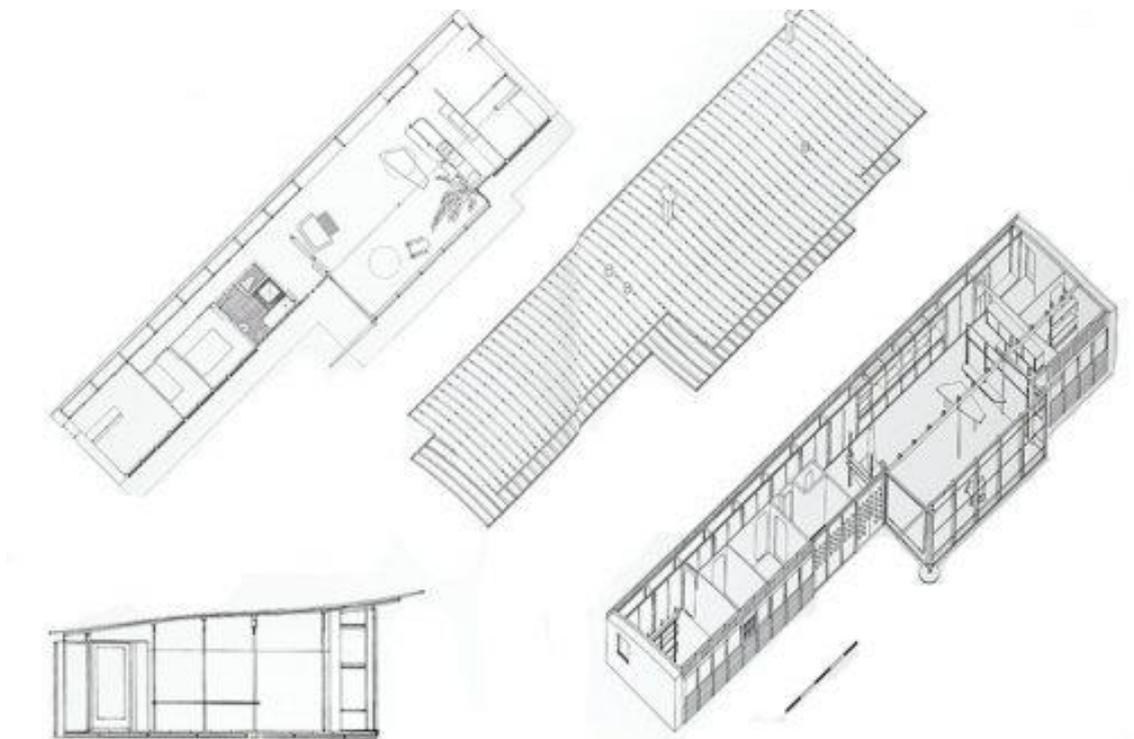


Figura 39: Casa Nancy cosntruida por Jean Prouve (1954). Fuente: Wikiarquitectura (2024).

Según Salas Serrano (2010) existen cuatro sistemas diferentes de producción de elementos prefabricados:

- Sistemas cerrados: los elementos se fabrican conforme a especificaciones internas del propio sistema. Responden únicamente a reglas de compatibilidad interna y el proyecto arquitectónico ha de subordinarse a los condicionantes del sistema.



Figura 40: Sistema cerrado, Edificio Lagutenko-Posokhin, Moscow. Fuente: X (antes Twitter), David Bela (2020).

- Empleo parcial de componentes: la gama de productos y prestaciones es más o menos fija admitiéndose ciertas variaciones dimensionales o de pequeña entidad. Su empleo no requiere un grado de industrialización determinado de sus realizaciones y pueden utilizarse en obras o proyectos claramente tradicionales.
- Sistemas tipo mecano: son resultado de la evolución hacia una apertura “acotada” de los sistemas cerrados, preparados para combinarse en múltiples soluciones suministradas por distintos productores que respetan voluntariamente un lenguaje combinatorio definido y acotado.
- Sistemas abiertos: constituidos por elementos o componentes de distinta procedencia aptos para ser colocados en diferentes tipos de obras, industrializadas o no, y en contextos diversos. Suelen valerse de juntas universales, gamas modulares acotadas y flexibilidad de proyecto prácticamente total.



Figura 41: Sistema Abierto, Complejo La Grande Borne, Grigny, París, Francia. Fuente: Wikimedia (2024).

A lo largo de dos décadas, la prefabricación basada en sistemas de diseño cerrados, cuyos elementos representativos eran grandes paneles de hormigón (fig. 42), se fue desarrollando en Europa, especialmente en los países del este y los países escandinavos. Este hecho fue debido a un contexto de gran demanda de edificación residencial y pocos recursos económicos consecuencia de la Guerra Mundial (Escrig Pérez, 2010).



Figura 42: Edificio Lagutenko-Posokhin, Moscow, 1948. Wikimedia (2024).

A partir de 1970, en los países de la Unión Europea, la demanda de viviendas en edificios en altura disminuyó, siendo sustituida por la edificación de viviendas unifamiliares de mayor calidad. La prefabricación a base de sistemas cerrados de viviendas trató de evolucionar,

buscando en la fase de producción una mayor flexibilidad, elasticidad y variación, intentando hacer posible la consecución desde estas fábricas de series cortas y diversificación del producto.

Este hecho sentó las bases para un futuro sistema de prefabricación abierto (fig. 43). A finales del siglo XX, la construcción industrializada con sistemas cerrados de diseño quedó obsoleta. Gran parte de los edificios construidos con este sistema, fueron abandonados y demolidos, y la construcción de edificios de viviendas en altura se realizaba mediante sistemas tradicionales.



Figura 43: Complejo La Grande Borne, Grigny, París, Francia. Fuente: Wikimedia (2024).

En cambio, empezó a prosperar la prefabricación de edificios públicos (escuelas, hospitales, oficinas, etc.) y edificios industriales (fig. 44). La industrialización de la construcción se desarrollaba a base de grandes elementos prefabricados de hormigón. Los avances tecnológicos aplicados a este material permitieron prefabricar elementos estructurales y constructivos de variedad de formas y calidades no conseguidas hasta el momento.

Debido a la crisis económica actual, la demanda de edificación residencial ha sufrido un descenso significativo. Este hecho ha afectado principalmente a empresas del sector de la construcción, en especial aquellas que utilizan un sistema de construcción convencional. En cambio, se ha abierto un abanico de posibilidades para las empresas que realizan prefabricados de hormigón. Estas dejaron apartado los sistemas cerrados de diseño y han apostado por una producción seriada o de catálogo de componentes o partes de edificios. Paulatinamente, los productores y la ingeniería han permitido una mayor flexibilidad en el diseño de edificios prefabricados, dando así respuesta a las demandas de calidad mínimas requeridas por el sector. La evolución de los procesos de producción de elementos prefabricados de hormigón se ha

realizado a partir de dos aspectos clave: mejorar los medios de producción y optimizar la organización de la misma (Escrig Pérez, 2010).



Figura 44: Edificio industrial, Polígono Ind. Santiago-Provasa, Barberá del Vallés (Barcelona) Estructura y cerramientos de hormigón prefabricado. Fuente: Escrig Pérez (2010).

5.2 Coordinación dimensional

Como se mencionaba en el apartado anterior, el prefabricado ha revolucionado la manera en que se diseñan y construyen edificaciones, ofreciendo mayor eficiencia, calidad y sostenibilidad. Este método constructivo se basa en la fabricación de componentes en una fábrica, los cuales luego se transportan y ensamblan en el sitio de construcción.

Cabe destacar que, antes de llegar a obra, una parte esencial del proceso del prefabricado que garantiza el éxito del proyecto es la coordinación dimensional previa y el planteamiento estructural del mismo. Un proyecto prefabricado consiste en un conjunto de elementos o componentes que encajan entre sí y trabajan como un todo para resistir las cargas a las cuales se somete la estructura.

La coordinación dimensional se puede definir como un sistema racional para fijar y relacionar las dimensiones y las disposiciones de los elementos que intervienen en una construcción, actuando como determinante para la unión de un elemento con otro. Por tanto, es una convención sobre los tamaños. Su objetivo es la normalización de las series de dimensiones que deben tener los elementos constructivos para racionalizar su fabricación y facilitar su puesta en obra sin cortarlos ni desecharlos, propiciando la intercambiabilidad de componentes (E Barberá, s.f) (Del Águila, 2006) (AENOR, 1997).

Las ventajas que aporta la coordinación dimensional son (AENOR, 1997):

- Facilitar la prefabricación.
- Mejorar la cooperación entre proyectistas, fabricantes, distribuidores, contratistas y empresas.
- Reducir el tiempo en el diseño de elementos y en los detalles de puesta en obra.
- Mejorar las técnicas de CAD.
- Dimensionar los componentes de modo que se eviten los procesos de corte y ajuste en la obra.
- Obtener la máxima economía de fabricación de los componentes y, por tanto, de su coste.
- Reducir la necesidad de fabricar componentes con medidas especiales.
- Aumentar la gama de componentes mediante la intercambiabilidad.

La norma UNE 41604 de Construcción de edificios, coordinación modular. Principios y reglas. (AENOR, 1997), se plantea como objetivo lograr las ventajas citadas en el apartado anterior. Para ello, especifica el módulo básico, los multimódulos normalizados, el sistema de referencia, las normas para localizar los elementos de construcción, de dimensionar los componentes y de definición de los tamaños preferentes.

El sistema de referencia es un sistema de puntos, líneas y planos con referencia a los cuales se pueden determinar las dimensiones y posiciones de un componente, conjunto o elemento. Habitualmente se emplean retículas que pueden ser modulares básicas, si la separación entre líneas consecutivas es igual al módulo básico (fig. 45) o multimodulares, si la separación entre líneas es un multimódulo que puede variar para cada una de las dos direcciones de la retícula. En algunos casos como, por ejemplo, para colocar particiones, puede ser necesario interrumpir la retícula. La zona de interrupción de la retícula puede ser modular o no modular (fig. 46).

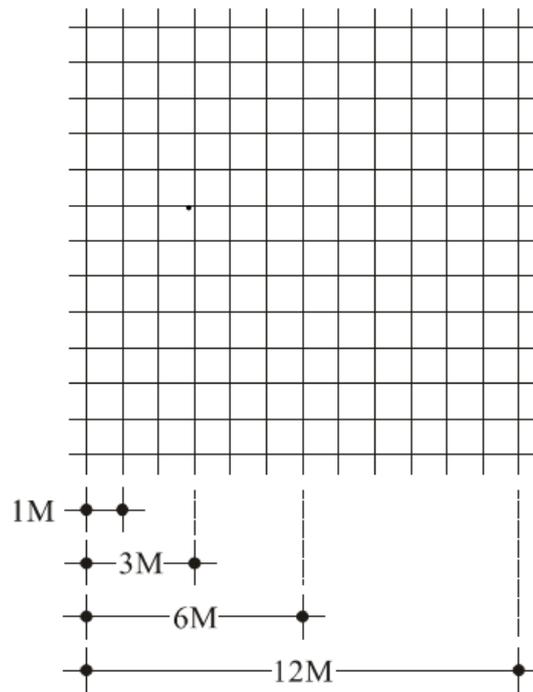


Figura 45: Retícula modular. Fuente: AENOR (1997).

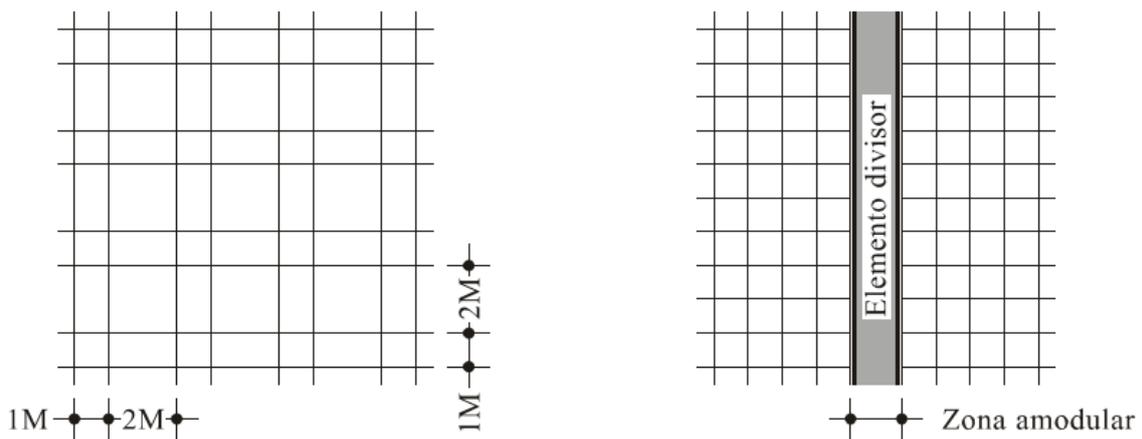


Figura 46: Retícula modular. Fuente: AENOR (1997).

Para la elección de los multimódulo hay que modular las plantas con el módulo básico que es un valor en muchas ocasiones excesivamente pequeño, por lo que se suelen utilizar retículas multimodulares para reducir el número de dimensiones modulares. Se pueden utilizar uno o varios multimódulos, incluso en ambas direcciones de la planta, siendo recomendable que los multimódulos mayores sean, a su vez, múltiplos enteros de los multimódulos menores (fig. 47).

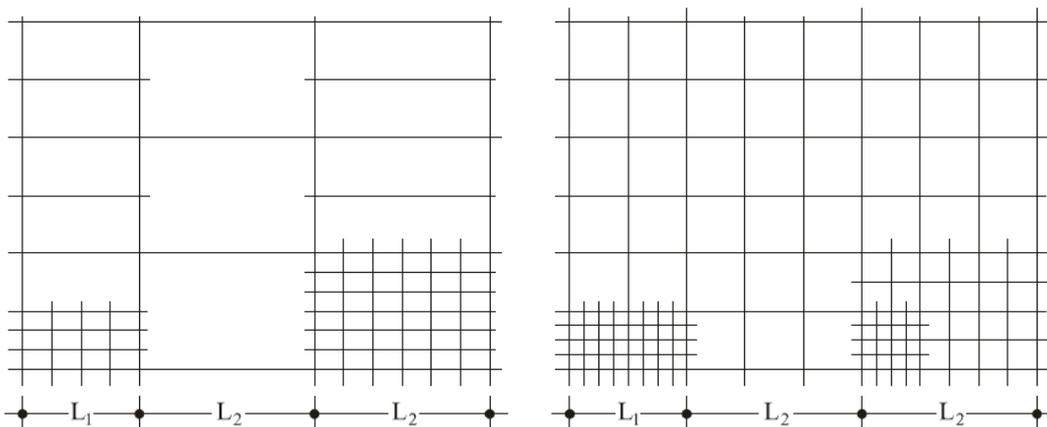


Figura 47: Multimódulos. Fuente: AENOR (1997).

La elección del multimódulo en edificación puede realizarse en función de la categoría de las habitaciones principales del edificio y del grado de flexibilidad del proyecto. Así, UNE 41604 propone las siguientes categorías funcionales:

- Categoría I: Edificios con habitaciones principales de dimensiones relativamente pequeñas como, por ejemplo, edificios residenciales, hoteles, hospitales, etc.
- Categoría II: Edificios con habitaciones principales de dimensiones medianas, según las necesidades de un grupo de personas, limitado de acuerdo a una actividad social concreta como, por ejemplo, edificios escolares, oficinas, etc.
- Categoría III: Edificios con salas de grandes dimensiones que suponen la participación de un gran número de personas: espectáculos, deportes, salas de exposiciones, edificios industriales, etc.

Y según el grado de flexibilidad de la planta:

- Categoría A: Planta rígida, con pocas posibilidades de variar las dimensiones y distribución de las habitaciones, por ejemplo, estructuras de paneles de grandes dimensiones con luces reducidas (Fig. 48.a).
- Categoría B: Planta relativamente libre, con posibilidad limitada de variar las dimensiones y distribución de las habitaciones, por ejemplo, muros de carga longitudinales (Fig. 48.b).
- Categoría C: Planta flexible, al no presentar dificultades la variación de las dimensiones y la distribución de los espacios, por ejemplo, sistemas estructurales sin soportes interiores o con luces muy grandes entre muros de carga (Fig. 48.c).

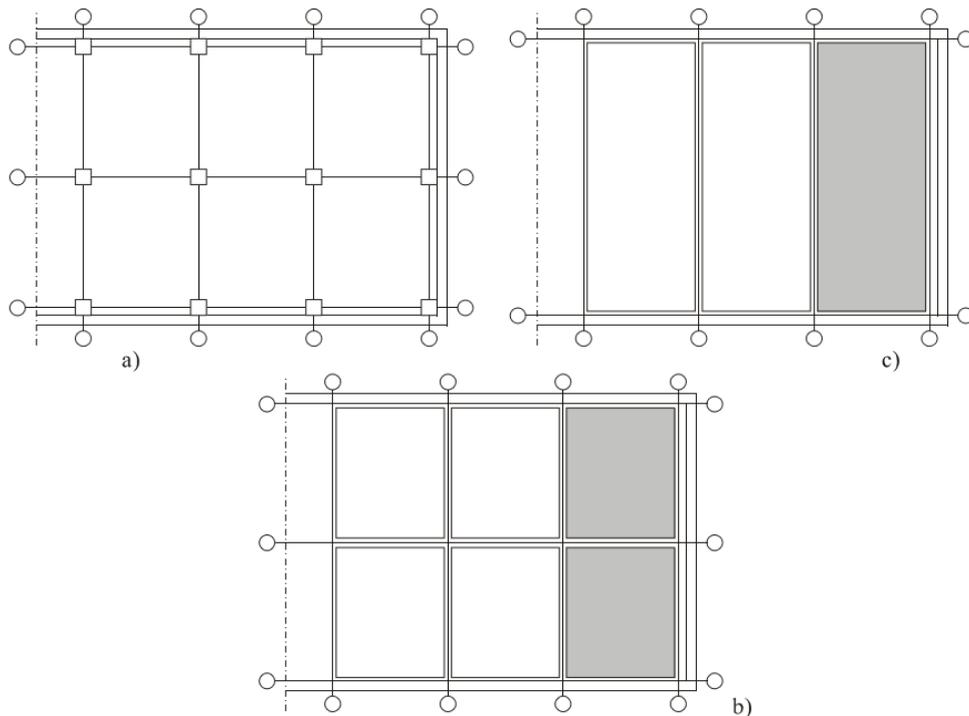


Figura 48: Plantas según grado de flexibilidad. Fuente: AENOR (1997).

