



**PROPUESTA DE MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA ENFRENTAR LOS  
DESAFÍOS EN LA CONSTRUCCIÓN Y TERMINACIÓN DE MUROS CURVOS DE  
HORMIGÓN VISTO EN LA FACHADA: EL CASO DEL EDIFICIO FLORAMATIC**

**Proyecto de Título para optar al Título de Constructor Civil**

POSTULANTE AL GRADO:

**JOSÉ LUIS DIAZ UGALDE**

PROFESOR GUÍA:

**CARLOS ALBERTO CABAÑA CHÁVEZ**

Fecha:

Agosto 2024

Santiago, Chile

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi hija Ayleen Atenea, quien, desde hace poco más de un año, se ha convertido en el motor que me impulsa a mejorar día a día en todos los ámbitos, con el propósito de transmitirle mis conocimientos y asegurarle una infancia llena de amor.

A mis padres, hermano y madrina, esta dedicatoria es para ustedes, por el apoyo incondicional que me han brindado durante todos estos años, dándome ánimos y palabras de aliento para terminar este proceso que he postergado por diversas circunstancias de la vida. Gracias por inculcarme valores, regalarme su comprensión y demostrarme su amor

.

SOLO USO ACADÉMICO

## **AGRADECIMIENTOS.**

Quiero expresar mis más humildes agradecimientos a todas las personas que me han acompañado durante estos largos años para llegar a este punto.

Aunque ya los he mencionado en la dedicatoria, nunca me cansaré de agradecer a mi hija, mis padres y mi hermano por hacerme sentir capaz de lograr lo que me proponga, y por estar siempre a mi lado para compartir tanto mis logros como mis derrotas.

Agradezco enormemente a mi madrina, quien siempre me ha orientado y aconsejado desde una perspectiva distinta, no solo en el ámbito académico, sino también en el valórico y espiritual a lo largo de toda mi vida.

A mi tío, por todos los consejos profesionales y la ayuda brindada para facilitar el inicio de mis estudios.

Me gustaría también inmortalizar en este documento a mis abuelas, quienes hicieron grandes sacrificios para hacer de mi infancia una etapa más linda.

A mi pareja, por orientarme y motivarme a ser una mejor versión de mí mismo, mostrándome la importancia de hacer planes a futuro y esforzarme por cumplirlos.

A mis compañeros y amigos, con quienes tuve el honor de compartir experiencias, interminables noches de estudio y preocupaciones mutuas, y que se comportaron como una segunda familia.

Por último, quiero agradecer a mi perro Mokaccino, por recibirme siempre con tanta alegría y locuras que, en más de una ocasión, me levantaron del piso y no me dejaron tiempo para estar triste. También agradezco a los perros Jais, Ein y Chica, por su compañía constante cuando visitaba a mis padres, brindándome su presencia durante casi toda la redacción de mi tesis

.

## RESUMEN

Esta tesis presenta un análisis detallado de los desafíos y soluciones en la construcción de muros curvos de hormigón visto, tomando como caso de estudio el Edificio Floramatic, ubicado en Santiago de Chile. El trabajo aborda los problemas enfrentados durante la ejecución de este tipo de muros, incluyendo la selección de proveedores, la instalación de moldajes, el manejo de la enfierradura y las técnicas de vaciado y compactación del hormigón. Se identifican los factores críticos que influyen en la calidad del acabado del hormigón visto, tales como la hermeticidad del encofrado, el tratamiento de juntas frías y la correcta compactación de la mezcla. Además, se presentan las estrategias implementadas para superar las dificultades técnicas, como la adaptación del encofrado a la geometría curva y como se fueron desarrollando soluciones a través que avanzaba la construcción de la fachada. Finalmente, se propone un manual de recomendaciones técnicas basado en la experiencia obtenida, que busca servir como guía para futuros proyectos similares, destacando la importancia de una adecuada planificación, selección de materiales y supervisión en terreno.

**Palabras clave:** hormigón visto, muros curvos, moldajes, enfierradura, compactación, juntas frías, manual de recomendaciones

## ABSTRACT

This thesis presents a detailed analysis of the challenges and solutions in the construction of curved exposed concrete walls, using the Edificio Floramatic in Santiago, Chile, as a case study. The study addresses the problems encountered during the execution of such walls, including the selection of suppliers, formwork installation, reinforcement handling, and concrete pouring and compaction techniques. Critical factors influencing the quality of exposed concrete finishes are identified, such as formwork tightness, cold joint treatment, and proper mix compaction. The thesis outlines the strategies implemented to overcome technical difficulties, including adapting the formwork to the curved geometry and developing solutions as the façade construction progressed. Finally, a technical recommendations manual based on the experience gained is proposed, aiming to guide similar future projects, highlighting the importance of proper planning, material selection, and on-site supervision.

**Keywords:** exposed concrete, curved walls, formwork, reinforcement, compaction, cold joints, recommendations manual

# ÍNDICE

1. INTRODUCCION .....	1
1.1.    Objetivo General.....	3
1.2.    Objetivos Específicos. ....	3
1.2.2.    Objetivo Específico 2. ....	3
2. METODOLOGÍA .....	4
2.1.    Revisión Bibliográfica. ....	4
2.2.    Estudio de Caso. ....	4
2.3.    Análisis de dificultades y soluciones en Floramatic. ....	4
2.4.    Análisis de fallas y reparaciones mediante técnicas de maquillaje.....	4
3. CAPÍTULO I: CONTEXTO Y ANTECEDENTES.....	5
3.1.    Localización del Proyecto.....	5
3.2.    Historia de la Empresa Floramatic.....	5
4. CAPÍTULO II: EVOLUCIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO Y SU USO EN LA ARQUITECTURA. ....	7
4.1.    Importancia del hormigón visto en proyectos Arquitectónicos .....	8
4.2.    Revisión de la bibliografía sobre construcción de muros de hormigón visto. ....	12
5. CAPÍTULO III: PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN MUROS CURVOS DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO .....	29
5.1.    Análisis de procesos constructivos aplicados en fachadas curvas en proyectos similares. ....	29
5.2.    Analogía con el proceso constructivo de muros curvos del proyecto Floramatic.....	33
6. CAPÍTULO IV: HORMIGONES VISTOS DEL EDIFICIO FLORAMATIC Y DESAFÍOS ASOCIADOS .....	46
6.1.    Desafíos de los hormigones vistos del proyecto Floramatic. ....	46
6.2.    Soluciones para abordar los desafíos identificados. ....	52
7. CAPÍTULO V: IMPORTANCIA DE LOS PROVEEDORES Y LA MANO DE OBRA.....	60

7.1.	Rol crucial de los proveedores en la construcción de muros curvos de hormigón visto..	60
7.2.	Necesidad de mano de obra altamente calificada y especializada. ....	61
<b>8.</b>	<b>CAPÍTULO VI: ELABORACIÓN DEL MANUAL DE RECOMENDACIONES TÉCNICAS</b> .....	<b>63</b>
8.1.	Presentación del concepto y la estructura del manual.....	63
8.2.	Propuesta “MANUAL DE RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CURVOS DE HORMIGÓN VISTO” .....	65
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>68</b>
9.1.	Conclusión del Estudio.....	68
9.2.	Recomendaciones. ....	69
<b>10.</b>	<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>70</b>
10.1.	Referencias .....	70

## INDICE DE IMÁGENES

Figura 1.	<i>"Vista Aérea Edificio Corporativo Floramatic"</i> .....	2
Figura 2.	<i>"Imagen Satelital"</i> .....	5
Figura 3.	<i>"Planta Floramatic Ñuñoa"</i> .....	6
Figura 4.	<i>"l'Unité d'habitation de Marsella"</i> .....	9
Figura 5.	<i>"Memorial Universidad Católica San Carlos de Apoquindo"</i> .....	10
Figura 6.	<i>"Centro de Innovación Anacleto Angelini"</i> .....	11
Figura 7.	<i>"Diseño Tabla Edificio Anacleto Angelini"</i> .....	11
Figura 8.	<i>"Enfierradura Muro de Fachada Edificio Floramatic"</i> .....	13
Figura 9.	<i>"Separador Plástico Tipo Rueda Instalado en la Enfierradura del Muro"</i> .....	14
Figura 10.	<i>"Terminación del Hormigón con Distintos Tipos de Encofrado"</i> .....	15
Figura 11.	<i>"Ejemplo Moldaje Madera Muro"</i> .....	17
Figura 12.	<i>"Encofrado Metálico Modular TRIO de PERI"</i> .....	19
Figura 13.	<i>"Partes del Módulo Sistema de Encofrados Rundflex"</i> .....	20

Figura 14. "Aplicación del Sistema de Moldaje Rundflex" .....	21
Figura 15. "Colocación de hormigón en muro con capacho" .....	24
Figura 16. "Colocación de hormigón con bomba" .....	24
Figura 17. "Radio de acción del vibrador de inmersión" .....	27
Figura 18. "Vista Terminada Plaza de Toros en Móstoles" .....	30
Figura 19. "Muros del Museo Internacional del Barroco" .....	31
Figura 20. "Proceso de Montaje Muro Prefabricado MIB" .....	32
Figura 21. "Panel Prefabricado Muros MIB" .....	33
Figura 22. "Curvatura de la enfierradura" .....	35
Figura 23. "Detalle Moldaje de Fachada" .....	36
Figura 24. "Plano de Modulación Sistema Rundflex" .....	37
Figura 25. "Agujas de Moldaje Encamisadas" .....	38
Figura 26. "Estabilizadores del Sistema Rundflex" .....	39
Figura 27. " Estabilizadores en muro Edificio Floramatic" .....	40
Figura 28. "Proceso de Instalación de Moldaje" .....	41
Figura 29. "Tratamiento de juntas" .....	43
Figura 30. "Hormigonado de Muro" .....	44
Figura 31. "Humectación del hormigón" .....	45
Figura 32. "Fachada de Hormigón Visto en tabla" .....	46
Figura 33. "Enfierradura Expuesta en la Fachada" .....	48
Figura 34. "Mala terminación por pérdida de lechada" .....	50
Figura 35. "Falla en la terminación de la fachada por mala compactación" .....	51
Figura 36. "Posición de la armadura desplazada del eje del muro" .....	52
Figura 37. "Husillos de moldaje Rundflex" .....	53
Figura 38. "Método para separar las alturas de llenado del muro" .....	54
Figura 39. "Diferencia de alturas de llenado" .....	55
Figura 40. "Fachada terminada Edificio Floramatic" .....	55

Figura 41. "Aplicación de cordón de silicona" .....	56
Figura 42. "Solución escuadra metálica a muros del 2° Piso" .....	57
Figura 43. "Unión de junta fría entre muro del 1° y 2° Piso" .....	58
Figura 44. "Sistema de encofrado PERI tipo Rundflex....."	61
Figura 45. "Revisión de Hermeticidad del moldaje tipo RUNDFLEX" .....	62

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. "Manual del Constructor Polpaico - Obra Gruesa" .....	12
Tabla 2. "Equipos de Compactación" .....	26
Tabla 5. "Tiempos de Fraguado de Elementos" .....	40

## **ÍNDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. "Pérdida de Agua vs Tiempo" .....	28
--	----

SOLO USO ACADÉMICO

# 1. INTRODUCCION

A lo largo del tiempo, el hormigón armado ha evolucionado significativamente, no solo como un elemento estructural indispensable para todo tipo de construcciones, sino también como una herramienta expresiva en la arquitectura. El "hormigón arquitectónico", según la definición proporcionada por la Revista Ingeniería de Obras Civiles de la Universidad de la Frontera, se refiere al hormigón que, además de cumplir funciones estructurales, contribuye de manera destacada a la estética visual del edificio. (Cifuentes, 2012, pág. 40)

Este estudio se centra en el proyecto Floramatic, ubicado en el Parque Industrial ENEA de Pudahuel, Chile. Este edificio destaca por su diseño curvo y sus muros de hormigón visto con acabados en tabla de pino cepillado machihembrado, marcando un hito en la arquitectura y construcción chilena. La Figura 1 ilustra una captura del proceso de Obra Gruesa y la particular geometría del edificio.

El análisis detallado de la construcción y el acabado del hormigón visto en la fachada revela los desafíos principales enfrentados y las estrategias empleadas para superarlos. La oficina de arquitectura de Guillermo Hevia, responsable del diseño, quiso rendir homenaje a la influencia española del directorio de la empresa Floramatic mediante un diseño inspirado en una Plaza de Toros. La ejecución recayó en la Constructora Jorge Carrasco, reconocida por su experiencia en obras con hormigón a la vista. Sin embargo, la disponibilidad de información sobre este aspecto se ve restringida por cláusulas de confidencialidad, debido a la exclusividad de su cartera de clientes.

La participación activa del autor en el proyecto proporcionó una visión única de los desafíos en cada etapa del proceso. Los resultados destacan la importancia de una planificación meticulosa y un control riguroso en todas las fases, así como la necesidad de mano de obra especializada. Uno de los principales desafíos fue encontrar una empresa de encofrados capaz de cumplir con las exigencias del cliente, dado que la forma particular del edificio requería una solución de encofrado innovadora.

Figura 1. "Vista Aérea Edificio Corporativo Floramatic"



Nota. Planta Industrial Floramatic en Proceso de Construcción. Cortesía de (PERI, 2023)

La justificación de este proyecto radica en su potencial para servir como guía fundamental para futuros emprendimientos similares de la constructora. Recopilar lecciones aprendidas y mejores prácticas en la ejecución de edificaciones con formas distintivas y el uso de hormigón visto en la fachada pretende proporcionar un recurso invaluable para orientar y optimizar los procesos constructivos.

El proyecto Floramatic ejemplifica la complejidad inherente a la realización de estructuras arquitectónicas innovadoras. Desde la programación inicial hasta la selección de materiales y la resolución de desafíos técnicos, cada etapa requirió un enfoque específico y una colaboración estrecha entre el arquitecto, la empresa constructora, la inspección técnica y el mandante. En particular, la implementación del sistema de encofrado curvo RUNDFLEX evidenció la necesidad de adaptaciones para superar las limitaciones impuestas por la forma de la estructura, asegurando la integridad estructural y estética del edificio.

Esta experiencia ofrece valiosas lecciones sobre la importancia de la innovación, la colaboración y la planificación detallada en la ejecución exitosa de proyectos arquitectónicos desafiantes. En última instancia, el conocimiento adquirido a través de este estudio contribuirá significativamente a la mejora continua de los procesos constructivos y al éxito futuro en proyectos similares.

## **1.1. Objetivo General**

Identificar y caracterizar los principales desafíos encontrados durante la construcción de la fachada de hormigón visto en el proyecto Floramatic, con el fin de proporcionar insumos esenciales para la elaboración de un Manual de Recomendaciones Técnicas destinado a la confección de muros curvos con terminación en hormigón visto

## **1.2. Objetivos Específicos.**

### **1.2.1. Objetivo específico 1.**

Recopilación y análisis de fuentes bibliográficas relacionadas a la construcción de muros curvos de hormigón, con el objetivo unificar criterios en los procesos constructivos para alcanzar la terminación de hormigón a la vista.

### **1.2.2. Objetivo Específico 2.**

Identificar y caracterizar las dificultades relacionadas con mantener la curvatura de los muros a medida que se construían los niveles superiores y control de la estanqueidad del moldaje durante la construcción de la fachada de hormigón visto en la ejecución del proyecto Floramatic

### **1.2.3. Objetivo Específico 3.**

Revelar la importancia de una correcta instalación de moldaje para evitar la mayoría de los problemas en la curvatura y acabado en los muros de hormigón visto identificados durante la ejecución del proyecto Floramatic.

### **1.2.4. Objetivo Específico 4.**

Realizar un análisis de todos los datos y antecedentes recolectados durante la investigación, procesarlos y organizarlos conforme a la estructura de un documento técnico en la forma de Manual de Recomendaciones Técnicas destinado a la ejecución de muros curvos de hormigón visto.

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Revisión Bibliográfica.**

Se llevará a cabo una revisión exhaustiva de la literatura relevante sobre la construcción de muros curvos de hormigón visto. Esta revisión incluirá manuales técnicos, estudios académicos y publicaciones especializadas. La información recopilada, seleccionada y adaptada servirá como base para el desarrollo del Manual de Recomendaciones Técnicas. La revisión se enfocará en identificar las mejores prácticas y criterios unificados para la terminación del hormigón visto en muros curvos.

