

HORMIGÓN Y MODERNIDAD EN DISCUSIÓN: LA ESTRUCTURA SOPORTANTE COMO TERRITORIO DE NEGOCIACIÓN ENTRE ARQUITECTURA E INGENIERÍA.

CONCRETE AND MODERNITY UNDER DISCUSSION: THE STRUCTURAL
FRAMEWORK AS A SPACE FOR DIALOGUE BETWEEN ARCHITECTURE
AND ENGINEERING

Cristian Muñoz-Díaz

Universidad de Chile
cristianmd@uchile.cl

Victoria Opazo-Castro

Universidad San Sebastián
victoria.opazo@uss.cl

Gabriel Cañete-Guevara

Universidad de Chile
gabriel.canete@uchile.cl

EN BLANCO. Revista de arquitectura. N° 40

ASSADI + PULIDO. Año 2026

Recepción: 12-01-2026. Aceptación: 06-04-2026. (Páginas 106 a 119)

DOI: <https://doi.org/10.4995/eb.2026.26087>

Resumen: La arquitectura moderna desarrollada en Chile durante la segunda mitad del siglo XX se configuró en un contexto marcado por la actividad sísmica propia de este territorio, un marco normativo prescriptivo y condiciones tecnológicas y socioeconómicas específicas. En este escenario, los ideales del movimiento moderno debieron adecuarse a una realidad local que condicionó de manera decisiva las decisiones proyectuales. Este artículo analiza el rol de la estructura soportante en hormigón armado como elemento clave de dicha adecuación, entendida no solo como respuesta técnica al sismo, sino como un territorio de negociación entre arquitectura e ingeniería, con efectos directos en la definición espacial, formal y material de la obra. El estudio se centra en edificaciones de vivienda de mediana altura en Santiago de Chile durante las décadas de 1950 y 1960, a partir del análisis de tres casos representativos. La metodología integra maquetas estructurales, planimetría codificada y análisis estructural normativo, permitiendo vincular distribución de masas, rigideces y esfuerzos con decisiones proyectuales. Los resultados destacan al hormigón armado como sistema resistente y materia expresiva, cuya condición visible contribuyó a la configuración de un lenguaje arquitectónico moderno local en contexto sísmico.

Palabras clave: Hormigón armado; Arquitectura moderna chilena; Estructura sismorresistente; Vivienda de mediana altura; Diseño arquitectónico.

Abstract: Modern architecture in Chile during the second half of the 20th century developed within a context characterised by the seismic activity typical of the region, a prescriptive regulatory framework, and specific technological and socio-economic conditions. Against this backdrop, the ideals of the modernist movement had to be adapted to a local reality that decisively shaped design decisions. This article examines the role of the reinforced concrete structural framework as a key element in this adaptation, understood not only as a technical response to seismic activity, but also as a point of negotiation between architecture and engineering, with direct implications for the spatial, formal, and material definition of the building. The study focuses on mid-rise residential buildings in Santiago de Chile during the 1950s and 1960s, based on an analysis of three representative case studies. The methodology combines structural models, coded planimetry and regulatory structural analysis, enabling a link to be established between mass distribution, stiffness and stresses on the one hand, and design decisions on the other. The results highlight reinforced concrete as a resilient system and an expressive material, whose visible nature contributed to the development of a local modern architectural language within a seismic context.

Keywords: Reinforced concrete; Modern Chilean Architecture; Earthquake-resistant Structure; Mid-rise Housing; Architectural Design.



FIG. 01

INTRODUCCIÓN

Cuando los ideales arquitectónicos del movimiento moderno, que se desarrollaron bajo la realidad cultural, tecnológica y territorial del norte global, se vieron enfrentados a una realidad local chilena —sísmica, tecnológica, cultural y económica—, establecieron una discusión determinante para la arquitectura de todo el siglo XX, como advirtió el destacado arquitecto chileno, Sergio Larraín Bravo en un artículo publicado en la revista chilena *ZigZag* en el año 1937. El presente trabajo discute el rol determinante, aunque oculto, de las estructuras en hormigón armado en la materialización de los asuntos del diseño moderno, cuyos ideales fueron plasmados en la definición plástica, espacial, formal y urbana de la obra arquitectónica, mediante un estudio de 3 obras icónicas mediante maquetas de los sistemas estructurales, representación planimétrica y análisis estático.

Se reconoce, la centralidad de la estructura soportante —definida por orden, orientación, sección y rigidez— en la toma de decisiones estéticas —espaciales, programáticas y compositivas—, considerando la relevancia de las condiciones locales —tecnológico, normativo y cultural— en las posibilidades del proyecto. Desde esta perspectiva, la edificación en mediana altura —3 a 7 pisos— constituye un objeto de estudio pertinente al ser fuertemente exigida por los efectos del sismo, pero a su vez, permitir mayores márgenes de diseño respecto a edificios de gran altura. Este trabajo se sustenta en la relevancia que tienen las estructuras en la toma de decisiones adecuadas a las propuestas estéticas, pero también la importancia del factor local a partir de las posibilidades tecnológicas, normativas y culturales.

En este contexto, es relevante destacar que el hormigón, como cualquier otro material, tiene una expresión propia resultante de su composición química, su microestructura, la técnica de construcción y las cualidades mecánicas que definirán su geometría, posición y vínculo, el cual, además, como afirma Adrian Forty, será el material “que ofrece el más promisorio medio para la aplicación de los principios científicos en la construcción.”^{1,2} En muchos casos esta expresión intenta ser ocultada tras los elementos secundarios que se instalan para lograr la habitabilidad del espacio, pero también para lograr expresiones complementarias a la de la estructura como la incorporación de color o el uso de texturas. Sin embargo, el hormigón con sus cualidades ha definido la estructura y, con ello, las posibilidades de la arquitectura en la zona sísmica chilena.

Estas tres perspectivas, el movimiento moderno como lineamiento internacional, la realidad local y el material confluyen en la definición estructural y material de la obra, lo cual será una perspectiva de análisis de los tres casos de estudio (FIG. 1) que busca evidenciar su relevancia y, con ello, aportar en la comprensión de la arquitectura moderna desarrollada en la segunda mitad del siglo XX en Santiago de Chile.

El estudio se acota a las décadas de 1950 y 1960 período donde la industrialización de las grandes urbes y la migración campo-ciudad agudizaron el déficit de vivienda; destacándose hitos como la creación de la CORVI en 1953, que fomentó la construcción de unidades habitacionales por parte del estado y, en específico, un empuje importante por la densificación de las ciudades mayores; por otro lado la fundación del Instituto Experimental de Edificación en 1952, impulsando la implementación de nuevas tecnologías de construcción; y la circulación de medios de difusión disciplinar y profesional

INTRODUCTION

When the architectural ideals of the Modern Movement —which had developed within the cultural, technological and territorial context of the Global North— came face to face with Chile’s local reality —seismic, technological, cultural and economic— they sparked a debate that would prove decisive for architecture throughout the 20th century, as the eminent Chilean architect Sergio Larraín Bravo noted in an article published in the Chilean magazine *Zig-Zag* in 1937. This paper discusses the decisive, albeit hidden, role of reinforced concrete structures in the realisation of modern design principles, whose ideals were embodied in the plastic, spatial, formal and urban definition of architectural works, through a study of three iconic projects using models of the structural systems, planimetric representations and static analysis.

It is recognised that the supporting structure —defined by its arrangement, orientation, cross-section and stiffness— plays a central role in aesthetic decision-making— spatial, programmatic and compositional —whilst taking into account the significance of local conditions— technological, regulatory and cultural— on the project’s possibilities. From this perspective, mid-rise buildings —3 to 7 storeys— constitute a relevant subject of study as they are subject to stringent seismic requirements, yet at the same time allow for greater design flexibility compared to high-rise buildings. This work is grounded in the significance of structures in making decisions appropriate to aesthetic proposals, but also in the importance of local factors based on technological, regulatory and cultural possibilities.

In this context, it is worth noting that concrete, like any other material, has its own unique characteristics resulting from its chemical composition, microstructure, construction technique and mechanical properties, which determine its geometry, positioning and bonding; indeed, as Adrian Forty observes, it is the material “that offers the most promising means for applying scientific principles to construction.”^{1,2} In many cases, this expression is intended to be concealed behind secondary elements installed to make the space livable, but also to introduce features that complement the structure, such as the incorporation of colour or the use of textures. However, concrete, with its inherent qualities, has defined the structure and, with it, the architectural possibilities within Chile’s seismic zone.

These three perspectives —the modern movement as an international trend, local realities and the building materials— come together in the structural and material definition of the building; this will form the basis of an analysis of the three case studies (FIG. 1) that seeks to highlight its significance and, in doing so, contribute to an understanding of the modern architecture developed in Santiago de Chile during the second half of the 20th century.

This study focuses on the 1950s and 1960s, a period in which the industrialization of major cities and rural-to-urban migration exacerbated the housing shortage; key developments included the creation of CORVI in 1953, which promoted the construction of housing units by the state and, in particular, a significant drive towards the densification of major cities; on the other hand, the founding of the Experimental Institute of Building in 1952, promoting the implementation of new construction technologies; and the circulation of specialist and professional publications such as *Revista de la Construcción* published between 1962 and 1972, *Revista Técnica y Creación* published between 1969 and 1967, and *Revista AUCA* published between 1965

como Revista de la Construcción que fue editada entre los años 1962 y 1972, Revista Técnica y Creación editada entre 1969 y 1967 y Revista AUCA editada entre 1965 y 1986, difundiendo tanto materiales y técnicas del hormigón, como los ideales modernos de la época.

Históricamente, el inicio del uso de hormigón armado en Chile se remonta al año 1906 con la puesta en marcha de la planta cementera El Melón, en la localidad de La Calera, a aproximadamente 100Km de la ciudad de Santiago, masificando el uso de este material. Los primeros edificios que mantienen registro del uso de este material es el Museo de Bellas Artes —construido entre 1905 a 1910—, con registro de fabricación de vigas y losas; el nuevo edificio de los tribunales de justicia de Santiago —construido en dos etapas, la primera entre 1906 a 1914 y la segunda entre 1928 y 1931— cuya primera etapa con elementos horizontales en hormigón, la segunda posee la totalidad de la estructura en hormigón armado; y la Biblioteca Nacional que es el primer edificio público con una estructura completa en hormigón armado, iniciada su construcción probablemente en el año 1916.³ En paralelo, en el año 1912 Víctor Auclair dicta en la Universidad Católica de Chile en un congreso que difunde el hormigón armado, resaltando sus características de resistencia a las fuerzas dinámicas y su capacidad antisísmicas, entre otros, lo cual marca la dirección en que este material impactó al proyecto arquitectónico.⁴

A este inicio, siguió un rápido desarrollo y expansión del nuevo material, la editorial del segundo número de la Revista *Técnica y Creación*,⁵ declara que ante el rápido desarrollo de las tecnologías de construcción en hormigón armado durante la primera mitad del siglo XX, y a medida que los materiales son más auténticamente racionales, el arquitecto pierde sobre ellos su control, dando cuenta de un rápido proceso que impactó fuertemente el quehacer profesional de la época.

Todo este avance tecnológico fue acompañado permanente por la evolución de las técnicas de diseño estructural y la normativa asociada. Sismos como el de Talca (1928), Chillán (1939), Las Melosas (1958), Valdivia (1960) —el de mayor magnitud registrado a nivel mundial— e Illapel (1971) reforzaron la demanda por edificaciones más seguras, expresándose también en el plano normativo, dónde la Ley sobre Construcciones y Urbanismo del año 1936 incorporó definiciones generales sobre diseño estructural; posteriormente, la primera Ordenanza General de Urbanismo y Construcción, oficializada el año 1949, profundizó dichos criterios; y, finalmente, la norma chilena NCh433, que entró en vigencia el año 1972, consolidó este marco para el diseño sísmico de edificios. Se trata de un cuerpo regulatorio de carácter prescriptivo que privilegia la rigidez estructural, promoviendo el uso de hormigón armado por su comportamiento mecánico y de elementos de alta oposición a las deformaciones —como muros y columnas de gran sección—, condición particularmente relevante en edificaciones de mediana y gran altura. En conjunto con el escenario socioeconómico y el bajo nivel de preparación del cuerpo laboral de la construcción, este marco favoreció la expansión del hormigón armado —material difundido en medios de circulación académica y profesional—, primero como respuesta técnica y, progresivamente, como expresión arquitectónica.⁶

En este escenario, el auge de la vivienda de mediana altura y el desarrollo del hormigón, se enfrentan a los planteamientos modernos, donde los cinco puntos para una nueva arquitectura descritos por Le Corbusier⁷ en 1926 presentan una categorización efectiva de aspectos relevantes del diseño y adecuados para esta investigación. De ellos, se estudian específicamente tres, fachada independiente, ventana corrida y *pilotis*, los cuales exigen decisiones proyectuales que tensionan las lógicas estructurales establecidas por la tradición y son observables en la definición de los proyectos.