En función de la experiencia, puede se recomiendan los valores de los multimódulos reflejados en la Tabla (fig. 49).

Categoría	Habitaciones principales		
	Pequeña I	Mediana II	Grande III
A	3M, <u>6M</u> , 12M		
B	3M, 6M, <u>12M</u>	3M, 6M, <u>12M</u>	
		o <u>15M</u> , 30M, 60M	
C	3M, 6M, <u>12M</u>		
	o 15M, 30M, 60M	15M, <u>30M</u> , 60M	15M, 30M, <u>60M</u>

Los multimódulos preferentes para la separación entre los distintos elementos que soportan cargas están subrayados.

Para la disposición de divisiones, anchos de huecos de ventanas y componentes puede añadirse un múltimódulo de 3M a un grupo de multimódulos de 15M, 30M, 60M

Figura 49: Tabla de elección de multimódulo. Fuente: AENOR (1997).

La Norma NEN 2883 es el resultado de un trabajo de numerosos profesionales y del Ministerio de la Vivienda Holandés y recoge el legado de los trabajos del grupo S.A.R (5). En dicha norma se establece el módulo básico $M = 100 \text{ mm}$ y se crea una malla con un multimódulo de $3M$. Dicha retícula, a su vez, se decala $1M$ en las dos direcciones ortogonales del plano con lo que queda configurada una malla escocesa o malla en tratán, tal y como se grafía en la (fig. 50)

En dicha malla existen bandas de ancho $1M$ y $2M$ alternativamente en las dos direcciones. Tanto los ejes de las bandas de $1M$ como los de las de $2M$, configura unas retículas ortogonales de multimódulo $3M$. En esta malla existen tres tipos de dimensiones principales: $n \times 3M$, $n \times 3M + 1M$ y $n \times 3M - 1M$, un ejemplo de esta malla es la (fig. 51).

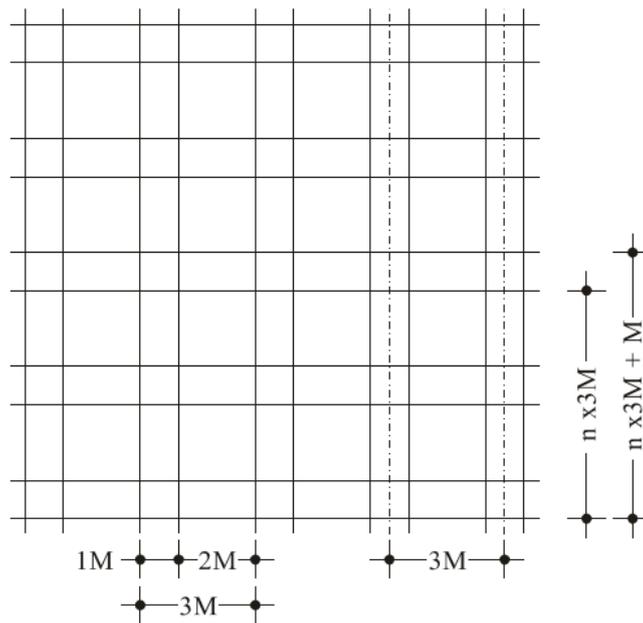


Figura 50: Malla con multimodulo. Fuente: Norma NEN 2883.

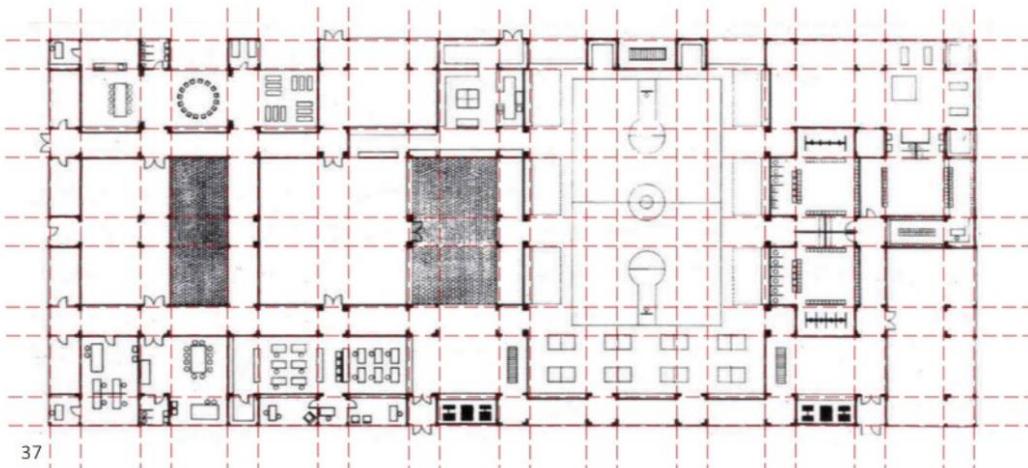


Figura 51: Centro para la comunidad judía, Trenton, New Jersey, 1957. Fuente: TFG Ortín Soriano, Pablo (2016).

Las tolerancias dentro de la coordinación dimensional son vitales, ya que en la construcción industrializada se exige mayor precisión que en la construcción tradicional, ya que los componentes deben fabricarse con un acabado y precisión que permitan su uso directo. La precisión en la construcción implica definir la inexactitud admisible en cada operación, conocida como tolerancias, las cuales afectan tanto las dimensiones de fabricación de los componentes como las dimensiones de ejecución de las obras.

Existen diversos tipos de tolerancias (Del Águila, 2006):

- Tolerancia de fabricación o dimensional: es la especificada para la fabricación de un elemento; limita las desviaciones dimensionales que se pueden generar en su proceso de producción. Suele existir una “tolerancia superior”, que es el error dimensional máximo admisible en + y, una “tolerancia inferior”, que es el error dimensional mínimo admisible en -; en ambos casos, con su signo.
- Tolerancia de montaje o de ejecución: es el error máximo admisible de la posición de un elemento en su colocación en obra respecto de la indicada en el proyecto.
- Tolerancia de junta: es la que limita las variaciones del espesor de la junta.

5.3 Planteamiento estructural

Los sistemas estructurales pueden clasificarse en dos grandes grupos según el tipo de cargas que soportan: aquellos destinados a soportar acciones verticales de origen gravitatorio y aquellos diseñados para soportar acciones horizontales, como viento y sismos (fig. 52) (E Barberá, s.f). Los elementos que conforman una estructura y transmiten las cargas son:

- Forjados, los que reciben cargas verticales y cargan sobre las vigas.
- Vigas, las que reciben cargas de los forjados y cargan sobre pilares.
- Pilares, los que reciben cargas de vigas y las transmiten a la cimentación.

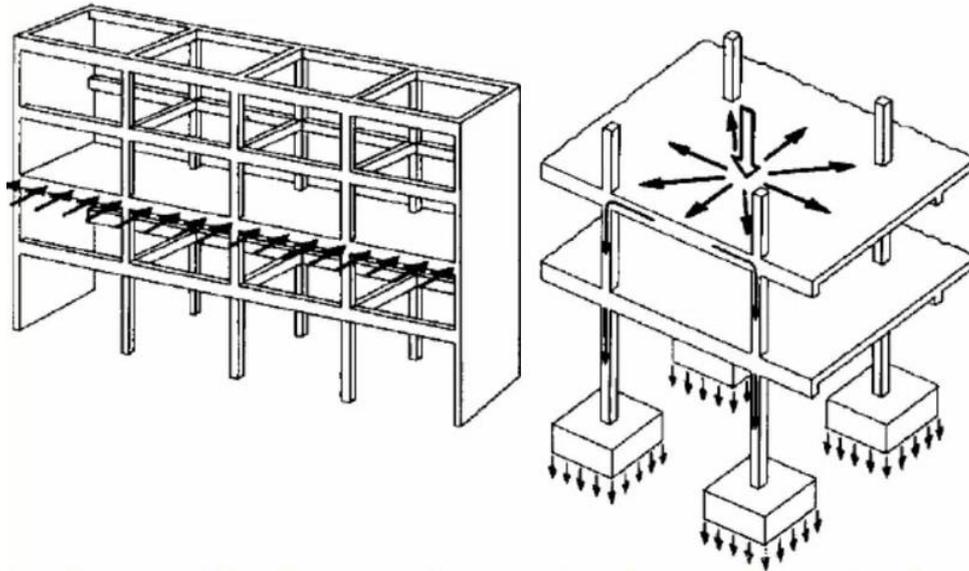


Figura 52: Acciones horizontales y acciones verticales. Fuente: Jhon INGenius, Facebook(2021).

Para cargas verticales, las estructuras reticulares de vigas y pilares que forman pórticos son comunes, con forjados unidireccionales o bidireccionales. En el caso de forjados unidireccionales, es necesario proyectar pórticos en una dirección y materializar pórticos en la dirección perpendicular para estabilidad lateral. Para muros de carga paralelos, se recomienda disponer de muros de arriostramiento perpendiculares. Cuando actúan acciones horizontales junto con gravitatorias, los pórticos de nudos rígidos son menos eficientes y necesitan elementos más resistentes como pantallas y núcleos, especialmente en edificios altos o con fuerzas sísmicas importantes. Las acciones eólicas y sísmicas pueden actuar en cualquier dirección, lo que requiere estructuras resistentes en planta en dos direcciones ortogonales (E. barberá).

Por tanto, desde las primeras fases del proyecto, el arquitecto, en coordinación con los expertos en prefabricación debe tomar una serie de decisiones importantes como son (fib T.G. 6.2, 2008):

- La posición y requisitos de los sistemas de estabilización.
- La posición de las juntas necesarias
- La luz de la malla de coordinación modular
- Las luces de vigas y forjados y posición de muros y pantallas
- El uso de paneles de carga.

El éxito del proyecto depende en gran medida del planteamiento estructural, los detalles y del cuidadoso diseño de las conexiones entre los elementos (PCI, 1999) (Elliott, 2002) (CPCI, 2007) (fib T.G. 6.2, 2008). Se deben tener presente los siguientes principios generales:

- La máxima economía se logra con la repetición de los elementos. Siempre que sea posible se deben utilizar secciones estandarizadas.
- Las vigas y elementos de forjado prefabricados de hormigón se diseñan, en la mayoría de los casos, como elementos biapoyados. Si bien, la continuidad, caso de ser necesaria, se puede lograr mediante conexiones más o menos complejas, que deben ser cuidadosamente diseñadas.
- La forma y tamaño de los elementos están a menudo condicionadas por el proceso de producción, transporte o de montaje.
- El pretensado mejora el comportamiento estructural y la economía de los elementos prefabricados.
- Los detalles se deben repetir tantas más veces como sea posible. Se debe procurar, siempre que sea posible, que los detalles similares sean idénticos.
- Las conexiones deben de ser lo más simples posible y, preferiblemente, deben estar estandarizadas.
- Hay que tener presente los efectos de los cambios de volumen causados por la retracción y la fluencia, así como por las variaciones de temperatura.

En el planteamiento estructural, el centro de masa es el punto donde se aplica la fuerza resultante de todas las acciones gravitatorias verticales, y en plantas regulares con distribución uniforme de cerramientos, se encuentra cerca del centro de gravedad. El centro de rigidez, por otro lado, es el punto en una planta donde, bajo una fuerza horizontal, la planta se desplaza sin girar, dependiendo de la disposición de los elementos estructurales. La diferencia entre la ubicación del centro de masas y el centro de rigidez puede generar torsiones en la planta, que, si son significativas, podrían causar el colapso de los elementos estructurales más alejados (fig. 53).

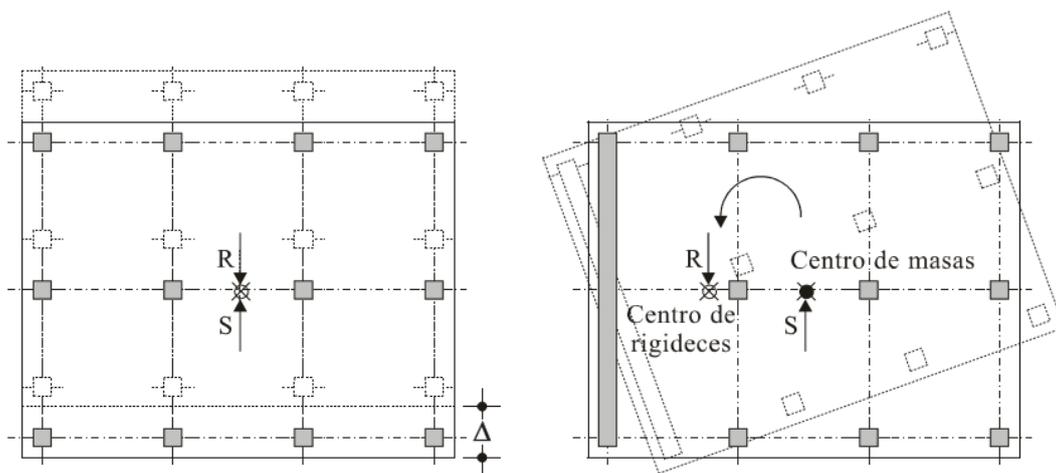


Figura 53: Centro de masas y centro de rigideces. Fuente: E. barberá (s.f).

Una unidad estructural se refiere a cada parte de la estructura de un edificio que está separada por juntas de dilatación, de asiento o sísmicas. Dentro de cada unidad estructural, el forjado debe comportarse como un diafragma rígido, actuando frente a las acciones horizontales como una viga indeformable que distribuye la fuerza horizontal entre los diferentes elementos resistentes, como pórticos de nudos rígidos y pantallas. Los tipos de juntas son:

- Junta de dilatación: Son necesarias a fin de controlar las deformaciones impuestas provocadas por los cambios térmicos debidos a las variaciones de temperatura del ambiente exterior y contribuyen a paliar los efectos reológicos (PCI, 1999).

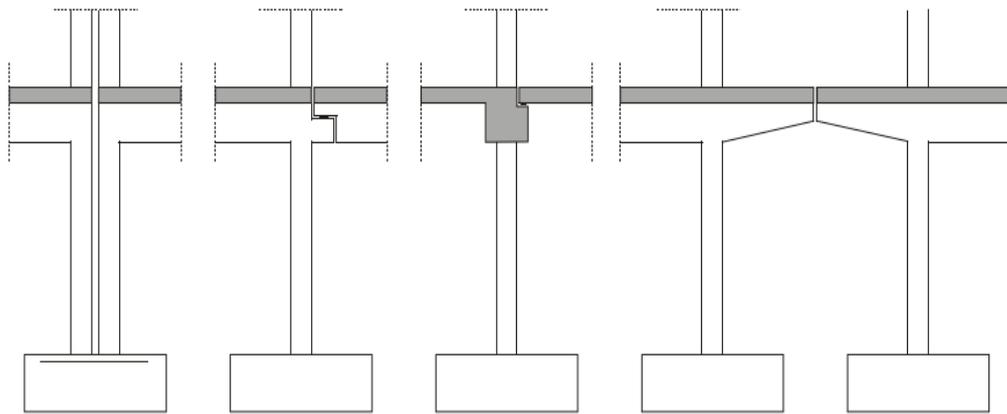


Figura 54: Junta de dilatación. Fuente: E. barberá (s.f).

- Junta de asiento: permiten la existencia de asientos diferenciales entre las unidades estructurales del edificio, cortando todo el edificio, incluidas las cimentaciones (Calavera, 2008).

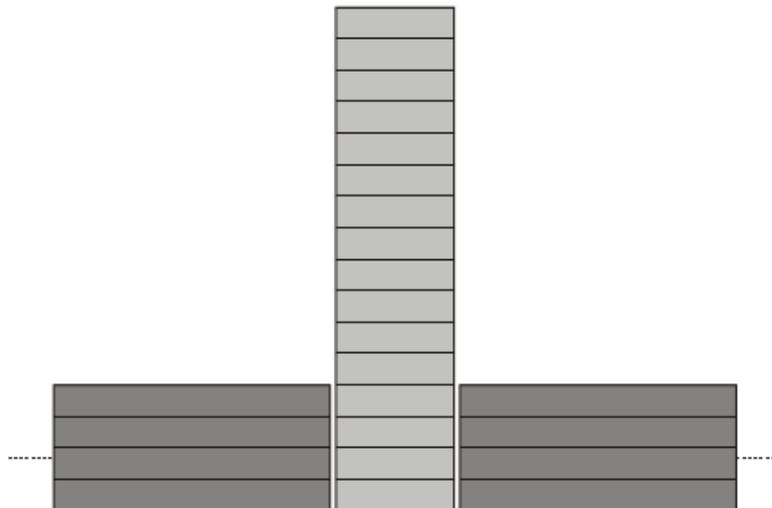


Figura 55: Junta de asiento. Fuente: E. barberá (s.f).

- Junta sísmica: Su misión es evitar los choques entre distintas unidades estructurales sean estas del propio edificio o entre dos edificios colindantes

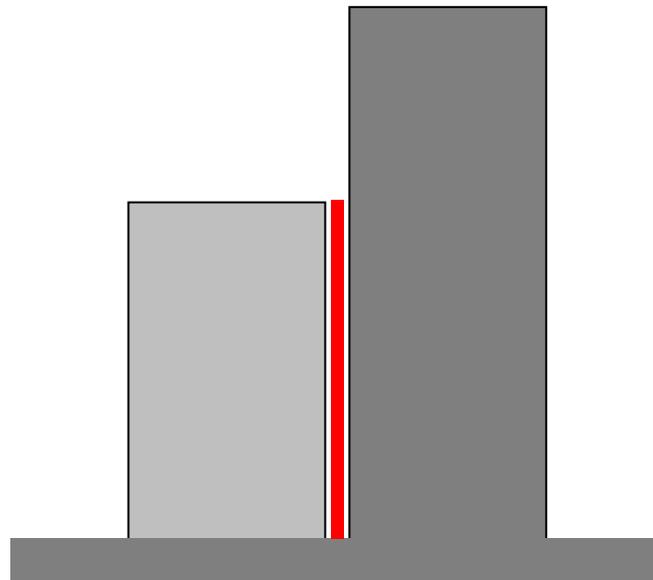


Figura 56: Junta sísmica. Fuente: propio.

El planteamiento estructural para edificaciones escolares conlleva elegir un sistema resistente desde las fases iniciales del proyecto. Como se observa en la tabla, para una edificación de uso educativo la tipología estructural recomendada es una de pórticos sin pantallas, de 2 a 5 plantas de altura, y luces de 6 a 10 m (fig. 57).