### **2.2. Estudio de Caso.**

Se recopilarán y analizarán los registros de obra del proyecto Floramatic, que incluyen informes semanales, registros fotográficos y planos. El objetivo es identificar y caracterizar las dificultades asociadas con el mantenimiento de la verticalidad del encofrado, la conservación de la curvatura del edificio a medida que se avanzaba en altura, el mantenimiento de la estanqueidad, y el proceso de vaciado del hormigón para evitar nidos y segregaciones. Se documentarán los problemas específicos encontrados durante la ejecución de la fachada de hormigón visto en el proyecto.

### **2.3. Análisis de dificultades y soluciones en Floramatic.**

Se realizará un análisis detallado de los desafíos encontrados durante la ejecución del proyecto Floramatic, centrándose en los aspectos específicos del caso. Este análisis incluirá la documentación de las soluciones implementadas para abordar las dificultades, recopilando datos cualitativos a partir de informes de obra, entrevistas y observaciones en el sitio. La evaluación se enfocará en la efectividad de las soluciones aplicadas y en cómo estas contribuyeron a la resolución de los problemas detectados.

### **2.4. Análisis de fallas y reparaciones mediante técnicas de maquillaje.**

Se realizará una búsqueda y selección de datos bibliográficos que hablen sobre la estructura de los manuales de recomendaciones técnicas, el cómo confeccionarlo, y con los datos recopilados del proyecto Floramatic, se pretende realizar un manual de recomendaciones para la confección de muros curvos de hormigón visto, alineando toda la información y resultados obtenidos, para transmitirlos de forma clara y fácil de entender, en especial a personas que no tienen basto conocimiento del hormigón visto.

### 3. CAPÍTULO I: CONTEXTO Y ANTECEDENTES

#### 3.1. Localización del Proyecto.

El Proyecto de Construcción del Edificio Corporativo Floramatic se encuentra en la comuna de Pudahuel, específicamente en el Condominio Industrial ENEA. La Figura 2 muestra la ubicación exacta de la obra en la calle privada Salar de Llama N°824.

Figura 2. “Imagen Satelital”



Nota. Imagen Satelital del proceso de construcción del Edificio Corporativo Floramatic.. Tomada de (GOOGLE EARTH, 2023)

#### 3.2. Historia de la Empresa Floramatic.

Floramatic Spa es una empresa especializada en la creación y comercialización de sabores, colores, fragancias y soluciones tecnológicas. Se destaca por desarrollar fórmulas innovadoras y personalizadas según las necesidades de cada cliente en las industrias de alimentos, cuidado personal, salud y productos para el hogar.

Fundada en 1972 en Santiago de Chile como representante autorizado exclusivo de Fragancias Firmenich, la empresa se dedicaba inicialmente a la comercialización de estos productos. Con el tiempo, Floramatic Spa experimentó un crecimiento significativo y, en 1981, estableció una alianza comercial con Destilaciones Bordas en Sevilla, España.

En 1983, la empresa trasladó sus instalaciones a la comuna de Ñuñoa, en Av. Maratón, con el objetivo de optimizar y expandir sus procesos productivos. La Figura 3 muestra la planta Floramatic Ñuñoa.

Figura 3. “*Planta Floramatic Ñuñoa*”



Nota. Planta Industrial Floramatic en la intersección de Av. Maratón con Av. Rodrigo de Araya., Comuna de Ñuñoa. Tomada de (FLORAMATIC SPA, 2019)

En 2021, la empresa comenzó la construcción del Edificio Corporativo Floramatic para triplicar su capacidad operativa y mejorar sus instalaciones.

## **4. CAPÍTULO II: EVOLUCIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO Y SU USO EN LA ARQUITECTURA.**

En un contexto histórico, el uso de morteros hidráulicos se remonta a aproximadamente 4000 años a.C., cuando los egipcios los empleaban en elementos decorativos, logrando gran belleza y durabilidad. La práctica y la investigación sobre las mezclas de morteros continuaron avanzando con el tiempo. En la antigua Roma, el cemento alcanzó su máxima expresión, desempeñando un papel crucial en el desarrollo cultural de la época.

En el siglo XVIII, el ingeniero inglés John Smeaton profundizó en el estudio de los morteros y explicó rudimentariamente el mecanismo de fraguado. Descubrió que la cal y la arcilla, al calcinarlas, producen un material cementante que fragua y se endurece al reaccionar con el agua. Este principio marcó el inicio del desarrollo del cemento Portland.

En el siglo XIX, el ingeniero francés Louis Vicat continuó las investigaciones sobre el cemento, trabajando con volúmenes y temperaturas controladas. En 1824, el inglés Joseph Aspdin obtuvo la primera patente por cocer a altas temperaturas una mezcla de cal apagada y arcilla. Sin embargo, este producto era de baja calidad y presentaba variaciones significativas debido a la falta de control (Leon Gonzalez, 1977, págs. 4-5)

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, las construcciones residenciales se realizaban principalmente con materiales como tierra, piedra o ladrillo, unidos con mortero de cal. Las estructuras de piso solían utilizar vigas y viguetas de madera o hierro, rellenas con elementos cerámicos, mortero o tablones de madera. Sin embargo, a lo largo del siglo XX, estas técnicas tradicionales fueron gradualmente desechadas, casi desapareciendo por completo, salvo por los muros de ladrillo en algunos casos (Cifuentes, 2012, pág. 1). El hormigón comenzó a ganar importancia como componente estructural hacia finales del siglo XIX y principios del siglo XX. Durante los primeros años del siglo XX, el hormigón armado se consolidó como un material destacado en la cultura material contemporánea, extendiéndose desde pavimentos hasta la construcción de presas y viviendas (Oyarzún, Pinochet, Saldívar, & Lozano, 2021, pág. 40).

El hormigón armado se destacó por su carácter artificial, fusionando una armadura de hierro con mortero de cemento. A finales del siglo XIX y durante el siglo XX, se experimentó con diversas formas, texturas e incluso colores del hormigón. El movimiento arquitectónico conocido como “Brutalismo”, que surgió a principios del siglo XX, promovió la exhibición del hormigón en su forma natural y funcional, en contraste con el Neoclasicismo

predominante de la época. Este estilo aprovechó las texturas dejadas por los moldes de madera tradicionales.

Ya con este innovador y masivo material de construcción es que a principios del siglo XX se origina el movimiento llamado “Brutalismo”, y a su vez, se origina el concepto de hormigón visto, conocido por mostrar la apariencia natural del material. La nueva expresión Arquitectónica promovía la idea de que los materiales deben ser exhibidos en su forma natural y funcional, sin recubrimientos ni ornamentos que los oculten, todo lo contrario, al predominante Neoclasicismo de la época.

Las construcciones de este estilo aprovechaban las texturas naturales que los moldes de madera tradicionales dejaban en los muros y elementos estructurales. Con el avance tecnológico del hormigón durante la segunda mitad del siglo XX, se introdujeron encofrados industrializados, compactación mecánica, aditivos superplastificantes, y hormigones de alta resistencia, permitiendo una mejora significativa en la calidad de los procesos constructivos. Esto facilitó nuevas formas de expresión del hormigón, que dejó de ser visto solo como una estructura sin acabado, para convertirse en un material con una terminación óptima.

A estos avances tecnológicos se sumaron nuevas tendencias de diseño, como el Minimalismo, que aprovechaban estas expresiones innovadoras del material, sin necesidad de adornos ni revestimientos. En estas nuevas tendencias, se prestaba especial atención al acabado de los muros, utilizando elementos constructivos para lograr superficies lisas, ritmos, y líneas de canterías, creando una nueva y refinada expresión del hormigón con alta calidad de terminación (Cifuentes, 2012, págs. 39-40)

#### **4.1. Importancia del hormigón visto en proyectos Arquitectónicos**

En la construcción con hormigón visto, se busca aprovechar las propiedades de los moldes durante la etapa de fraguado para obtener superficies sin defectos. Sin embargo, lograr una ausencia total de imperfecciones es un desafío, ya que depende en gran medida de la habilidad en la colocación y compactación del material, tareas que requieren mano de obra altamente calificada. Por ejemplo, en el vaciado vertical, aunque se implementen medidas para mejorar la homogeneidad de la superficie, resulta difícil evitar completamente la formación de burbujas atrapadas (López, Zerbino, & Traversa, 2009, pág. 2)

Esta expresión de la Arquitectura se ve reflejada en fachadas y distintos elementos alrededor del mundo, como para también para edificios con diferentes fines.

En la Figura 4 se muestra es el complejo habitacional l'Unité d'habitation de Marsella ubicado en Francia, un edificio que marcó un antes y un después en la perspectiva de proporciones, ya que reemplaza al sistema métrico decimal por el concepto de módulos.

El edificio fue construido en el año 1952 con el propósito de poder instalar a las familias afectadas por la Segunda Guerra Mundial. La particularidad de la construcción es la gente suele llamarla una ciudad dentro de otra ciudad, debido que cuenta con pista de atletismo, jardines, centros médicos y un hotel. Algo que llama la atención es su fachada de hormigón a la vista sin ningún tipo de decoración, en donde se puede interpretar como es la vida a los años posteriores a la guerra: áspera, desgastada e implacable (Silva, 2024).

Figura 4. *“l'Unité d'habitation de Marsella”*



Nota. Fachada de edificio habitacional con terminación de hormigón a la vista. Imagen tomada de (Silva, 2024)

En el ámbito chileno, el Memorial Universidad Católica San Carlos de Apoquindo muestra la alta calidad en la terminación de superficies de muros inclinados. Las variadas tonalidades del hormigón, combinadas con la iluminación proyectada, crean un espectáculo visual que se convierte en una obra de arte en sí misma. Ver **Figura 5**.

Figura 5. “*Memorial Universidad Católica San Carlos de Apoquindo*”



Nota. Construcción de hormigón visto diseñado por Arquitecto Gonzalo Mardones y construido por empresa Constructora Jorge Carrasco Farías (Ganderats, 2020).

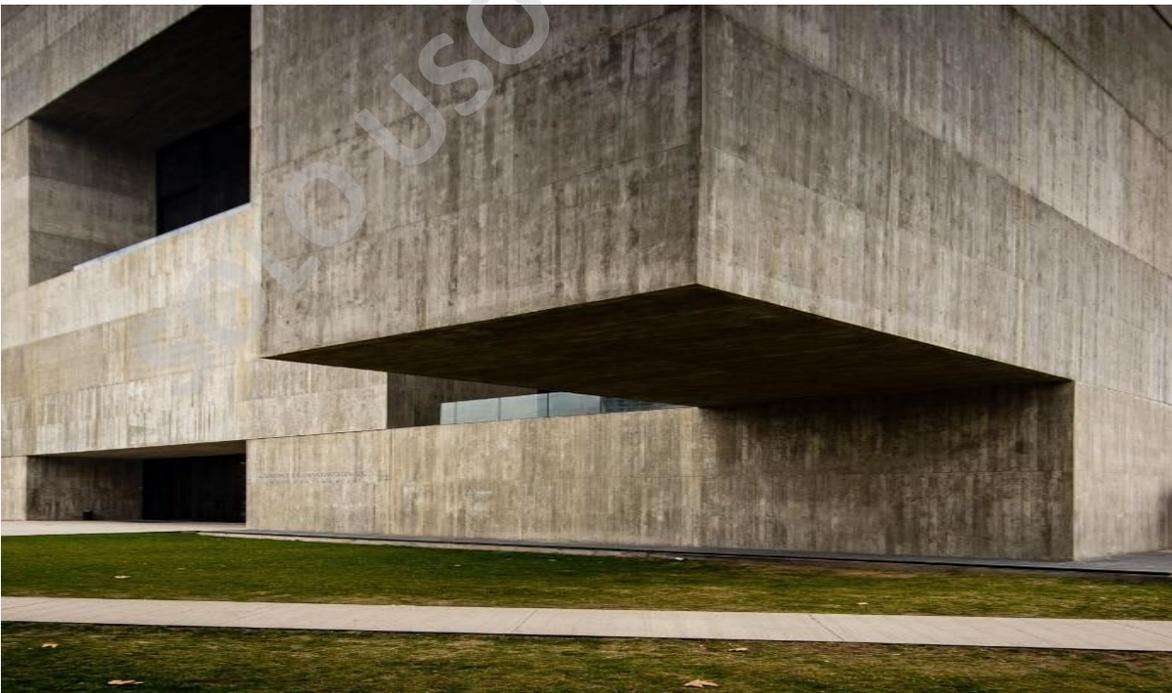
Otro ejemplo es el Centro de Innovación Anacleto Angelini, ubicado en el campus San Joaquín de la Pontificia Universidad Católica de Chile. Este edificio cuenta con aproximadamente 9.000 m<sup>2</sup> construidos y se caracteriza por su imponente fachada de hormigón visto en tabla. Diseñado por el arquitecto Alejandro Aravena, ganó el premio al mejor diseño del año en 2015 otorgado por el Museo de Diseño de Londres. Ver **Figura 6** y **Figura 7**.

Figura 6. *"Centro de Innovación Anacleto Angelini"*



Nota. Centro de Investigación Anacleto Angelini, ubicado en el campus San Joaquín de la PUC. Foto tomada de (Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2015)

Figura 7. *"Diseño Tabla Edificio Anacleto Angelini"*



Nota. Fachada de Hormigón Visto con diseño en Tabla de Edificio de Innovación Anacleto Angelini. Foto tomada de (Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio, 2015).

## 4.2. Revisión de la bibliografía sobre construcción de muros de hormigón visto.

La construcción de muros de hormigón generalmente se enmarca dentro de la etapa de obra gruesa del proyecto. No obstante, cuando se trata de hormigón con terminación expuesta, su carácter especial lo sitúa en un punto intermedio, ya que, al ser un producto en su estado final, también puede asociarse a la etapa de terminaciones.

En la ejecución de muros de hormigón, es fundamental enfocarse en tres actividades principales que caracterizan la obra gruesa: el armado de la estructura, la instalación de los encofrados y el proceso de vaciado del hormigón. La **Tabla 1**, extraída del Manual del Constructor del Grupo Polpaico, evidencia que el proceso de construcción de muros de hormigón armado es una parte esencial de la etapa de obra gruesa.

Tabla 1. "*Manual del Constructor Polpaico - Obra Gruesa*"

### OBRA GRUESA

*El propósito de este ítem es indicar las etapas constructivas más relevantes de las obras, y ciertas características específicas o mínimas de las mismas.*

2.2.1	Trazado o replanteo en el terreno
2.2.2	Excavaciones
2.2.3	Mejoramiento del suelo
2.2.4	Emplantillado
2.2.5	Fundaciones de hormigón
2.2.6	Sobrecimientos
2.2.7	Rellenos
2.2.8	Pilares, columnas y machones
2.2.9	Muros de hormigón armado
2.2.10	Muros de albañilería de ladrillos cerámicos y bloques huecos de hormigón de cemento
2.2.11	Cadena
2.2.12	Vigas y dinteles
2.2.13	Losas de hormigón armado
2.2.14	Radieres

Nota. Tabla de procesos de la Obra Gruesa extraída del Manual del Constructor. Tomada de (Polpaico, 2021)

### 4.2.1. Enfierradura de Muros.

El proceso de enfierradura de muros implica la colocación de barras de acero, tanto verticales como horizontales, generalmente del tipo estriado o de construcción, que conforman la estructura de soporte del muro de hormigón armado. Estas barras se entrelazan y se fijan entre sí mediante uniones de alambre recocado, conocidas como “nudos” o “amarras”, sin embargo, de acuerdo a una tesis de pregrado de la carrera de Ingeniería Civil de la Escuela

Superior Politécnica del Litoral sostiene que los alambres de amarre también pueden ser de acero inoxidable suave. (Mindola Robayo, 1997, pág. 83).

La disposición, dimensión, diámetro y forma de estas piezas son determinadas por un profesional competente en el cálculo estructural. Este profesional también establece el tipo de acero a utilizar, así como las especificaciones técnicas generales y específicas necesarias para garantizar la resistencia y durabilidad del muro. La precisión en este proceso es fundamental, ya que una correcta enfierradura asegura la integridad estructural y contribuye a la calidad estética del hormigón visto, evitando defectos visibles como fisuras o deformaciones en la superficie. En la **Figura 8** se puede ver la enfierradura de un muro correspondiente a la fachada del Edificio Floramatic.

Figura 8. *"Enfierradura Muro de Fachada Edificio Floramatic"*



Nota. Muro con enfierradura terminada listo para tapar con moldaje. Fuente propia.