Finalmente, la relación entre búsquedas teóricas-proyectuales y las herramientas matemáticas de modelado estructural son elementos fundamentales en el proceso de diseño y, por tanto, de interés observar en conjunto. Pier Luigi Nervi afirmó que: “Las dificultades del problema teórico o el atractivo de una elegante solución matemática, pueden desviar al diseñador de esa visión sintética e inalterada del problema, esencial para alcanzar el mejor compromiso entre las múltiples y contradictorias limitaciones de cualquier problema arquitectónico.”⁸

Dando cuenta de la dificultad y multifactorial problema de la arquitectura, ante esta definición, el trabajo se fundamenta en la presunción de que la

and 1986, disseminating both concrete materials and techniques, as well as the modern ideals of the era.

Historically, the use of reinforced concrete in Chile dates back to 1906 with the commissioning of the El Melón cement plant in the town of La Calera, approximately 100 km from the city of Santiago, which led to the widespread adoption of this material. The earliest buildings for which records of the use of this material exist are the Museum of Fine Arts —built between 1905 and 1910— with records of the manufacture of beams and slabs; the new courthouse in Santiago —built in two phases, the first between 1906 and 1914 and the second between 1928 and 1931— the first phase of which features horizontal concrete elements, whilst the second phase comprises an entirely reinforced concrete structure; and the National Library, which is the first public building with a structure made entirely of reinforced concrete, construction of which probably began in 1916.³ At the same time, in 1912, Víctor Auclair gave a lecture at the Catholic University of Chile at a conference promoting reinforced concrete, highlighting its resistance to dynamic forces and its seismic resilience, amongst other qualities, which set the course for the impact this material would have on architectural design.⁴

This initial launch was followed by the rapid development and expansion of the new publication, the editorial of the second issue of the Revista *Técnica y Creación*⁵ entitled new materials and methods change the course of the contemporary architect, signed generically by the Institute of Experimental Building at the University of Chile, states that in the face of the rapid development of reinforced concrete construction technologies during the first half of the 20th century, and as materials become more genuinely rational, the architect loses control over them, reflecting a rapid process that had a profound impact on the professional practice of the time.

All this technological progress was accompanied by the ongoing development of structural design techniques and the associated regulations. Earthquakes such as those in Talca (1928), Chillán (1939), Las Melosas (1958), Valdivia (1960) —the largest on record worldwide— and Illapel (1971) reinforced the demand for safer buildings, a demand that was also reflected in legislation, where the Law on Construction and Urban Planning, officialized in 1936, incorporated general definitions regarding structural design; subsequently, the first General Ordinance on Urban Planning and Construction, officialized in 1949, further developed these criteria; Finally, the Chilean standard NCh433, which came into force in 1972, consolidated this framework for the seismic design of buildings. This is a prescriptive regulatory framework that prioritises structural rigidity, promoting the use of reinforced concrete due to its mechanical behaviour and elements offering high resistance to deformation—such as large-section walls and columns—a condition particularly relevant in medium- and high-rise buildings. In conjunction with the socio-economic context and the low level of training among the construction workforce, this framework encouraged the expansion of reinforced concrete—a material widely discussed in academic and professional circles—first as a technical solution and, progressively, as an architectural expression.⁶

In this context, the rise of mid-rise housing and the development of concrete are confronted with modern approaches, in which the five points for a new architecture described by Le Corbusier⁷ in 1926, provide an effective categorisation of relevant design aspects that are well-suited to this research. Of these, three are studied in particular: the free-standing façade, the continuous window and piers, all of which require design decisions that challenge the structural logic established by tradition and are evident in the definition of the projects.

Finally, the relationship between theoretical and design-oriented research and mathematical tools for structural modelling are fundamental elements in the design process and, therefore, are worth considering in conjunction. Pier Luigi Nervi stated that: “The difficulties inherent in the theoretical problem, or the appeal of an elegant mathematical solution, can distract the designer from that comprehensive and unadulterated view of the problem, which is essential for achieving the best compromise between the multiple and conflicting constraints of any architectural problem.”⁸

Recognising the complexity and multifaceted nature of architecture, and in light of this definition, this study is based on the assumption that the

expresión arquitectónica de los edificios de vivienda de mediana altura en hormigón armado en Chile construidos en el periodo de estudio está definida por las condiciones materiales-estructurales, que implicó una adecuación de los preceptos del movimiento moderno internacional al contexto local. En particular, es en el diseño de los elementos soportantes verticales en hormigón armado donde las decisiones espaciales y estructurales tensan las decisiones cuando el sismo es un elemento definitorio. Para evidenciarlo, se proponen herramientas de descripción y estudio de los casos que permitan integrar los asuntos del diseño arquitectónico arquitectónicos con los del diseño estructural, permitiendo con ello dar una nueva perspectiva a este problema multifactorial.

METODOLOGÍA

El presente estudio se realiza a partir de 3 herramientas propias del diseño, arquitectónico y/o estructural. Una propiamente arquitectónica, la maqueta, que en este caso corresponde al sistema estructural de los edificios y fueron fabricadas mediante mortero cemento-arena. La segunda propia de ambas disciplinas, la planimetría, donde se representan tanto los elementos arquitectónicos –forma, orden, programa, espacialidad– como los estructurales –masas, elementos, rigideces, empujes– esta integración permite una lectura compleja de los edificios. Por último, una propia del diseño estructural, el análisis estructural, donde aplicando la normativa local estática se estudian las decisiones cuyo objetivo es entregar resistencia al edificio. Estas tres herramientas en conjunto permiten estudiar la relevancia de las decisiones proyectuales asociadas al sistema estructural en la posibilidad de lograr los ideales arquitectónicos modernos.

La maqueta

Las maquetas se utilizan como herramienta de estudio propio del proceso proyectual de la arquitectura, en este caso, representando al sistema estructural, llevando al edificio al particular –y breve– momento donde la obra gruesa es lo único construido. Estas fueron fabricadas como productos del proyecto de creación-investigación *Esqueletos Modernos*⁹ mediante análisis de la relación entre estructura y los elementos complementarios, utilizando maquetas 1:20 fabricadas en mortero arena-cemento en moldajes de acrílico.¹⁰

Respecto a los resultados de este proyecto, se destaca en primer lugar la composición de elementos por diseño sísmico, las primeras normas correspondientes a este campo promovieron soluciones estandarizadas (proporciones y relaciones geométricas) que condicionaron el diseño arquitectónico y dejaron una impronta en el futuro del diseño estructura. Esto se observa en la planta, al definir disposición y dimensiones de muros, pilares y núcleos. Manifestándose en dos efectos: en el primer nivel, la aspiración moderna de integración con el entorno mediante *pilotis* se ve restringida por elementos de gran sección (pares o tríos de muros perpendiculares), intensificando la presencia estructural y en las plantas tipo, la concentración de circulaciones en un núcleo central simétrico libera fachada y permite recursos modernos como la fachada independiente o la ventana corrida.

Otro aspecto relevante de estas maquetas fue la fabricación mediante moldaje artesanal donde la técnica de producción y vertido en moldes de acrílico produce una traducción material a escala, donde los muros y losas adquieren expresiones diferenciadas: superficies lisas en caras contenidas por el moldaje y accidentes de terminación manual en las losas, especialmente en su cara superior. La unión entre piezas y pisos son un lugar de evidencia del proceso, ya que ocurren pérdidas de lechada por filtraciones en intersecciones de moldajes, irregularidades en las superficies y cambios de color entre coladas asociados a variaciones de áridos. En conjunto, la reproducción del proceso de fabricación del hormigón armado en esta escala configura un lenguaje material que remite a la tosquedad de la obra gruesa, ahora visible y permanente en el tiempo.

Las maquetas subrayan la estructura como soporte y habilitador de los otros asuntos arquitectónicos, y destacan al hormigón armado como sistema resistente, material expresivo y elemento dominante en la vivienda de mediana altura. La negociación entre los requerimientos sismorresistentes y los ideales modernos emerge, así, como oportunidad para un lenguaje arquitectónico consciente del contexto local y del potencial plástico de este material moderno, el hormigón.

architectural expression of medium-rise reinforced concrete residential buildings in Chile constructed during the period under review is defined by material and structural conditions, which necessitated an adaptation of the principles of the International Modernist movement to the local context. In particular, it is in the design of the vertical load-bearing elements in reinforced concrete that spatial and structural decisions come into conflict when seismic activity is a defining factor. To demonstrate this, tools for the description and study of case studies are proposed, which allow architectural design issues to be integrated with those of structural design, thereby providing a new perspective on this multifaceted problem.

METHODOLOGY

This study is based on three tools specific to architectural and/or structural design. One is strictly architectural: the model, which in this case represents the structural system of the buildings and was constructed using cement-sand mortar. The second, common to both disciplines, is planimetry, which depicts both architectural elements –form, order, programme, spatiality– and structural elements –masses, components, stiffness, forces–; this integration allows for a complex interpretation of the buildings. Finally, structural analysis –a key aspect of structural design– involves applying local structural codes to evaluate design choices aimed at ensuring the building's structural integrity. Together, these three tools enable us to assess the impact of design decisions relating to the structural system on the ability to realise modern architectural ideals.

The model

Models are used as a study tool specific to the architectural design process; in this case, they represent the structural system, capturing the building at that particular – and fleeting – moment when the structural framework is the only part that has been built. These were produced as part of the creative-research project *Modern Skeletons*⁹ by analysing the relationship between the structure and its complementary elements, using 1:20 scale models made from sand-cement mortar in acrylic moulds.¹⁰

With regard to the outcomes of this project, the composition of elements for seismic design stands out first and foremost; the earliest standards in this field promoted standardised solutions (proportions and geometric relationships) that shaped architectural design and left their mark on the future of structural design. This can be seen in the floor plan, in the definition of the layout and dimensions of walls, columns and cores. This manifests itself in two ways: on the ground floor, the modern aspiration to integrate with the surroundings through piers is restricted by large-section elements (pairs or trios of perpendicular walls), intensifying the structural presence; and in the standard floor plans, the concentration of circulation routes in a symmetrical central core frees up the façade and allows for modern features such as the free-standing façade or the continuous window.

Another key feature of these models was their construction using traditional moulding techniques, where the process of casting into acrylic moulds produces a material representation to scale, with walls and slabs taking on distinct characteristics: smooth surfaces on the sides defined by the mould, and irregularities resulting from hand-finishing on the slabs, particularly on their upper surfaces. The joints between pieces and floors are a clear indication of the process, as grout loss occurs due to seepage at the intersections of the moulds, surface irregularities and colour variations between pours associated with variations in aggregates. Taken together, the reproduction of the reinforced concrete manufacturing process on this scale creates a material language that evokes the roughness of the structural work, now visible and permanent over time.

The models highlight the structure as the foundation and enabler of other architectural considerations, and showcase reinforced concrete as a resilient system, an expressive material and a dominant feature in this mid-rise residential building. The balance between seismic requirements and modern ideals thus emerges as an opportunity to develop an architectural language that is sensitive to the local context and to the expressive potential of this modern material, concrete.