Uso	Número de plantas*	Luz del vano (m)	Pórticos sin pantallas	Pórticos con pantallas	Pórticos articulados
Oficinas	2-20	6-15	x	x	
	2-50	6-15		x	
Centro comercial, venta al por menor	2-10	6-10	x		
Cultural	2-10	6-10	x		
Educativo	2-5	6-10	x	x	
Aparcamiento	2-10	15-20	x		
Estadio	2-4	6-8	x		
Hotel	2-30	6-8		x	
Hospital	2-10	6-10		x	
Residencial	1-20	4-6		x	
Industrial	1	25-40			x
Almacenes con oficinas	2-3	6-8	x		
		25-40			x

* Valores habituales dependiendo de la localización, terreno, requisitos, etc

Figura 57: Tabla de Tipología estructural. Fuente: Elliott (2002)

Un centro escolar clasifica como un edificio de altura moderada, por lo que un sistema con pórticos y uniones rígidas viga-soporte funcionan muy bien en este tipo de edificaciones para lograr la estabilización mediante la acción del pórtico (figura 58)

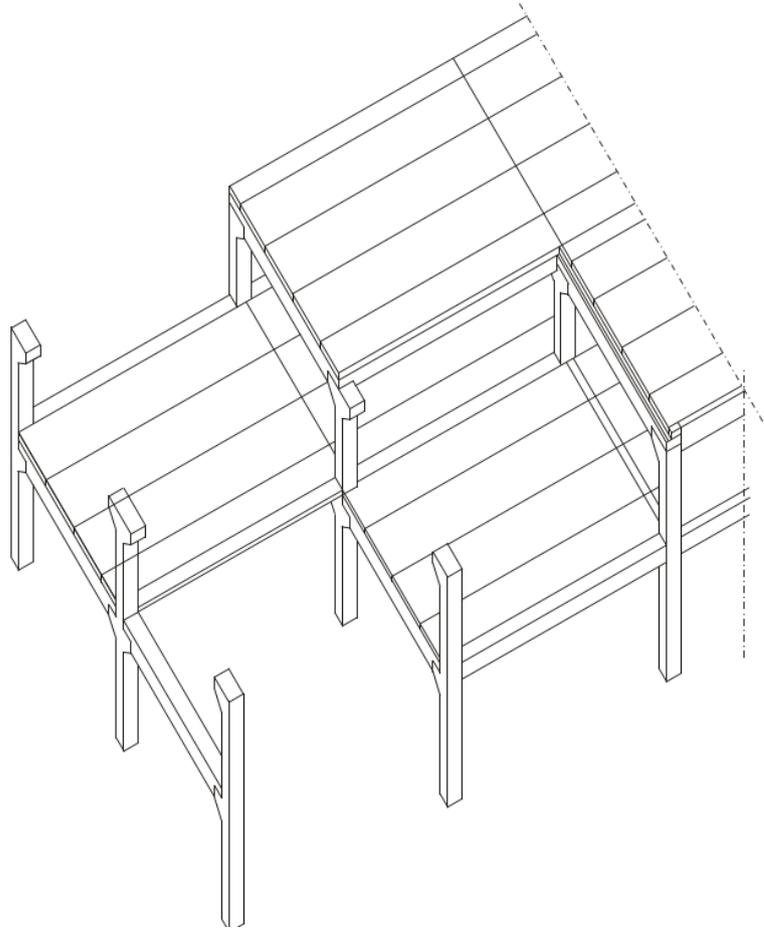


Figura 58: Sistema con pórticos y uniones rígidas viga-soporte. Fuente: E. barberá (s.f).

5.4 Fabricación, transporte y montaje

La fabricación de elementos prefabricados de concreto normalmente se lleva a cabo en plantas fijas de producción, las cuales cuentan con el equipo y personal especializado para elaborar, bajo estrictas normas de calidad, diferentes productos solicitados por la industria de la construcción. También se pueden prefabricar elementos a pie de obra, que por su peso, tamaño o condiciones propias de la obra requieren que sean fabricados en sitio (fig. 59) (Reinoso et al, 2000).



Figura 59: Fabricación de componentes prefabricados. Fuente: Wallpanelines (2024).

El transporte, al seleccionar el proceso constructivo a utilizar en un proyecto, es necesaria la correcta evaluación de la movilización de los elementos a obra. En gran medida, del resultado de esta evaluación se decide si los elementos serán fabricados en planta fija, en planta móvil o a pie de obra. La incidencia del costo del transporte en el costo total de la obra es directamente proporcional a la distancia por recorrer y a la complejidad del flete (fig. 60) (Reinoso et al, 2000).



Figura 60: Transporte de grandes vigas de hormigón. Fuente: Poliblogs UPV, autor Victor Yepes Piquera (2013).

El montaje de los elementos prefabricados en la obra (fig. 61), debe tener especial atención en la planificación, pues es en este proceso donde se analiza el diseño de cada estructura. Por tanto, la primera recomendación antes de desarrollar la obra es hacer la planificación del montaje, cuales y cuantos elementos, el orden de montaje, el tiempo ejecución, los transportes necesarios, si es transporte especial o no, todo esto es importante para una correcta ejecución del montaje (fig. 62).



Figura 61: Montaje de panel prefabricado en su sitio. Fuente: Wallpanellines (2024).

PLANIFICACIÓN DE MONTAJE



EJECUCIÓN DEL MONTAJE



Figura 62: Planificación y montaje de obras prefabricadas. Fuente: Revista Hormigón al Día, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2020).

5.5 Elementos prefabricados de hormigón

Son elementos de concreto que permiten guiar la construcción hacia un método estandarizado que implica no fundir, sino encajar distintas piezas de concreto, en el rompecabezas de la estructura, es decir, podría decirse como analogía que las estructuras prefabricadas son un juego de “Legos” donde los elementos son las piezas y la obra a construir es el ensamble final de todas estas (Penagos, 2017).

Los elementos prefabricados, se conforman en concreto convencional reforzado con barras de acero corrugado o pre/post - tensionado. El concreto con el que se realizan estos elementos consiste en la mezcla convencional de cemento, agua y agregados finos y gruesos.

5.5.1 Pilares

Los soportes se suelen confeccionar de la mayor longitud posible compatible con las circunstancias de fabricación, izado, transporte y manipulación en obra, pudiendo, pues, abarcar varias plantas (6). En Europa son corrientes longitudes entre los 12 y 18 m, aunque en USA se han llegado a fabricar de longitudes comprendidas entre 25 y 30 m. (Elliott,2002) (E Barberá, s.f).

Se pueden fabricar de diferentes secciones transversales pero las cuadradas y rectangulares están estandarizadas en la mayoría de los catálogos de los fabricantes. Los tamaños estándar están comprendidos en el rango entre 25x25 cm² hasta 60x60 cm², variando las secciones con incrementos de 5 en 5 cm (Phillips, 1982). Aunque no hay una limitación a la sección transversal, gtrara vez se sobrepasa los 60x120 cm².

También se pueden prefabricar las secciones cilíndricas o más complejas, sobre todo, si están exentas (Elliott, 2002) (E Barberá, s.f). En la figura 63 se presentan algunos tipos de sección habituales, así como la posibilidad de disponer “orejas” o velos en la parte superior para impedir el vuelco de la viga de cubierta.

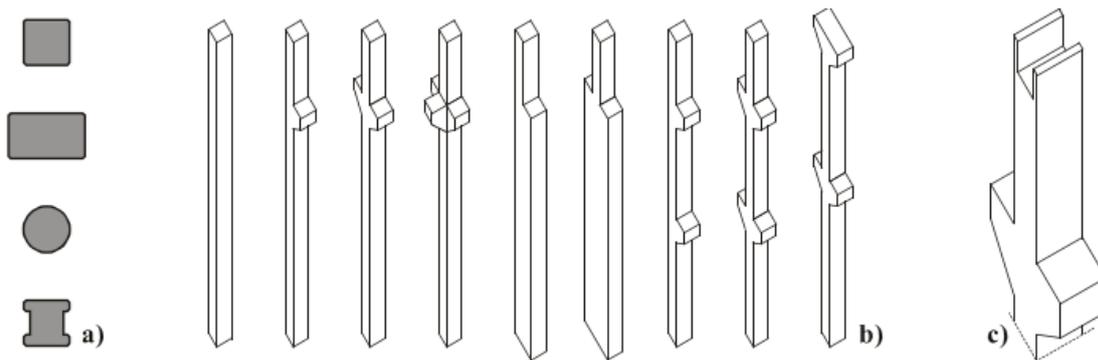


Figura 63: Pilares. Fuente: E. Barberá (s.f).

5.5.2 Vigas

Las vigas se pueden clasificar en vigas de canto constante o no. En el primer caso, suelen utilizarse para forjados de piso mientras que el campo de aplicación del segundo suele ser las vigas de cubierta de luz elevada. En general los elementos pretensados presentan, para una luz y carga dadas, un menor canto y peso y, en consecuencia, son más fáciles de manipular (E Barberá, s.f).

Las jácenas de canto constante habituales para forjados de piso poseen secciones rectas rectangulares, en L y en T invertida, fabricándose también vigas con secciones del doble T. Los fabricantes suelen tener tamaños normalizados en sus catálogos cuyo canto suele estar comprendida entre 45 y 120 cm y cuya anchura suele variar entre un 30 y 90 cm (Phillips, 1982) (E Barberá, s.f).

Las vigas en L y T invertida presentan la ventaja, respecto a las de sección rectangular, de permitir el apoyo directo de las losas alveolares pretensadas o las prelosas de forjado en los resaltos inferiores disminuyendo el canto total ocupado por la viga más el forjado maximizando la altura libre. Las vigas en L se utilizan en los bordes del forjado mientras que las de T invertida en el interior del mismo (fig. 64).

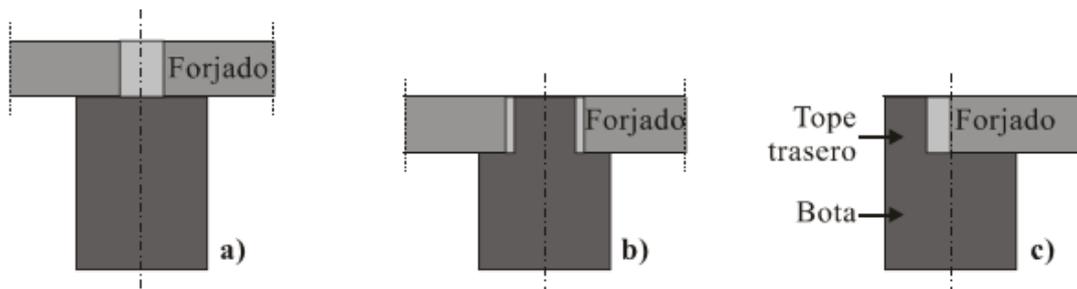


Figura 64: Vigas. Fuente: E. Barberá (s.f).

5.5.3 Conexiones

La misión principal de una conexión es transferir las fuerzas entre los elementos de una estructura prefabricada en aras de obtener una interacción estructural satisfactoria cuando el sistema entre en carga (fib T.G. 6.2, 2008). Por tanto, son partes de la conexión y se incluyen en ellas, tanto los materiales que se interponen o interconectan las piezas o algunas de sus partes, como las zonas próximas de los elementos prefabricados (Elliott, 2002) (Negro, 2012) (E Barberá, s.f).

Los aspectos que deben ser considerados para elegir y diseñar un determinado tipo de conexión son (fib T.G. 6.2, 2008) (M.F., 2008):

- El comportamiento estructural frente a las acciones persistentes y extraordinarias. La apariencia y funcionalidad del edificio en estado de servicio.
- La protección contra el fuego y contra la corrosión.
- La fabricación, manipulación, almacenamiento, transporte e izado de los elementos prefabricados.
- La facilidad de ejecución y de inspección.

Las conexiones cimiento-soporte generalmente se intenta conseguir empotramientos perfectos. Las más usuales son la conexión mediante un cáliz (la solución más habitual), vainas o la conexión atornillada (Elliott, 2002) (Díaz, 2012).

a) Conexión mediante cáliz: se realiza efectuando una oquedad en el cimiento, caso de ser éste de canto constante, o efectuando la en un plinto construido sobre la cara superior. Las dimensiones de la cavidad deben permitir una holgura perimetral entre 8 y 12 cm alrededor del soporte para absorber errores de replanteo y permitir el vertido de un microhormigón de retracción compensada entre el pilar y el cimiento o el plinto (Negro, 2012) (E Barberá, s.f), así como su correcta compactación (fig. 65).

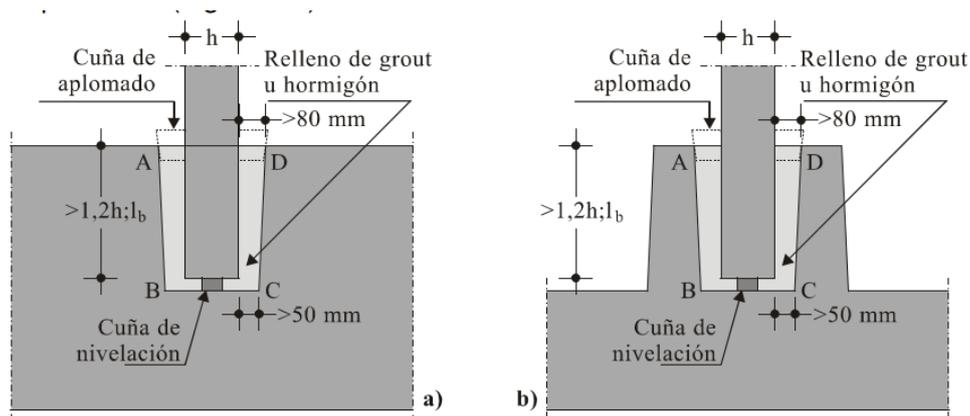


Figura 65: Conexión cimiento-soporte mediante cáliz. Fuente: E. Barberá (s.f).

b) Conexión mediante vainas: es una unión que permite transmitir momentos flectores. Para ello, el pilar debe disponer en extremo inferior de armaduras longitudinales salientes que se insertan en unas vainas dispuestas en el cimiento y que se rellenan con una inyección. Es un procedimiento que exige mucha mayor precisión (Díaz, 2012). El espesor de la cama de mortero debe ser lo suficientemente pequeño como para evitar el pandeo de las barras y la ductilidad de la conexión se clasifica como media (Negro, 2012) (E Barberá, s.f) (fig. 66).

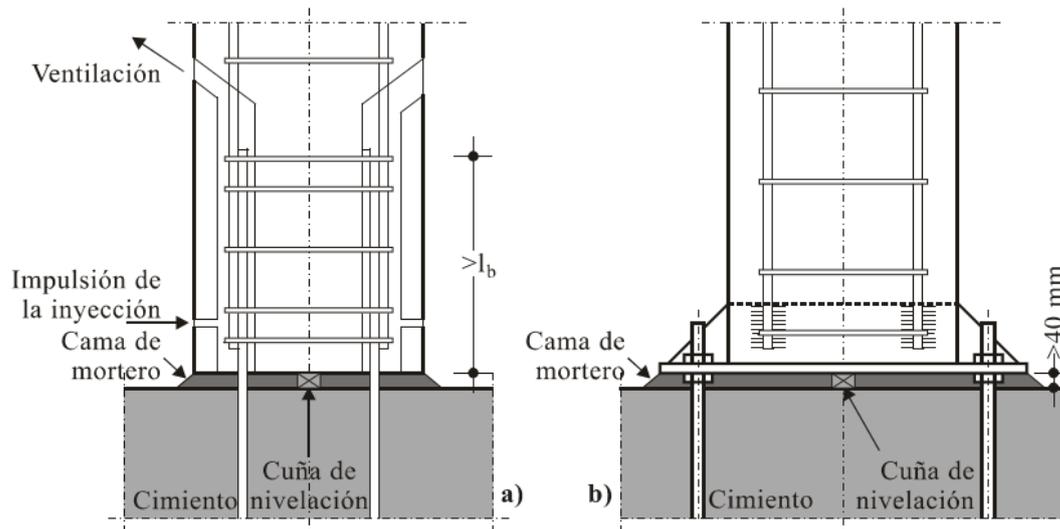


Figura 66: Conexión cemento-soporte mediante vainas. Fuente: E. Barberá (s.f).

c) Conexión atornillada: Esta conexión es típica de las estructuras metálicas y, además, es desmontable (fig.) (Brüggeling, 1991). Por otro lado, aunque es la más onerosa de las tres opciones mencionadas, tiene la ventaja de que permite estabilizar y aplomar el soporte inmediatamente ajustando las tuercas y contratuercas (Elliott, 2002) (fig. 67).

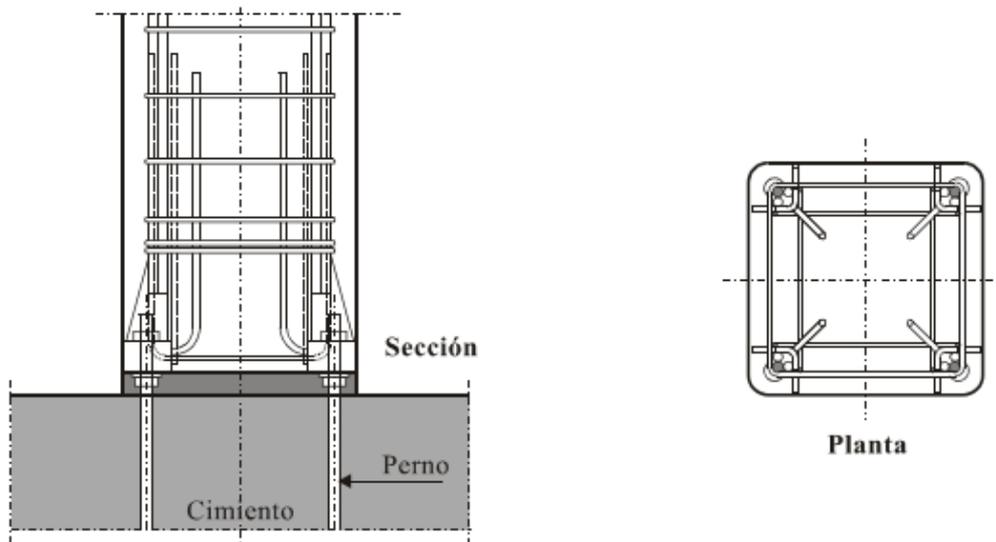


Figura 67: Conexión cemento-soporte, conexión atornillada. Fuente: E. Barberá (s.f).

Las conexiones soporte-soporte se tratan, en la gran mayoría de los casos de conexiones rígidas y algunas de ellas, tipológicamente, son similares a las uniones rígidas cemento-pilar, excepción hecha de la unión por cáliz. En unas ocasiones se realizan a la altura de la cara superior del forjado y, en otras, a mitad de altura de la planta.