La correcta colocación de los separadores plásticos es fundamental para garantizar el espesor de recubrimiento especificado y prevenir que los fierros queden expuestos, lo cual podría dañar la textura o la terminación del hormigón. La Figura 9 muestra los separadores instalados en el muro de fachada con terminación de hormigón visto del Edificio Floramatic.

Figura 9. "Separador Plástico Tipo Rueda Instalado en la Enfierradura del Muro"



Nota. Separadores instalados en el muro de fachada terminación de hormigón visto de Edificio Floramatic previa instalación de moldaje. Fuente propia

#### 4.2.2. Proceso de Encofrado de Muros

Es un consenso entre los diferentes autores que el encofrado actúa como el recipiente y molde que materializa el diseño del hormigón arquitectónico. El tipo de moldaje empleado determinará la terminación del elemento, reflejando la intencionalidad del arquitecto a cargo del diseño. La Figura 10 muestra la terminación lograda con moldaje metálico acanalado, moldaje con tablas bruto y la diferencia en el color y la textura comparando un moldaje plástico con uno de madera blanda.

## Figura 10. "Terminación del Hormigón con Distintos Tipos de Encofrado"

FIG. 1. Este hormigón se ha conseguido con un encofrado metálico acanalado, que muestra las irregularidades características finamente dispuestas.

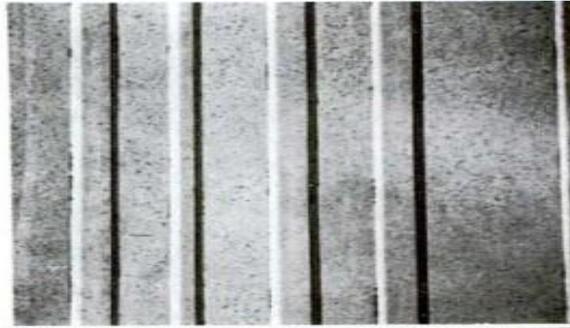


FIG. 2. Hormigón conseguido con un encofrado de tablas en bruto, con irregularidades intencionadamente groseras. El discreto moteado de la figura apenas es visible.

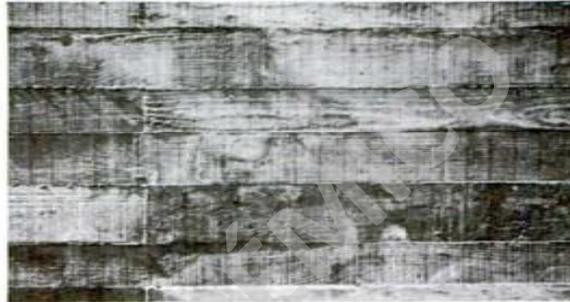
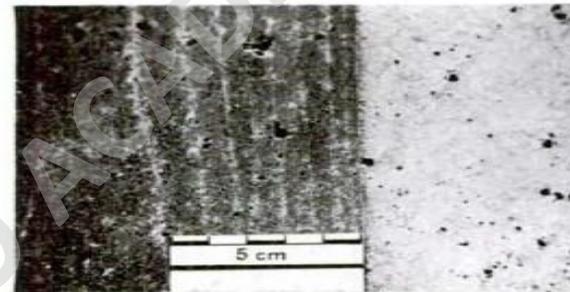


FIG. 3. El encofrado duro, impermeable, de material plástico (a la derecha), proporciona un tipo distinto de superficie de hormigón que la madera blanda, permeable (a la izquierda). La madera tardía con círculos anuales es dura y compacta y proporciona una superficie de propiedades parecidas a la de la derecha.



Nota Diferentes tipos de acabado con moldaje metálico acanalado, moldaje con tablas en bruto y comparación de terminación entre madera y plástico. FIG. 1., FIG. 2., FIG. 3. Tomadas de (Triüb, 1977, pág. 13)

También una definición común es que se trata de un conjunto de moldes diseñados para dar forma al concreto mientras se endurece. Estos moldes pueden ser retirados una vez que el concreto ha fraguado, o pueden quedar integrados como parte permanente de la estructura. Existen diversos tipos de encofrados, y se pueden clasificar de diferentes maneras según sus características y usos (Martínez, Díaz, & Duque, 2019, pág. 3).

Por lo anterior es que la clasificación de los moldajes dependerá de su materialidad, forma de confección y uso, y cada uno de ellos presenta características únicas según el diseño y el propósito para el cual fueron creados.

Reconocer la importancia del moldeado es esencial para seleccionar adecuadamente los materiales de encofrado y los acabados para cada proyecto. Existe una amplia gama de materiales disponibles, como la madera, las placas de terciado, metales como el aluminio y

el acero, el plástico, los moldes de yeso desechables y los revestimientos de hule, cada uno con sus propias ventajas y desventajas. Es fundamental evitar especificaciones vagas que puedan llevar a selecciones incorrectas y afectar la calidad del proyecto. Un contratista que busque economizar podría elegir un material de encofrado inadecuado, comprometiendo el resultado final. Definir claramente el objetivo del acabado es crucial para descartar rápidamente opciones de encofrado no adecuadas, teniendo en cuenta cómo el hormigón permanecerá una vez retirado el molde y cómo se verá la superficie si se necesitan retoques. Además, la calidad del trabajo manual, la repetición del uso de moldes y la cantidad de reutilizaciones, junto con el tipo de material del molde, son factores clave en la selección de los moldajes. Dado que el hormigón arquitectónico no permite correcciones una vez completado, es esencial utilizar moldes y encofrados perfectamente alineados y diseñados para minimizar los defectos, asegurando un acabado final uniforme y estéticamente coherente. (Mansilla Torres, 2003)

En este trabajo investigativo, se abordarán los tipos de moldajes según su materialidad, específicamente los moldajes de madera, metálicos y combinados.

Los moldajes de madera, también conocidos como moldajes tradicionales, se caracterizan por su confección artesanal y generalmente se fabrican in situ. Por lo común, estos moldajes se construyen con placas de terciado estructural de 18 mm de espesor, reforzadas con bastidores de pino bruto de 2x3'' o 3x3'', dependiendo de las dimensiones del panel requerido. La Figura 11 ilustra este tipo de moldaje.

Una ventaja de los encofrados de madera es que se pueden fabricar a medida, lo cual es ideal para elementos específicos y no repetitivos con formas especiales, siendo especialmente útiles en diseños arquitectónicos complejos o únicos.

Figura 11. "Ejemplo Moldaje Madera Muro"



Nota. Moldaje de Madera confeccionado en obra con placa de terciado, reforzado con bastidores, vigas, crucetas y alineadores de pino bruto. Se colocaron alzaprimas para apuntalar y que cumplan la función de aplomadores. Tomada de (Suazo, 2014)

Sin embargo, los encofrados manuales también tienen sus desventajas. Aunque los encofrados de madera han sido ampliamente utilizados en la industria de la construcción, presentan ciertas desventajas que limitan su eficacia. En primer lugar, estos encofrados requieren una considerable cantidad de mano de obra para cortar y ensamblar las piezas, lo que incrementa el tiempo necesario para la construcción de estructuras grandes. Además, la reutilización de los moldajes de madera está restringida a estructuras con geometrías similares, debido a la corta vida útil de los componentes de madera. Otra limitación es que los encofrados de madera no mantienen su forma bajo cargas pesadas, lo que a menudo requiere la instalación de sistemas de andamiaje adicionales, lo cual puede resultar ineficiente y poco sostenible. (Aguilar Huerta, Barreto Rivera, & Atapaucar, 2023, pág. 91)

A diferencia de los moldajes de madera previamente descritos, el sistema de encofrado metálico se fabrica de manera industrial utilizando materiales como el acero y el aluminio. Estos materiales ofrecen un mejor comportamiento mecánico en comparación con la madera, especialmente frente a la presión ejercida por el hormigón durante su proceso de vaciado, lo que reduce significativamente el riesgo de daños o deformaciones a lo largo de la ejecución de los muros de hormigón armado.

Los paneles de encofrado metálico suelen tener mayores dimensiones, lo que los hace especialmente útiles para la modulación de muros rectos. Por esta razón, en obras que requieren grandes superficies de muros rectos y que presentan estructuras modulares y repetitivas, la elección de sistemas de encofrado metálico es la más adecuada. Además, estos sistemas son altamente reutilizables y ofrecen una mayor durabilidad y precisión en el acabado final del hormigón, lo que los convierte en una opción eficiente y sostenible para proyectos de gran envergadura

No obstante, aunque el encofrado de acero ofrece muchas ventajas, también presenta varias desventajas que deben considerarse. En primer lugar, su costo es elevado y solo resulta rentable si se reutiliza repetidamente. Su peso significativo puede requerir equipos de elevación adicionales durante la construcción, lo cual incrementa los costos operativos. Además, en climas fríos, el encofrado de acero puede ralentizar el proceso de curado del concreto y es susceptible a la oxidación en temporadas lluviosas, afectando la resistencia, durabilidad y calidad de la superficie del concreto. Actualmente, los encofrados de acero y aluminio se utilizan principalmente para vaciar componentes de concreto que tienen ángulos rectos y que tienen geometría modular, donde es posible su uso repetitivo. Sin embargo, su aplicación en estructuras con geometrías complejas es limitada debido a la dificultad en la fabricación de elementos de encofrado con formas no estándar y al alto costo de producción y mantenimiento. Además, la impermeabilidad del encofrado metálico puede atrapar aire durante el vaciado, lo que provoca la formación de agujeros de soplado en concreto que no ha sido compactado adecuadamente, aumentando así los riesgos de defectos en la terminación. (Aguilar Huerta, Barreto Rivera, & Atapuaccar, 2023, pág. 92)

Los muros rectos del edificio Floramatic fueron ejecutados con el sistema de encofrados metálicos TRIO de la empresa PERI. La **Figura 12** evidencia el moldaje metálico instalado. Cabe la pena destacar que la terminación de los muros rectos, a diferencia de los muros de fachada, no eran de hormigón visto.

Figura 12. "Encofrado Metálico Modular TRIO de PERI"



Nota. Moldaje Metálico de un muro recto de 2° Nivel del Edificio antes de ser descimbrado. Fuente Propia.

Después de haber explicado los moldajes de madera y metálicos, existe un sistema híbrido que combina estas dos alternativas para crear encofrados que se ajustan de manera precisa a las necesidades específicas de cada proyecto. Un ejemplo destacado de este enfoque es el sistema de moldajes Rundflex de PERI, que integra una superficie lisa de placa terciada recubierta con film fenólico de alta calidad, bastidores metálicos y vigas de madera del modelo GT-24. Ver Figura 13.

Figura 13. "*Partes del Módulo Sistema de Encofrados Rundflex*"

**Piezas individuales**

Ejemplo: Altura de módulo 2,40 m.  
(Fig. A4.01, A4.02)

- 1 Viga GT 24
- 2 Perfil de borde
- 3 Correa en T
- 4 Husillo 210 o 500
- 5 Punto de atado
- 6 Correa de distribución con bulón de correa
- 7 Tablero de encofrado
- 8 Tabla de deslizamiento
- 9 Mordaza para grúa 24
- 10 Cerrojo BFD

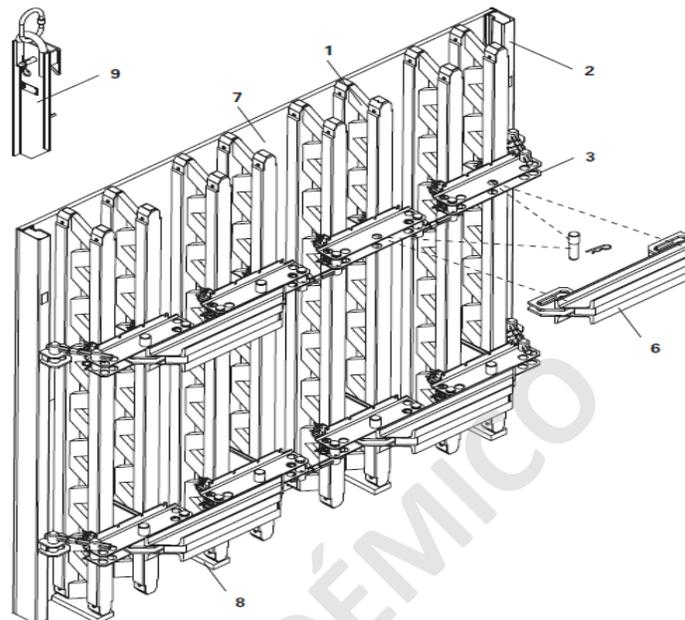


Fig. A4.01

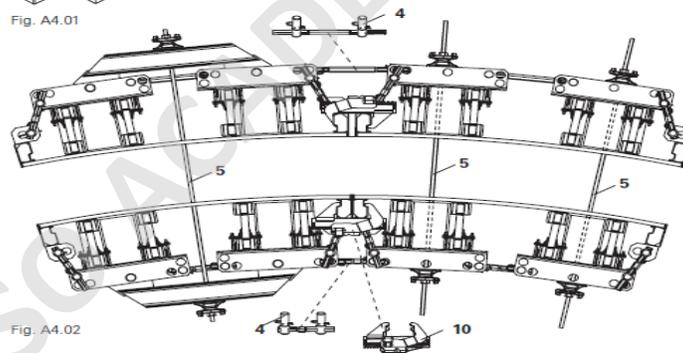


Fig. A4.02

Nota. Esquema de armado de Encofrado Rundflex de PERI, donde se evidencia el resultado de la mezcla entre piezas de madera y metálicas para formar un moldaje del tipo mixto. Imagen tomada de (PERI, 2012, pág. 9)

En este sistema las correas y husillos metálicos son los elementos que permiten ajustar con precisión la curvatura del panel para alcanzar el radio deseado, lo cual es crucial en proyectos con requisitos arquitectónicos específicos como nuestro caso estudio. La combinación de sus componentes de madera y acero proporciona tanto la flexibilidad como la resistencia estructural necesarias para crear un sistema de moldaje modular.

En resumen, la integración de piezas de distintas materialidades proporciona una alta versatilidad y durabilidad, adaptándose a los requerimientos específicos del proyecto.

La **Figura 14** ilustra el sistema de moldaje curvo RUND FLEX instalado y listo para el proceso de hormigonado, que formará parte de los muros de fachada del proyecto Floramatic, demostrando su eficacia en aplicaciones reales.

Figura 14. "Aplicación del Sistema de Moldaje Rundflex"



Nota. Cara interior del muro de Fachada del Proyecto Floramatic. Fuente Propia

Para el hormigón Arquitectónico, los moldajes además de influir en la forma y textura de la terminación final, también pueden influir en el color, ya que, al terminar el proceso de fraguado del hormigón, el moldaje debe ser retirado, a este proceso se le denomina descimbre.

Para evitar que la mezcla de hormigón fresco se adhiera a la superficie del moldaje, se utilizan desmoldantes, los cuales previenen que, al retirar el encofrado, el hormigón se quiebre y se desprenda junto con el moldaje, lo que podría generar irregularidades en la superficie y comprometer su homogeneidad. Además, los desmoldantes facilitan la extracción del encofrado, reduciendo la necesidad de mano de obra adicional, disminuyendo los tiempos de construcción y minimizando el riesgo de pérdidas materiales.

Los desencofrantes o agentes desmoldantes facilitan significativamente la fase de desencofrado en la construcción. Estos productos son generalmente líquidos compuestos por aceites minerales refinados, tensioactivos y emulsiones en agua. Es crucial no aplicar el desmoldante con demasiada anticipación, ya que podría captar polvo del ambiente, lo cual quedaría atrapado y afectaría la calidad de la terminación del hormigón. (Mansilla Torres, 2003)

Por otro lado, pero respaldando lo escrito anteriormente, la Empresa Melón Hormigones, quien fue la encargada de proveer el hormigón para ejecutar los muros de hormigón visto en el caso estudio, sostiene que los productos desmoldantes deben cumplir con ciertas condiciones para garantizar un desempeño óptimo en la construcción. Su función principal es proteger las superficies de los moldajes, conservándolos en buen estado y aumentando su número de usos en obra. Deben adherirse a la superficie del moldaje para lograr un hormigón sin defectos visibles, como burbujas o sopladuras, y facilitar el desencofrado de manera limpia, sin causar deterioros ni en el moldaje ni en el hormigón, y sin provocar manchas ni reacciones químicas con la pasta de cemento. La selección del desmoldante adecuado es crucial y debe incluir pruebas a escala para asegurarse de que no manchará o decolorará la superficie del hormigón. Es fundamental verificar la compatibilidad del desmoldante con el material del moldaje, ya que la superficie del moldaje influye en el comportamiento del desmoldante. Para moldajes de madera, se recomiendan emulsiones a base de aceites, mientras que, para moldajes metálicos o placas fenólicas, se deben utilizar desmoldantes con inhibidor de corrosión. Los desmoldantes pueden aplicarse con pistola pulverizadora, rodillo o brocha, y la superficie debe estar libre de residuos, grasa o suciedad. Es importante evitar el exceso de aplicación, ya que podría afectar la terminación del hormigón. Además, se debe solicitar al proveedor del desmoldante las especificaciones de uso y las precauciones de almacenamiento. (Melón Hormigones, 2020, págs. 1-2)

#### **4.2.3. Proceso Vaciado de Hormigón.**

El proceso de vaciado del hormigón, también conocido como colado o vertido, consiste en verter la mezcla de hormigón fresco en los moldajes o encofrados previamente instalados, para que adopte la forma deseada y se convierta en la estructura planificada, como muros, columnas, losas, o fundaciones.