La planimetría

El dibujo planimétrico, así como las representaciones gráficas en 2D tipo esquemas o diagramas, son herramientas de diseño comunes en la arquitectura e ingeniería. Desde bocetos y esquematización de sistemas, a planimetría técnica para la construcción. Esta investigación propone una representación gráfica capaz de evidenciar cualidades arquitectónicas y estructurales simultáneamente. Utiliza como base la propuesta de representación que proponen los arquitectos Smiljan Radic, Gabriela Medrano y Eduardo Castillo en su publicación *Teatro Regional del Bio-bio*.¹¹ En estos planos, lo soportante, los cerramientos, las fachadas son integradas gráficamente en la planta de arquitectura y diferenciadas con los colores azul, verde y rojo respectivamente.

A partir de este referente, se propone una ampliación de la información graficada en este trabajo, en este caso, en línea roja se dibujan los elementos habilitantes de los edificios, en azul los elementos soportantes. Esta diferenciación permite comprender la posición y rol espacial y formal del sistema estructural soportante y el complemento necesario de los elementos habilitantes. Adicionalmente, los parámetros estructurales relevantes para esta investigación son incorporados a los planos: en planta se indica el valor de la rigidez de los elementos estructurales verticales ante esfuerzos horizontales; en elevación se grafica la rigidez mediante un trabajo de textura de líneas, los cuales se superponen entre todos los elementos verticales dispuestos en el sentido del observador, con ello, a mayor densidad de líneas, mayor rigidez. Esto permite evaluar la densidad de los elementos soportantes del sismo en los distintos niveles simultáneamente. De manera complementaria, en la elevación se incorpora el empuje sísmico por nivel y la masa gravitante por cada diafragma. En conjunto, se entrega un elemento gráfico capaz de informar elementos, forma, geometría, condiciones sísmicas, estructurales y de resistencia.

El análisis de los valores de rigidez, en los tres casos de estudio, requirió ordenar un rango amplio de magnitudes. Se construyó una escala logarítmica base 10, dividida en siete rangos, para representar adecuadamente la variación entre valores extremos. A mayor magnitud de fuerza, mayor densidad de líneas de textura; tal como una red que va manifestándose como conjunto. Esta relación traduce visualmente el peso y protagonismo estructural de cada elemento frente a cargas dinámicas.

El uso de líneas de textura permite, además, construir un entramado que evidencia la interacción entre elementos en cada eje. Así, se sintetiza en un solo dibujo el comportamiento de un sistema distribuido en el plano; estableciendo un vínculo entre la planta, edificio construido y los modelos estructurales desarrollados.

El análisis estructural

Finalmente, es de interés comprender las condiciones de diseño estructural y sus implicancias en las decisiones de proyecto. Para ello, la definición de la cortante basal, la metodología de determinación del coeficiente sísmico y la distribución de esfuerzos verticales entregan luces de cómo se administra la capacidad estructural con el fin de lograr las cualidades formales, espaciales y, en definitiva, arquitectónicas de las obras estudiadas.

En primer lugar, la determinación de fuerzas sísmicas será una primera herramienta de diseño. En ella, la distribución de masas y la altura de cada nivel serán determinantes en como el sismo afectará a la estructura. Una distribución de masas homogéneas implica un comportamiento regular del edificio a lo largo de su altura. En cambio, una concentración de esfuerzo o una altura mayor de los elementos en los niveles inferiores implica bajar el centro de masas, disminuyendo los esfuerzos de volcamiento y optimizando los puntos de apoyo en niveles con menos cantidad de elementos estructurales.

Para la aplicación del método de análisis estático se utiliza la norma chilena NCh 433 de Diseño Sísmico de Edificios,¹² la acción sísmica se representa mediante el esfuerzo de corte basal (Q_0), el cual se obtiene como el producto entre el peso total del edificio sobre el nivel basal (P), el coeficiente relativo al edificio (I) y el coeficiente sísmico (C) (Ec. 1), que incorpora las características del sistema estructural, el tipo de suelo y la zona sísmica según el reglamento del Diseño Sísmico de Edificios.¹³

The site plan

Planimetric drawings, as well as 2D graphical representations such as schematics or diagrams, are common design tools in architecture and engineering. These range from sketches and system schematics to technical planimetry for construction. This research proposes a graphical representation capable of visually highlighting architectural and structural qualities simultaneously. It is based on the graphic representation proposed by architects Smiljan Radic, Gabriela Medrano and Eduardo Castillo in their publication *Teatro Regional del Bio-bio*.¹¹ In these plans, the structural elements, the enclosures and the façades are shown on the architectural floor plan and distinguished by the colours blue, green and red respectively.

Building on this framework, this study proposes to expand the information presented in the diagrams; in this case, the building's service elements are shown in red, whilst the load-bearing elements are shown in blue. This distinction helps to clarify the spatial and formal position and role of the load-bearing structural system and the necessary complementary role of the service elements. Furthermore, the structural parameters relevant to this research are incorporated into the drawings: on the plan view, the stiffness value of the vertical structural elements under horizontal loads is indicated; on the elevation view, this is represented using a textural effect created by lines, which overlap across all vertical elements arranged in the direction of the observer; thus, the higher the density of lines, the greater the stiffness. This allows the density of the earthquake-supporting elements across the different levels to be assessed simultaneously. Furthermore, the elevation views incorporate the seismic thrust per level and the gravitational mass for each diaphragm. Taken together, this provides a graphical representation capable of conveying elements, form, geometry, seismic conditions, structural conditions and resistance.

The analysis of stiffness values in the three case studies required the organisation of a wide range of magnitudes. A base-10 logarithmic scale, divided into seven ranges, was constructed to adequately represent the variation between extreme values. The greater the magnitude of force, the greater the density of texture lines; much like a network that gradually emerges as a whole. This relationship visually conveys the weight and structural prominence of each element when subjected to dynamic loads.

The use of textural lines also makes it possible to construct a grid that highlights the interaction between elements along each axis. In this way, the behaviour of a system distributed across the plane is summarised in a single drawing, establishing a link between the site plan, the built building and the structural models developed.

The structural analysis

Finally, it is important to understand the structural design parameters and their implications for design decisions. To this end, the definition of the base shear, the methodology for determining the seismic coefficient, and the distribution of vertical forces provide insights into how structural capacity is managed in order to achieve the formal, spatial and, ultimately, architectural qualities of the buildings under study.

Firstly, the determination of seismic forces will serve as an initial design tool. In this process, the distribution of masses and the height of each storey will be decisive in determining how the earthquake will affect the structure. A homogeneous distribution of masses implies consistent behaviour of the building throughout its height. Conversely, a concentration of forces or a greater height of the structural elements on the lower storeys implies lowering the centre of mass, thereby reducing overturning forces and optimising the load-bearing points on storeys with fewer structural elements.

The Chilean standard NCh 433:1996, amended in 2009 – Seismic Design of Buildings¹² – is used for the application of the static analysis method, Seismic action is represented by the base shear force (Q_0), which is obtained as the product of the total weight of the building at ground level (P), the building-specific coefficient (I) and the seismic coefficient (C) (Eq. 1), which incorporates the characteristics of the structural system, the soil type and the seismic zone.¹³

Ec. 1. Esfuerzo de corte basal

$$Q_0 = C \times I \times P$$

Donde,

C = coeficiente sísmico.¹⁴

I = coeficiente relativo a la importancia, uso y riesgo de falla del edificio según tabla dada por la normativa correspondiente.

P = peso total del edificio sobre el nivel basal.

El peso sísmico (P)¹⁵ se calcula por nivel, considerando como referencia el entrepiso de cada nivel, denominado diafragma. Para su determinación se incluyen los elementos estructurales correspondientes a la mitad superior e inferior de cada nivel. Esta masa se distribuye y grafica según Chopra¹⁶ que desarrolla un esquema efectivo para este caso.

El esfuerzo de corte basal se distribuye en altura mediante una serie de fuerzas sísmicas horizontales (F_k), aplicadas en el centro de masa de cada nivel. Estas fuerzas son determinadas por el peso de cada piso (P_k) y a su altura respecto del nivel basal (Z_k), mediante un factor de ponderación (A_k) según la Ec. 3 y 4. Como resultado, los niveles superiores concentran mayores fuerzas sísmicas, pero su distribución no siempre es homogénea. Esta distribución es una herramienta de diseño relevante al momento de generar variaciones en los pisos, tanto de masa como de altura.

Ec. 3. Distribución de fuerzas sísmicas horizontales

$$F_k = \frac{A_k P_k}{\sum_{j=1}^N A_j P_j} Q_0$$

Donde,

F_k = fuerza horizontal aplicada en el nivel superior.

A_k = factor de ponderación¹⁷ para el peso asociado al nivel k .

La suma acumulada de estas fuerzas da origen al esfuerzo de corte en cada nivel (Q_k), el cual aumenta hacia la base del edificio, permitiendo determinar la demanda estructural en términos de esfuerzos internos y desplazamientos laterales.

A este procedimiento de distribución de esfuerzos horizontales por sismo, se suma la determinación de la rigidez de los elementos estructurales que actúan en ambas direcciones de respondiendo a los esfuerzos sísmicos. La NCh433:1996 exige considerar la rigidez de los elementos para el análisis sísmico, pero no define su cálculo. La expresión para el cálculo de la rigidez que se presenta a continuación proviene de la teoría estructural¹⁸ y se utiliza como modelo para representar la rigidez lateral de muros en el análisis, por lo tanto, expresa el cálculo de la rigidez lateral equivalente (k) de un elemento vertical esbelto –como un muro estructural o pilar– considerando deformaciones por flexión y por corte combinadas, el método se detalla en la Ec. 5. El resultado se puede utilizar para el cálculo de desplazamientos, distribuir fuerzas sísmicas o comparar rigidez entre distintos elementos.

Ec. 5. Fórmula aplica al cálculo de la rigidez (k)

$$\kappa = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{2,5h}{EA}}$$

Donde,

h = altura del elemento en elevación.

E = módulo de elasticidad del material estructural del elemento vertical.

I = inercia del elemento estructural vertical (sección en planta).

A = área del elemento estructural vertical (sección en planta).

Para el estudio de casos, se consideran los siguientes parámetros típicos de la zona de Santiago de Chile: tipo de suelo B ($S = 1,00$; $n = 1,33$; $T' = 0,35$), zona sísmica 2 ($A_0 = 0,30g$), sistema estructural de muros de hormigón armado ($R = 7$) y uso de vivienda privada ($I = 1,0$).

Eq. 1. Basal shear stress

$$Q_0 = C \times I \times P$$

Where,

C = Seismic coefficient¹⁴.

I = coefficient relating to the importance, use and risk of failure of the building, in accordance with the table provided in the relevant regulations

P = total weight of the building at ground level.

The seismic mass (P)¹⁵ is calculated for each storey, using the floor slab of each storey—referred to as the diaphragm—as a reference. To determine this, the structural elements corresponding to the upper and lower halves of each storey are included. This mass is distributed and plotted in accordance with¹⁶, which develops an effective scheme for this case

The base shear force is distributed vertically via a series of horizontal seismic forces (F_k), applied at the centre of mass of each storey. These forces are determined by the weight of each storey (P_k) and its height above the base level (Z_k), using a weighting factor (A_k) as per Eqs. 3 and 4. As a result, the upper storeys experience greater seismic forces, but their distribution is not always uniform. This distribution is a key design tool when introducing variations in the storeys, both in terms of mass and height.

Ec. 3. Distribution of horizontal seismic forces

$$F_k = \frac{A_k P_k}{\sum_{j=1}^N A_j P_j} Q_0$$

Where:

F_k = horizontal force applied at the upper level.

A_k = weighting factor¹⁷ for the associated weight at level k .

The sum of these forces gives rise to the shear force at each level (Q_k), which increases towards the base of the building, making it possible to determine the structural requirements in terms of internal forces and lateral displacements.