- a) Conexión mediante vainas: El hormigonado puede realizarse por gravedad, para lo cual, el diámetro de la vaina debe estar ventilado o ser lo suficientemente grande como para evitar la formación de bolsas de aire. Para ello se recomienda añadir al hormigón o al grout aditivos superplastificantes no utilizar áridos gruesos (Elliott, 2002). Puede realizarse una unión articulada disponiendo únicamente una vaina central (Brüggeling, 1991) (E Barberá, s.f) (fig.68).

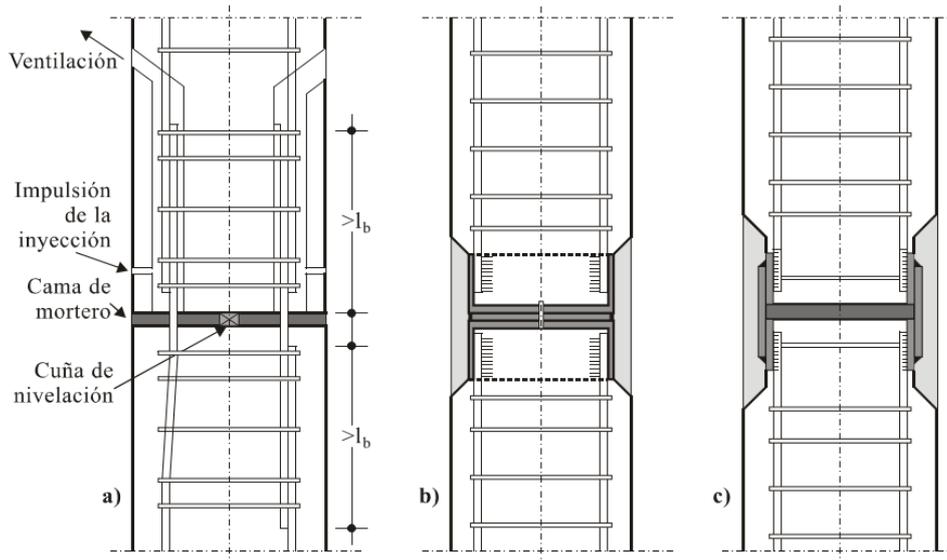


Figura 68: Conexión soporte-soporte, vainas. Fuente: E. Barberá (s.f).

- b) Conexión mediante placas metálicas soldadas: En las caras laterales de los extremos de los soportes disponen unas placas metálicas perimetrales y se añade una placa metálica en la sección transversal extrema, formando un azuche metálico. Las armaduras longitudinales del soporte se sueldan a los elementos metálicos laterales, por lo que éstos se deben rehundir dentro del pilar. Para proteger los elementos metálicos y mantener la sección del soporte constante, una vez soldados los dos azuches, se aplica un revestimiento de mortero, siendo conveniente disponer una malla fina para prevenir su fisuración (Brüggeling, 1991) (Elliott, 2002) (E Barberá, s.f).

- c) Conexión mediante el empalme de las armaduras longitudinales: Consiste en dejar las barras longitudinales de los pilares que se pretenden unir al descubierto, prolongando en los extremos de las piezas el núcleo de hormigón.

Las barras del pilar superior y del inferior se empalman por solapo (fig. 69.a), soldadura -entre ellas o a través de casquillos metálicos,- o mediante manguitos (fig. 69.b). En toda la zona del empalme debe disponer una armadura transversal de confinamiento formando cada cerco mediante el empalme de dos barras en U, por soldadura o por solapo. Posteriormente se completa la sección de los soportes con un micro-hormigón de retracción compensada y pequeño tamaño máximo del árido (Elliott, 2002) (E Barberá, s.f).

d) Conexión mediante elementos metálicos atornillados: Es tipológicamente similar a la unión cimiento-soporte atornillada, un ejemplo de las cuales se puede apreciar en la figura 69.c.

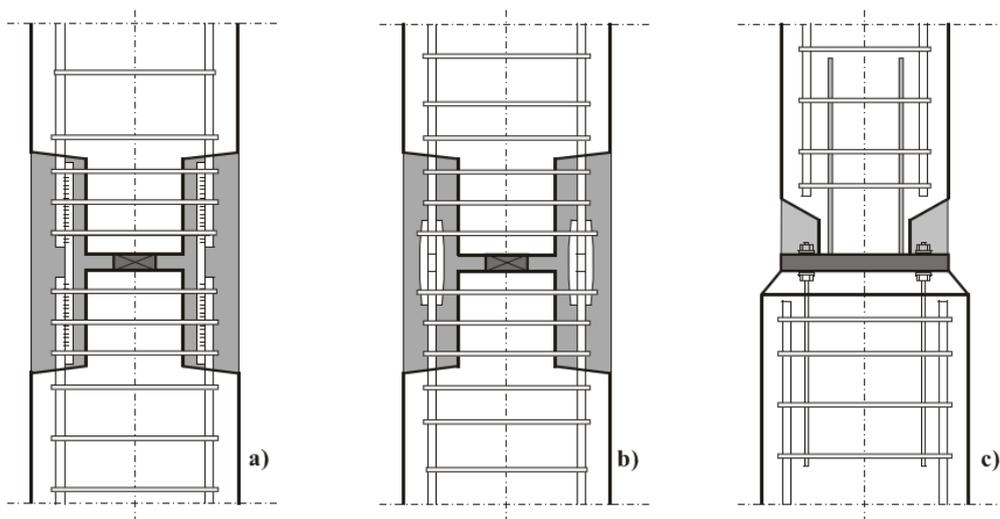


Figura 69: Conexión soporte-soporte, mediante empalme. Fuente: E. Barberá (s.f).

Las conexiones soporte-viga en gran número de obras es la conexión más delicada. Pueden realizarse en la testa de los pilares o en una altura intermedia en las ménsulas cortas adosadas a los pilares. Cabe distinguir entre uniones articuladas (las más habituales, sencillas y económicas) y uniones rígidas.

a) Uniones articuladas: Las más sencillas son las “conexiones con orificio y pasador” (figuras 70.a y 70.b). El extremo de las vigas posee una oquedad por donde se introduce el pasador que lleva incorporado el soporte y que proporciona estabilidad lateral a la viga, permitiendo, además, una mayor tolerancia en la ejecución. Dicha oquedad se rellena o no con un mástico o con un mortero a fin de restringir, en menor o mayor medida, los movimientos de la viga. El orificio se debe confinar con armadura transversal a fin de evitar la fisuración de sus paredes (Brüggeling, 1991) (Elliott, 2002) (Negro, 2012) (E Barberá, s.f).

La presencia de dos oquedades perpendiculares a la directriz de la viga aumenta notablemente la estabilidad al vuelco en fase de montaje y frente a solicitaciones sísmicas (Negro, 2012) (E Barberá, s.f). El pasador puede fabricarse con su zona superior roscada para, tras apretar una tuerca con su correspondiente arandela, inmovilizar transversalmente la viga inmediatamente después de su posicionamiento en obra (figura 70. d).

En el caso de vigas que soportan forjados intermedios, en las figuras 70.c y 70.d se presenta una solución de la unión articulada con orificio y pasador.

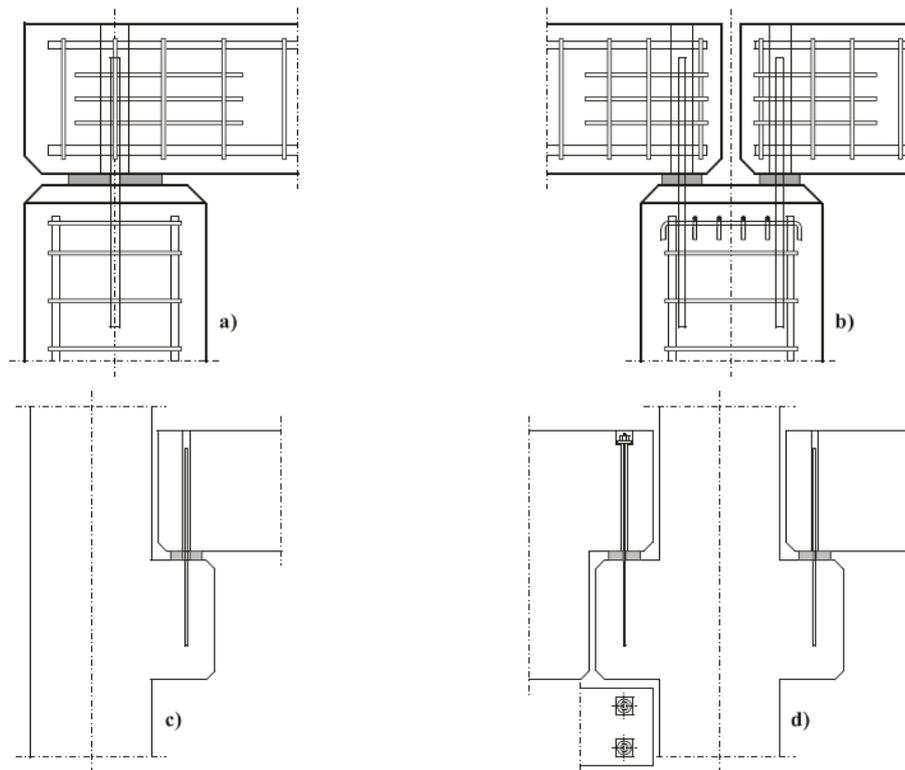


Figura 70: Conexión soporte-viga, Articuladas. Fuente: E. Barberá (s.f).

Las uniones articuladas también pueden efectuarse mediante elementos metálicos dispuestos en los extremos de las vigas y de las ménsulas cortas (figura 71.a). Se debe tener presente que la soldadura entre los elementos de contacto metálicos de la viga y los del soporte coacciona la libre deformación horizontal de la viga, generando reacciones horizontales a causa de la retracción y de las variaciones térmicas.

Este tipo de unión se puede realizar utilizando ménsulas cortas construidas con elementos de perfilera metálica (fig. 71.b) o con diversos tipos de “inserts” metálicos que se disponen en el mercado (fig. 71.c).

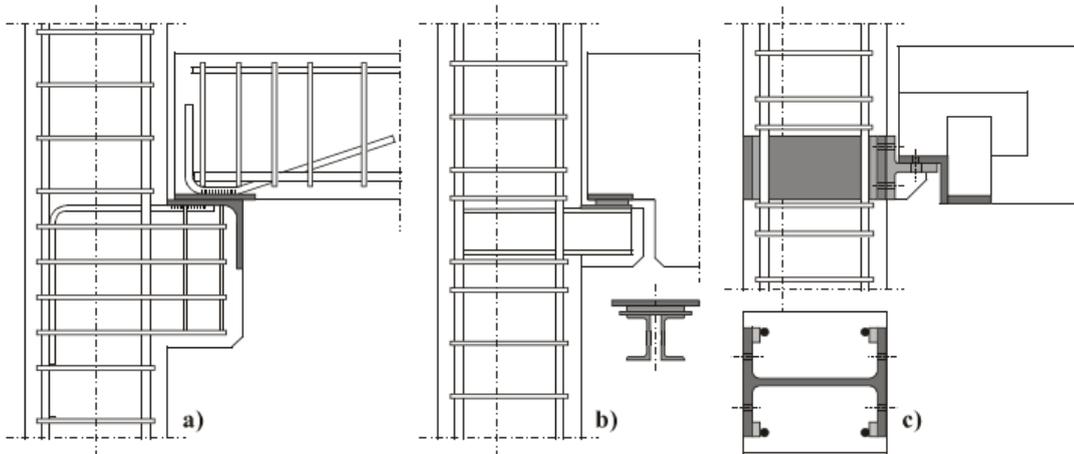


Figura 71: Conexión soporte-viga, unión metálica. Fuente: E. Barberá (s.f).

b) Uniones rígidas: Se utilizan si son necesarias para asegurar la estabilidad lateral del edificio, para disminuir la altura de las vigas debido a las ventajas que aporta la continuidad o para aumentar la seguridad frente al riesgo de colapso progresivo (Brüggeling, 1991).

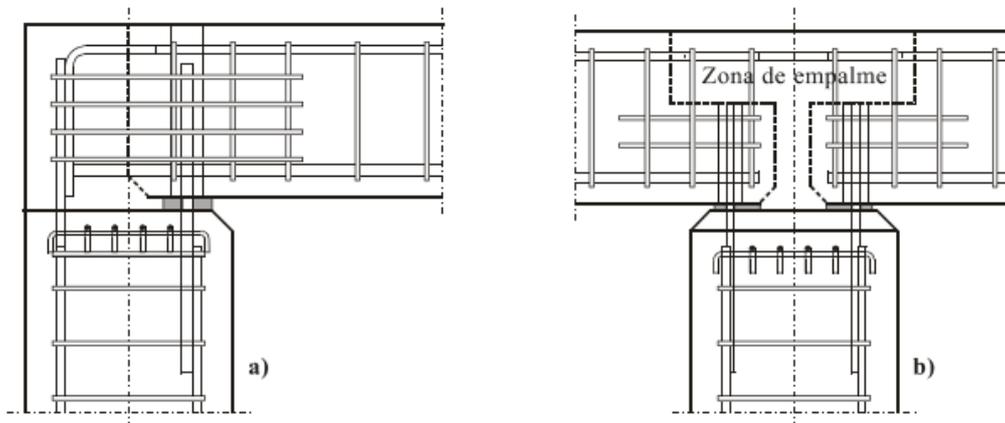


Figura 72: Conexión soporte-viga, unión rígida. Fuente: E. Barberá (s.f).

5.5.4 Forjados

El profesor Calavera (Calavera, 2002) define el forjado es un elemento estructural, generalmente horizontal, que recibe directamente las cargas y las transmite a los otros elementos de la estructura, vigas, muros de carga o pilares. Forma parte de la estructura puede realizar las siguientes funciones estructurales (fig. 73):

- Ser resistentes y estables frente a las acciones, tanto verticales como horizontales que actúan sobre ellos, así como frente a los movimientos propios.
- Transmitir las cargas que recibe a las vigas, muros o soportes en los que se apoya. A través de estos últimos elementos las cargas se transmiten a la cimentación y de ésta al terreno.
- Incrementar la capacidad resistente a flexión y a torsión de las vigas, en el caso de que se asocien monolíticamente a éstas.
- Aumentar la rigidez a las vigas, impidiendo su pandeo lateral.
- Procurar que todos los pórticos y pantallas del edificio, colaboren conjunta y eficientemente en la absorción de los esfuerzos horizontales provocados, habitualmente por los esfuerzos eólicos y sísmicos. Para ello, es necesario que el forjado se comporte como un diafragma rígido (funcionando en su propio plano como una viga de gran canto, sin apenas deformaciones) que compatibilice la deformación horizontal de la estructura.

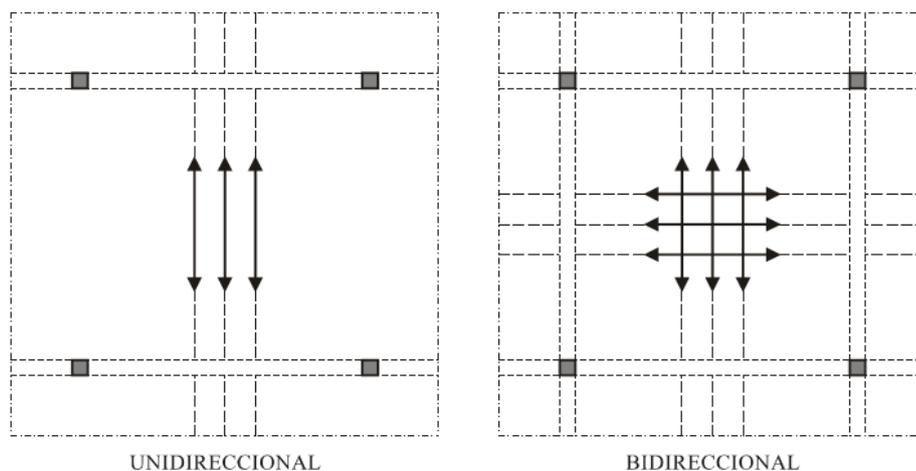


Figura 73: Forjados. Fuente: E. Barberá (s.f).

5.5.5 Paneles de hormigón

Los paneles de hormigón arquitectónico son elementos de hormigón prefabricado armado con acero, concebidos para la construcción de fachadas. Los paneles pueden ser según su comportamiento (Ponce Prefabricados, 2019):

- Portantes o estructurales: cuando realizan la función de cerramiento y estructural al mismo tiempo.
- Autoportantes o de cerramiento: cuando solamente realizan la función de cerramiento de fachada.

La forma de los paneles puede ser muy variada, desde los paneles planos, curvos, etc. y la su sección transversal puede ser nervada, con salientes y entrantes o de formas más o menos complejas como, por ejemplo, las cornisas (fig.). Los paneles con varios planos (forma de L, U,...) son más costosos.



Figura 74: Panel macizo CEPREF de 12. Fuente: Blog de CEPREF (2019).

5.6 Ventajas e inconvenientes

La CPCI (2009), establece que los elementos prefabricados ofrecen ventajas respecto a los sistemas convencionales tanto para los arquitectos, desde el campo de los acabados, los ingenieros estructurales, a causa de la adaptabilidad y las nuevas herramientas para encontrar los diseños óptimos, así como para los constructores, a los cuales hace su trabajo más fácil, coordinado y organizado.

Algunas ventajas de estos sistemas, destacadas también por la (CPCI, 2009) son:

- Construcción rápida: El uso de sistemas prefabricados acorta significativamente los tiempos de construcción, respecto a los sistemas metálicos, e incluso más, respecto a los sistemas de concreto vaciados in-situ, generando edificaciones más competitivas en el mercado.
- Ventajas de programación de obra: Con la fabricación de los elementos en planta se pueden ir avanzando en actividades de adecuación del terreno y excavación, haciendo más rápida y eficiente la construcción de las edificaciones.
- Variedad estética: Los elementos prefabricados pueden tener muchas formas, ya que, al ser fabricados en lugares especializados, el uso de formaletas y encofrados no dificulta ni complica las condiciones de trabajo como podría hacerlo en una obra. Además, los diferentes diseños y las combinaciones entre los miembros estructurales usados para fachadas y acabados proporcionan detalles más personalizados en el campo de la construcción.
- Alta calidad : Los elementos prefabricados al ser producidos en planta poseen un mayor control en la calidad de los materiales y además en el procedimiento constructivo de los mismos. Actualmente hay programas de certificación estructural para la verificación de los requerimientos mínimos del producto que validan los procedimientos llevados a cabo en plantas de prefabricación para garantizar la calidad de los elementos.
- Bajo mantenimiento: Los elementos prefabricados requieren menor mantenimiento que otros elementos y materiales de la construcción convencional, debido a la alta calidad de su fabricación y a la conformación de sistemas más grandes que requieran menor cantidad de detalles de conexión.