Es importante mencionar, que el tipo de hormigón de cada elemento debe ser entregado un profesional competente en el área de cálculo estructural, junto a las especificaciones técnicas y recomendaciones.

Para describir el proceso completo del vaciado de hormigón, se seguirá la estructura establecida en la norma NCh170.Of85. Dado que en este proyecto de gran magnitud el hormigón llegaba a la obra listo para ser vaciado, se considerará el proceso a partir del capítulo 9 de la norma, que aborda el Transporte, y se continuará hasta el capítulo 13, que trata sobre los plazos de desmolde y descimbre.

#### 4.2.3.1. Transporte.

En este caso de estudio, se hará énfasis en el transporte del hormigón desde la planta de producción hasta el sitio de vertido, que generalmente se realiza mediante camiones mixer (mezcladores). Es importante destacar que el transporte del hormigón está regulado por el Instituto Nacional de Normalización (INN – Chile), el cual establece que el hormigón debe ser transportado con equipos adecuados y siguiendo procedimientos que aseguren la homogeneidad de la mezcla obtenida en la planta. Específicamente, se debe evitar la pérdida de material durante el trayecto, así como la segregación o contaminación de la mezcla. El tiempo de traslado del hormigón no debe exceder los 30 minutos desde la planta mezcladora hasta el lugar de colocación, a menos que se pueda mantener la docilidad especificada sin agregar más agua a la mezcla. Para extender el tiempo de transporte, se pueden emplear aditivos retardadores de fraguado u otros métodos comprobados. Además, los equipos de transporte deben estar fabricados con materiales resistentes, estancos e inertes a los componentes de la mezcla, garantizando así la calidad del hormigón durante todo el proceso de traslado. (Nch Of.85, 1985, pág. 12)

#### 4.2.3.2. Colocación.

En esta fase, el hormigón fresco se vierte en el encofrado, ya sea de manera directa o mediante el uso de equipos como grúas con capachos, bombas o canaletas, dependiendo de la altura y ubicación de la estructura. Para el vaciado de muros, se utilizan comúnmente los métodos de capacho o bomba. El uso de capacho tiende a ser más lento en comparación con la bomba, ya que requiere tiempo adicional para cargar el capacho (ver Figura 15), izarlo con la grúa y trasladarlo al sitio de descarga. El número de repeticiones de este proceso dependerá del volumen del elemento a construir. Por lo general, los capachos utilizados en obra tienen una capacidad de entre 500 y 700 litros. Por otro lado, el uso de la bomba es un método muy efectivo cuando se requiere verter una gran cantidad de hormigón en poco tiempo (ver Figura 16) y para alcanzar áreas de difícil acceso. Una de sus principales ventajas es que no utiliza la grúa torre, lo que permite continuar con otras tareas que requieran izar elementos en paralelo a la colocación del hormigón. Sin embargo, este método presenta desventajas, como su elevado costo fijo, ya que las empresas que prestan este servicio suelen cobrar por un volumen mínimo de hormigón, independientemente de si se vierte o no. Además, es importante considerar en la programación el tiempo necesario para el armado y posicionamiento de la bomba, así como disponer del espacio requerido para su instalación.

Figura 15. "Colocación de hormigón en muro con capacho"



Nota. Proceso de carga de capacho con hormigón para ser colocado en un muro de fachada del Proyecto Floramatic. Fuente Propia

Figura 16. "Colocación de hormigón con bomba"



Nota. Proceso de carga de capacho con hormigón para ser colocado en un muro de fachada del Proyecto Floramatic. Fuente Propia

Para las juntas frías de hormigonado, es requisito que estas estén claramente especificadas en el proyecto, y cualquier duda o cambio debe ser autorizado por el proyectista. En el caso del hormigón visto, es común que para grandes elementos de hormigón se consulte periódicamente la validación de propuestas para la ubicación de las juntas de hormigonado, ya que se debe garantizar la estética del diseño. Las juntas frías generan líneas visibles en la terminación del hormigón, las cuales solo pueden ser disimuladas mediante técnicas de maquillaje. En las juntas frías, es importante considerar que se trata de una unión entre hormigón endurecido y hormigón fresco. Antes de la colocación del nuevo hormigón, es fundamental realizar un correcto tratamiento de las juntas, que consiste en picar el hormigón fraguado para eliminar el material suelto y lograr una rugosidad adecuada en toda la superficie de contacto. Además, es esencial limpiar la junta y humedecerla adecuadamente para asegurar una buena adherencia en toda la superficie de contacto.

#### **4.2.3.3. Compactación.**

Para eliminar el aire atrapado y asegurar que el hormigón se distribuya uniformemente dentro del moldaje, se utilizan equipos manuales o mecánicos que compacta la mezcla, mejorando su densidad y resistencia.

Como respaldo a lo anterior, la Norma asegura que al mantener la homogeneidad del hormigón y utilizar los equipos adecuados, se puede lograr una máxima compacidad del material al eliminar las burbujas de aire, evita la formación de segregaciones y nidos de piedra, garantiza un recubrimiento continuo de las armaduras y permite obtener una textura superficial adecuada en el hormigón. (Nch170 Of.85, 1985, pág. 16)

El tipo de equipo se puede elegir usando la siguiente Tabla 2.

Tabla 2. "Equipos de Compactación"

Tabla 10 - Elección del equipo de compactación

Docilidad	Asentamiento de cono cm	Altura máxima de la capa cm	Equipos <sup>*)</sup>
Seca	< 2	30	Mecánicos de alta potencia
Plástica	3 - 5	30	Mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
Blanda	6 - 9	50	Manuales, mecánicos corrientes, especiales o sus combinaciones
Fluida	> - 10	50	Manuales o especiales

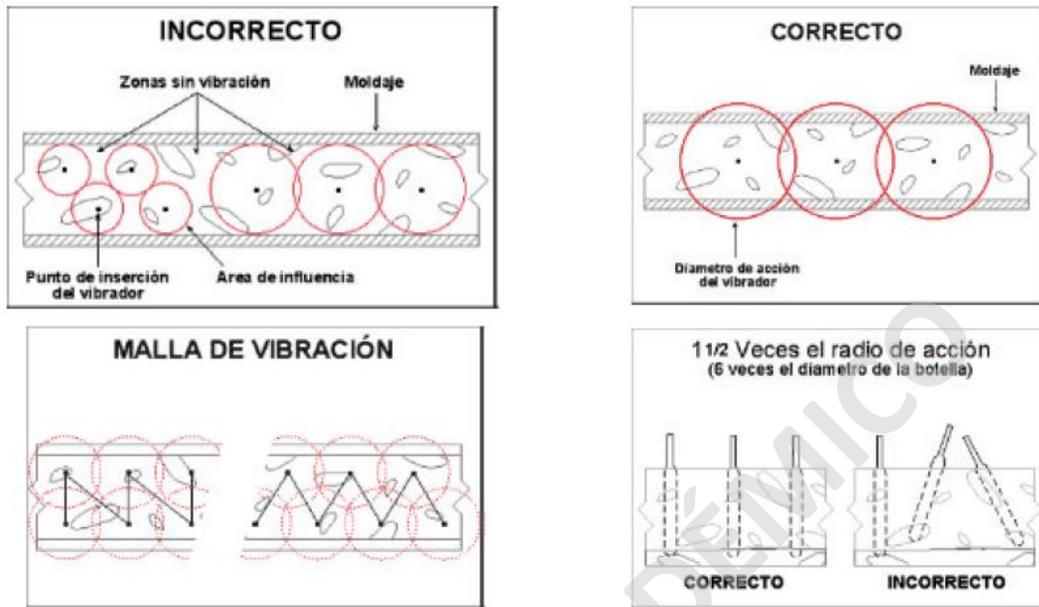
\*) Los equipos mencionados corresponden a los siguientes:

- a) equipos mecánicos de alta potencia: vibrador externo, pisón mecánico, pisón de compresión, vibro-compresión, etc.;
- b) equipos mecánicos corrientes: vibrador de inmersión, vibrador superficial, etc.;
- c) equipos especiales: equipos de vacío, de centrifugado, etc.;
- d) equipos manuales: varillas, macetas, paletas, etc.

Nota. Requisitos para la elección del equipo para vibrar el hormigón. La información fue obtenida de la Tabla N°10 de (Nch Of.85, 1985, pág. 16).

Para vibrar los muros del Edificio Floramatic, se utilizó un vibrador de inmersión de alta frecuencia (superior a 12.000 rpm). A continuación, se parafrasean las recomendaciones proporcionadas por el proveedor de hormigones premezclados Melón. La profundidad de las capas de hormigón compactadas no debe exceder los 50 cm, y al aplicar una nueva capa, la botella del vibrador debe penetrar al menos 10 cm en la capa anterior. El vibrador debe sumergirse de manera vertical en el hormigón fresco, evitando que toque el fondo y manteniéndolo en posición durante unos 15 segundos. El operador debe extraer el vibrador a una velocidad constante que no supere los 6 cm/seg y asegurarse de que el diámetro de acción del vibrador se solape con el anterior para evitar zonas sin compactación, como se muestra en la Figura 17. La experiencia del operador es crucial, ya que debe detener el proceso de vibrado cuando observe que la superficie del hormigón se vuelve brillante, no presente burbujas grandes o si detecta alguna falla mecánica en el equipo. Además, debe evitar malas prácticas como mover el hormigón de forma horizontal con el vibrador, no sumergir la botella de manera vertical, o dejar el vibrador en el hormigón por tiempos excesivos, lo cual podría provocar segregaciones en la mezcla. (Melón Hormigones., 2020, pág. 2)

Figura 17. "Radio de acción del vibrador de inmersión"



Nota. Esquema de cómo usar correctamente el vibrador de inmersión. Foto tomada de (Melón Hormigones., 2020)

#### 4.2.3.4. Curado del hormigón.

Tras el vaciado, es fundamental mantener el hormigón húmedo durante un período determinado para garantizar que adquiera la resistencia y durabilidad proyectadas, evitando así la pérdida del agua de amasado por exudación y evaporación. Este proceso, conocido como curado, previene la formación de fisuras por retracción plástica, que ocurren cuando la mezcla pierde agua de manera prematura. Según diversas fuentes, el mayor riesgo de fisuración se presenta entre las 2 y 4 horas posteriores a la colocación del hormigón en el moldaje, momento en el cual la pérdida de agua transita de ser mayormente por exudación a un proceso acelerado de evaporación debido a la exposición a factores ambientales como el viento, la temperatura y la humedad relativa, tal como se muestra en el Gráfico 1.

Gráfico 1. "Pérdida de Agua vs Tiempo"



Nota. Gráfico tomado de (Polpaico, 2018, pág. 1)

Según la normativa, durante el período inicial de endurecimiento, el hormigón debe mantenerse en ambientes saturados para evitar la pérdida de agua, prevenir cambios bruscos de temperatura y protegerlo de factores climáticos como nieve, viento y lluvia. Además, es importante evitar que el elemento sea sometido a cualquier tipo de carga durante este tiempo. La norma también señala que, después de las primeras 24 horas de haber aplicado el método inicial de protección, se pueden emplear otros métodos de humectación, como diques de agua, piscinas, estanques o riegos permanentes. Es recomendable que la suma de los días de ambos procesos de curado no sea inferior a 7 días para asegurar que el hormigón alcance sus propiedades mecánicas óptimas. (Nch170 Of.85, 1985, pág. 17)

## 5. CAPÍTULO III: PROCESOS CONSTRUCTIVOS EN MUROS CURVOS DE HORMIGÓN ARQUITECTÓNICO

### 5.1. Análisis de procesos constructivos aplicados en fachadas curvas en proyectos similares.

A pesar de la presencia de edificaciones de forma circular en diversas partes del mundo, la literatura sobre los procesos constructivos específicos para estas estructuras es limitada. La mayoría de los textos disponibles se centran en el uso de proporciones en la arquitectura antigua o en estudios relacionados con el comportamiento sísmico y las cargas de viento. Por ejemplo, Javier Roldán analiza la geometría y la métrica circular del Palacio de Carlos V, enfocándose en la proporción del diseño desde un punto de vista arquitectónico, y señala la falta de técnicas científicamente reconocidas para el análisis modular de edificios históricos (Roldán Medina, 2018, pág. 355).

No obstante, se encontraron algunos casos relevantes en la literatura que ofrecen información valiosa sobre procesos constructivos en muros curvos. Uno de estos ejemplos es el proceso constructivo de la Plaza de Toroso en Móstoles, Madrid, España. Aunque el edificio en cuestión tiene una forma circular y su fachada está hecha de ladrillos, su proceso constructivo ofrece una perspectiva útil para esta investigación, especialmente considerando la influencia española en el diseño del edificio Floramatic. El carácter radial del edificio contribuyó a la reconfiguración de la cimentación, ejecutada in situ mediante zapatas de hormigón armado. El uso de ladrillo a la vista, de color ocre, refleja la tradición, mientras que los muros de doble hoja, ligados con armaduras de acero y filas de ladrillos, junto con la continuidad del muro curvo, añaden un aspecto contemporáneo al conjunto (Casado Terán, Barrientos González, Ramos Paños, & Abellán, 1997).

Este análisis resalta la importancia de trazar y replantear in situ la geometría de los muros curvos, ya que estos guían la materialización del muro curvo. La Figura 18, muestra como quedó la terminación de la fachada de muros curvos terminada.

Figura 18. "Vista Terminada Plaza de Toros en Móstoles"



Nota. Vista con terminación final de la fachada de muros curvos. Tomada de (Casado Terán, Barrientos González , Ramos Paños, & Abellán, 1997, pág. 6)

Otro proyecto complejo que representó un desafío significativo en su proceso de construcción fue el Museo Internacional del Barroco (MIB) en México. Este edificio destaca por sus grandes muros curvos y alabeados, que alcanzan alturas de 15 metros y tienen inclinaciones irregulares de hasta 17°. La **Figura 19** muestra la terminación a la vista del hormigón con pigmentos de color blanco, lo que le confiere un carácter imponente y distintivo, de acuerdo con la visión del arquitecto Toyo Ito.