In addition to this procedure for distributing horizontal seismic forces, the stiffness of structural members acting in both directions in response to seismic forces must also be determined. NCh433:1996 requires that the stiffness of members be taken into account for seismic analysis, but does not specify how it should be calculated. The expression for calculating stiffness given below is derived from structural theory¹⁸ and is used as a model to represent the lateral stiffness of walls in the analysis; therefore, it expresses the calculation of the equivalent lateral stiffness (k) of a slender vertical element – such as a structural wall or column – taking into account combined bending and shear deformations; the method is detailed in Eq. 5. The result can be used to calculate displacements, distribute seismic forces or compare stiffness between different elements.

Eq. 5. Formula applied to the stiffness calculation (k)

$$\kappa = \frac{1}{\frac{h^3}{3EI} + \frac{2,5h}{EA}}$$

Where,

h = height of the structural element.

E = modulus of elasticity of the structural material of the vertical element.

I = moment of inertia of the vertical structural element (plan section).

A = area of the vertical structural element (plan section).

For the case studies, the following parameters typical of the Santiago de Chile area are considered: soil type B ($S = 1.00$; $n = 1.33$; $T' = 0.35$), seismic zone 2 ($A_0 = 0.30g$), a structural system comprising reinforced concrete walls ($R = 7$) and private residential use ($I = 1.0$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres casos de estudio corresponden a diseños de arquitectura excepcionales respecto a las decisiones proyectuales, tanto arquitectónicas como estructurales (**FIG. 01**). El conjunto Juan Antonio Ríos fue un extenso proyecto de urbanización y construcción de viviendas en una primera instancia estuvo bajo la gestión y financiamiento de la Caja de Habitación Popular (1945). Luego, entre los años 1959 a 1963 pasa a estar bajo la gestión de la Corporación para la Vivienda (CORVI), realizando la ampliación a la cual pertenece este edificio. Los arquitectos de esta etapa son la firma local De la Barra, Hurtado y Geisse.¹⁹

La Unidad Vecinal Providencia corresponde a un ambicioso proyecto de renovación urbana mediante la construcción de un gran conjunto de vivienda en mediana altura y jardines de uso público. Iniciada su construcción en 1960, la gestión y financiamiento del proyecto corresponde a la Caja de Empleados Particulares, la construcción estuvo a cargo de la Sociedad Constructora de Viviendas Económicas Empart Limitada N°1 y el diseño fue responsabilidad de los arquitectos Carlos Barella e Isaac Eskenazi.²⁰

El tercer caso corresponde al edificio Imperio Oriente, de origen privado, financiado por la Compañía Nacional de Renta y Caja Reaseguradora de Chile. Su construcción se realiza en el año 1964 por la oficina de arquitectura Eduardo Cuevas, Carlos Silva y Carlos Neira y ejecutado por la empresa constructora Forteza y Cía. LTDA.²¹

Cada caso es estudiado de manera independiente, los recursos de maquetas, planimetría y análisis estructural es aplicado a cada uno de los edificios manteniendo entre ellos el procedimiento y el código gráfico. Cada caso permite evidenciar la negociación entre arquitectura y estructura, en conjunto, permitirán dar cuenta de la relevancia de la estructura como elemento que permite que los demás asuntos arquitectónicos ocurran.

Caso 1. Edificio Juan Antonio Ríos

El edificio en estudio es un particular bloque que vincula formalmente otros dos pabellones mayores, está constituido por dos edificios estructuralmente independientes, de 4 pisos de altura, separados entre sí por una junta de dilatación, y un departamento por piso con acceso por una escalera exterior –común al bloque adyacente (**FIG. 01- IZQUIERDA**). Cada edificio se organiza programática y estructuralmente en torno al núcleo de hormigón central, siendo este el único elemento estructural vertical. El núcleo, de geometría cuadrada girada 45° respecto a la planta de la unidad también cuadrada, alberga en su interior el baño del departamento (**FIG. 02**). Entre cada nivel se ubica una losa que cubre el área total de la planta, con sección variable aumentando su grosor en la zona en contacto con el núcleo y disminuyendo hacia su perímetro (**FIG. 03**).

Esta configuración libera la fachada de funciones estructurales, permitiendo que la composición de esta se adapte a requerimientos programáticos y/o de composición, respondiendo directamente al ideal moderno de fachada libre y la liberación del primer piso.

Para lograr la propuesta formal, el diseño del sistema estructural se organiza en torno a un núcleo rígido central compuesto por muros de hormigón armado, liberando completamente la fachada de cualquier función estructural (**FIG. 03**). Se identifican dos muros en dirección X (ejes X01, X02) y tres en dirección Y (dos muros en eje Y01, un muro en eje Y02), producto de la interrupción por un vano en uno de ellos (**FIG. 02**).

En este caso, existe una distribución homogénea de los pesos entre los cuatro niveles (entre 41.501 kg y 46.865 kg), junto con alturas de entrepiso constantes (2,70 m en primer nivel y 2,34 m en los superiores). Esta condición favorece una distribución uniforme de las fuerzas sísmicas en altura, permitiendo una mayor regularidad de cargas y, con ello, organizar los elementos resistentes al centro de la planta.

De acuerdo con el modelo aplicado, las fuerzas sísmicas (F_k) aumentan con la altura, mientras que los esfuerzos de corte (Q_k) aumentan hacia la base, concentrándose en el primer nivel (**FIG. 04**).

Los muros de los ejes X01, X02 presentan igual rigidez (454.928 kg/cm), generando una distribución homogénea. La presencia de un vano en el eje Y01 reduce la rigidez total (534.467 kg/cm) en esa dirección, concentrando mayores sollicitaciones en el muro continuo del eje Y02, equivalente a los muros de los ejes X01, X02.

RESULTS & DISCUSSION

The three case studies represent exceptional architectural designs in terms of both architectural and structural planning decisions (**FIG. 01**). The Juan Antonio Ríos housing estate was a large-scale urban development and housing construction project which was initially managed and financed by the *Caja de Habitación Popular* (1945). Subsequently, between 1959 and 1963, it came under the management of the Housing Corporation (CORVI), which carried out the extension to which this building belongs. The architects responsible for this phase were the local firm De la Barra, Hurtado and Geisse.¹⁹

The Providencia Neighbourhood Unit is an ambitious urban regeneration project involving the construction of a large complex of mid-rise housing and public gardens. Construction began in 1960; the project was managed and financed by the *Caja de Empleados Particulares*, built by *Sociedad Constructora de Viviendas Económicas Empart Limitada No. 1*, and designed by architects Carlos Barella and Isaac Eskenazi.²⁰

The third case corresponds to the Imperio Oriente building, of private origin, and was funded by the *Compañía Nacional de Renta y Caja Reaseguradora de Chile*. It was designed in 1964 by the architectural firm of Eduardo Cuevas, Carlos Silva and Carlos Neira, and built by the construction company Forteza y Cía. LTDA.²¹

Each case is examined independently; the use of models, site plans and structural analysis is applied to each building, whilst maintaining a consistent approach and visual language across them. Each case highlights the interplay between architecture and structure; taken together, they demonstrate the importance of the structure as the element that enables other architectural aspects to take shape.

Case 1. Juan Antonio Ríos Building

The building under consideration is a distinctive block that formally links two larger pavilions; it consists of two structurally independent, four-storey buildings separated by an expansion joint, with one flat per floor accessed via an external staircase –shared with the adjacent block (**FIG.01 LEFT**). Each building is organised, both functionally and structurally, around a central concrete core, which is the sole vertical structural element. The core, which is square in shape and rotated by 45° relative to the floor plan of the unit (which is also square), houses the apartment's bathroom (**FIG. 02**). Between each level is a slab covering the entire floor area, with a variable cross-section that increases in thickness where it meets the core and decreases towards the perimeter (**FIG. 03**).

This design frees the façade from structural functions, allowing its composition to adapt to programmatic and/or compositional requirements, thereby directly reflecting the modern ideal of a free façade and the liberation of the ground floor.

To achieve the design concept, the structural system is organized around a central rigid core comprising reinforced concrete walls, thereby completely relieving the façade of any structural function (**FIG. 03**). Two walls are identified in the X direction (axes X01, X02) and three in the Y direction (two walls on axis Y01, one wall on axis Y02), due to the interruption caused by a span in one of them (**FIG. 02**).

In this case, there is an even distribution of loads across the four storeys (ranging from 41,501 kg to 46,865 kg), together with consistent floor-to-floor heights (2.70 m on the ground floor and 2.34 m on the upper floors). This arrangement promotes a uniform distribution of seismic forces vertically, allowing for greater regularity in loads and, consequently, enabling the load-bearing elements to be positioned towards the centre of the floor plan.

According to the model used, seismic forces (F_k) increase with height, whilst shear forces (Q_k) increase towards the base, concentrating on the first storey (**FIG. 04**).

The walls along axes X01 and X02 have the same stiffness (454,928 kg/cm), resulting in a uniform distribution. The presence of an opening in axis Y01 reduces the total stiffness (534.467 kg/cm) in that direction, concentrating greater stresses on the continuous wall of axis Y02, equivalent to the walls of axes X01 and X02.

The results show that the building's structural design ensures uniformity in mass and height, which results in an even distribution of seismic forces.

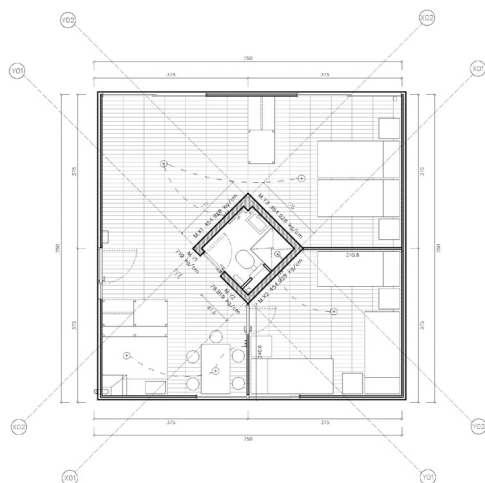


FIG. 02



FIG. 03

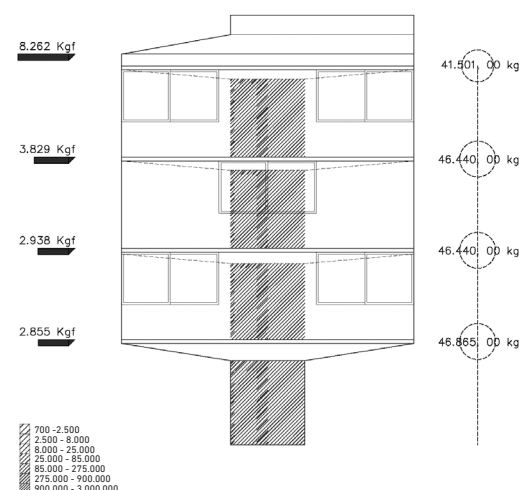


FIG. 04

Los resultados evidencian que el diseño estructural del edificio determina homogeneidad de masas y alturas lo que se traduce en una distribución uniforme de fuerzas sísmicas. Así como la equivalencia de rigideces en los muros de los ejes X01, X02 permite una distribución equilibrada de esfuerzos. Sin embargo, la disminución de rigidez en el eje Y01, cuantificada en la sumatoria de rigideces, implica una mayor demanda sobre elementos específicos, esto si bien es un factor que implica una variación en el esfuerzo sísmico que deben enfrentar los muros, el edificio es diseñado asumiendo esta asimetría con tal de entregar la funcionalidad programática del núcleo. Con todo lo anterior, la concentración de rigidez en el núcleo central permite liberar la fachada de función estructural, estableciendo un sistema estructural capaz de responder fielmente tanto a la condición sísmica del territorio como al planteamiento arquitectónico moderno.

Caso 2. Edificio Unidad Vecinal Providencia, bloque Carlos Antúnez

El edificio corresponde a un bloque aislado de sección cuadrada regular y 6 pisos de altura (FIG. 03 - CENTRO). Cada piso cuenta con dos departamentos dúplex –primer nivel con recintos públicos y el segundo nivel con dormitorios– y una caja de escaleras común, en posición central (FIG. 05). El diseño es a partir de una modulación regular concentrando los muros hacia el interior y organizando pilares en el perímetro (FIG. 06), lo que permite la ventana corrida y la fachada con gran libertad de composición.