- Precio efectivo: Los miembros de los departamentos de ingeniería de la CPCI han estimado que los costos de los sistemas prefabricados son más bajos respecto a los sistemas convencionales, ya que, al ser un método más rápido y eficiente, se reducen costos gracias al aumento de la precisión y viabilidad de cumplimiento de los estudios económicos iniciales.
- Seguridad: Con los sistemas prefabricados las obras descongestionan los lugares de acopio de material y pueden disponer de mayor espacio para el uso y la ocupación de equipos pesados. Esta descongestión aumenta los niveles de seguridad de la obra y disminuye los costos por bodegaje e inventarios de material.
- Diseño interior flexible: Por medio de sistemas prefabricados de largas luces, los espacios interiores tienen menos restricciones antes la necesidad de grandes superficies, adaptando y personalizando el diseño según las necesidades del cliente.
- Diseño sostenible: Los sistemas prefabricados ofrecen incontables beneficios para la construcción sostenible. Programas de certificación LEED premian el uso de estos sistemas, al permitir adaptabilidad de los diseños, un fácil ensamble y desensamble, además de un procedimiento de construcción más organizado y con menos desperdicios de material, respecto a la construcción convencional en obra.
- Diseño integral y coordinado: Los sistemas de información para edificaciones en 3D (BIM) también permiten la inclusión de elementos prefabricados bajo sus plataformas, lo que garantiza diseños integrados con otros sistemas de la edificación y, por ende, más coordinación en la etapa de planificación.

Carriba (2011) en su estudio preventivo de elementos prefabricados en la edificación menciona que a pesar de las numerosas ventajas que traen los prefabricados se deben en cuenta las siguientes limitaciones:

- Tolerancias: inevitablemente habrá diferencias entre las dimensiones específicas y las verdaderas; deben ser reconocidas y permitidas.
- El procedimiento de montaje puede afectar al máximo peso de los elementos, dependiendo de la accesibilidad a la obra y la capacidad de la grúa.
- Existe la necesidad de que los técnicos y las empresas de prefabricados inicien su colaboración con los proyectistas y constructores en las primeras fases de proyecto – lo que en muchos casos no sucede todavía desafortunadamente– para evitar sobrecostos y aprovechar al máximo las posibilidades que ofrece la prefabricación.

- La propia construcción es también más difícil, exigiendo una atención y un conocimiento profesional mayores, una mayor precisión, una calidad mejor y, principalmente, mayores precauciones durante la elevación y la colocación de las piezas.
- Las dimensiones y peso de los elementos prefabricados en planta están limitadas por sus posibilidades de transporte.
- El proyecto de estructuras exige mucho trabajo y un gran esmero porque los detalles influyen decisivamente. Por lo tanto, el método usual de proyectar, en el que los detalles se resuelven una vez terminado el proyecto en líneas generales, no puede aplicarse aquí. Los detalles estructurales y de ejecución deben considerarse desde el principio en todos sus aspectos.

El uso de prefabricados de hormigón en la construcción ofrece una serie de ventajas significativas, como la reducción de tiempos de construcción, una mayor eficiencia en el uso de materiales, y la posibilidad de controlar la calidad de los componentes en un entorno de fábrica. Además, este método promueve la sostenibilidad al minimizar los residuos y reducir el impacto ambiental durante la construcción.

Sin embargo, también presenta ciertos inconvenientes. La necesidad de una planificación y coordinación detallada es crucial para evitar errores durante la instalación. Los costos iniciales pueden ser más elevados debido a la inversión en moldes y tecnología específica, y el transporte de piezas grandes puede ser logísticamente desafiante. A pesar de estos desafíos, los beneficios de los prefabricados de hormigón a menudo superan los inconvenientes, especialmente en proyectos que valoran la rapidez, la eficiencia y la consistencia en la calidad.

5.7 Ejemplos de escuelas prefabricadas

En el caso específico de las edificaciones escolares, los prefabricados de hormigón presentan numerosas ventajas: permiten una rápida construcción, lo que es crucial para cumplir con los plazos de entrega y minimizar el impacto en las actividades educativas. Además, los prefabricados de hormigón ofrecen una alta durabilidad y resistencia, garantizando la seguridad y longevidad de las instalaciones escolares. La flexibilidad en el diseño modular también facilita futuras expansiones y adaptaciones según las necesidades cambiantes, mientras que la precisión y calidad del proceso de fabricación aseguran estructuras uniformes y bien acabadas.

Estas ventajas hacen que los prefabricados de hormigón sean una opción óptima para la construcción de espacios escolares modernos y resilientes, a continuación, se presentan algunos ejemplos de proyectos de edificaciones escolares prefabricados:

1. Escola Estadual Jardim Romano (Brasil)

La Escola Estadual Jardim Romano en São Paulo, Brasil, diseñada por H+F Arquitetos e inaugurada en el año 2008, utiliza elementos prefabricados de hormigón. Este enfoque fue elegido para acelerar el proceso de construcción, garantizar la durabilidad y facilitar el mantenimiento en un área que es propensa a inundaciones. La escuela es un ejemplo destacado de cómo la prefabricación en hormigón puede ser aplicada en proyectos educativos para mejorar la eficiencia y la calidad constructiva (ArchDaily, 2020).

El diseño consta de dos bloques transversales paralelos entre sí complementados con un volumen longitudinal de menor tamaño que contiene un conjunto de escaleras y rampas. El patio creado entre ellos está ligeramente elevado para eliminar el riesgo de inundaciones.



Figura 75: Escola Estadual Jardim Romano, Brazil. Fuente: Pedro Napolitano Prata, ArchDaily (2020).

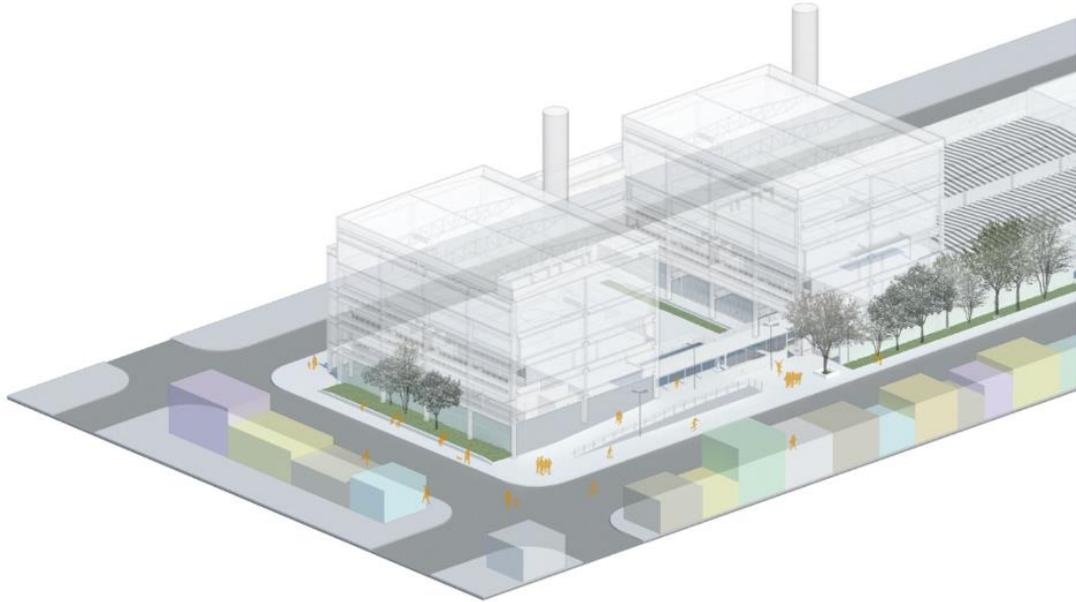


Figura 76: Escola Estadual Jardim Romano, Brazil. Fuente: H+F Arquitetos, ArchDaily (2020).

Escuela María Helena (Brazil)

El Jardín María Helena es una escuela pública en Sao Paulo, Brazil, más específicamente en la zona rural de Barueri, una ciudad dentro del gran Sao Paulo metropolitano. Fue diseñada por +K Architects e inaugurada en el año 2006, en ella se imparte una educación elemental, media y alta a unos 525 estudiantes. El lote de 2,41 hectáreas donde se encuentra la escuela es un terreno llano rodeado de colinas cubiertas por un bosque nativo (ArchDaily, 2011).



Figura 77: Escuela María Helena, Brazil. Fuente: Nelson Kon, ArchDaily (2011).

El proyecto se configura en base a dos cuerpos paralelos de dos pisos, construidos longitudinalmente en todo el terreno, con un gran espacio vacío central. La construcción es de hormigón prefabricado y bloques de hormigón. Estos últimos se dispusieron de dos maneras: de una manera convencional, con yeso pintado de rojo - como puede verse en los muros exteriores norte y sur - y en los muros internos, pintado de amarillo en una posición horizontal, a modo de brise-soleil en la planta baja.



Figura 78: Escuela María Helena, Brazil. Fuente: Nelson Kon, ArchDaily (2011).

2. Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden (Suiza)

La Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden, Suiza, fue diseñada por Burkard-Meyer e inaugurada en el año 1999, el estudio propone un aula abierto y luminoso optando por un esquema que pudiera parecer contrario al planteamiento: las aulas se agrupan en una banda central, pero la clave está en el corredor perimetral acristalado, situado entre las dos líneas de pilares de hormigón prefabricado del cerramiento (Enkerli & Frei, 2007).



Figura 79: Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden, Suiza. Fuente: Tectonica (2015).

El proyecto sigue una estricta modulación que viene dada por los elementos prefabricados de la estructura, tanto en planta como en fachada. Éstos están constituidos por pórticos formados por una viga y tres pilares (1) en la línea interior de los corredores, y pórticos con tres pilares dobles (2) y dos vigas separadas en la banda central, que forman en su interior una cámara por donde se llevan las instalaciones. Sobre ellos se apoyan prelosas prefabricadas de hormigón (3) salvando toda la luz de las aulas. Los corredores perimetrales están formados por una losa prefabricada (4) anclada en voladizo a la línea interior de estructura de los corredores (Enkerli & Frei, 2007).

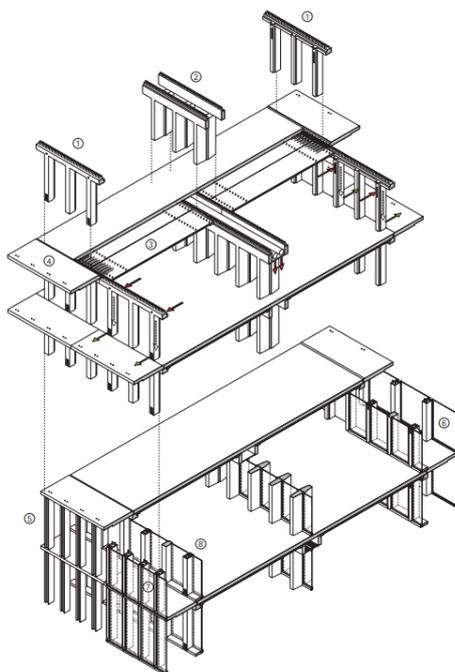


Figura 80: Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden, Suiza. Fuente: Tectonica (2015).

3. Escuela de Arquitectura de Nancy (Francia)

La Escuela de Arquitectura de Nancy, Francia, fue diseñada por el arquitecto suizo Livio Vacchini, empezó su construcción en 1994 y fue inaugurada en 1996. Este proyecto destaca por su uso de elementos de hormigón armado prefabricados en obra, paneles prefabricados de hormigón que ofrecen tanto resistencia estructural como una estética única.

La nueva escuela de arquitectura en Nancy parece un volumen compacto que ocupa un lote cuadrado no lejos de Place Stanislas. Divide el lote en dos partes, una mitad completa y una vacía. La complejidad del problema funcional se resuelve en la disposición planimétrica. El plan simétrico de la escuela está compuesto por dos formas en U, colocadas espalda con espalda, unidas en la parte delantera y trasera por fachadas largas y cerradas que contienen los sistemas y servicios de acceso vertical (Vacchini L., s.f).

Los tres niveles sobre el nivel del suelo se basan en la misma cuadrícula geométrica. Un eje ligero cruza a través de ellos hasta la planta baja. Los estudiantes se reúnen en la planta baja, que contiene salas de estar, una gran biblioteca abierta, dos anfiteatros y galerías que termina en dos patios abiertos hacia la calle. La construcción hizo un gran uso de piezas prefabricadas estandarizadas. Las fachadas externas son de hormigón armado prefabricado. Las ventanas y las puertas son de vidrio y metal.



Figura 81: Escuela de Arquitectura de Nancy, Francia. Fuente: Hidden Architecture (2024).



Figura 82: Escuela de Arquitectura de Nancy, Francia. Fuente: Hidden Architecture (2024).

6 PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONSTRUCCIÓN RESILIENTE CON SOLUCIONES PREFABRICADAS PARA EDIFICACIONES ESCOLARES

Los prefabricados de hormigón ofrecen soluciones eficaces para mitigar las vulnerabilidades estructurales en la construcción general, a continuación, se presentan la propuesta de estrategias para mitigar las vulnerabilidades identificadas en este trabajo:

6.1 Técnicas constructivas

1. Coordinación dimensional y planteamiento estructural

En el apartado 3.2 se identifica el diseño deficiente como una de las vulnerabilidades que afecta a las escuelas del país, señalando que la falta de consideración adecuada de cargas sísmicas o de viento, así como errores en la distribución de masas y rigideces puede provocar efectos indeseables como el efecto columna corta, colapso de muros no estructurales adosados a columnas y torsiones en plantas irregulares.

Implementar un diseño modular que facilite la fabricación y el montaje de componentes prefabricados con módulos estandarizados, previene que tales consecuencias ocurran, para lograr esto se proponen las siguientes estrategias:

- a) Diseño modular y estándar: Los prefabricados de hormigón se diseñan con precisión en fábricas, asegurando que cumplan con los estándares sismo-resistentes y las especificaciones de carga.
- b) Simulación y modelado avanzado: Utilizar software de diseño y simulación para prever y corregir posibles problemas en la distribución de cargas y rigideces antes de la construcción.

2. Conexiones robustas

En el apartado 3.2 se presentan las conexiones inadecuadas como la segunda de las principales vulnerabilidades identificadas en este trabajo, esta vulnerabilidad consiste en conexiones deficientes entre vigas y columnas que pueden fallar bajo cargas extremas, y la falta de juntas de expansión adecuadas puede causar daños en diferentes partes de la estructura.

Diseñar y utilizar sistemas de conexión robustos y flexibles que permitan el movimiento y absorban energía durante eventos sísmicos, eliminaría las consecuencias mencionadas anteriormente, para esto se proponen las siguientes estrategias:

- a) Conexiones de alta precisión: Las piezas prefabricadas se fabrican con conexiones diseñadas específicamente para asegurar una unión fuerte y estable entre componentes.
- b) Juntas de expansión integradas: Incluir juntas de expansión adecuadas en el diseño de los prefabricados para permitir el movimiento controlado durante eventos sísmicos o cambios térmicos.

3. Materiales de alta resistencia

La baja calidad de los materiales es la tercera vulnerabilidad más común en la construcción escolar en la República Dominicana. El uso de materiales inadecuados para las condiciones específicas del sitio, la mala dosificación, el tamaño incorrecto de los agregados, o la falta de la cantidad adecuada de acero, son todas consecuencias de una supervisión y ejecución deficientes.

El uso de elementos prefabricados de hormigón elimina estas deficiencias, ya que son fabricados bajo condiciones controladas que garantizan una mayor precisión en la dosificación y una calidad superior en los materiales utilizados. A diferencia de la construcción tradicional, los prefabricados aseguran que no haya margen para errores como agregados de tamaño incorrecto o insuficiencia de acero.

Emplear materiales duraderos y de alta calidad en los componentes prefabricados es esencial para garantizar la resistencia y la longevidad de las estructuras escolares, contribuyendo así a una construcción más segura y sostenible. Para esto se proponen las siguientes estrategias:

- a) Control de calidad en fábrica: La producción en planta permite un control estricto de la calidad de los materiales, garantizando que los prefabricados cumplan con las normas y especificaciones requeridas.
- b) Mezclas de hormigón especializadas: Utilizar mezclas de hormigón especialmente formuladas para aumentar la durabilidad y resistencia, adaptadas a las condiciones ambientales locales.

4. Capacitación de personal y buena ejecución de obra

La cuarta vulnerabilidad identificada en la construcción escolar es el uso de técnicas constructivas inapropiadas o una ejecución deficiente en obra. Cuando el personal no está debidamente capacitado, la ejecución de los detalles constructivos puede ser inadecuada, lo que compromete la integridad estructural de la edificación. Ejemplos de esto incluyen un vaciado

incorrecto, la mala colocación de estribos en columnas y vigas, el uso excesivo de pañete, y elementos mal alineados.

Para mitigar estos riesgos, es fundamental capacitar al equipo en la correcta ejecución y ensamblaje de elementos prefabricados. Esto asegurará una instalación precisa y eficiente, contribuyendo a la seguridad y durabilidad de las estructuras. Para esto se proponen las siguientes estrategias:

- a) Entrenamiento y capacitación
- b) Supervisión estricta: Asegurar una supervisión estricta durante todas las fases de construcción para garantizar que se sigan las mejores prácticas y se eviten errores en la ejecución.
- c) Inspección de calidad: Realizar inspecciones de calidad en cada etapa del proceso de construcción para asegurar que los componentes prefabricados cumplan con los estándares especificados.
- d) Montaje rápido y seguro: Desarrollar técnicas de montaje que minimicen el tiempo de construcción en el sitio y aseguren un ensamblaje seguro y eficiente de los componentes.

El primer paso para implementar estas estrategias es contar con proveedores confiables que puedan proporcionar elementos prefabricados de hormigón diseñados y fabricados bajo estrictos controles de calidad. A continuación, se presentan algunas de las empresas líderes en el sector de prefabricados de hormigón en República Dominicana, que están equipadas para participar en la creación de una infraestructura educativa resiliente:

Codelpa prefabricados: Empresa de construcción turística, comercial y de servicios inmobiliarios, que también se especializa en la producción de elementos prefabricados de hormigón. Su catálogo de productos consiste en Columnas prefabricadas, Losas alveolares tipo Hollowcore, Vigas doble T, Viguetillas y Vigas cajón.