Figura 19. "*Muros del Museo Internacional del Barroco*"



Nota Muro de hormigón visto terminación en concreto blanco. Tomada de (ArchDaily Team, 2017)

En una entrevista con los arquitectos responsables del diseño, se discutió el sistema constructivo elegido para la ejecución de los muros y las complicaciones enfrentadas durante el proceso. El sistema constructivo del Museo Internacional del Barroco (MIB) se basa en el uso de muros y losas de concreto prefabricado, que no solo forman la estructura del edificio, sino que también proporcionan el acabado final. Los paneles que componen los muros son de hormigón blanco, con alturas variables entre 15 y 21 metros y un espesor de 36 cm, y se colocan en su posición para formar muros monolíticos mediante sistemas de anclaje y morteros especiales. La **Figura 20** muestra el proceso de izaje y colocación de los paneles prefabricados. Aunque el uso de estos elementos prefabricados ofreció numerosas ventajas, también presentó un desafío significativo, ya que este sistema constructivo era inédito en el país. El principal reto fue industrializar la forma, lo que requirió modelar tridimensionalmente el edificio y modular los 55 muros con precisión para fabricar paneles idénticos sin alterar el diseño original. De este modelo se derivaron los distintos tipos de paneles y sus geometrías, incluyendo huecos, vanos y pasos de instalaciones, ya que una vez fabricados, los paneles no podían ser modificados. Antes de iniciar la construcción, el equipo del MIB investigó varias soluciones constructivas disponibles en México y destacó la empresa Danstek, respaldada por Fapresa y especializada en prefabricados de concreto. Danstek no solo fabricó un modelo a escala de uno de los paneles y demostró su capacidad

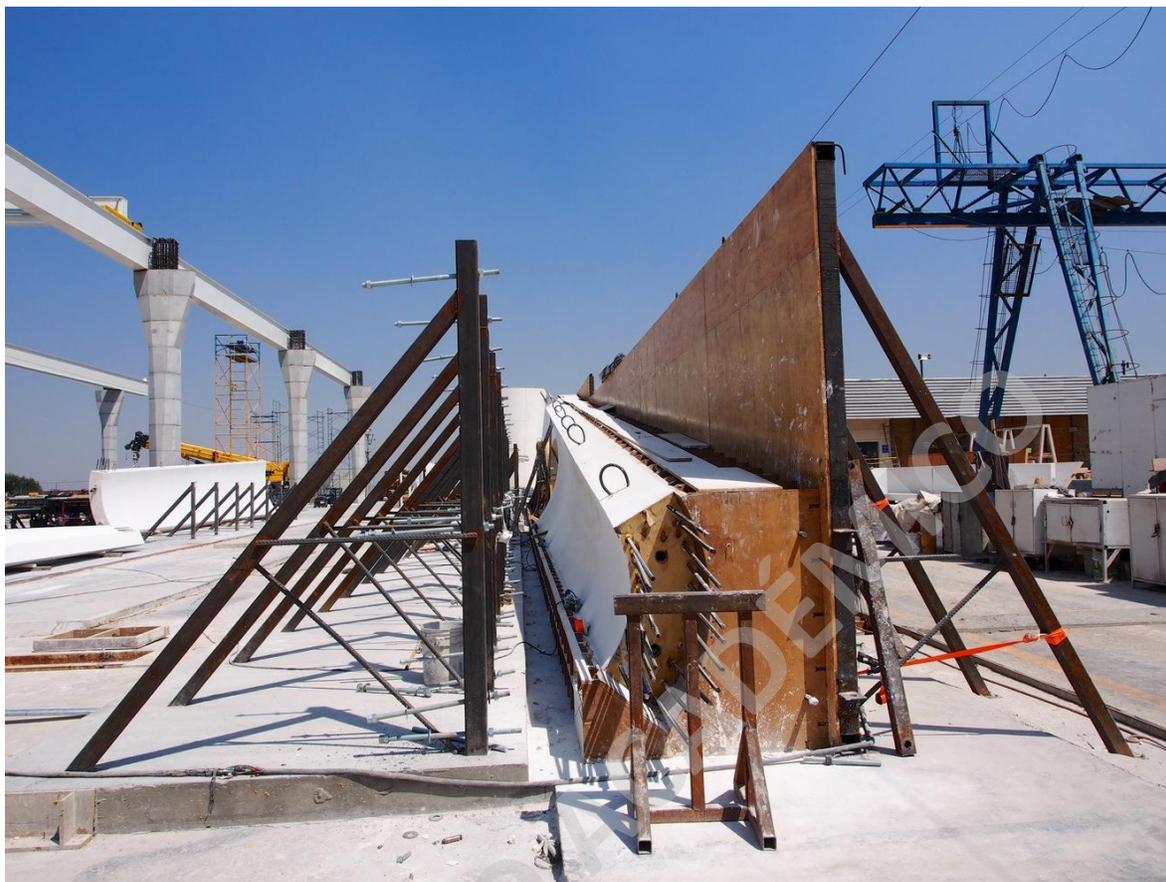
de producción para cumplir con los plazos del proyecto, sino que también mostró una gran disposición para colaborar en el diseño de la mejor solución constructiva para el edificio (ArchDaily Team, 2017). Ver **Figura 21**.

Figura 20. *"Proceso de Montaje Muro Prefabricado MIB"*



Nota. Proceso de izaje y anclaje de los muros de la fachada del MIB. Tomada de (ArchDaily Team, 2017)

Figura 21. "Panel Prefabricado Muros MIB"



Nota. Muro de hormigón curvo prefabricado correspondiente a la fachada MIB. Tomada de (ArchDaily Team, 2017)

En resumen, analizando estos dos casos particulares, se puede concluir que, en la construcción de muros curvos, la metodología constructiva dependerá de las especificidades de cada proyecto. Factores como la materialidad, dimensiones, forma e inclinación de las curvas, tipo de terminación, condiciones geográficas, tecnologías constructivas disponibles en la localidad, así como el presupuesto, plazos y la disponibilidad de recurso humano especializado, son determinantes en la selección del método más adecuado para la ejecución de este tipo de estructuras.

## **5.2. Analogía con el proceso constructivo de muros curvos del proyecto Floramatic**

Como se observó en el punto anterior, cada proceso constructivo para la construcción de muros curvos es único para cada proyecto; sin embargo, existen generalidades que se comparten en todos los casos. Por esta razón, se utilizará la estructura presentada en el punto 4.2 para describir la metodología aplicada en el caso de estudio, y se realizará una analogía

con los casos ya presentados: La Plaza de Toros en Móstoles, inaugurada en 1995 en España, y el Museo Internacional del Barroco, construido en 2016 en México. Ambos proyectos comparten la característica de tener muros curvos en sus fachadas, y aunque se desarrollaron en diferentes países y épocas, resulta relevante revisar y analizar las diferencias y similitudes con el proceso constructivo de la fachada del Edificio Floramatic.

### **5.2.1. Enfierradura de Muros de Hormigón Visto del Proyecto Floramatic.**

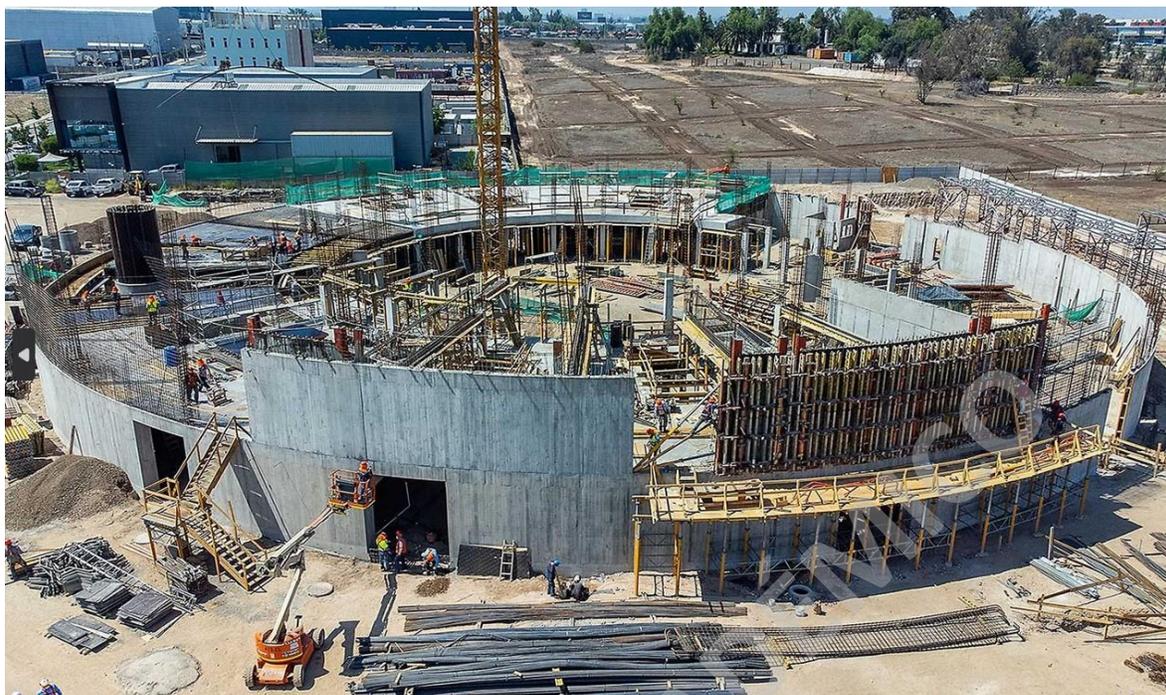
La empresa Constructora Jorge Carrasco llevó a licitación la instalación de la enfierradura de todo el proyecto sin distinguir entre muros curvos o rectos, ni entre muros con terminación vista o no vista. Esto se debe a que, como se ha mencionado en los capítulos anteriores, la enfierradura no presenta complejidades ni riesgos significativos en la terminación de los muros de hormigón a la vista. Finalmente, se optó por un contratista que, aunque no ofrecía la opción más económica, contaba con la confianza y experiencia de haber trabajado previamente con la empresa en diversos proyectos.

A diferencia del Museo Internacional del Barroco en México, donde los muros de la fachada fueron prefabricados, los muros del Edificio Floramatic se fabricaron in situ, lo que hizo fundamental que toda la armadura de los muros quedara dentro del trazado previamente revisado por los profesionales competentes de la obra. Se prestó especial atención a que el eje de la doble malla se desplazara hacia el lado de la cara no vista, pero no más de 2 cm respecto al eje del muro terminado. En cuanto al trazado, el método constructivo se asemeja al utilizado en la Plaza de Toros de Móstoles, ya que en ambos casos la enfierradura se ejecutó en el lugar definitivo de los muros de la fachada, y la correcta colocación de esta dentro del trazado fue clave para cumplir con la geometría diseñada.

En cuanto a la forma curva del muro, mantener el radio especificado no representó un desafío durante la ejecución de este proceso, ya que el proyecto de cálculo especificaba una doble malla con barras de acero de  $\varnothing 10$  mm. Debido a su bajo diámetro y a que los muros superaban los 3 metros de largo, las barras horizontales se adaptaron correctamente a la forma impuesta por las barras verticales, que se habían colocado siguiendo con precisión el trazado del elemento. Si se fijan en el lado derecho e izquierdo de la Figura 22 se puede apreciar una vista en altura y la curvatura de la enfierradura.

También en este proceso destacaremos la colocación de separadores plásticos que son fundamentales para garantizar el espesor de recubrimiento especificado y prevenir que los fierros queden expuestos, lo cual podría dañar la textura o la terminación del hormigón.

Figura 22. "*Curvatura de la enfierradura*"



Nota. Proceso de Ejecución de los muros de fachada del 2° Piso del Edificio Floramatic. Cortesía de (PERI, 2023)

### **5.2.2. Encofrado de Muros de Hormigón Visto del Proyecto Floramatic.**

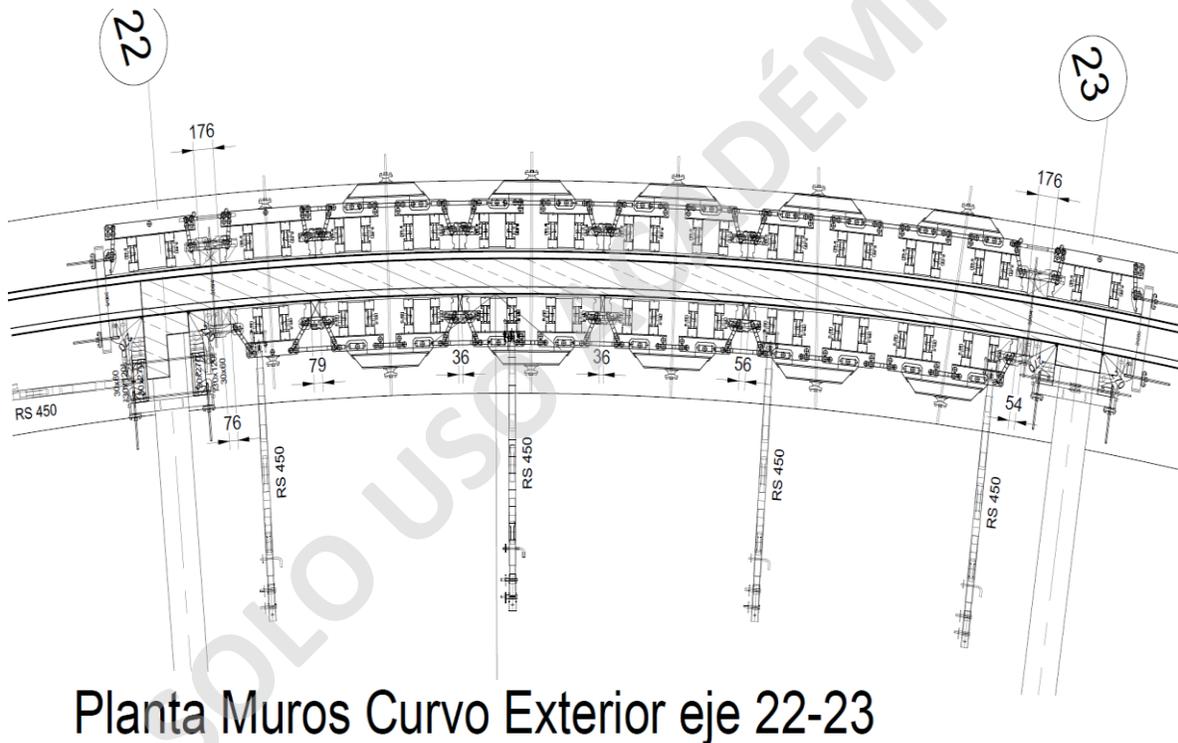
Los muros de la fachada del exterior del Edificio Floramatic tenían una altura de 4 metros y tenían terminación de hormigón visto, con un diseño que consistía en la primera altura de 3,4 metros tablas de madera cepillada machihembradas con un ancho de 6'', dispuestas de forma vertical con los cortes a capricho, y para la segunda altura de 0,6 metros tablas de madera cepillada machihembrada con un ancho de 3'', también en disposición vertical. Ver Figura 23.



descimbre del encofrado, y todos compartían la característica de ser muy versátiles, lo que se reflejó en un desempeño eficiente y con pocas deficiencias en términos de rendimiento y calidad del producto final.

Tras recibir un par de capacitaciones por parte de Peri, el equipo se familiarizó completamente con el funcionamiento de este encofrado en particular. Como actividad previa, especialmente en los primeros muros, se realizó una revisión detallada de los planos de montaje entregados por el proveedor de moldajes, como se muestra en la Figura 24. Además de proveer el material, Peri desarrolló un proyecto de ingeniería que explicaba la modulación de todos los muros de la fachada, lo que permitió armar los módulos de paneles siguiendo estas indicaciones.

Figura 24. "*Plano de Modulación Sistema Rundflex*"



## Planta Muros Curvo Exterior eje 22-23

Nota. Extracto de plano de modulación del Moldaje. Tomado de (PERI, 2021)

Los módulos se ensamblaban de manera individual y recta sobre el piso, con la altura completa del muro. La metodología consistía en instalar todas las tablas de la primera y segunda altura, atornillándolas al panel del moldaje. Una vez colocadas todas las tablas según el diseño, se aplicaban dos manos de desmoldante para madera de forma homogénea. Luego, comenzaba el proceso de curvado ajustando los husillos del moldaje hasta alcanzar el radio deseado, que se corroboraba con plantillas confeccionadas en obra de acuerdo con el radio del muro especificado en el proyecto de arquitectura. Este procedimiento se repetía en todos

los módulos hasta tenerlos listos para unir mediante piezas de amarre. Una vez ensamblados, se verificaba nuevamente la curvatura con la plantilla para asegurar que no existieran deformaciones.

Tras este último chequeo, el panel estaba listo para ser izado por la grúa torre. Mientras se colocaban las tablas, el resto de la cuadrilla se encargaba de instalar los dowels o clavijas de fierro de construcción que servían de guía para posicionar el panel en su ubicación final. Cabe destacar que este proceso se realizaba primero con la cara interior del muro, ya que la cara vista se amarraba mediante agujas que actuaban como pasadores y se aseguraban con tuercas del moldaje (ver Figura 25). Los pasadores se encamisaban con PVC hidráulico para permitir su retiro una vez decimbrado el moldaje.