El edificio presenta una estructuración mixta, con pórticos perimetrales de baja rigidez –principalmente destinados a esfuerzos verticales– y muros interiores continuos de alta rigidez, que concentran la respuesta estructural ante el empuje sísmico (FIG. 05).

Se observa una distribución relativamente homogénea de los pesos entre los seis pisos, junto con una altura constante de entrepiso de 2,60 m, lo que favorece una distribución regular de fuerzas. Las fuerzas sísmicas aumentan en altura, mientras que los esfuerzos de corte se incrementan progresivamente hacia el primer nivel (FIG. 07).

Respecto a las rigideces, la sumatoria de los elementos estructurales ubicados en los ejes X01 a X05 alcanza un valor de 5.288.902 kg/cm, con menos elementos, pero de mayor rigidez. En cambio, en los ejes estructurales Y01 a Y05, se registran más elementos, pero con menor rigidez total (3.512.317 kg/cm).

En este caso, es interesante identificar la distribución de elementos y rigideces como estrategia de diseño sísmico y arquitectónico. A pesar de la mayor cantidad de elementos dispuestos en los ejes Y01 a Y05, la menor rigidez total implica mayores solicitaciones relativas, un uso más eficiente de los recursos materiales y una liberación mayor de la planta. En cambio, en el sentido perpendicular, la menor cantidad de elementos implica un aumento de la rigidez de estos, implicando elementos más robustos.

Furthermore, the equivalent stiffness of the walls along axes X01 and X02 allows for a balanced distribution of stresses. However, the reduction in stiffness along the Y01 axis, quantified by the sum of stiffnesses, places greater demands on specific elements; whilst this is a factor that leads to a variation in the seismic forces the walls must withstand, the building is designed to accommodate this asymmetry in order to fulfil the core's functional requirements. Taking all of the above into account, the concentration of stiffness in the central core allows the façade to be freed from its structural function, establishing a structural system capable of responding faithfully both to the seismic conditions of the region and to the modern architectural approach.

Case 2. Providencia Neighbourhood Centre Building, Carlos Antúnez Block

The building comprises a detached block with a regular square plan and six storeys in height (FIG. 03 CENTRE). Each floor features two duplex flats – the lower level containing communal areas and the upper level containing bedrooms and a central communal stairwell (FIG. 05). The design is based on a regular grid, with walls concentrated towards the interior and columns arranged along the perimeter (FIG. 06), allowing for a continuous window and a façade with great compositional freedom.

The building features a composite structure, with low-stiffness perimeter frames –primarily designed to resist vertical loads– and high-stiffness continuous internal walls, which bear the brunt of the structural response to seismic forces (FIG. 05).

There is a relatively even distribution of loads across the six storeys, together with a constant floor-to-floor height of 2.60 m, which promotes an even distribution of forces. Seismic forces increase with height, whilst shear forces rise progressively towards the first storey (FIG. 07).

With regard to stiffness, the sum of the structural elements located on axes X01 to X05 amounts to 5,288,902 kg/cm, with fewer elements but greater stiffness. In contrast, on structural axes Y01 to Y05, there are more elements, but with lower total stiffness (3,512,317 kg/cm).

In this case, it is worth examining the distribution of structural members and stiffness as a strategy for seismic and architectural design. Despite the greater number of members arranged along axes Y01 to Y05, the lower overall stiffness results in higher relative stresses, a more efficient use of materials, and greater spatial freedom within the floor plan. Conversely, in the perpendicular direction, the smaller number of elements results in increased stiffness, leading to more robust elements.

In addition to the stiffness of the structural elements, the concentration of this stiffness in the internal walls is significant, quantified at values close to 1,369,637 kg/cm, thereby concentrating the building's lateral resistance. Consequently, the façades are liberated by the perimeter porticos, which have

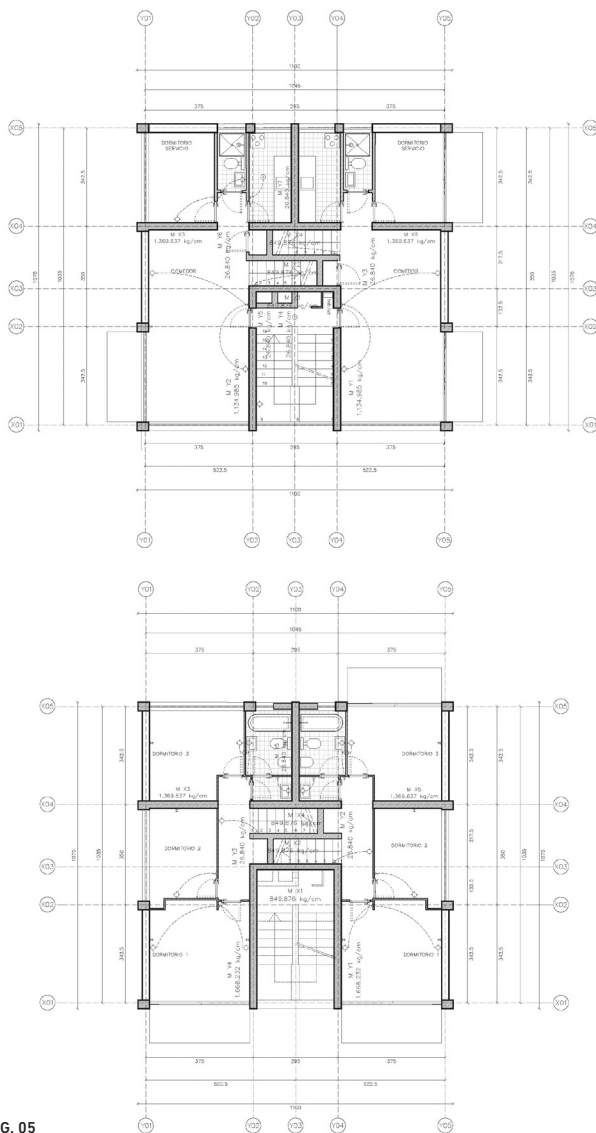


FIG. 05

Junto a la rigidez de los elementos, es relevante la concentración de esta en los muros interiores, cuantificada en valores cercanos a 1.369.637 kg/cm, concentrando la resistencia lateral del edificio. Con ello, se liberan las fachadas mediante los pórticos perimetrales, con rigidez significativamente menor, los cuales no participan de manera relevante en la respuesta sísmica, liberando la fachada a cerramientos livianos y una composición de vanos que es heterogénea entre niveles, respondiendo a un diseño arquitectónico de fachada libre y la composición de esta como un elemento urbano y programático.

Caso 3: Edificio Imperio Oriente

El proyecto comprende un conjunto de 3 edificios en un terreno longitudinal con acceso a dos calles paralelas en las caras menores del sitio, dos de los edificios son de igual diseño enfrentando a cada calle y conectados por un tercero de diseño singular. El presente estudio se centró en el edificio que enfrenta a la calle Eleodoro Yáñez (FIG. 03 - DERECHA), corresponde a un edificio de 4 pisos de altura, con un primer nivel elevado en elementos verticales esbeltos para generar el acceso y permitir jardines y estacionamientos. Los niveles superiores son de vivienda, con 3 unidades por piso (FIG. 08 - ABAJO). La diferencia en altura y elementos entre el primer piso y el resto del conjunto es una característica particular de este edificio (FIG. 09)



FIG. 06

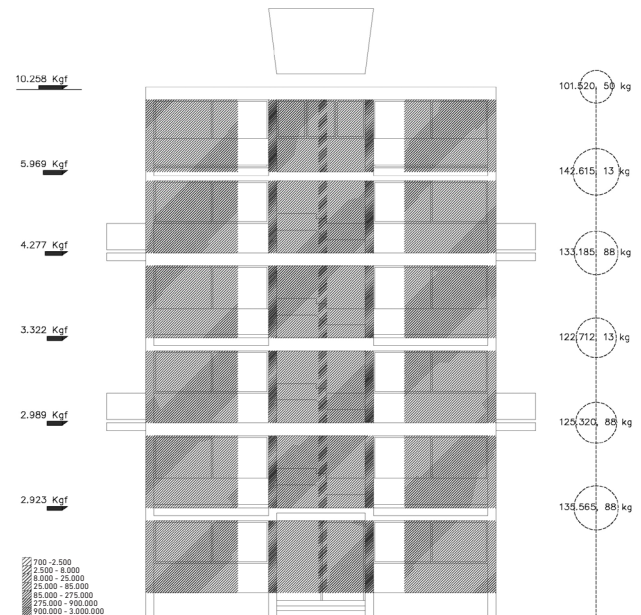


FIG. 07

significantly lower stiffness and do not play a significant role in the seismic response, allowing the façade to feature lightweight cladding and a composition of openings that varies between storeys, reflecting an architectural design of an open façade and its composition as an urban and programmatic element.

Case 3: Imperio Oriente Building

The project comprises a complex of three buildings on a long, narrow plot with access to two parallel streets at the shorter sides of the site; two of the buildings are of identical design, facing each street respectively, and are connected by a third building of a unique design. This study focused on the building facing Eleodoro Yáñez Street (FIG. 03 RIGHT); it is a four-storey building with a raised ground floor supported by slender vertical elements to provide access and allow for gardens and parking spaces. The upper floors are residential, with three units per floor (FIG. 08 BOTTOM). The difference in height and structural elements between the ground floor and the rest of the complex is a distinctive feature of this building (FIG. 09)

The building features significant variations in structural configuration depending on the storey and height. The ground floor is designed with thick, tall columns and structural elements, with the aim of creating an open-plan

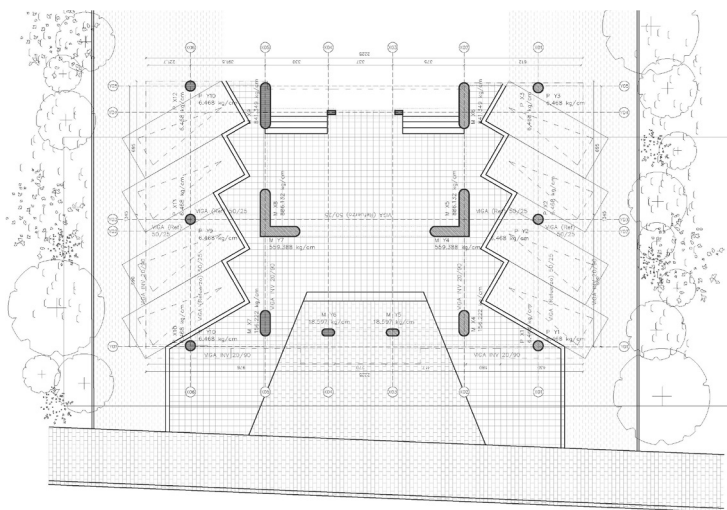


FIG. 08

El edificio presenta una variación significativa en la configuración de la estructura según su nivel y altura. El primer nivel es diseñado con pilares y elementos de gran espesor y mayor altura, buscando liberar el primer piso. Mientras que los niveles superiores utilizan muros de menor espesor, generando discontinuidad en la descarga vertical de esfuerzos (FIG. 08 - ARRIBA).

Existe una diferencia significativa entre la masa del primer nivel (FIG. 10) y los superiores, debido al mayor espesor de losa –25 cm en primer nivel frente a 15 cm en pisos superiores–, lo que incrementa la masa en la base.

Las fuerzas sísmicas son mayores en el nivel superior, pero también presentan un aumento en el primer nivel (20.217 kg), asociado a la mayor masa. El esfuerzo de corte se incrementa significativamente hacia la base. Implicando una distribución no estándar de los esfuerzos sísmicos con una mayor relevancia del empuje del mayor nivel y una disminución de la altura del centro de masas (FIG. 10).

Por otro lado, la rigidez en el piso 2 es mayor que en el primer nivel (12.734.305 kg/cm en elementos pertenecientes a los ejes X01 a X06 y 9.806.186 kg/cm en elementos de los ejes Y01 a Y05). Sin embargo, en el primer nivel, la rigidez disminuye considerablemente (3.806.216 kg/cm en X01 a X06 y 1.194.780 kg/cm en Y01 a Y05).