Columnas prefabricadas



Paragomas



Vigas doble T



Viguetillas



Muros New Jersey



Vigas Cajón

Figura 83: Catálogo de productos Codelpa. Fuente: Codelpa Web (2024).

Condes prefabricados: Empresa pionera de la construcción prefabricada en el país, destacándose como exitosa contratista de obras marítimas, edificios industriales/comerciales y de ingeniería civil pesada. La empresa cuenta con la mayor capacidad instalada de producción del área del Caribe, con tecnología de última generación para la producción de elementos prefabricados: Doble T (paredes y entrepisos), Losas, Columnas y Vigas, Postes eléctricos, Escaleras, Vigas para puentes y elevados, Pilotes, Cabezales y Tablestacas.



CONDE CONCRETO

Suministro de todo tipo de concreto.



CONDE PRE-FABRICADOS

Fabricación e instalación de elementos



CONDE IN SITU

Diseño y Construcción en sistema TILT-UP.



CONDE HOLLOW CORE

Losas aligeradas en concreto pretensado.



CONDE METAL

Diseño, construcción e intalación de estructuras

Figura 84: Catálogo de productos Conde. Fuente: Conde Web (2024).

Grupo Estrella: Es un consorcio empresarial dominicano conformado por Acero Estrella, Ingeniería Estrella, Concreto Panam, Laminados Estrella y PanelKret, aunque es reconocido en la industria de la construcción especialmente en el ámbito del acero, Grupo Estrella ha inaugurado recientemente en 2023 una planta de prefabricados de hormigón de 60,000 m² para la fabricación de las vigas del nuevo monorriel de la ciudad de Santiago de los Caballeros, mostrando el desarrollo de una oferta integral de productos y servicios.



Figura 85: Nueva planta de prefabricados de Acero Estrella. Fuente: Acero Estrella Web (2024).

La planta escolar actual presenta una retícula similar a una multimodular, con una separación de 3.50 metros entre ejes, a excepción de la escalera que cuenta con un ancho de 3.70 metros y los bloques de baño 4.70 metros, los espacios internos se dividen en 3.50 y 7 metros dependiendo del uso del espacio, si es oficina o aula, estos a su vez tiene una subdivisión de 1 metro para puertas y ventanas (fig. 86 y 87).

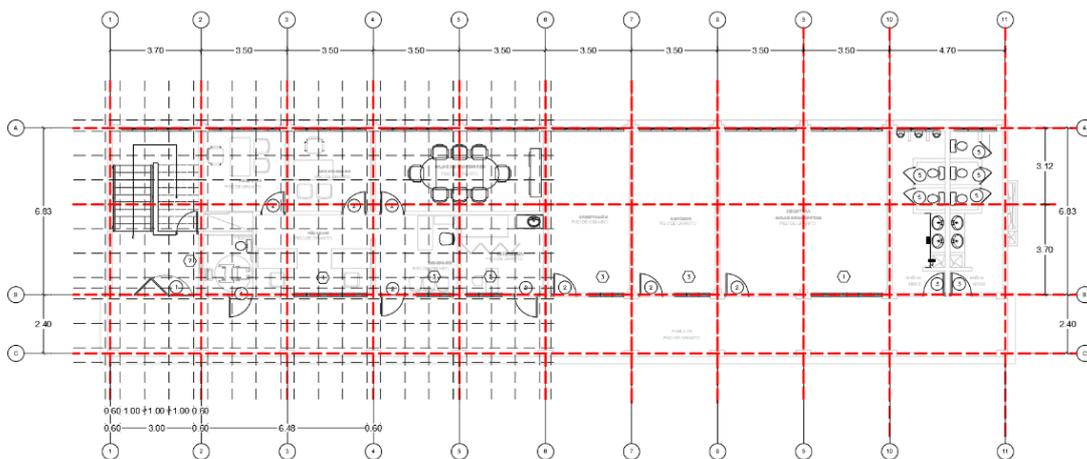


Figura 86: Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar, Retícula de la Planta arquitectónica del plantel escolar, 1er nivel. Fuente: MOPC (2024).

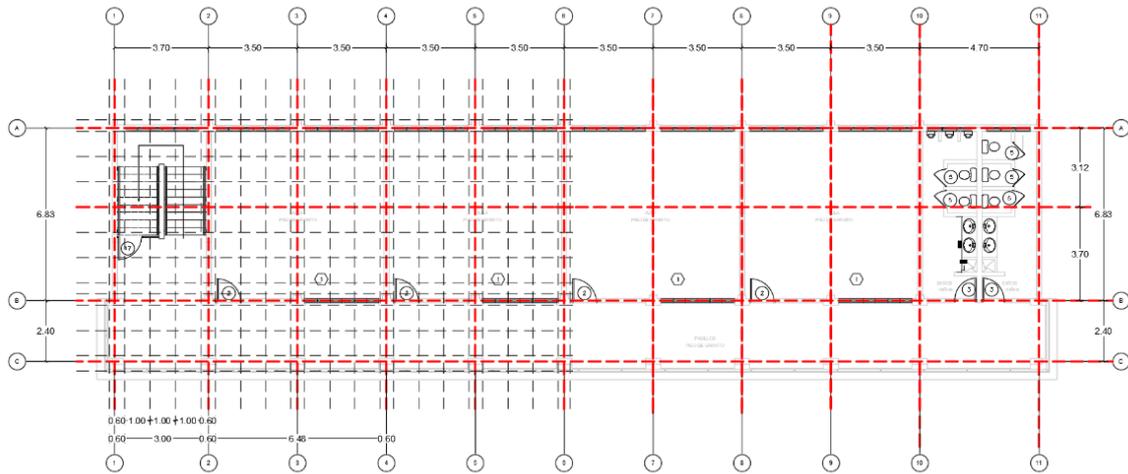


Figura 87: Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar, Retícula de la Planta arquitectónica del plantel escolar, 2do nivel. Fuente: MOPC (2024).

El segundo paso es adaptar la planta arquitectónica actual de las escuelas aplicando la coordinación modular, para esto se propone una retícula multimodular de 3M y 6M, con un módulo base de 3x3 y un submódulo de 1M, lo que la clasificaría como de categoría II y B según la UNE 41604 (fig. 88). Esta configuración modular permite obtener una planta regular y precisa, garantizando así la compatibilidad e integración de sus elementos (fig. 89 y fig.90).

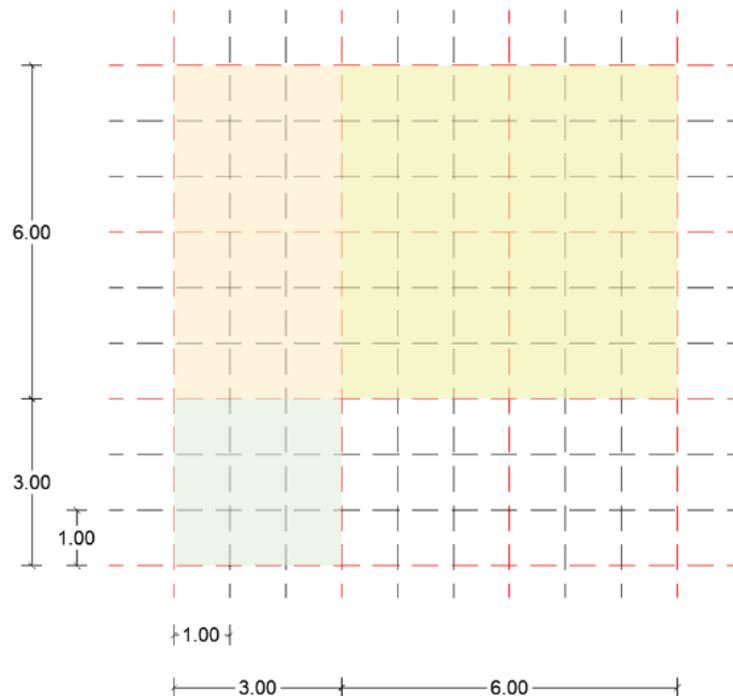
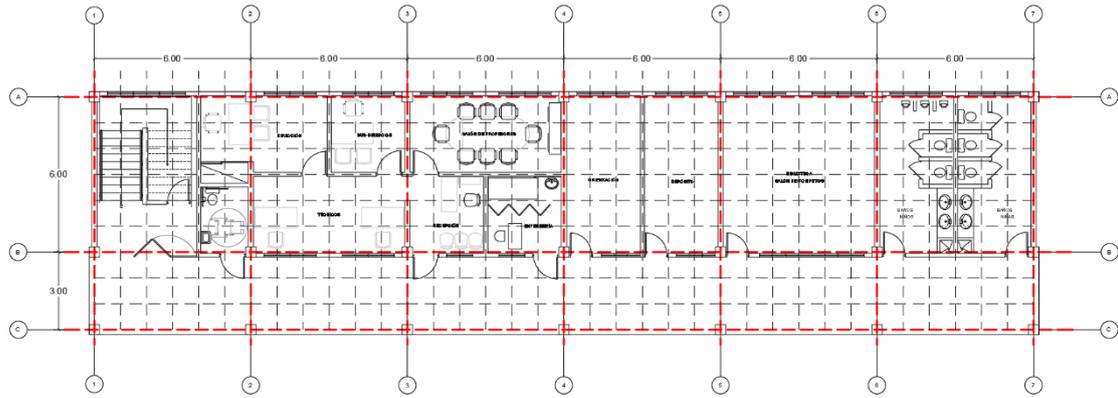
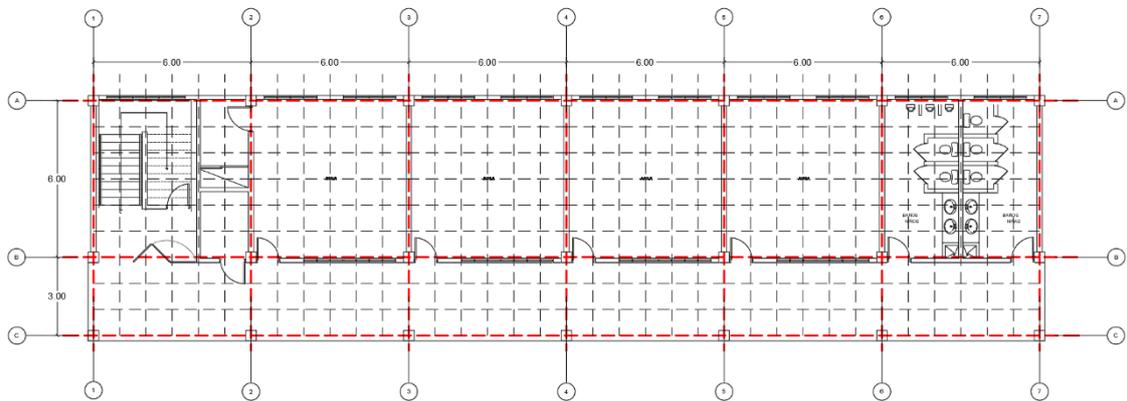


Figura 88: Propuesta de retícula multimodular basada en el modelo escolar actual. Fuente: propio.



**PLANTA ARQUITECTONICA ADAPTADA
PRIMER NIVEL**

*Figura 89: Planta adaptada basada en la Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar 1er nivel.
Fuente: MOPC (2024).*



**PLANTA ARQUITECTONICA ADAPTADA
SEGUNDO NIVEL**

Figura 90: Planta adaptada basada en la Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar 2do nivel. Fuente: MOPC (2024).

El gráfico que se presenta a continuación ilustra un modelo conceptual de escuela prefabricada, basado en la Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar, este modelo fue creado a partir de un modelado de referencia del grupo de investigación de Tecnología Edificatoria y Medio Ambiente (TEMA) de la Universidad Politécnica de Madrid. El gráfico muestra tanto la disposición de las aulas y espacios comunes, como la integración de los sistemas estructurales prefabricados. Este ejemplo gráfico sirve como referencia para futuras propuestas que busquen implementar soluciones prefabricadas en el ámbito de la construcción escolar en la República Dominicana.

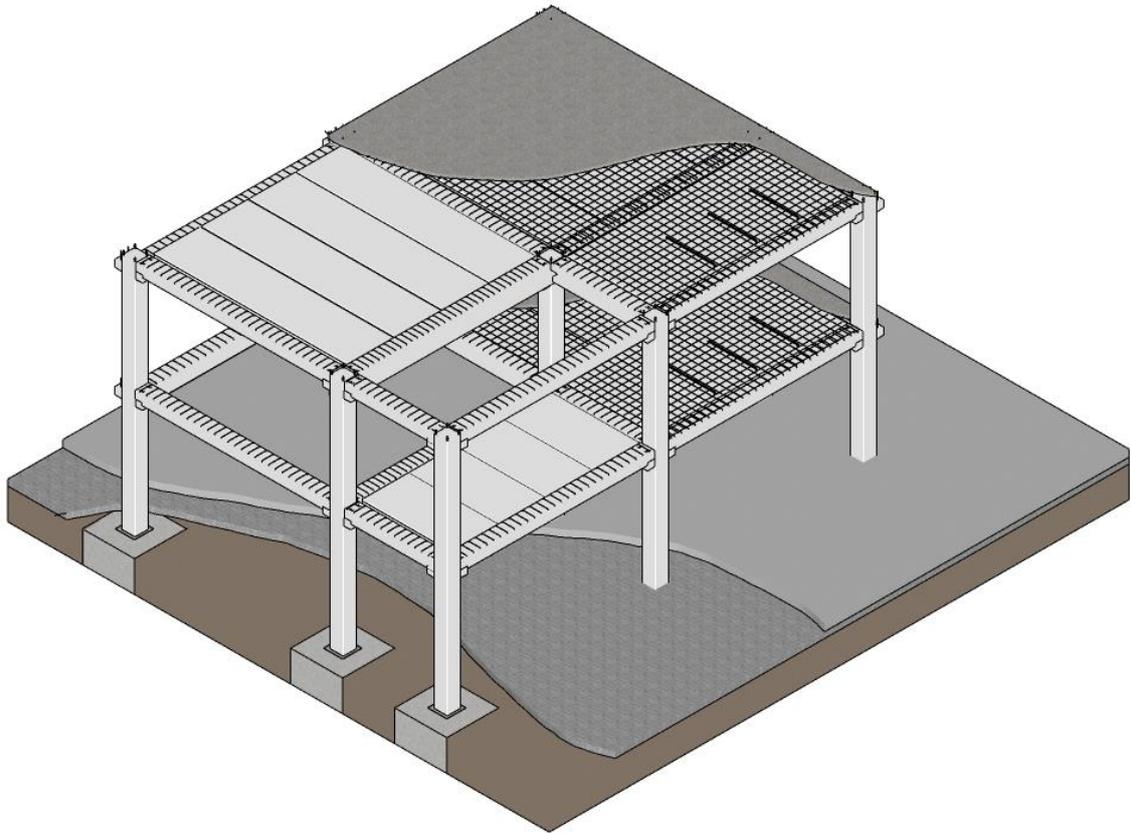
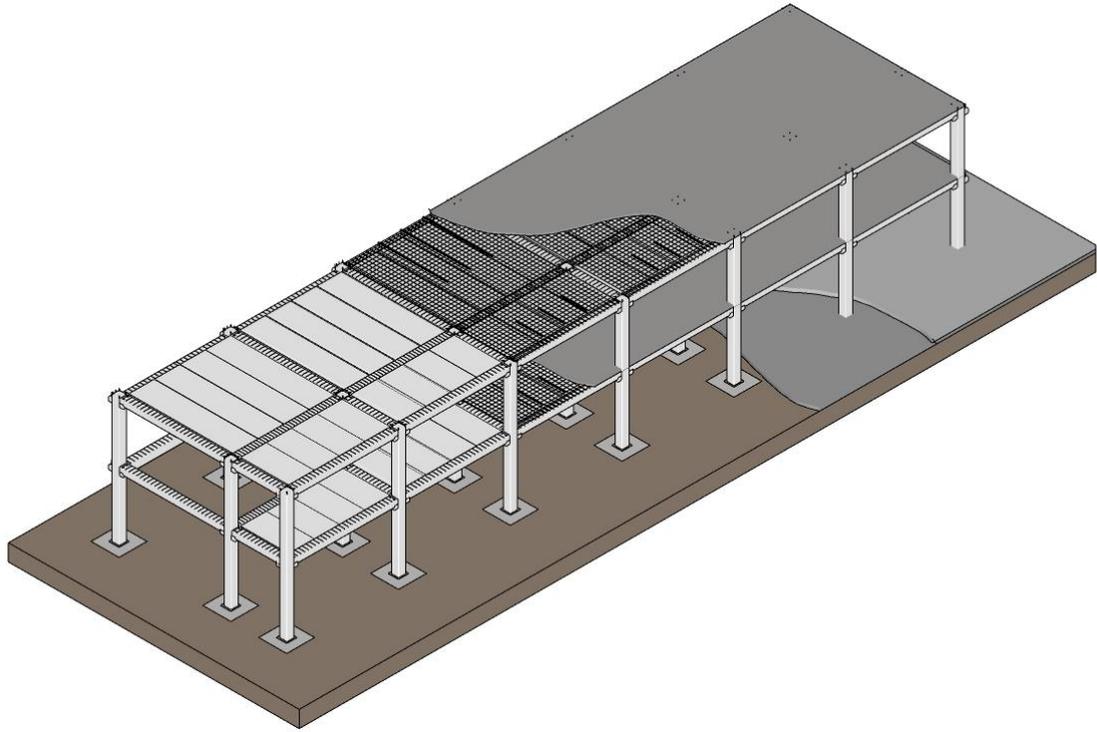


Figura 91: Modelo Conceptual Escuela Prefabricada. Fuente: Propia.

Fases del proceso constructivo (TRABIS, 2021):

- 1.- Trazo y Nivelación.
- 2.- Fabricación de cajón mediante retiro de material.
- 3.- Plataforma de material de banco y una compactación del 95% según especificaciones de mecánica de suelos.
- 4.- Cimentación con zapatas tipo cáliz en terraplén.
- 5.- Relleno y computación hasta la parte superior del candelero para recibir columnas prefabricadas.
- 6.- Instalación de columna prefabricada.
- 7.- Colado de grout entre columna y candelero.
- 8.- Instalación de traveses portantes y traveses rígidas.
- 9.- Instalación de placas alveolares.
- 10.- Colado de nodos y capa de compresión.
- 11.- Instalación de muros aligerados.