Figura 25. *"Agujas de Moldaje Encamisadas"*

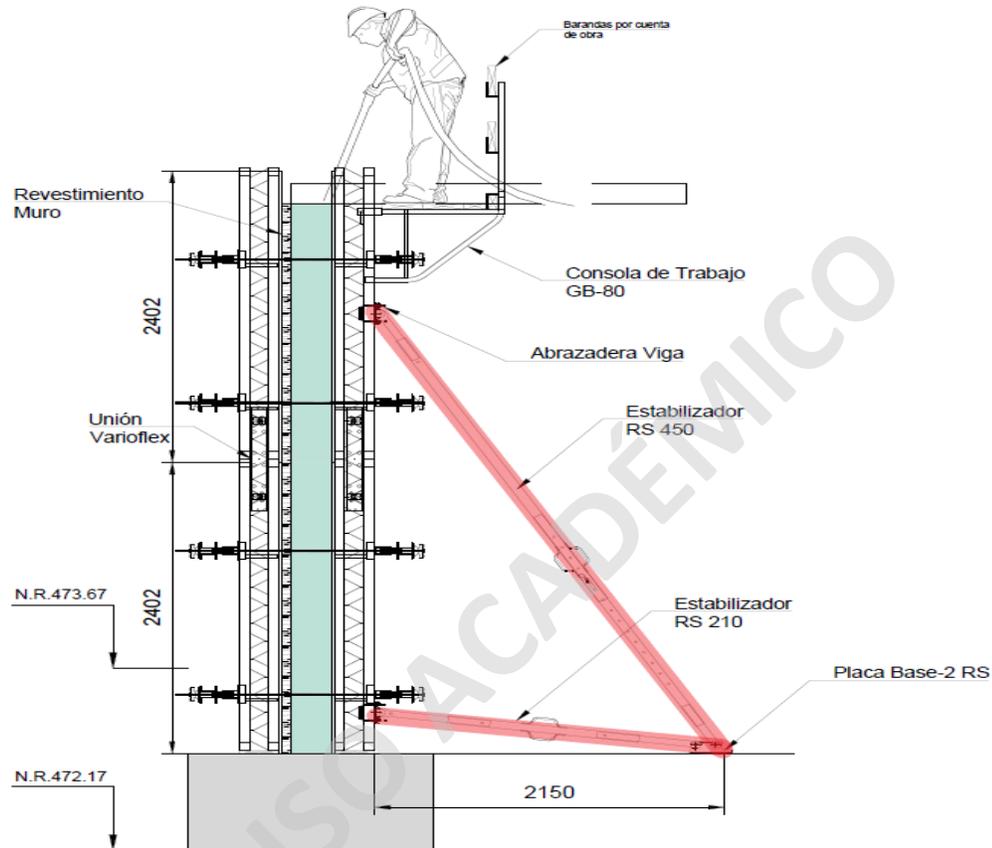


Nota. Ejemplo de encamisado de agujas de moldaje. Fuente propia.

Con el moldaje en posición, la grúa lo mantenía apuntalado mientras se instalaban los elementos necesarios para mantener el panel en posición vertical y soportar el peso del

hormigón durante su vaciado, como los aplomadores y estabilizadores. En la Figura 26 están resaltados en color rojo los aplomadores en un extracto de plano de modulación PERI.

Figura 26. "*Estabilizadores del Sistema Rundflex*"



## Seccion Tipo Rundflex

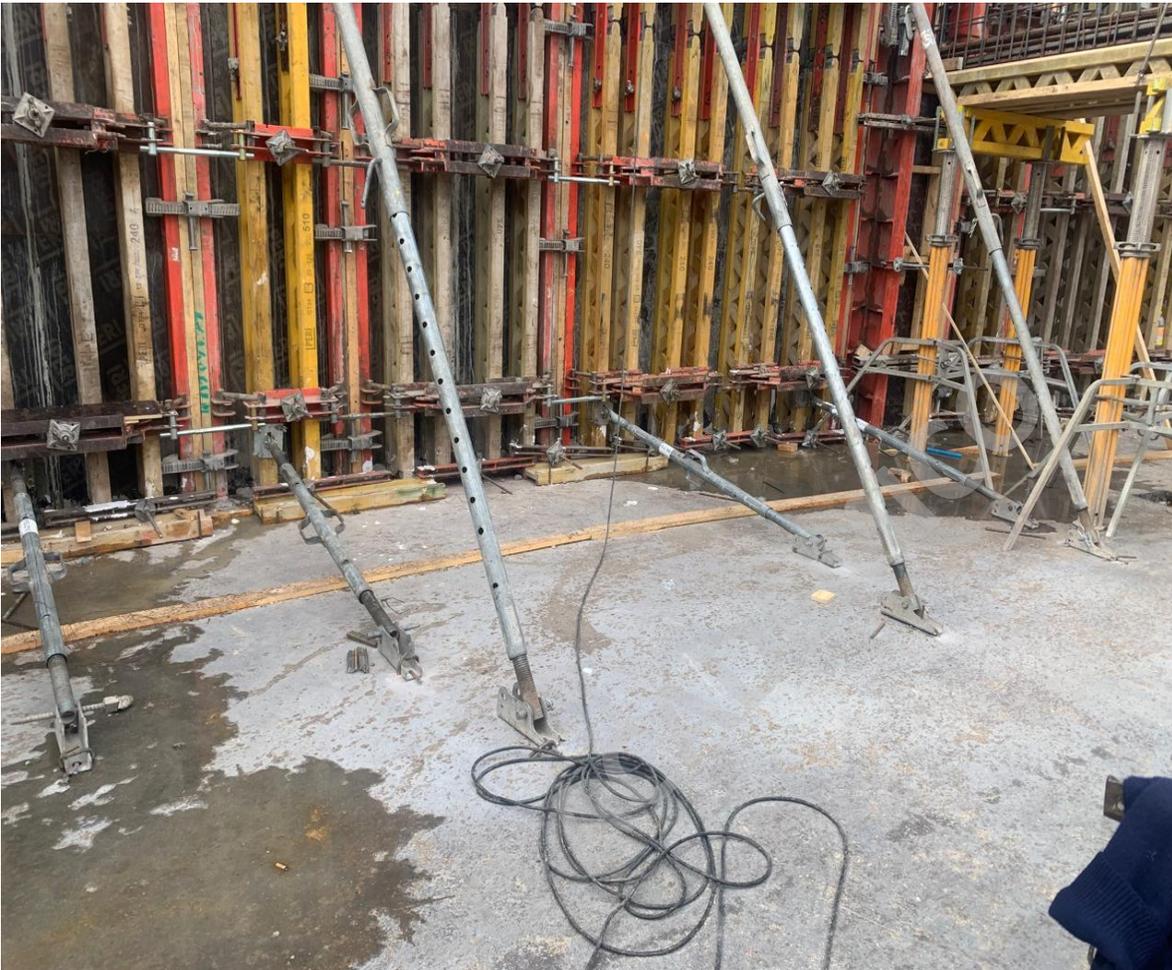
Escala 1:50

Nota. Aplomadores resaltados en color rojo. Extracto de plano de montaje tomado de (PERI, 2021)

Para ejemplificar un panel montado en el proyecto Floramatic, se muestra en la Figura 27 un muro terminado por ambas caras, en el que se observan los estabilizadores instalados.

En los hormigones vistos, el descimbre de elementos verticales, por lo general se efectúa después de los 3 días de vaciado del hormigón, esto con el fin de asegurar un fraguado del hormigón, proteger el elemento de agentes externos como el viento, y evitar la pérdida de humedad por evaporación. En el caso de Floramatic, por especificaciones técnicas, el tiempo de fraguado de los muros era de 3 días también, afirmando la decisión de la constructora de emplear ese tiempo en sus demás proyectos. ver Tabla 3.

Figura 27. " *Estabilizadores en muro Edificio Floramatic* "



Nota. Cara interior de moldaje tipo Rundflex instalado en Floramatic. Fuente Propia.

Tabla 3. " *Tiempos de Fraguado de Elementos* "

Elemento, Moldaje, Alzaprimas,	
Losas :	21 días
Vigas :	21 días
Muros :	3 días
Pilares :	5 días
Cadenas :	3 días

Nota. Tabla extraída de (Guillermo Hevia Arquitectos SPA, 2019)

Posterior a la instalación de ambas caras del encofrado, es necesario revisar nuevamente la curvatura con la plantilla, ya que durante la instalación el encofrado puede haberse deformado y perdido el radio previamente ajustado.

En la Figura 28 se muestra un tramo del muro curvo del edificio durante el proceso de montaje del moldaje Rundflex, con la mayoría de sus componentes instalados. Solo faltaba completar algunos paneles para cubrir el tramo faltante de la cara exterior, así como la colocación de las escuadras y plataformas perimetrales, que permitirían un tránsito seguro y la posterior ejecución del vaciado del hormigón.

Figura 28. *"Proceso de Instalación de Moldaje"*



Nota. Cara exterior del moldaje tipo Rundflex. Fuente propia.

### **5.2.3. Vaciado de hormigón en Muros de la Fachada Edificio Floramatic.**

Se decidió trabajar con la planta Melón Hormigones debido a que la constructora tenía un largo historial de proyectos en los que habían colaborado exitosamente, con una buena respuesta por parte del proveedor. Además, el tono gris del hormigón producido en la planta ubicada en la comuna de Lo Espejo era más claro que el de la competencia, lo que resultaba favorable para los requisitos estéticos del proyecto.

Tras revisar el proyecto de cálculo, se optó por un hormigón GB25(90)20-12, y la elección del cono se basó en la experiencia de la constructora con hormigones a la vista. Se solicitó al proveedor la inclusión de un aditivo hidrófugo para todos los muros que daban hacia el exterior.

A la hora de programar el hormigonado semanal, es fundamental cubicar los elementos con un margen de error al alza, es decir, solicitar siempre un porcentaje adicional para evitar la falta de material en el muro. Si se detecta la falta de hormigón en el momento del vaciado, resulta imposible que la planta reaccione a tiempo para enviar lo necesario, ya sea por la disponibilidad limitada de camiones o por el tiempo de traslado. En el hormigón visto, las juntas frías son errores graves que pueden incluso llevar a la demolición del muro por no cumplir con la estética del diseño arquitectónico. Por esta razón, en Floramatic, el procedimiento antes de solicitar el hormigón era que tanto el trazador como el Jefe de Obra realizaban una cubicación, la cual luego era revisada y corregida por el Profesional de Terreno. Además, durante el proceso de vaciado se realizaba una recubicación para asegurar que, si se requería algún ajuste, la planta tuviera tiempo de programar un despacho adicional.

Antes de la colocación del hormigón, es fundamental preparar la superficie mediante un adecuado tratamiento de juntas, lo cual forma parte de las tareas previas de la cuadrilla de concreteiros. En las juntas frías, se removía el hormigón suelto y se generaba rugosidad utilizando un cincelador mecánico. Posteriormente, se retiraban todas las partículas de material suelto con un soplador mecánico, asegurando que la superficie quedara completamente limpia y libre de elementos externos. Antes de iniciar el vaciado del hormigón fresco, se debe saturar superficialmente la superficie de contacto para evitar que absorba el agua de amasado. En la Figura 29 se observa un tratamiento de juntas en una junta fría de los muros del proyecto Floramatic.

Figura 29. "Tratamiento de juntas"

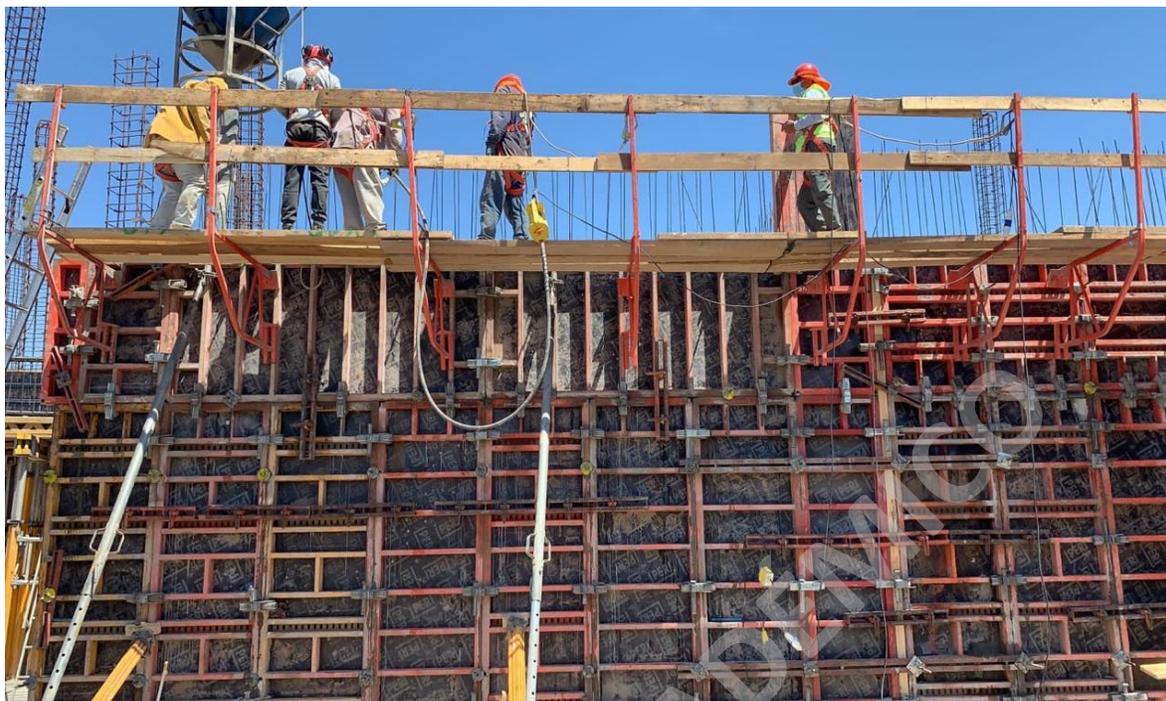


Nota. Tratamiento de juntas ya ejecutado. Fuente propia.

La colocación del hormigón se realizó mediante capachos de 750 litros, que eran izados por la grúa torre y llevados al punto de vaciado, ver Figura 30. En la ejecución de la obra se trabajó con dos capachos, de manera que mientras uno se vaciaba, el otro se llenaba desde el camión mixer, optimizando así el tiempo de vaciado y evitando problemas con la planta por la sobreestadía del camión en obra.

El vaciado del hormigón se hacía en capas uniformes que iban siendo compactadas con un vibrador de inmersión de alta frecuencia, operado por el miembro más experimentado de la cuadrilla en la confección de hormigones vistos. La habilidad del operador era crucial, ya que su destreza determinaba si la terminación del muro presentaría segregaciones o nidos de piedra.

Figura 30. "*Hormigonado de Muro*"



Nota. Cuadrilla de concreteros de la Obra Floramatic hormigonando con capacho un muro recto. Fuente propia.

Como parte del tratamiento de curado del hormigón, inicialmente se cubría la cabeza del muro con polietileno y arena para evitar la pérdida de agua por esa superficie. Una vez descimbrado el moldaje a los 3 días, se procedía a regar el muro con agua utilizando una manguera, apenas se retiraba el primer panel del moldaje, con el objetivo de remover de inmediato el desmoldante aplicado y que no manchara la terminación. Este proceso de humectación se repetía tres veces al día durante un período de 3 a 4 días.

En la Figura 31 se observa cómo se regaban los muros una vez retirados los encofrados.

Figura 31. "Humectación del hormigón"



Nota. Trabajador de la constructora humectando el muro como proceso de curado y remover el desmoldante.  
Fuente Propia.

## 6. CAPÍTULO IV: HORMIGONES VISTOS DEL EDIFICIO FLORAMATIC Y DESAFÍOS ASOCIADOS

### 6.1. Desafíos de los hormigones vistos del proyecto Floramatic.

Como se vio en los capítulos anteriores sobre la confección de muros de hormigón, la principal particularidad de estos es que, al fraguar, la mezcla se adapta al moldaje y refleja su forma como una “fotografía en escala de grises”, según la terminación y diseño deseado. El hormigón puede tomar la textura de la madera, incluyendo vetas y nudos (ver Figura 32), quedar perfectamente liso o incluso incorporar elementos en el moldaje para simular canterías.

Figura 32. *"Fachada de Hormigón Visto en tabla"*



Nota. Terminación de los muros de fachada exterior Edificio Floramatic, en donde se observa como el hormigón tomo la textura de la tabla, incluyendo tonalidades, nudos y vetas. Fuente propia.