FIG. 09

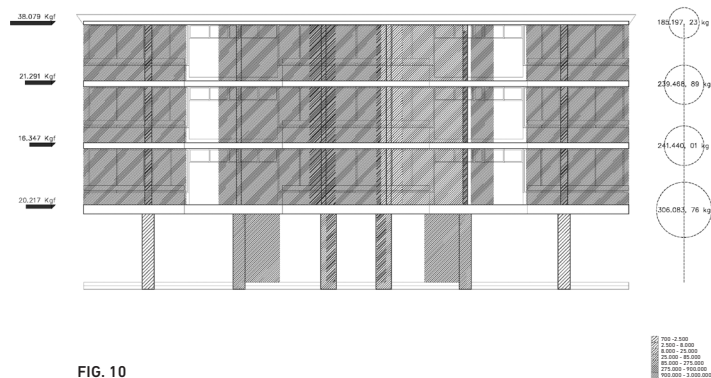


FIG. 10

space. The upper storeys, meanwhile, utilise thinner walls, resulting in a discontinuity in the vertical transfer of loads (FIG. 08 TOP).

There is a significant difference in mass between the ground floor (FIG. 10) and the upper floors, due to the greater slab thickness –25 cm on the ground floor compared with 15 cm on the upper floors –which increases the mass at the base.

Seismic forces are greater at the upper level, but there is also an increase at the first level (20.217 kg), associated with the greater mass. Shear stress increases significantly towards the base. This implies a non-standard distribution of seismic forces, with greater significance attached to the thrust from the upper level and a decrease in the height of the centre of mass (FIG. 10).

Furthermore, the stiffness on the second floor is greater than on the first floor (12.734.305 kg/cm² for elements in axes X01 to X06 and 9.806.186 kg/cm² for elements in axes Y01 to Y05). However, on the first level, the stiffness decreases considerably (3.806.216 kg/cm for X01 to X06 and 1.194.780 kg/cm for Y01 to Y05).

The above analysis reveals a significant variation in stiffness between storeys, as evidenced by the difference between the first storey and storeys 2 to 4. The reduction in stiffness on the first storey coincides with the higher shear force ($Q_k = Q_b$), concentrating the structural demand on the elements of that

Con el análisis anterior, existe una variación significativa de rigidez entre niveles, evidenciada en la diferencia entre piso 1 y los pisos 2 a 4. La reducción de rigidez en el primer nivel coincide con el mayor esfuerzo de corte ($Q_k = Q_0$), concentrando la demanda estructural de los elementos de ese piso. Además, el aumento de masa en la base, cuantificado en el peso sísmico del primer nivel, incrementa las fuerzas sísmicas en dicho nivel, implicando que los elementos estructurales tengan una mayor sección para responder a estas altas exigencias pese a ser menor en número. Este caso es claro respecto a las decisiones estructurales que implican en un contexto sísmico el ideal moderno del primer piso sobre pilotes, la estructura no se posa sobre pilares livianos, al contrario, se posa sobre elementos robustos pero que, por su distribución en planta y geometría, logran —parcialmente— la liberación de esta planta.

Otro aspecto relevante de este caso es que la discontinuidad de los elementos configura una irregularidad en la transmisión de cargas entre elementos verticales. Los elementos estructurales de los pisos superiores no coinciden en tamaño e, incluso, posición con los del primer nivel obligando a establecer un sistema de vigas y losa de gran tamaño permitiendo la distribución de cargas y asumiendo la rigidización en planta.

Por último, ante un primer piso con pocos elementos estructurales, la relación de la superestructura con las fundaciones se vuelve crítica al tener que enfrentar los esfuerzos de volcamiento. Sin embargo, la concentración de masas del primer piso —por muros y por losa de mayor espesor— permite que el centro de masas total del edificio sea más bajo y, con ello, un menor momento de volcamiento, reduciendo el esfuerzo en la interacción con el suelo.

CONCLUSIONES

La estructura como factor determinante en el desarrollo moderno en Chile

La revisión de los casos estudiados demuestra que la estructura resistente en hormigón armado fue un factor determinante en el desarrollo de la arquitectura moderna en Chile, especialmente en el ámbito de la vivienda de mediana altura. En un contexto sísmico altamente exigente, las decisiones estructurales no se limitaron a resolver problemas de estabilidad y resistencia, sino que condicionaron de manera directa la organización en planta, la configuración espacial y las posibilidades formales de los edificios. La normativa sísmica, de carácter prescriptivo, incentivó soluciones basadas en rigidez, continuidad y control geométrico, estableciendo un marco técnico que influyó decisivamente en la materialización local de los ideales modernos y promover el hormigón armado como material dominante.

La estructura como soporte y habilitador del proyecto arquitectónico

El estudio evidencia que la estructura no actúa únicamente como elemento resistente, sino como dispositivo habilitador del proyecto arquitectónico. Las maquetas, la planimetría y el análisis estructural permiten observar cómo la disposición de muros, núcleos rígidos y losas colabora activamente en la posibilidad—o restricción—de aplicar principios modernos como la fachada independiente, la ventana corrida o la liberación del primer nivel. En este sentido, la estructura se configura como un territorio de negociación entre las aspiraciones proyectuales y las exigencias sísmicas, articulando de manera concreta las decisiones espaciales, programáticas y urbanas. En este marco, la aparición de variables como la organización en planta, la configuración espacial y las propuestas morfológicas del edificio permite comprender la estructura como un agente capaz de promover —e incluso constituirse en sí mismo— un asunto de diseño.

El hormigón armado como material determinante y expresivo

El hormigón armado se consolida en los casos analizados como un material particular que define tanto las posibilidades estructurales como la expresión arquitectónica de la modernidad chilena. Su uso extensivo, favorecido por condiciones económicas, tecnológicas y laborales, permitió construir sistemas resistentes capaces de responder al sismo, pero también generó un lenguaje material propio, visible en la obra gruesa, las huellas de moldaje, la masa y la continuidad entre elementos. Esta doble condición —técnica y expresiva—

storey. In addition, the increase in mass at the base, quantified by the seismic weight of the first storey, increases the seismic forces on that storey, meaning that the structural elements must have a larger cross-section to meet these high demands despite being fewer in number. This case clearly illustrates the structural decisions involved in a seismic context regarding the modern ideal of a ground floor on piles: the structure does not rest on lightweight columns; on the contrary, it rests on robust elements which, due to their layout and geometry, manage —to some extent— to keep this floor off the ground.

Another significant aspect of this case is that the discontinuity between the structural elements results in an irregular distribution of loads between vertical members. The structural elements on the upper floors do not match those on the ground floor in terms of size or even position, making it necessary to install a system of large beams and slabs to distribute the loads and provide structural rigidity across the floor plan.

Finally, in the case of a ground floor with few structural elements, the relationship between the superstructure and the foundations becomes critical, as it must withstand overturning forces. However, the concentration of mass on the ground floor — due to thicker walls and floor slabs — allows the building's overall centre of mass to be lower, thereby reducing the overturning moment and the forces acting on the ground.

CONCLUSIONS

Structure as a determining factor in modern development in Chile

A review of the case studies shows that the load-bearing reinforced concrete structure was a decisive factor in the development of modern architecture in Chile, particularly in the field of mid-rise housing. In a highly demanding seismic context, structural decisions were not limited to resolving issues of stability and strength, but directly influenced the floor plan organisation, spatial configuration and formal possibilities of the buildings. The prescriptive seismic regulations encouraged solutions based on rigidity, continuity and geometric control, establishing a technical framework that decisively influenced the local realisation of modern ideals.

Structure as the foundation and enabler of the architectural project

The study demonstrates that the structure functions not merely as a load-bearing element, but as a mechanism that enables the architectural design. The models, floor plans and structural analysis reveal how the arrangement of walls, rigid cores and floor slabs actively contributes to the possibility —or limitation— of applying modern principles such as the free-standing façade, the continuous window or the open ground floor. In this sense, the structure emerges as a space for negotiation between design aspirations and seismic requirements, concretely articulating spatial, programmatic and urban decisions. Within this framework, the emergence of variables such as floor plan organisation, spatial configuration and the building's morphological proposals allows us to understand the structure as an agent capable of triggering —and even constituting itself as— a design issue.

Reinforced concrete as a defining and expressive material

In the cases analysed, reinforced concrete emerges as a distinctive material that defines both the structural possibilities and the architectural expression of Chilean modernism. Its widespread use, facilitated by economic, technological and labour market conditions, enabled the construction of resilient structures capable of withstanding earthquakes, whilst also giving rise to a unique material language, evident in the structural framework, formwork marks, massing and the continuity between elements. This dual nature —both technical and expressive— positions reinforced concrete as the material foundation upon which a local modern architecture was built, whose structural decisions laid the typological and constructional foundations for mid-rise building to the present day.

The value of the case study methodology integrating structure and architecture

The methodology applied in this study —based on the interplay between physical models, coded planimetric representation, and normative structural analysis— contributes to the analysis of architecture and the influence of structure. The combination of these three tools made it possible to observe, simultaneously and at different scales, the relationship between the load-

posiciona al hormigón armado como el soporte material sobre el cual se construyó una arquitectura moderna local, cuyas decisiones estructurales sentaron las bases tipológicas y constructivas de la edificación en mediana altura hasta la actualidad.

El valor de la metodología de estudio de casos integrando estructura y arquitectura

La metodología aplicada en este estudio —basada en la articulación entre maquetas físicas, representación planimétrica codificada y análisis estructural normativo— se constituye como un aporte para el análisis de la arquitectura y la incidencia de la estructura. La combinación de estas tres herramientas permitió observar, simultáneamente y desde distintas escalas, la relación entre estructura soportante y proyecto arquitectónico, superando lecturas fragmentadas propias de aproximaciones exclusivamente históricas, gráficas o ingenieriles. Las maquetas, al representar el edificio en el estado de la obra gruesa, posibilitaron una lectura directa de la estructura como objeto material y expresivo, evidenciando decisiones proyectuales usualmente ocultas tras los elementos de terminación. La planimetría, mediante el uso de códigos gráficos diferenciados, permitió integrar información arquitectónica y estructural en una misma representación, facilitando la comprensión del rol espacial, formal y resistente de los sistemas estructurales. Finalmente, el análisis estructural, apoyado en la normativa sísmica vigente para el periodo estudiado, aportó una base cuantitativa para interpretar cómo la distribución de masas, rigideces y esfuerzos condicionó las decisiones de diseño. En conjunto, esta metodología integrada no solo permitió analizar de manera rigurosa los casos seleccionados, sino también establecer criterios replicables para el estudio comparado, reforzando la tesis de que la estructura no es un problema independiente del proyecto arquitectónico, sino un campo de negociación activo donde confluyen técnica, forma y contexto.

Notas y referencias bibliográficas

¹ Traducción del autor.

² Adrian Forty, *Concrete and Culture. A Material History* (Reaktion books LTD, 2013), 239.

³ Fernando Pérez Oyarzun, Rodrigo Booth Pinochet, Claudio Vásquez Saldívar, and Yolanda Muñoz Lozano, "Cimentando el centenario: el hormigón en tres edificios de Santiago de Chile a comienzos del siglo XX," *Atenea*, no. 523 (2021): SN.

⁴ Max Aguirre González, "La arquitectura moderna en Chile. El cambio de la arquitectura en la primera mitad del siglo XX. El rol de la asociación gremial de los arquitectos (1907-1942) y el papel de las revistas de arquitectura (1913-1941)." (PhD diss., Universidad Politécnica de Madrid, 2004), 113.

⁵ Instituto de Edificación Experimental, "nuevos materiales y métodos cambian la ruta del arquitecto contemporáneo," *Técnica y Creación* n. 2 (1961): 3.

⁶ Mayor detalle en un trabajo previo de los autores en Cristian Muñoz-Díaz, and Gabriel Cañete-Guevara. "Esqueletos modernos. Estudio de la expresión material de la modernidad desde la estructura y el hormigón," *Revista Historia y Patrimonio* 4, no. 6 (2025): 1-15.