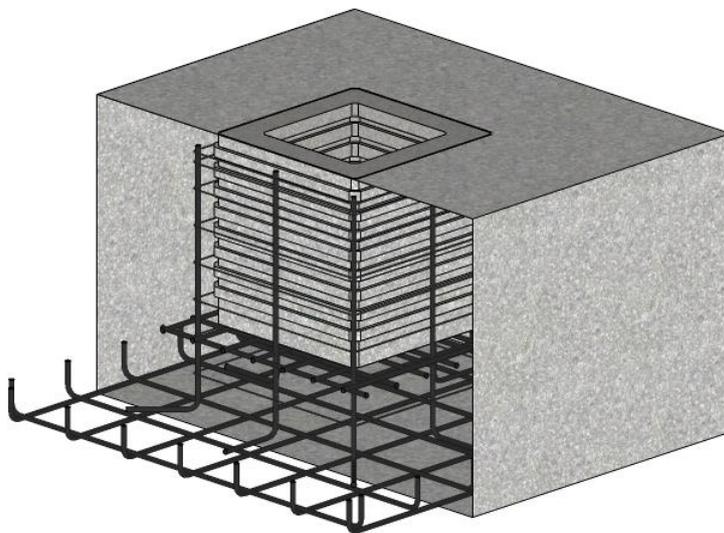


Figura 92: Zapata tipo Cáliz. Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp , TEMA (2024).

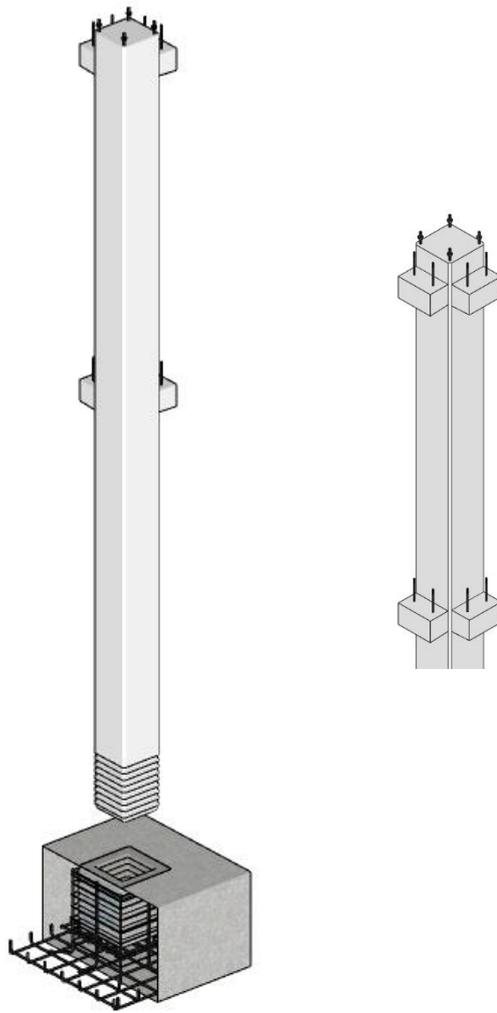


Figura 93: Pilar Prefabricado con unión rígida viga-pilar. Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp, TEMA (2024).

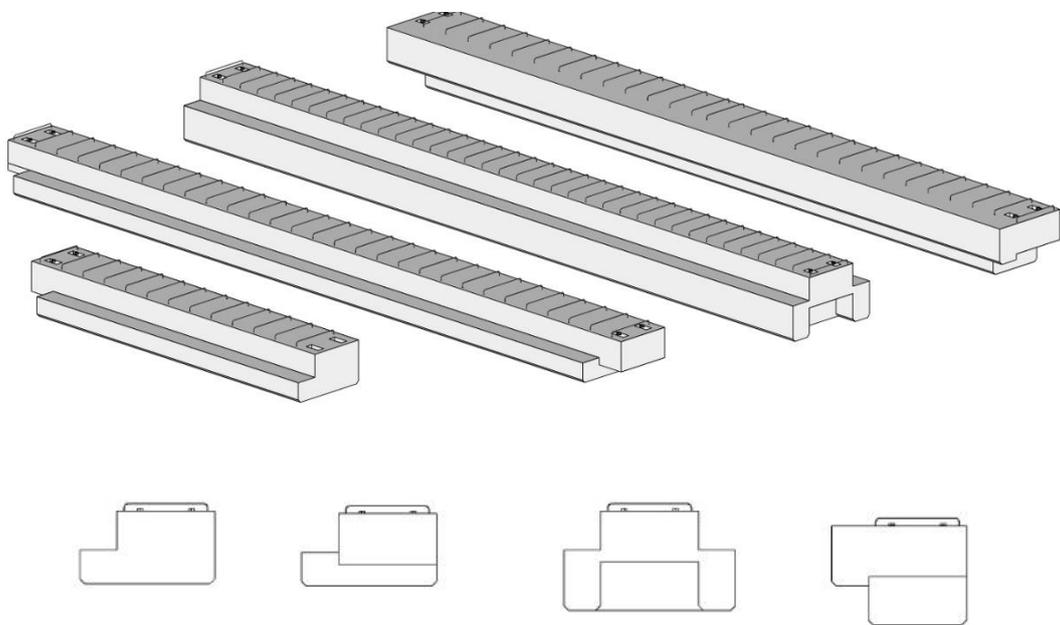


Figura 94: Vigas L y T invertida Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp, TEMA (2024).

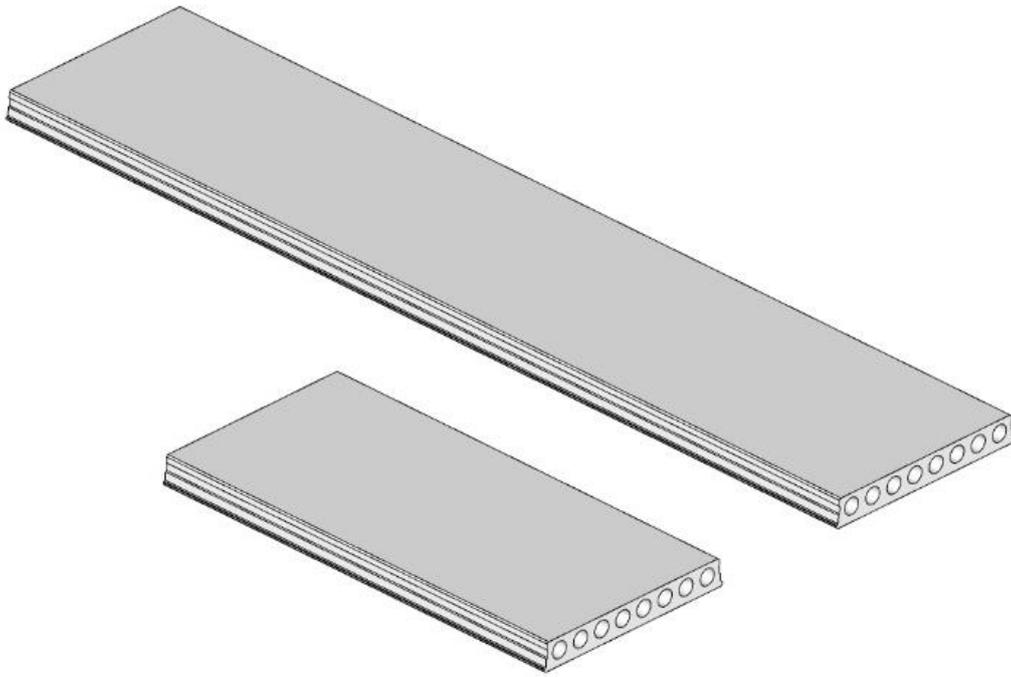


Figura 95: Placa Alveolar. Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp, TEMA (2024).

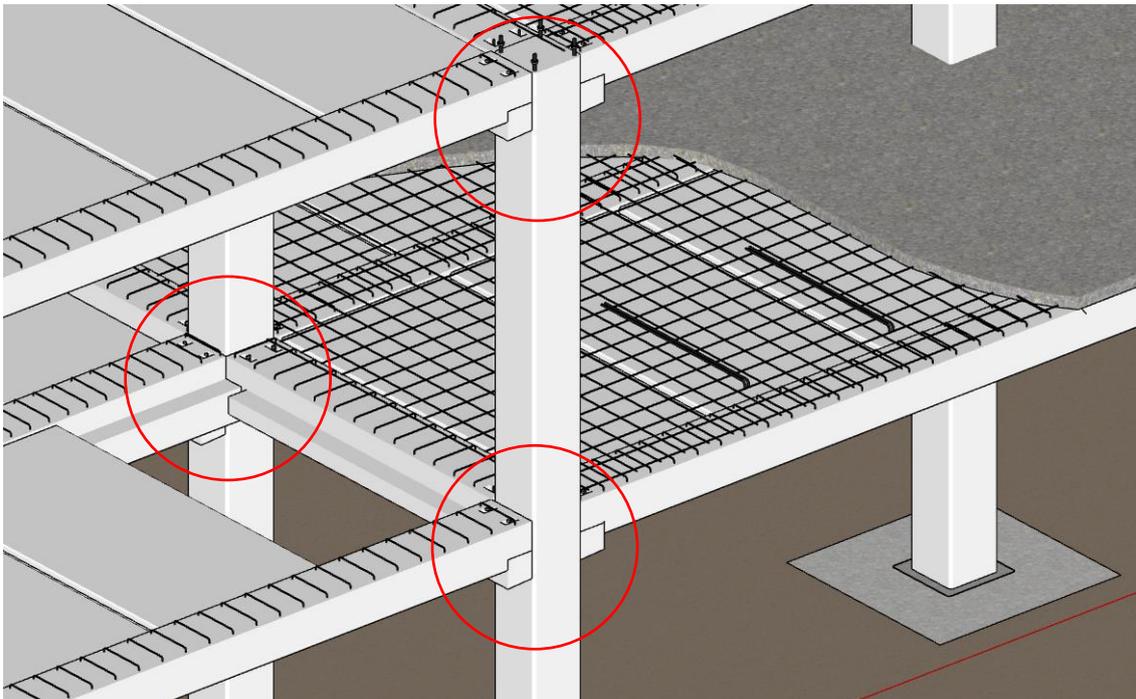


Figura 96: Conexiones Viga-Pilar Rígidas. Fuente: Propio

6.2 Mejora de la normativa

La mejora de la normativa en el ámbito de la construcción prefabricada es crucial para garantizar que las estructuras cumplan con los más altos estándares de seguridad, eficiencia y sostenibilidad. Proponer estas mejoras normativas es vital para abordar diversos aspectos clave relacionados con el uso de prefabricados de hormigón:

- a) Actualización de la normativa R-001: Es necesario ampliar el R-001 en sus artículos sobre sistemas prefabricados para reflejar los avances tecnológicos en la prefabricación y las mejores prácticas internacionales. La normativa debe evolucionar para incluir directrices específicas que aseguren la integración adecuada de elementos prefabricados en todo tipo de edificaciones, garantizando que estos componentes cumplan con los requisitos estructurales, sísmicos y de seguridad.
- b) Actualización de la normativa R-023: Incluir los prefabricados como sistema estructural en el R-023, que regula el diseño de plantas físicas escolares en niveles básico y medio. Dado que el reglamento R-001 permite el uso de elementos prefabricados y no restringe su aplicación en edificaciones generales, su inclusión en la normativa de construcción escolar es una extensión lógica. Esto aseguraría que las edificaciones escolares construidas con prefabricados de hormigón no solo sean seguras, sino también eficientes en términos de tiempo y costo, mientras cumplen con los estándares establecidos en el R-001 y la norma ACI-318.
- c) Inclusión de estándares de calidad: Implementar y reforzar estándares de calidad estrictos para los materiales y procesos de fabricación de componentes prefabricados es esencial. Estos estándares deben garantizar que todos los componentes prefabricados cumplan con los requisitos estructurales, de durabilidad y seguridad necesarios para soportar las demandas del entorno construido, incluidas las condiciones sísmicas y climáticas específicas de la región.
- d) Regulación del proceso constructivo: Es fundamental establecer regulaciones claras y detalladas que abarquen todo el proceso de construcción con elementos prefabricados, desde el diseño inicial hasta la fabricación, montaje, y mantenimiento. Estas regulaciones deben garantizar la coherencia y calidad del producto final, promoviendo la colaboración entre diseñadores, fabricantes y constructores. Además, deben incluir requisitos para la capacitación y certificación de los profesionales involucrados en la construcción con prefabricados, asegurando que estén familiarizados con las mejores prácticas y tecnologías actuales.

6.3 Colaboración interinstitucional

La implementación exitosa de las estrategias de construcción resiliente con soluciones prefabricadas en las edificaciones escolares requiere un esfuerzo colaborativo entre las principales instituciones y organismos involucrados en el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura educativa. Las entidades clave, como el Ministerio de Educación (MINERD), el Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (MOPC), los contratistas, y las comunidades locales, deben trabajar en conjunto para asegurar que las soluciones propuestas no solo se implementen, sino que también se mantengan y evolucionen de acuerdo con las necesidades y desafíos del país (fig.86).

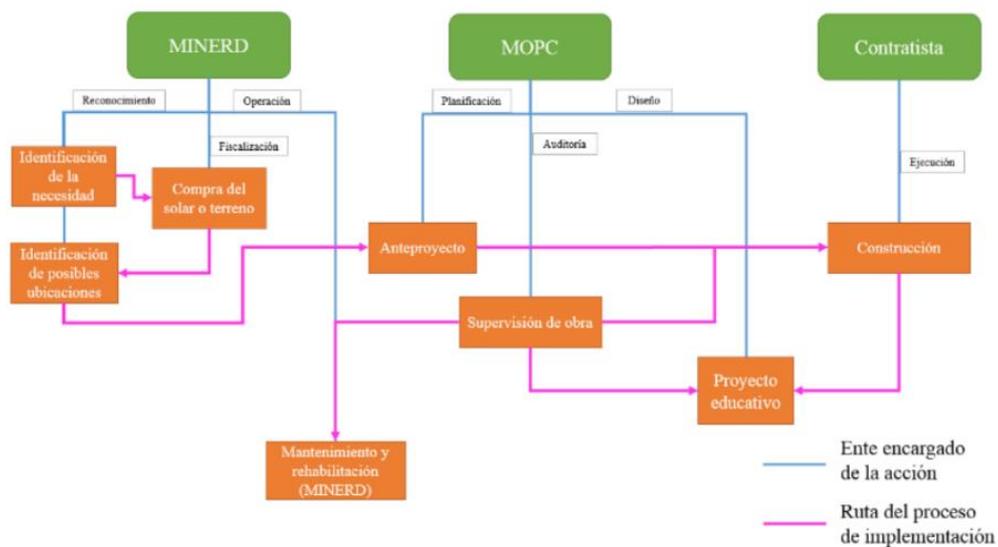


Figura 97: Roles y responsabilidades en la implementación de infraestructura escolar.
Fuente: World Bank (2017).

a) Planificación y coordinación interinstitucional:

- Creación de un comité especializado

La creación de un comité interinstitucional es crucial para alinear los esfuerzos de todas las partes involucradas. Este comité debe incluir representantes del MINERD y el MOPC, junto con ingenieros estructurales, arquitectos, expertos en prefabricados de hormigón, y representantes de las comunidades escolares.

- Desarrollo de un plan maestro integral:

Elaborar un plan maestro que establezca claramente los objetivos, cronogramas y etapas de implementación de las soluciones prefabricadas es crucial. Este plan debe abordar no solo la

construcción de nuevas infraestructuras, sino también la actualización y adecuación de las normativas existentes para garantizar que todos los proyectos futuros cumplan con los estándares internacionales de seguridad, eficiencia y sostenibilidad.

b) Fortalecimiento de las capacidades institucionales y técnicas:

- Capacitación continua y desarrollo de competencias

Es vital desarrollar programas de capacitación continua para los profesionales involucrados en la construcción escolar, incluyendo ingenieros, arquitectos, constructores y técnicos de mantenimiento. Estas capacitaciones deben enfocarse en las tecnologías de prefabricación, las mejores prácticas internacionales y las normativas actualizadas. Un enfoque particular debe estar en la formación práctica y en el conocimiento de las particularidades del contexto dominicano, como las condiciones climáticas y geológicas.

- Desarrollo de manuales y protocolos

Crear manuales técnicos y protocolos operativos que estandaricen el proceso de diseño, fabricación, y montaje de los prefabricados, asegurando uniformidad y calidad en las construcciones escolares. Estos documentos deben estar disponibles para todos los actores involucrados en la construcción, facilitando una comprensión clara de los requisitos y procedimientos a seguir.

c) Participación comunitaria y transparencia:

- Inclusión de las comunidades locales

La participación activa de las comunidades escolares y locales en el proceso de planificación y construcción es fundamental para garantizar que las nuevas edificaciones no solo cumplan con los estándares técnicos, sino que también respondan a las necesidades y expectativas de sus usuarios finales. La inclusión de las comunidades puede lograrse a través de consultas públicas, talleres participativos y la creación de comités de vigilancia comunitaria que acompañen el proceso de construcción.

d) Promoción de la colaboración público-privada:

- Establecimiento de alianzas estratégicas

El éxito de las estrategias de construcción resiliente también depende de la colaboración efectiva entre el sector público y el privado. Es necesario establecer alianzas estratégicas con fabricantes locales de prefabricados de hormigón, universidades, centros de investigación y organizaciones no gubernamentales. Estas alianzas pueden facilitar la innovación, el acceso a nuevas tecnologías y la implementación de estándares de calidad rigurosos en la producción y el montaje de los componentes prefabricados.

- Incentivos para el desarrollo de la industria local

Para estimular el desarrollo de la industria local de prefabricados, el gobierno podría considerar la implementación de incentivos fiscales, subvenciones o programas de financiamiento que apoyen a las empresas en la adopción de nuevas tecnologías y procesos de producción. Estos incentivos también podrían fomentar la investigación y desarrollo de soluciones innovadoras adaptadas a las necesidades específicas del sector educativo dominicano.

Estas estrategias de colaboración interinstitucional están diseñadas para asegurar que la implementación de soluciones prefabricadas en las edificaciones escolares de la República Dominicana sea un proceso coordinado, eficiente y sostenible, que resulte en estructuras seguras y resilientes capaces de enfrentar los desafíos ambientales y sociales del país.