Para lograr una terminación adecuada en los muros de hormigón visto, es necesario tener en cuenta una serie de consideraciones en cada actividad de ejecución, desde la comprensión del diseño hasta la revisión de proveedores y la evaluación de la mano de obra disponible, conociendo las limitaciones de cada uno

Respecto a la logística para la ejecución de los muros curvos, no se presentaron mayores complicaciones, lo cual se atribuye a la adecuada selección de proveedores tanto de moldajes como de hormigones. En cuanto a los moldajes, se contaba con amplio espacio disponible, lo que facilitó la compatibilización entre el banco de armado de fierro y el sector de acopio y modulación de los encofrados. Estos se ubicaron estratégicamente dentro del radio de trabajo de la grúa torre, lo que facilitó el izaje de los materiales hacia su destino final.

La empresa Peri manejaba un amplio stock de encofrados de este tipo, cumpliendo siempre con los despachos y volúmenes solicitados para asegurar el avance normal de la obra. Además, proporcionó soluciones de ingeniería y mantuvo una asesoría técnica constante, enviando semanalmente un visitador para resolver las dudas y problemas que surgían.

En cuanto a los hormigones, no se presentaron problemas significativos, salvo algunos casos excepcionales ocasionados por factores externos, como retrasos en la llegada de los camiones a obra debido a congestión en las vías de Santiago y una eventualidad en la que Melón perdió gran parte de su flota de camiones mixer. Sin embargo, este problema se resolvió con prontitud.

En la etapa de enfierradura, es fundamental asegurar el recubrimiento del acero, ya que una mala ejecución o cualquier deformación de la armadura puede afectar negativamente la terminación del hormigón a la vista. Por ello, se utilizan separadores para prevenir esta falla, evitando que los fierros queden expuestos, lo cual podría comprometer la textura o la terminación del hormigón. La exposición del acero puede resultar en oxidación visible en la superficie, generación de fisuras, o desprendimiento de la lechada superficial debido a movimientos internos, vibraciones o deformaciones por cambios de temperatura.

Una falla habitual asociada con la falta de recubrimiento son las fisuras por asentamiento plástico. Esto ocurre cuando el hormigón fresco se coloca en el encofrado y los sólidos de la mezcla comienzan a asentarse por efecto de la gravedad, desplazando los elementos menos densos, como el agua y el aire atrapado, hacia la parte superior del muro. El agua emerge en la superficie como agua de exudación y el asentamiento continúa hasta que el concreto se endurece. Cuando hay obstáculos como la enfierradura, piedras de gran tamaño o elementos embebidos dentro del hormigón, estos pueden obstruir el libre acomodo de la mezcla, provocando asentamientos plásticos diferenciales y la formación de fisuras. Esta situación es

particularmente probable en elementos gruesos con refuerzo superficial y en aquellos que presentan cambios bruscos de espesor. En cuanto al refuerzo superficial, las fisuras son más pronunciadas a medida que disminuye el recubrimiento, aumenta el diámetro de las varillas o si el hormigón presenta mayor fluidez (Toirac Corral, 2004, págs. 84-86).

La **Figura 33** ilustra los resultados negativos que pueden surgir cuando no se colocan separadores, no se verifica la correcta verticalidad del muro, y no se asegura el recubrimiento mínimo. Además, muestra las consecuencias de no aplicar la técnica de desplazar ligeramente la armadura del muro hacia el lado que no tiene la terminación expuesta, es decir, "cargar" la armadura hacia la cara no visible del muro.

Figura 33. "*Enfierradura Expuesta en la Fachada*"



Nota. Falla en la terminación de hormigón visto por no asegurar el uso de separadores en cabezal de muro de caja ascensor con muros curvos Proyecto Floramatic. Fuente Propia.

Respaldo lo anterior con recursos bibliográficos, el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto en su revista Construcción y Tecnología del concreto, indica que es indispensable para prevenir las fisuras de este tipo tener especial cuidado en cumplir con el espesor mínimo de recubrimiento del acero, asegurar que no existirán cambios bruscos de espesor en el elemento, los tiempos de descimbre y alzaprimado deben estar correctamente calculados y controlar el revenimiento del hormigón durante el proceso de vaciado (Vidaud, 2013, pág. 23).

El revenimiento se refiere a la medida de la fluidez o plasticidad del hormigón fresco, y afecta directamente la facilidad con la que el hormigón se puede manipular y compactar. Un buen control del revenimiento es crucial para evitar problemas como segregación de los materiales o falta de uniformidad en la mezcla, lo que podría comprometer la calidad y durabilidad del hormigón una vez endurecido.

Una vez escogido el proveedor del moldaje y con los planos de modulación entregados por ellos, surgieron problemas para lograr la curvatura deseada mediante el ajuste de los husillos. Al calibrar los husillos en un sector, se producía una deformación en otro, lo que generaba inconsistencias en la estructura.

Una vez solucionado el problema con los husillos, el equipo de profesionales de la obra se percató de una variable que no habían considerado: la losa en las zonas de producción tenía una pendiente desde el centro de la circunferencia hacia los muros exteriores. Este detalle presentaba un problema grave, ya que afectaría la estética de la fachada. La pendiente haría que la losa se encontrara con el muro aproximadamente 10 cm por debajo de la coronación de este, generando una línea horizontal adicional visible a lo largo de toda la fachada.

Sin embargo, hubo una reacción rápida por parte de todo el equipo, y gracias a la experiencia de la línea de mando a cargo de la obra, se encontró una solución que no afectaba la estética del proyecto, aunque repercutió ligeramente en los plazos de ejecución de los muros debido a la necesidad de agregar tramos extras no considerados inicialmente.

Uno de los principales problemas en la construcción de hormigón visto, ampliamente documentado en la bibliografía, es la falta de hermeticidad en el encofrado, lo que permite la fuga de la lechada. Esta pérdida genera segregaciones superficiales y una mala terminación del hormigón. Aunque el equipo contaba con experiencia y conocimientos avanzados en la ejecución de hormigones vistos, aún se presentaron problemas en la fachada debido a la pérdida de lechada, como se muestra en la Figura 34.

Figura 34. "*Mala terminación por pérdida de lechada*"



Nota. La flecha roja indica el pinto donde existió pérdida de lechada en el muro del 2° piso del Edificio Floramatic. Fuente Propia.

El mayor desafío surgió cuando se estaba próxima la ejecución de los muros curvos del segundo piso. A diferencia del primer piso, donde los estabilizadores y aplomadores podían colocarse sobre el terreno natural, en los pisos superiores la cara exterior de los muros de fachada, que además era la que tenía la terminación de hormigón visto, no contaba con ningún apoyo. La solución propuesta por el departamento de ingeniería del proveedor de moldajes no satisfacía las necesidades del proyecto, ya que implicaba realizar perforaciones en los muros ya terminados para traspasar barras de acero que servirían como base para una plataforma, lo cual no era viable porque arruinaría la fachada. Sin duda, este fue el mayor desafío, ya que también era necesario mantener la estanqueidad, curvatura y verticalidad del muro, y sin los estabilizadores firmemente anclados a una base sólida, resultaba imposible lograrlo, es decir, a medida que se avanzaba en altura, se complicaba poder mantener la curva, la unión entre hormigones y la verticalidad del muro.

Durante el vaciado del hormigón no se presentaron mayores problemas, aunque surgieron algunos detalles en la terminación debido a la falta o exceso de compactación, los cuales se mantuvieron dentro de los márgenes manejables. Es importante destacar la necesidad de contar con al menos dos equipos completos de vibradores de inmersión, ya que es común que

estos equipos fallen y se requiera una reposición inmediata. En caso de no contar con un vibrador de repuesto, es preferible considerar el elemento como perdido.

La real problemática en esta etapa surgió por un factor que impredecible, porque durante la ejecución de los muros de la fachada, el operador del vibrador presentó complicaciones de salud, lo que obligó a buscar un reemplazo provisional entre las opciones disponibles. Lamentablemente, los reemplazos no lograron los resultados esperados, lo que afectó la calidad de la compactación en ciertos tramos. La Figura 35 muestra las consecuencias de una mala compactación.

Figura 35. *"Falla en la terminación de la fachada por mala compactación"*



Nota. Muro mal vibrado del Proyecto Floramatic. Fuente Propia.

En resumen, existieron numerosos inconvenientes que afectaron, de alguna manera, la terminación superficial de los muros. Algunos problemas se abordaron de manera muy eficaz, pero otros, a pesar de contar con mano de obra calificada y una línea de mando experimentada, persistieron, afectando la calidad del producto final.

## 6.2. Soluciones para abordar los desafíos identificados.

A continuación, se desarrollará cómo se abordaron las problemáticas mencionadas en el punto anterior.

Para prevenir el problema del recubrimiento de la armadura, además de utilizar separadores tipo rueda, los carpinteros más experimentados de la cuadrilla recomendaron desplazar el eje de la doble malla de hierro entre 1 y 2 centímetros en el lado contrario al de terminación a la vista de la fachada. Esto con el fin de asegurar un mayor recubrimiento y evitar que, por algún error humano, la armadura quede expuesta. La Figura 36 ilustra como resulta la aplicación in situ de esta medida.

Figura 36. *"Posición de la armadura desplazada del eje del muro"*

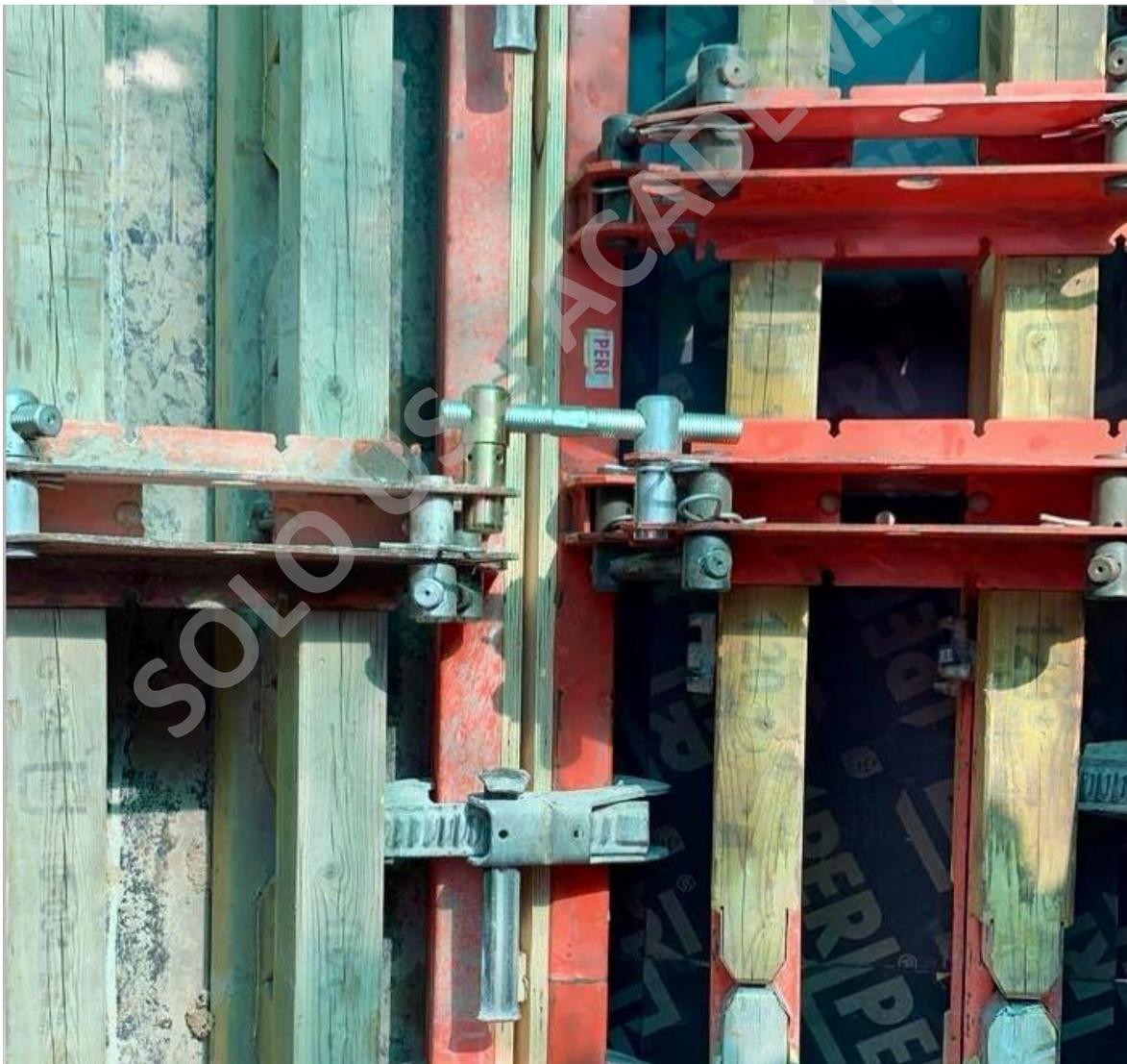


Nota. Posición de la armadura de muro está posicionada de tal forma que deja más recubrimiento de hormigón en la cara de hormigón visto. Fuente Propia

Debido al problema con los husillos, se solicitó una reunión urgente en terreno con el área técnica de PERI. El problema identificado fue que los husillos enviados no habían pasado por un control de calidad adecuado y no estaban diferenciados por colores, lo cual era fundamental para su correcta instalación. Estos husillos tenían una posición específica que debía seguir un patrón uniforme, y su incorrecto ajuste provocaba la deformación de la estructura (ver Figura 37).

Para resolver este problema, PERI envió a terreno algunos de sus técnicos para identificar, separar y reemplazar los husillos defectuosos. A pesar de que esto provocó un pequeño retraso en la obra, este retraso es insignificante en comparación con la repercusión que hubiera tenido mantener esta falla en el normal desarrollo del proyecto.

Figura 37. "*Husillos de moldaje Rundflex*"



Nota. Husillos diferenciados por color (dorado / plateado) y por diámetro del hilo. Fuente Propia

Para solucionar el problema de la losa, que llegaba casi 10 centímetros por debajo de la coronación de los muros, la empresa constructora decidió aplicar una solución previamente utilizada en otros proyectos con problemas similares. Esta consistía en llenar el muro en dos alturas diferentes: la parte del muro hacia el exterior se llenaba según la altura especificada en el proyecto, mientras que la parte interior del muro se llenaba a una altura inferior. De esta manera, se lograba un diseño limpio en el lado exterior, y la parte interior quedaba más baja para permitir el empotramiento de la losa en el muro.

Para alcanzar las dos alturas de llenado, se colocaba de forma transversal una huincha de placa terciada en el punto donde se requería la diferencia de niveles, tal como muestra la Figura 38.

Figura 38. *"Método para separar las alturas de llenado del muro"*



Nota. Proceso de término de ejecución moldaje. Fuente propia.

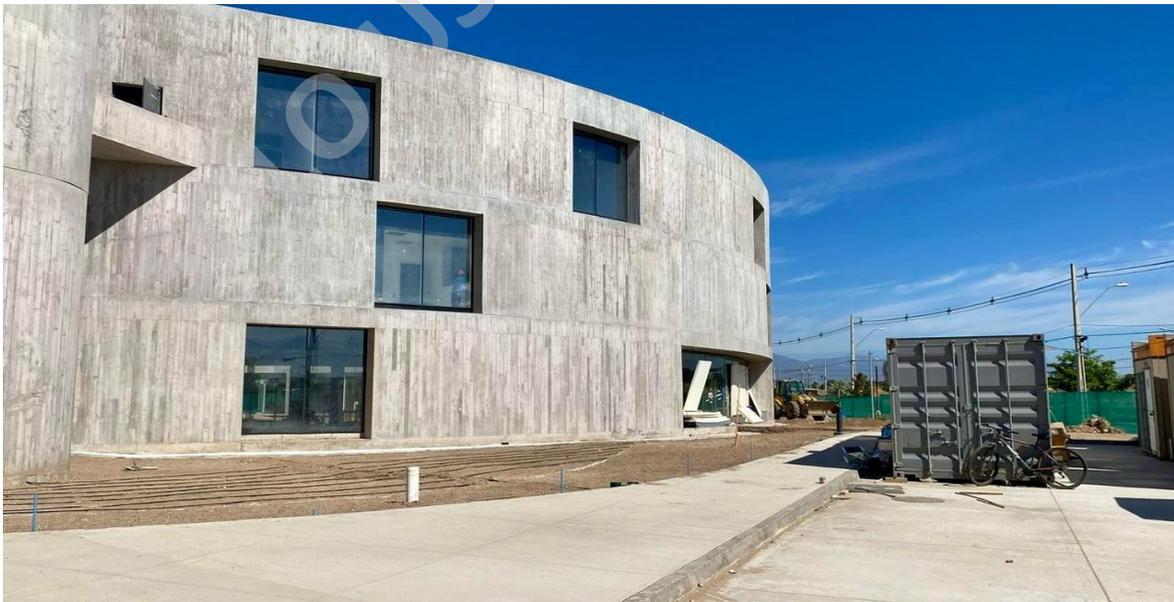
El resultado de esta solución se puede apreciar durante la ejecución (Figura 39) y producto final (Figura 40).