⁷ "Five Points Toward a New Architecture by Le Corbusier," Columbia University, accessed 2 de abril, 2026, en chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://projects.mcah.columbia.edu/courses/arch20/pdf/art_hum_reading_52.pdf

⁸ Pier Luigi Nervi, *Scienza O Arte Del Construire? Caratteristiche E Possibilita Del Cemento Armato* (CittaStudi, 1945), 2, Traducción del autor.

⁹ Equipo de investigación y fabricación del proyecto Esqueletos Modernos. Académicos: Profesor Cristian Muñoz, Investigador responsable; Profesora Beatriz Coeffe, Co-investigador; Profesor Rodrigo Vera, Investigador alterno; Profesora Victoria Opazo, Asistente de investigación; y Ayudante Gabriel Cañete, Asistente de investigación. Estudiantes y egresados de arquitectura de la Universidad de Chile: Mónica Echeverría, Camila Llanto, Catalina Rodríguez, Pamela Salas, Elizabeth Lara, Paulina Oyaneder y Karyn Salazar. Financiamiento y apoyo: Fondo FAU de Investigación y Creación 2024. Dirección de investigación, Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Chile. Primera exposición: 18° Conferencia Internacional DCOMOMO 2024 - Side Event. En el campus Los Leones, con el apoyo de la Escuela de Arquitectura de la Universidad San Sebastián. Del 10 al 15 de diciembre de 2024.

¹⁰ Muñoz-Díaz, Cristian, and Gabriel Cañete-Guevara. "Esqueletos modernos,"

¹¹ Smiljan Radic, *Teatro Regional Del Biobio* (Ministerio de las culturas, las artes y el patrimonio, 2019).

bearing structure and the architectural design, moving beyond the fragmented interpretations typical of approaches that are exclusively historical, graphical or engineering-based.

By depicting the building at the structural stage, the models provided a direct insight into the structure as a physical and expressive entity, revealing design choices that are usually concealed behind the finishing elements. The plan drawings, through the use of distinct graphic codes, enabled architectural and structural information to be integrated into a single representation, facilitating an understanding of the spatial, formal and load-bearing roles of the structural systems.

Finally, the structural analysis, based on the seismic regulations in force during the period under study, provided a quantitative basis for interpreting how the distribution of masses, stiffnesses and forces influenced design decisions. Overall, this integrated methodology not only enabled a rigorous analysis of the selected cases, but also established replicable criteria for the comparative study, reinforcing the thesis that the structure is not a problem separate from the architectural design, but rather an active field of negotiation where technique, form and context converge.

Notes and bibliographic references

¹ Author's translation.

² Adrian Forty, *Concrete and Culture. A Material History* (Reaktion books LTD, 2013), 239.

³ Fernando Pérez Oyarzun, Rodrigo Booth Pinochet, Claudio Vásquez Saldívar, and Yolanda Muñoz Lozano, "Cimentando el centenario: el hormigón en tres edificios de Santiago de Chile a comienzos del siglo XX," *Atenea*, no. 523 (2021): SN.

⁴ Max Aguirre González, "La arquitectura moderna en Chile. El cambio de la arquitectura en la primera mitad del siglo XX. El rol de la asociación gremial de los arquitectos (1907-1942) y el papel de las revistas de arquitectura (1913-1941)." (PhD diss., Universidad Politécnica de Madrid, 2004), 113.

⁵ Instituto de Edificación Experimental, "nuevos materiales y métodos cambian la ruta del arquitecto contemporáneo," *Técnica y Creación* n. 2 (1961): 3.

⁶ More detail in Cristian Muñoz-Díaz, and Gabriel Cañete-Guevara. "Esqueletos modernos. Estudio de la expresión material de la modernidad desde la estructura y el hormigón," *Revista Historia y Patrimonio* 4, no. 6 (2025): 1-15.

⁷ "Five Points Toward a New Architecture by Le Corbusier," Columbia University, accessed 2 de abril, 2026, en chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://projects.mcah.columbia.edu/courses/arch20/pdf/art_hum_reading_52.pdf

⁸ Pier Luigi Nervi, *Scienza O Arte Del Construire? Caratteristiche E Possibilita Del Cemento Armato* (CittaStudi, 1945), 2, Traducción del autor.

⁹ Research and production team for the Modern Skeletons Project. Academics: Professor Cristian Muñoz, Principal Investigator; Professor Beatriz Coeffe, Co-investigador; Professor Rodrigo Vera, Associate Investigator; Professor Victoria Opazo, Research Assistant; and Gabriel Cañete, Research Assistant. Architecture students and graduates from the University of Chile: Mónica Echeverría, Camila Llanto, Catalina Rodríguez, Pamela Salas, Elizabeth Lara, Paulina Oyaneder and Karyn Salazar. Funding and support: FAU Research and Creation Fund 2024. Research Directorate, Faculty of Architecture and Urbanism, University of Chile. First exhibition: 18th DCOMOMO International Conference 2024 – Side Event. At the Los Leones campus, with the support of the School of Architecture, University of San Sebastián. 10–15 December 2024.

¹⁰ Muñoz-Díaz, Cristian, and Gabriel Cañete-Guevara. "Esqueletos modernos,"

¹¹ Smiljan Radic, *Teatro Regional Del Biobio* (Ministerio de las culturas, las artes y el patrimonio, 2019).

¹² Instituto Nacional de Normalización (INN), *Diseño Sísmico De Edificios. NCh 433 Of. 1996 Mod. 2009. Chile* (INN, 2009).

¹³ Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), *aprueba reglamento que fija el diseño sísmico de edificios. DS 61. Chile* (MINVU, 2011).

¹⁴ The seismic coefficient (C) is determined in accordance with Decree DS No. 61-2011 Approving Regulations Establishing the Seismic Design of Buildings, DS 61, (Chile: Ministry of Housing and Urban Development – MINVU, 2011). This is detailed in Eq. 2, which takes into account the parameters associated with the foundation soil type (S, n, T'), the maximum effective ground acceleration (A₀), the structural response reduction factor (R) and the period of the mode with the highest translational mass(T*).
Eq. 2. Seismic coefficient.

$$C = \frac{2,75 S A_0}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

Where,

- ¹² Instituto Nacional de Normalización (INN), *Diseño Sísmico De Edificios. NCh 433 Of. 1996 Mod. 2009. Chile* (INN, 2009).
- ¹³ Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), *aprueba reglamento que fija el diseño sísmico de edificios. DS 61. Chile* (MINVU, 2011).

¹⁴ La determinación del coeficiente sísmico (C) se realiza según la el decreto DS N°61-2011 Aprueba reglamento que fija el diseño sísmico de edificios, DS 61, (Chile: Ministerio de Vivienda y Urbanismo - MINVU, 2011), y se detalla en la Ec. 2, el cual considera los parámetros asociados al tipo de suelo de fundación (S, n, T'), la aceleración efectiva máxima del suelo (A₀), el factor de reducción de la respuesta estructural (R) y el período del modo con mayor masa traslacional (T*).

Ec. 2. Coeficiente sísmico.

$$C = \frac{2,75 S A_0}{gR} \left(\frac{T'}{T^*} \right)^n$$

Donde,

S, n, T' = parámetros relativos al tipo de suelo de fundación,

A₀ = aceleración efectiva máxima del sueño, determinada según tabla dada por la norma chilena NCh433:1996.

R = factor de reducción según tabla dada por la norma chilena NCh433:1996.

T* = periodo del modo con mayor masa traslacional.

Este período T* corresponde al periodo del modo fundamental de vibración del edificio, donde la altura se considera un factor determinante según Elgohary Hamdy, "A Comprehensive Review and Ann Analysis of Empirical Formulae for Determining the Fundamental Period of Multi-Story Rc Moment Resisting Frames," *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture* 16, no. 4 (2025), <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00192-3>; y en Murat Saatcioglu and JagMohan Humar, "Dynamic Analysis of Buildings for Earthquake-Resistant Design," *Canadian Journal of Civil Engineering* 30, no. 2 (2003), <https://doi.org/10.1139/I02-108>. Para efectos de este estudio, y de manera simplificada, se calcula a través de la siguiente fórmula:

T* = 0,1 * número de pisos

- ¹⁵ Para efectos de este análisis, y de acuerdo con la información proporcionada por el expediente municipal, el peso sísmico se calculó estimando la masa de la estructura (carga permanente), y las sobrecargas de uso, según los parámetros establecidos en la norma chilena NCh1537:2009 Diseño estructural - Cargas permanentes y cargas de uso Diseño Estructural: Cargas Permanentes Y Cargas De Uso, NCh 1537 Of. 2009, (Chile: Instituto Nacional de Normalización - INN, 2009). Respecto a la carga de uso, y tal como indica la NCh433, se considera un 25% de esta.
- ¹⁶ Anil K. Chopra, *Dinámica De Estructuras. 4° Edición ed.* Translated by Murrieta, Jesús. (Pearson Education, 2014).
- ¹⁷ La distribución de fuerzas sísmicas es complementada con la fórmula de Factor de Ponderación Ec. 4. Factor de ponderación para el peso asociado al nivel k.

$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{h}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{h}}$$

Donde,

Z_k = altura del nivel k, sobre el nivel basal

h = altura de entrespiso

- ¹⁸ "Al trabajar con un diafragma rígido y distribuir las fuerzas horizontales hacia los elementos verticales resistentes en proporción a sus rigideces relativas, la rigidez relativa del muro de corte depende de las deformaciones por corte y por flexión." Brick Institute of America, "The Contemporary Bearing Wall: Introduction to Shear Wall Design," *Technical Notes 24C*, (1988). Traducción del autor.
- ¹⁹ Ilustre Municipalidad de Providencia *Permiso Para Edificar - Edificio Ubicado En Carlos Antunez 1824* (Dirección de Obras Municipales, 1962).
- ²⁰ Ilustre Municipalidad de Providencia *Permiso Para Edificar - Edificio Ubicado En Presidente Eduardo Frei Montalva 1901* (Dirección de Obras Municipales, 1960).
- ²¹ Ilustre Municipalidad de Providencia *Recepción Final - Edificio Ubicado En Eliodoro Yañez 1920* (Dirección de Obras Municipales, 1962).

Bibliography

- Aguirre González, Max. "La arquitectura moderna en Chile. El cambio de la arquitectura en la primera mitad del siglo XX. El rol de la asociación gremial de los arquitectos (1907-1942) y el papel de las revistas de arquitectura (1913-1941)." Doctorado, Escuela Técnica Superior de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.

S, n, T' = parameters relating to the type of foundation soil,

A₀ = maximum effective acceleration during the test, determined in accordance with the table provided in Chilean standard NCh433:1996.

R = reduction factor according to the table provided by the Chilean standard NCh433:1996.