7 CONCLUSIONES

En este TFM se desarrollaron estrategias de construcción mediante elementos prefabricados de hormigón para garantizar la seguridad estructural de las edificaciones escolares en la República Dominicana, contribuyendo con mejores técnicas constructivas, un modelo conceptual, actualización de la normativa y la elaboración de un plan de colaboración interinstitucional. Se ha demostrado que la adopción de sistemas prefabricados no solo es factible, sino una solución idónea para enfrentar los desafíos actuales en la construcción escolar.

El análisis de las estructuras escolares existentes ha revelado importantes vulnerabilidades, especialmente en el diseño y la ejecución de las edificaciones como: el efecto columna corta, irregularidades en planta, conexiones viga-columna inadecuadas, muros no estructurales sin junta de separación de las columnas, materiales de baja calidad y ejecución deficiente en obra. Ante estas vulnerabilidades estructurales se han propuesto estrategias con soluciones prefabricadas como: diseño modular, uso de simuladores y modelados avanzados, uso de conexiones de alta precisión y juntas de expansión integradas, materiales de alta resistencia y capacitación de personal y supervisión de obra.

El modelo conceptual presentado no solo ejemplifica la viabilidad de utilizar sistemas prefabricados en la construcción escolar, sino que también sienta las bases para futuras implementaciones en la República Dominicana.

El análisis y revisión de la normativa actual, permitió identificar las carencias en la misma en cuanto al empleo de prefabricados de hormigón. La mejora de la normativa consiste en la ampliación de regulaciones específicas para prefabricados en el R-001 y la incorporación de los prefabricados como sistema estructural en el R-023.

La implementación de un plan de colaboración interinstitucional, como el propuesto, es el primer paso para el éxito de las estrategias planteadas, ya que se necesita de la participación de todas las instituciones que son responsables de las infraestructuras educativas del país, contribuyendo de manera significativa al bienestar y desarrollo de las futuras generaciones.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. AENOR (1997). Construcción de edificios. Coordinación dimensional y modular.
2. ArchDaily en Español. (2011, julio 1). Escuela María Helena / +K Architects. ArchDaily. <https://www.archdaily.cl/cl/02-95965/escuela-maria-helena-k-architects>
3. ArchDaily. (2020). Escola Estadual Jardim Romano / H+F Arquitectos. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/953036/escola-estadual-jardim-romano-h-plus-f-arquitectos>
4. Beuperthuy, J. L., & Urich, A. J. (2011). El efecto de columna Corta Estudio de casos. BRS Ingenieros, CA, Venezuela.
5. Carriba Quintela, J (2011). Estudio preventivo de elementos prefabricados en la edificación. Universidad Politécnica de Catalunya. Concrete (fib). Lausana, Suiza. Febrero
6. CPCI. (2009). Designing with precast concrete structural solutions. Ottawa: Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute.
7. Del Águila, A. (2006). Las tecnologías de la industrialización de los edificios de
8. E Barberá (s.f). *Capítulo 2 Coordinación Dimensional*. [Material de clase]. Curso de Técnicas y Sistemas de Construcción Industrializada (MAAPUD), Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Valencia.
9. E Barberá (s.f). *Capítulo 3 Planteamiento Estructural*. [Material de clase]. Curso de Técnicas y Sistemas de Construcción Industrializada (MAAPUD), Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Valencia.
10. E Barberá (s.f). *Capítulo 7 Estructuras Reticulares*. [Material de clase]. Curso de Técnicas y Sistemas de Construcción Industrializada (MAAPUD), Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Valencia.
11. E Barberá (s.f). *Capítulo 8 Paneles de Hormigón*. [Material de clase]. Curso de Técnicas y Sistemas de Construcción Industrializada (MAAPUD), Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Valencia.
12. E Barberá (s.f). *Capítulo 9 Forjados Prefabricados de Hormigón*. [Material de clase]. Curso de Técnicas y Sistemas de Construcción Industrializada (MAAPUD), Dpto. de Construcciones Arquitectónicas, Universidad Politécnica de Valencia.
13. Elliott. K.s. (2002). Precast concrete structures. Butterworth-heinemann. Ed. Elsevier science. Oxford

14. Enkerli, W., & Frei, R. (2007). Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden, Suiza: Burkard, Meyer BSA. Tectónica: monografías de arquitectura, tecnología y construcción, (24), 74-87.
15. Erazo, K., & Taveras, A. (2021). Demandas estructurales inducidas por vientos huracanados y terremotos en un edificio flexible en la República Dominicana. Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones, 4(1), 57-78.
16. Escrig Pérez, C. (2010). Evolución de los sistemas de construcción industrializados a base de elementos prefabricados de hormigón.
17. fib T.G. 6.2 (Fédération Internationale du Béton) (2008). Structural connections for precast concrete buildings. CEB-FIP Bull nº 43. Ed. International Federation for Structural
18. Fib t.g. 6.2 (fédération internationale du béton) (2008). Structural connections for precast concrete buildings. Ceb-fip bull nº 43. Ed. International federation for structural concrete (fib). Lausana, suiza. Febrero
19. Gómez Jáuregui, V. (2012). Edificación Modular: Prefabricación Vs. Industrialización... [Entrada de blog]. EADIC.
20. Grandoso, O. (2008). Industrialización vs. Prefabricación. Repositorio de la Universidad de Palermo.
21. Gub.uy (2021). Estructuras colapsadas: qué son y cómo se gestionan este tipo de emergencias en Uruguay.
22. López, R. & Martínez, J. (2003). Daños observados en Puerto Plata, República Dominicana, causados por el terremoto del 22 de septiembre de 2003. Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, 3(2), 189-204.
23. M. F. (2008). Ehe-08. Instrucción de hormigón estructural. Ed. Ministerio de fomento. Secretaría general técnica. Madrid
Madrid 3ª edición. Madrid.
24. Martín Ramón, Alberto (2021). Los procesos de industrialización de la construcción tradicional. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S. Arquitectura (UPM).
25. Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (2012). Amenazas y Riesgos Naturales en la República Dominicana, Compendio de Mapas. Santo Domingo, República Dominicana.
26. Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (2013). Guía Técnica para la Construcción de Escuelas Seguras y Modelos Prototipos. Dirección General de Ordenamiento y Desarrollo Territorial.

27. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2011). Reglamento para el análisis y diseño sísmico de estructuras, R-001. Dirección General de Reglamentos y Sistemas. Santo Domingo, D.N., República Dominicana.
28. Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones (2011). Reglamento para el diseño de plantas físicas escolares, niveles básico y medio, R-023. Dirección General de Reglamentos y Sistemas. Santo Domingo, D.N., República Dominicana.
29. Moreno González, C. P. (2014). Análisis de daños estructurales causados por sismos en escuelas públicas de Rep. Dom.: reparación y propuesta de mejora de elementos estructurales de hormigón armado antes y después de un sismo.
30. Negro, p.; toniolo, g. (2012). Design guidelines for connections of precast structures under seismic actions. European commission eur 25377 en - joint research center - institue for the protection and security of citizen. Publication office of the european union. Luxemburgo
31. Organización de los Estados Americanos (1991). DESASTRES, P. Y. D. Manejo de amenazas naturales para reducir los daños. Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Secretaría Ejecutiva para Asuntos Económicos y Sociales Organización de los Estados Americanos. Washington.
32. Organización Panamericana de la Salud (2000). Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencias, & Coordinación del Socorro en Casos de Desastre. Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud. Pan American Health Org.
33. Patrón Corrales, D. R. (2020). Estudio del mecanismo de falla de conexión viga-columna de concreto armado reforzada con chaqueta de acero.
34. Penagos Congote, J. E. (2017). Guía de diseño de cimentaciones superficiales prefabricadas para edificaciones.
35. Phillips, w.r.; sheppard, d.a. (1982). Plant cast precast and prestressed concrete. Ed. Prestressed concrete manufacturers association of california. 2ª edición, 3ª reimpresión. Sacramento
Principios y reglas. UNE 41604. Madrid, 1997
36. Reinoso, E., Rodríguez, M. E., & Betancourt, R. (2000). Manual de diseño de estructuras prefabricadas y presforzadas. ANIPPAC-Instituto de Ingeniería UNAM.
37. Reyes, L. (2015). "Evaluación cualitativa de la calidad sismo-resistente, accesibilidad, ubicación y funcionalidad de los nuevos planteles escolares". Iniciativa Dominicana por una Educación de Calidad.

38. Salas Serrano, Julián (2010). De los sistemas de prefabricación cerrada a la industrialización sutil de la edificación: algunas claves del cambio tecnológico. "Informes de la Construcción", v. 60 (n. 512); pp. 19-34. ISSN 0020-0883.
39. Vacchini L. (s.f). "Hidden Architecture. Ecole d'Architecture de Nancy". Hidden Architecture Blog.
vivienda. Tomo 1. Ed. Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos de
40. World Bank. (2017). GPSS Global Program for Safer Schools-Dominican Republic Technical Report (Spanish) (Issue 2).

9 FIGURAS Y TABLAS

Figura 1: Imagen del paso del Huracán San Zenón, 3 de septiembre del 1930. Fuente: OCI (2017).

Figura 2: Colegio Dominicana La Salle. Fuente: Historia Dominicana en Gráficas, Grupo de Facebook (2019).

Figura 3: Ejemplos de escuelas modernas exhibidos en la Exposición Internacional de Escuelas Modernas. Fuente: Álbum Moser (1932-1933).

Figura 4: Ejemplo Nacional Escuela Antonio Duvergé, tipo Johnson, 1962. Fuente: OCI (2017).

Figura 5: Pórticos de hormigón armado. Fuente: ZIGURAT Institute of Techonoly (2017).

Figura 6: Construcción del Centro Educativo Marcos Castañer 1997, San Cristóbal, República Dominicana. Fuente: Fundación Heres (2024).

Figura 7: Estructura de pórticos y muros de cargas. Fuente: Moreno (2014).

Figura 8: Escuela en proceso de construcción. Fuente: CDN Noticias (2015).

Figura 9: Escuela Básica Ramón Julián Peña. Fuente: Ministerio de Educación (2016).

Figura 10: Planta arquitectónica Plantel escolar. Fuente: Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (2013).

Figura 11: Ubicación República Dominicana. Fuente: Google Maps (2024).

Figura 12: Tectónica de la Región del Caribe. Fuente: Molnar and Sykes,(1969).

Figura 13: Fallas Sísmicas isla La Hispaniola. Fuente: N Digital Web, (2024).

Figura 14: Sismicidad Histórica. Fuente: Rosario Michel, G. (2012).

Figura 15: Zonificación Sísmica. Fuente: Reglamento Sísmico R-001 (2011).

Figura 12: Huracanes y Tormentas Tropicales. Fuente: Cocco Quezada, A (2013).

Figura 13: Inundaciones en República Dominicana. Fuente: Que pasa MediaNetwork Web (2017).

Figura 14: Escuela San Marcos, Puerto Plata 2003. Fuente: López et al., (2003).

Figura 15: Escuela Especial De Sordomudos Cristiano para Educación, Marañon, Santo Domingo Norte. Fuente: Reyes (2015).

Figura 16: Escuela en construcción Juan Bosch 1 con irregularidad en planta. Fuente: World Bank (2017).

Figura 17: Planta arquitectónica Plantel escolar. Fuente: Ministerio de Economía, Planificación y Desarrollo (2013).

Figura 18: Escuela La Reforma, falta de aros, conexión Viga-Losa. Fuente: López et al., (2003).

Figura 19: Escuela José Dubeau, deterioro de la conexión Viga-Columna. Fuente: López et al (2003).

Figura 20: Escuela Concepción Gómez, daños en paredes de bloques, dirección longitudinal. Fuente: López et al (2003).

Figura 25: Centro educativo básico, kelbyn obrero, mala ejecución de juntas y uniones. Fuente: Reyes (2015).

Figura 26: Escuela Básica La Redención, columna corta y muros no estructurales unidos a columna. Fuente: Reyes (2015).

Figura 27: Escuela Reforma – doble losa. Fuente: López & Martínez (2003).

Figura 28: Asimetría del edificio, rotura de junta. Fuente: Moreno (2014).

Figura 29: Politécnico Madre Rafaela Ibarra, no hay continuidad en algunos ejes. Fuente: Reyes (2015).

Figura 30: Escuela básica Marañón 1, inclinación inaceptable sísmicamente de una de las columnas del segundo piso. Fuente: Reyes (2015).

Figura 31: Escuela La Redención, Calidad de concreto deficiente y presencia de columnas cortas. Fuente: Reyes (2015).

Figura 32: Escuela básica Marañón 1, desface de columna fuera de su eje bajo nivel de piso, efecto inaceptable sísmicamente. Fuente: Reyes (2015).

Figura 33: Escuela básica Básima, columna apoyada sobre muro. Fuente: Reyes (2015).

Figura 34: Escuela La Reforma, piso colapsado, terremoto Puerto Plata 2003. Fuente: López & Martínez (2003).

Figura 35: Sistema de muros ortogonales (x,y) Estructura Sistema 2. Fuente: Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001).

Figura 36: Ejemplo de distribución de los elementos resistentes en planta. Fuente: Análisis y diseño sísmico de estructuras (R-001).

Figura 37: Tipología Balloon Frame. Fuente: The Language of Carpentry, Blog (2024).

Figura 38: Primera patente de edificio prefabricado por Edward T. Potter (1889). Fuente: Wikipedia (2024).

Figura 39: Casa Nancy cosntruida por Jean Prouve (1954). Fuente: Wikiarquitectura (2024).

Figura 40: Sistema cerrado, Edificio Lagutenko-Posokhin, Moscow. Fuente: X (antes Twitter), David Bela (2020).

Figura 41: Sistema Abierto, Complejo La Grande Borne, Grigny, París, Francia. Fuente: Wikimedia (2024).

Figura 42: Edificio Lagutenko-Posokhin, Moscow, 1948. Wikimedia (2024).

Figura 43: Complejo La Grande Borne, Grigny, París, Francia. Fuente: Wikimedia (2024).

Figura 44: Edificio industrial, Polígono Ind. Santiago-Provasa, Barberá del Vallés (Barcelona) Estructura y cerramientos de hormigón prefabricado. Fuente: Escrig Pérez (2010).

Figura 45: Retícula modular. Fuente: AENOR (1997).

Figura 46: Retícula modular. Fuente: AENOR (1997).

Figura 47: Multimódulos. Fuente: AENOR (1997).

Figura 48: Plantas según grado de flexibilidad. Fuente: AENOR (1997).

Figura 49: Tabla de elección de multimódulo. Fuente: AENOR (1997).

Figura 50: Malla con multimodulo. Fuente: Norma NEN 2883.

Figura 51: Centro para la comunidad judía, Trenton, New Jersey, 1957. Fuente: TFG Ortín Soriano, Pablo (2016).

Figura 52: Acciones horizontales y acciones verticales. Fuente: Jhon INGenius, Facebook(2021).

Figura 53: Centro de masas y centro de rigideces. Fuente: E. barberá (s.f).

Figura 54: Junta de dilatación. Fuente: E. barberá (s.f).

Figura 55: Junta de asiento. Fuente: E. barberá (s.f).

Figura 56: Junta sísmica. Fuente: propio.

Figura 57: Tabla de Tipología estructural. Fuente: Elliott (2002)

Figura 58: Sistema con pórticos y uniones rígidas viga-soporte. Fuente: E. barberá (s.f).

Figura 59: Fabricación de componentes prefabricados. Fuente: Wallpanellines (2024).

Figura 60: Transporte de grandes vigas de hormigón. Fuente: Poliblogs UPV, autor Victor Yepes Piquera (2013).

Figura 61: Montaje de panel prefabricado en su sitio. Fuente: Wallpanellines (2024).

Figura 62: Planificación y montaje de obras prefabricadas. Fuente: Revista Hormigón al Día, Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile (2020).

Figura 63: Pilares. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 64: Vigas. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 65: Conexión cimientosoporte mediante cáliz. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 66: Conexión cimientosoporte mediante vainas. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 67: Conexión cimientosoporte, conexión atornillada. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 68: Conexión soporte-soporte, vainas. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 69: Conexión soporte-soporte, mediante empalme. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 70: Conexión soporte-viga, Articuladas. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 71: Conexión soporte-viga, unión metálica. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 72: Conexión soporte-viga, unión rígida. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 73: Forjados. Fuente: E. Barberá (s.f).

Figura 74: Panel macizo CEPREF de 12. Fuente: Blog de CEPREF (2019).

Figura 75: Escola Estadual Jardim Romano, Brazil. Fuente: Pedro Napolitano Prata, ArchDaily (2020).

Figura 76: Escola Estadual Jardim Romano, Brazil. Fuente: H+F Arquitetos, ArchDaily (2020).

Figura 77: Escuela María Helena, Brazil. Fuente: Nelson Kon, ArchDaily (2011).

Figura 78: Escuela María Helena, Brazil. Fuente: Nelson Kon, ArchDaily (2011).

Figura 79: Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden, Suiza. Fuente: Tectonica (2015).

Figura 80: Escuela Secundaria de Formación Profesional en Baden, Suiza. Fuente: Tectonica (2015).

Figura 81: Escuela de Arquitectura de Nancy, Francia. Fuente: Hidden Architecture (2024).

Figura 82: Escuela de Arquitectura de Nancy, Francia. Fuente: Hidden Architecture (2024).

Figura 83: Catálogo de productos Codelpa. Fuente: Codelpa Web (2024).

Figura 84: Catálogo de productos Conde. Fuente: Conde Web (2024).

Figura 85: Nueva planta de prefabricados de Acero Estrella. Fuente: Acero Estrella Web (2024).

Figura 86: Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar, Retícula de la Planta arquitectónica del plantel escolar, 1er nivel. Fuente: MOPC (2024).

Figura 87: Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar, Retícula de la Planta arquitectónica del plantel escolar, 2do nivel. Fuente: MOPC (2024).

Figura 89: Planta adaptada basada en la Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar 1er nivel. Fuente: MOPC (2024).

Figura 90: Planta adaptada basada en la Escuela Básica Olimpia Acevedo de Almánzar 2do nivel. Fuente: MOPC (2024).

Figura 91: Modelo Conceptual Escuela Prefabricada. Fuente: Propia.

Figura 92: Zapata tipo Cáliz. Fuente: Propia.

Figura 93: Pilar Prefabricado con unión rígida viga-pilar. Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp , TEMA (2024).

Figura 94: Vigas L y T invertida Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp , TEMA (2024).

Figura 95: Placa Alveolar. Fuente: Jaime Santa Cruz, SketchUp , TEMA (2024).

Figura 96: Conexiones Viga-Pilar Rígidas. Fuente: Propio

Figura 97: Roles y responsabilidades en la implementación de infraestructura escolar. Fuente: World Bank (2017).