T* = period of the mode with the greatest translational mass

This period T* corresponds to the period of the fundamental mode of vibration of the building, where height is considered a determining factor according to Elgohary Hamdy, "A Comprehensive Review and Ann Analysis of Empirical Formulae for Determining the Fundamental Period of Multi-Story Rc Moment Resisting Frames," *Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture* 16, no. 4 (2025), <https://doi.org/10.1007/s43995-025-00192-3>; y en Murat Saatcioglu and JagMohan Humar, "Dynamic Analysis of Buildings for Earthquake-Resistant Design," *Canadian Journal of Civil Engineering* 30, no. 2 (2003), <https://doi.org/10.1139/I02-108>. For the purposes of this study, and in a simplified manner, it is calculated using the following formula:

T* = 0,1 * número de pisos

- ¹⁵ For the purposes of this analysis, and according to the information provided by the municipal file, the seismic weight was calculated by estimating the mass of the structure (permanent load), and the live loads, according to the parameters established in the Chilean standard NCh1537:2009 Diseño estructural - Cargas permanentes y cargas de uso Diseño Estructural: Cargas Permanentes Y Cargas De Uso, NCh 1537 Of. 2009, (Chile: Instituto Nacional de Normalización - INN, 2009). Regarding the load of use, and as indicated by NCh433, 25% of this is considered.
- ¹⁶ Anil K. Chopra, *Dinámica De Estructuras. 4° Edición ed.* Translated by Murrieta, Jesús. (Pearson Education, 2014).
- ¹⁷ The distribution of seismic forces is supplemented by the weighting factor formula (Eq. 4). Weighting factor for the weight associated with the Storey k.

$$A_k = \sqrt{1 - \frac{Z_{k-1}}{h}} - \sqrt{1 - \frac{Z_k}{h}}$$

Where,

Z_k = height of level k, over the base level

h = floor-to-floor height

- ¹⁸ "When working with a rigid diaphragm and distributing horizontal forces to the vertical load-bearing members in proportion to their relative stiffnesses, the relative stiffness of the shear wall depends on the shear and bending deformations." Brick Institute of America, *The Contemporary Bearing Wall: Introduction to Shear Wall Design* (1988). Author's translation.
- ¹⁹ Ilustre Municipalidad de Providencia *Permiso Para Edificar - Edificio Ubicado En Carlos Antunez 1824* (Dirección de Obras Municipales, 1962).
- ²⁰ Ilustre Municipalidad de Providencia *Permiso Para Edificar - Edificio Ubicado En Presidente Eduardo Frei Montalva 1901* (Dirección de Obras Municipales, 1960).
- ²¹ Ilustre Municipalidad de Providencia *Recepción Final - Edificio Ubicado En Eliodoro Yañez 1920* (Dirección de Obras Municipales, 1962).

Figuras / Figures

Hormigón y modernidad en discusión: La estructura soportante como territorio de negociación entre arquitectura e ingeniería.

FIG. 1. Fotografía actual de los casos de estudio: A la izquierda, caso 1 edificio Juan Antonio Ríos; al centro caso 2 edificio bloque Carlos Antunez; a la derecha caso 3 edificio Imperio Oriente / Current photographs of the case studies: On the left, Case 1: the Juan Antonio Ríos building; in the centre, Case 2: the Carlos Antunez block; on the right, Case 3: the Imperio Oriente building. **Fuente y autor / Source and author:** ©Fotografías del autor / Photographs by the author.

FIG. 2. Planta tipo del edificio Juan Antonio Ríos / Floor plan of the Juan Antonio Ríos building. **Fuente y autor / Source and author:** ©Elaboración propia / Authors.

FIG. 3. Fotografía de la maqueta edificio Juan Antonio Ríos, sistema estructural del edificio / Photograph of the model of the Juan Antonio Ríos building, showing the building's structural system. **Fuente y autor / Source and author:** ©Maqueta de equipo Esqueletos Modernos. Fotografía de Elizabeth Iturra / Model by Esqueletos Modernos. Photograph by Elizabeth Iturra.

FIG. 4. Esquematación de la distribución del peso sísmico, sumatoria de rigideces y empuje sísmico por nivel obtenido para el Caso 1. En azul los elementos estructurales, rojo los elementos complementarios. A la izquierda el empuje sísmico, a la derecha la masa del nivel / Schematic representation of the distribution of seismic weight, sum of stiffnesses and seismic force per storey obtained for Case 1. Structural elements

- Brick Institute of America. "The contemporary bearing wall: Introduction to shear wall design." In Technical Notes 24C, 1988.
- Chopra, Anil K. Dinámica de estructuras. Translated by Jesús Murrieta. 4ª Edición ed: Pearson Education. Original edition, DYNAMICS OF STRUCTURES, 2014.
- Columbia University. "Five Points Toward a New Architecture by Le Corbusier". Accedido 2 de abril, 2026, en chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://projects.mcah.columbia.edu/courses/arch20/pdf/art_hum_reading_52.pdf
- Elgohary, Hamdy A. "A comprehensive review and ANN analysis of empirical formulae for determining the fundamental period of Multi-Story RC moment resisting frames." Journal of Umm Al-Qura University for Engineering and Architecture 16, no. 4 (2025):1519-1526. doi: 10.1007/s43995-025-00192-3.
- Forty, Adrian. Concrete and culture. A material history: Reaktion books LTD, 2013.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Diseño estructural: cargas permanentes y cargas de uso. Chile: INN, 2009.
- INN, Instituto Nacional de Normalización. Diseño Sísmico de Edificios. Chile: INN, 2009.
- Instituto de Edificación Experimental. "Nuevos materiales y métodos cambian la ruta del arquitecto contemporáneo." Técnica y Creación 2 (1961).
- MINVU, Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Aprueba Reglamento Que Fija El Diseño Sísmico De Edificios. DS 61. Chile: MINVU, 2011.
- Muñoz-Díaz, Cristian, and Gabriel Cañete-Guevara. "Esqueletos Modernos. Estudio de la expresión material de la modernidad desde la estructura y el hormigón." Revista Historia y Patrimonio 4, no. 6 (2025):1-15. doi: 10.5354/2810-6245.2025.78597.
- Nervi, Pier Luigi. Scienza o arte del costruire? Caratteristiche e possibilità del cemento armato. CittaStudi, 1945.
- Pérez Oyarzun, Fernando, Rodrigo Booth Pinochet, Claudio Vásquez Saldívar, and Yolanda Muñoz Lozano. "Cimentando el centenario: el hormigón en tres edificios de Santiago de Chile a comienzos del siglo XX." Atenea 523 (2021). doi: http://dx.doi.org/10.29393/ata523-409fpcc40409.
- Radic, Smiljan. Teatro Regional del Biobío. Valparaíso, Chile: Ministerio de las culturas, las artes y el patrimonio, 2019.
- Saatcioglu, Murat, and Jagmohan Humar. "Dynamic analysis of buildings for earthquake-resistant design." Canadian Journal of Civil Engineering 30, no.2 (2002):338-359. doi: 10.1139/I02-108.
- VVAA. Permiso para edificar - Edificio ubicado en Presidente Eduardo Frei Montalva 1901.
- VVAA. Permiso para Edificar - Edificio ubicado en Carlos Antunez 1824.
- VVAA. Recepción Final - Edificio ubicado en Eliodoro Yañez 1920.

Cristian Muñoz-Díaz

Arquitecto de la Universidad de Chile y Magister en Diseño Arquitectónico de la Universidad de Santiago de Chile. Candidato a Doctor en Ciencias de la Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Su trabajo académico se centra en las tecnologías de construcción y los sistemas estructurales en arquitectura, estudiando el impacto que tienen en el desarrollo de la disciplina y el entorno construido. Ha dirigido proyectos académicos y de investigación y ha expuesto su trabajo académico en Chile y el extranjero en congresos, artículos académicos y otros documentos escritos.

Victoria Opazo-Castro

Arquitecta de la Universidad de Chile y máster en Estudios Avanzados en Arquitectura, con especialidad en Restauración y Rehabilitación Arquitectónica por la Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona). Realiza docencia en arquitectura, promoviendo a la comprensión, análisis y aplicación de criterios materiales y estructurales en el diseño arquitectónico. Se ha desempeñado como ayudante de investigación en tecnología de la construcción, abordándolos desde una perspectiva integral que articula materialidad, sistemas constructivos y estructuras. Es autora de artículos en estas áreas y en metodologías de enseñanza. Actualmente es subdirectora de la Escuela de Arquitectura de la Universidad San Sebastián (sede Santiago).

Gabriel Cañete-Guevara

Arquitecto de la Universidad de Chile. Licenciatura con mención en teoría y crítica de la arquitectura. Ayudante de investigación y profesor auxiliar en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Chile. Su trabajo académico se centra en la reflexión crítica sobre la disciplina, explorando los asuntos y argumento de proyecto. Ha participado en cursos de taller de diseño de arquitectura de pregrado y en proyectos de investigación-creación FAU.

are shown in blue, and ancillary elements in red. The seismic force is shown on the left, and the mass of the storey on the right. **Fuente y autor / Source and author:** ©Elaboración propia / Authors.

FIG. 5. Arriba: Planta primer piso tipo dúplex del edificio Unidad Vecinal Providencia, bloque Carlos Antúnez. Abajo: Planta segundo piso tipo dúplex del edificio Unidad Vecinal Providencia, bloque Carlos Antúnez / Top: Ground floor of the duplex-style flat in the Unidad Vecinal Providencia building, Carlos Antúnez block. Below: First floor of the duplex-style flat in the Unidad Vecinal Providencia building, Carlos Antúnez block. **Fuente y autor / Source and author:** ©Elaboración propia / Authors.

FIG. 6. Fotografía de la maqueta bloque Carlos Antúnez, detalle de muros y pilares. Sin losa superior / Photograph of the Carlos Antúnez block model, showing a detail of the walls and columns. Without the top slab. **Fuente y autor / Source and author:** ©Maqueta de equipo Esqueletos Modernos. Fotografía de Elizabeth Iturra / Model by Esqueletos Modernos. Photograph by Elizabeth Iturra.

FIG. 7. Esquemmatización de la distribución del peso sísmico, sumatoria de rigideces y empuje sísmico por nivel obtenido para el Caso 2. En azul los elementos estructurales, rojo los elementos complementarios. A la izquierda el empuje sísmico, a la derecha la masa del nivel / Schematic representation of the distribution of seismic weight, sum of stiffnesses and seismic thrust per storey obtained for Case 2. Structural elements are shown in blue, and ancillary elements in red. The seismic thrust is shown on the left, and the mass of the storey on the right. **Fuente y autor / Source and author:** ©Elaboración propia / Authors.

FIG. 8. Plantas del edificio Imperio Oriente. Arriba planta de piso 1; abajo planta tipo 2 a 4 / Floor plans of the Imperio Oriente building. Top: floor plan of the first floor; bottom: floor plans for floors 2 to 4. **Fuente y autor / Source and author:** ©Elaboración propia / Authors.

FIG. 9. Fotografía de la maqueta del edificio Imperio Oriente, sistema estructural del edificio / Photograph of the model of the Imperio Oriente building, showing the building's structural system. **Fuente y autor / Source and author:** ©: Maqueta de equipo Esqueletos Modernos. Fotografía de Elizabeth Iturra / Model by Esqueletos Modernos. Photograph by Elizabeth Iturra.

FIG. 10. Esquemmatización de la distribución del peso sísmico fuerzas equivalentes, esfuerzos de corte por nivel y el esfuerzo de corte basal obtenido para el Caso 3. En azul los elementos estructurales, rojo los elementos complementarios. A la izquierda el empuje sísmico, a la derecha la masa del nivel / Schematic representation of the distribution of seismic equivalent forces, shear forces per storey and the base shear obtained for Case 3. Structural elements are shown in blue, and ancillary elements in red. The seismic thrust is shown on the left, and the storey mass on the right. **Fuente y autor / Source and author:** ©Elaboración propia / Authors.

Cristian Muñoz-Díaz

Architect graduated from the University of Chile and holds a Master's degree in Architectural Design from the University of Santiago de Chile. He is currently a PhD candidate in Engineering Sciences at the Pontificia Universidad Católica de Chile. His academic work focuses on construction technologies and structural systems in architecture, examining their impact on the development of the discipline and the built environment. He has led academic and research projects and has presented his work in Chile and abroad through conferences, peer-reviewed journal articles, and other scholarly publications.

Victoria Opazo-Castro

Architect graduated from the University of Chile and holds a Master's degree in Advanced Architectural Studies, with a specialization in Architectural Restoration and Rehabilitation, from the Universitat Politècnica de Catalunya (Barcelona). She teaches architecture, promoting the understanding, analysis, and application of material and structural criteria in architectural design. She has worked as a research assistant in construction technology, approaching the field from an integrated perspective that connects materiality, construction systems, and structural design. She is the author of academic articles in these areas, as well as in teaching methodologies. She currently serves as Deputy Director of the School of Architecture at Universidad San Sebastián (Santiago campus).

Gabriel Cañete-Guevara

Architect graduated from the University of Chile, with a Bachelor's degree and a concentration in architectural theory and criticism. He is a research assistant and adjunct lecturer at the School of Architecture of the University of Chile. His academic work focuses on critical reflection on the architectural discipline, exploring project-based issues and design arguments. He has participated in undergraduate architectural design studios and in FAU-funded research-creation projects.