Figura 39. *"Diferencia de alturas de llenado"*



Nota. Como queda visto desde arriba la diferencia de altura ejecutada. Fuente propia.

Figura 40. *"Fachada terminada Edificio Floramatic"*

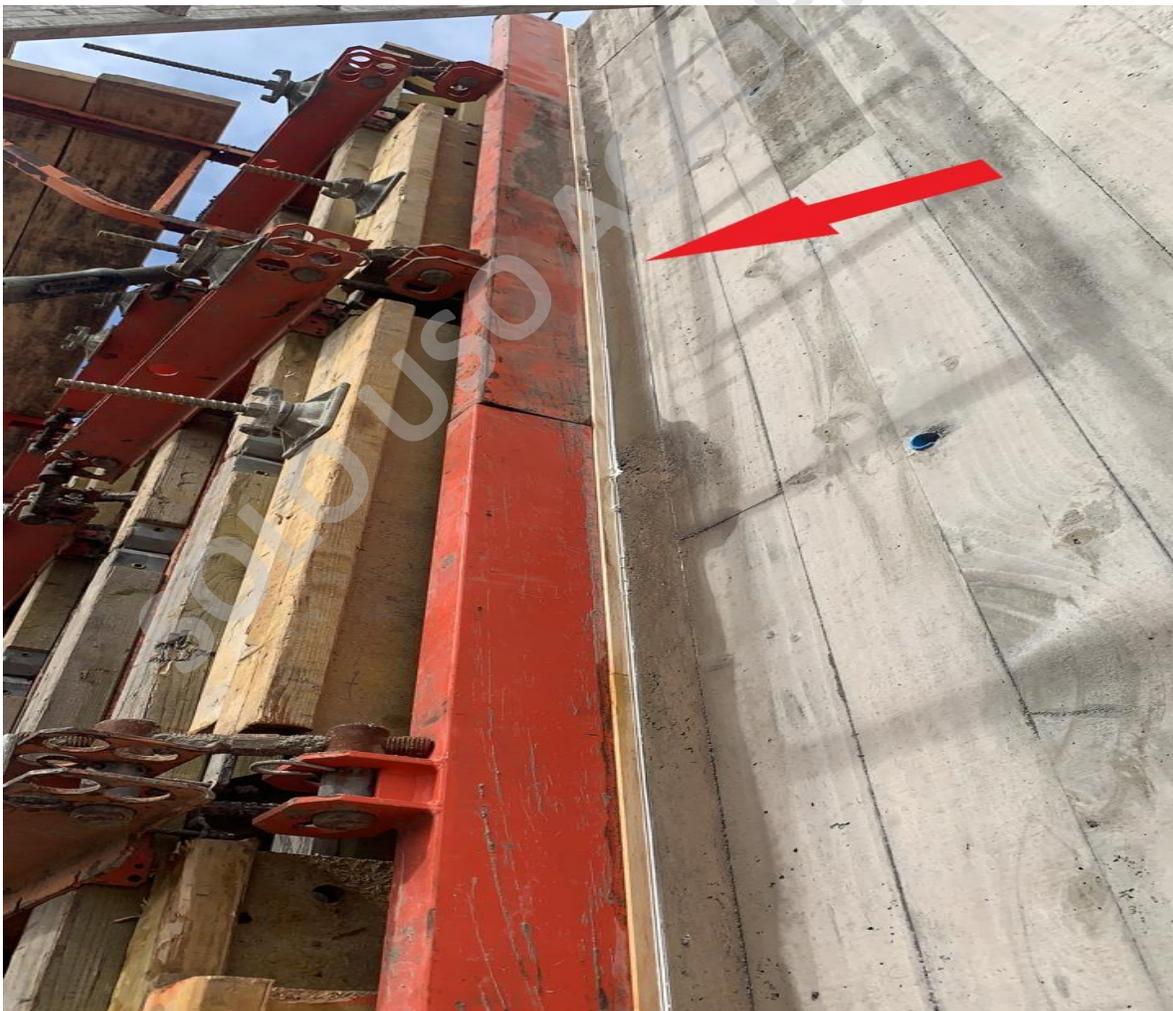


Nota. El resultado final de la solución es que no se ve la junta de la losa y el muro por el lado del diseño en tabla.

La estanqueidad del encofrado es fundamental en la ejecución de hormigón visto, por lo que el equipo de la constructora anticipó este desafío desde el inicio. Para prevenir problemas, se aplicó un cordón de silicona en todas las uniones entre el moldaje y el hormigón, como se muestra en la **Figura 41**. Adicionalmente, se calafateó con yeso el encuentro entre la losa y la parte inferior del panel del muro, dado que, según la experiencia, este es el punto donde más frecuentemente ocurren pérdidas de lechada.

Otro método aplicado consistió en mojar las tablas de madera que conformaban el diseño de la fachada hasta saturarlas superficialmente, realizándose este proceso un día antes de la faena de hormigonado. El objetivo era que la madera se expandiera al absorber el agua, mejorando la hermeticidad al presionar las uniones entre las tablas. Esto aseguraba que el machihembrado quedara firmemente ajustado, evitando cualquier espacio por donde pudiera fugarse la lechada.

Figura 41. *"Aplicación de cordón de silicona"*

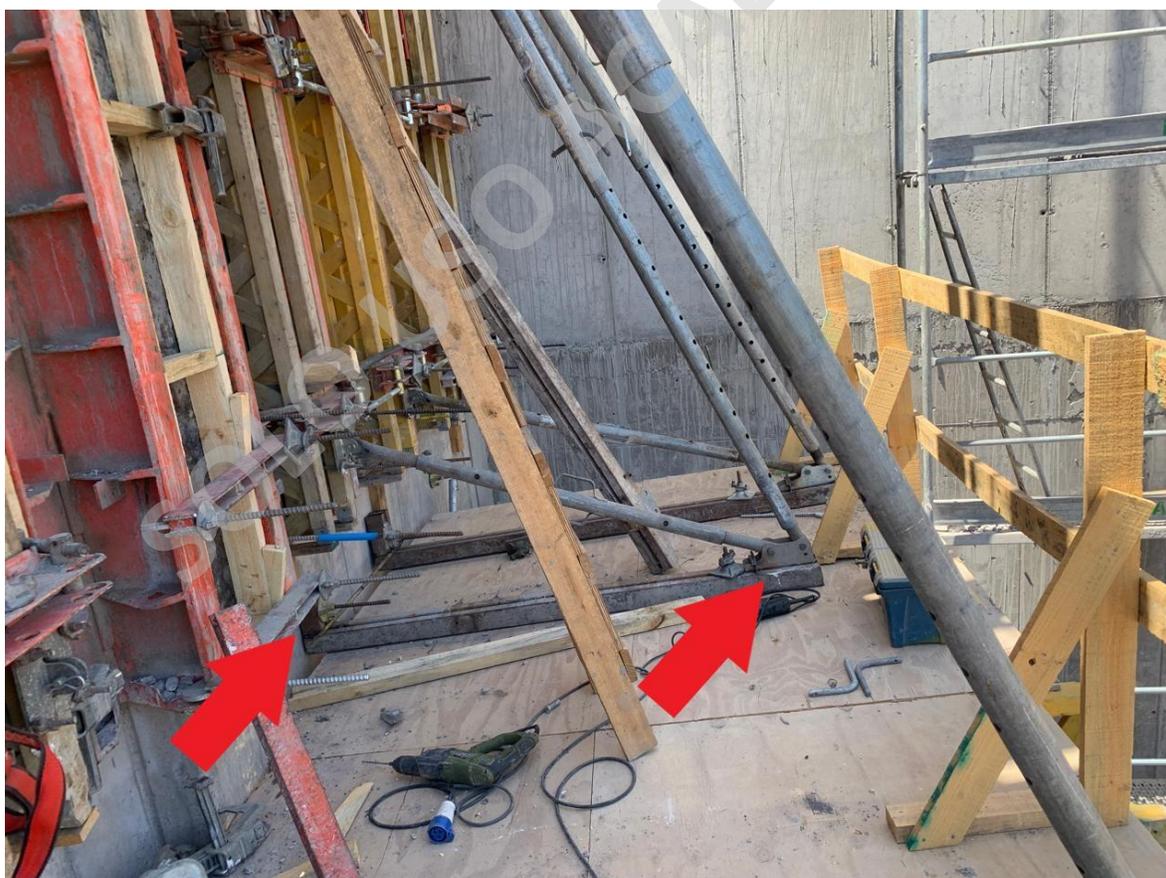


Nota. La flecha roja indica el cordón de silicona aplicado para evitar la fuga de lechada. Fuente propia.

Sin lugar a dudas, la solución que más tiempo tomó desarrollar fue la correspondiente a la ejecución de los muros del segundo piso, ya que en el lado exterior no había losa para afianzar los estabilizadores, los cuales eran fundamentales para proporcionar rigidez al muro. Como se mencionó anteriormente, la empresa proveedora PERI presentó una propuesta que fue rechazada porque comprometía la estética de la fachada. Sin embargo, esta propuesta sirvió como base para desarrollar una alternativa viable en terreno, lo que permitió avanzar con la ejecución.

La solución consistió en armar primero una plataforma alrededor de la parte exterior del muro, sobre la cual se colocaron tacos de madera que servirían como apoyo para la tapa exterior del moldaje. Además, se fabricaron escuadras metálicas con perfiles tubulares de 100x100x3 mm, de modo que una pata quedaba afirmada al muro mediante pasadores y tuercas. A estas escuadras se les soldaron piezas que recibían los pasadores y se reforzaron con otros pasadores adicionales que las afianzaban a la plataforma. Para evitar daños en la fachada, se aprovecharon las pasadas de agujas existentes. (Ver Figura 42).

Figura 42. *"Solución escuadra metálica a muros del 2° Piso"*



Nota. Las flechas rojas indican la pata de la escuadra que quedó amarrada al muro y la pieza del estabilizador soldada.

Para resolver el problema del escurrimiento de lechada en el encuentro entre la parte inferior del panel y la coronación del muro existente del nivel inferior, se reforzó el encofrado con agujas y tuercas para asegurar un buen ajuste, además de colocar cinta de goma esponja en el muro. La combinación de estos dos métodos redujo casi por completo el escurrimiento de lechada. En la Figura 43 se observa que el escurrimiento fue prácticamente nulo, y se aprecia el traslape de 3 cm entre el moldaje y el muro existente. Cabe destacar que se asignó un trabajador exclusivamente para lavar el muro inferior en caso de que hubiera escurrimientos de lechada, con el fin de evitar daños en la fachada ya terminada.

Figura 43. *"Unión de junta fría entre muro del 1° y 2° Piso"*



Nota. Las flechas indican el traslape de los elementos ala derecha y la poca pérdida de lechada a la izquierda.  
Fuente propia.

Con los aplomadores y estabilizadores afianzados en ambas caras del encofrado, el procedimiento de curvatura fue el mismo que en el primer piso. Se corrigieron las deformaciones ajustando los husillos de regulación, logrando una verticalidad dentro de las tolerancias permitidas y respetando el radio del diseño.

Como se destacó en el punto anterior, el operador del vibrador de inmersión presentó complicaciones de salud, lo que obligó a reemplazarlo provisionalmente con trabajadores de la misma cuadrilla. Sin embargo, los resultados no fueron los esperados. Para corregir este problema, la única opción disponible fue maquillar las imperfecciones del muro y tratar de replicar el diseño original en tabla.

En conclusión, es fundamental resolver los problemas que surgen durante la ejecución de las partidas, ya que en la mayoría de los casos se deben a errores humanos. Por esta razón, aunque se tomen todas las precauciones teóricas correspondientes, si no se aplican correctamente en la práctica o no existe una supervisión adecuada, es muy difícil lograr un buen resultado.

SOLO USO ACADÉMICO

## **7. CAPÍTULO V: IMPORTANCIA DE LOS PROVEEDORES Y LA MANO DE OBRA**

### **7.1. Rol crucial de los proveedores en la construcción de muros curvos de hormigón visto.**

Previo a la construcción de los muros de la fachada, la elección del proveedor de moldaje y hormigón era crucial, ya que, según la experiencia de la empresa, estas dos variables son determinantes en la estética y el estilo arquitectónico del hormigón visto. Es importante destacar que varios autores coinciden en que muchas fallas en la confección de las fachadas de hormigón visto se deben principalmente a estos factores. Por ejemplo, la revista ALZADA señala que la versatilidad de este material permite a ingenieros y arquitectos explorar expresiones artísticas cada vez más innovadoras, donde el hormigón desempeña un papel fundamental. Sin embargo, esta apreciación estética no siempre se acompaña de un conocimiento profundo de las precauciones necesarias en su aplicación. A menudo, se cometen errores en la dosificación del hormigón, el sellado de los encofrados o la compactación, lo que puede afectar la calidad arquitectónica deseada. A pesar de estas dificultades, el hormigón sigue siendo un material altamente deseado por su capacidad de adaptarse a diferentes formas y texturas, incluso conservando las imperfecciones del encofrado original (López Vidal & Bartolomé Muñoz, 2019, pág. 54).

Es por lo anterior que después de un exhaustivo análisis y evaluación de diferentes proveedores de encofrados, se tomó la decisión de colaborar con la empresa PERI. Esta elección se basó en su amplia experiencia en una variedad de proyectos complejos, así como en su compromiso con el desarrollo ingenieril, supervisión y capacitación continua de la mano de obra que se encargaría de modular y ensamblar los paneles. Dado que el diseño de la fachada presentaba una forma circular, se optó por utilizar el sistema RUNDFLEX de PERI (**Figura 44**). Este sistema, mediante paneles ajustables por medio de husillos, permite una rápida curvatura y adaptación a las plantillas diseñadas para alcanzar el radio requerido. Una vez instalados, los paneles se unen y aseguran para dar forma al elemento final.

Asimismo, el proveedor de hormigón seleccionado siempre por la constructora para hormigones vistos fue la premezcladora MELON HORMIGONES. Principalmente su elección es porque la tonalidad del hormigón proveniente de la planta Lo Espejo tiene un tono gris claro, y es del gusto de los Arquitectos. Es importante que, para asegurar una frecuencia en los camiones, cumplimiento de horarios y volumen solicitado en los despachos

masivos, se contrató también el servicio de bombeo con la planta, aunque casi todos los muros fueron vaciados mediante capacho.

Figura 44. "Sistema de encofrado PERI tipo Rundflex



Nota. Ejemplo de curvatura del Moldaje PERI tipo RUNDFLEX. Tomada de (PERI, 2024)

## 7.2. Necesidad de mano de obra altamente calificada y especializada.

Es un punto medular contar con mano de obra altamente especializada, que incluya topógrafos, trazadores, carpinteros, albañiles, concreteros y vibradoristas, para la ejecución exitosa de proyectos de hormigón visto con formas y acabados complejos. Además, es crucial mantener un programa continuo de capacitación y recibir asesoramiento por parte de las empresas proveedoras de materiales y sistemas constructivos. Esto garantizará que todo el equipo de trabajo esté debidamente preparado y actualizado para enfrentar los desafíos específicos de la construcción del proyecto. La **Figura 45** es un claro ejemplo de la importancia de contar con Mano de Obra competente y especializada.

Figura 45. "Revisión de Hermeticidad del moldaje tipo RUNDFLEX"



Nota. Carpinteros de la empresa Constructora Jorge Carrasco Farías revisan la hermeticidad y curvatura del encofrado tipo RUNDFLEX correspondiente a la fachada de hormigón visto Proyecto Floramatic. Fuente Propia.

En el proceso de vaciado del hormigón, el rol del operador del vibrador de inmersión es fundamental, ya que la compactación del hormigón es una de las tareas más críticas del hormigonado. Una vibración inadecuada no solo puede provocar problemas estéticos en la terminación del hormigón visto, sino que también puede afectar significativamente la calidad estructural del hormigón. Por cada 1% de aire atrapado adicional en la mezcla, la resistencia del hormigón tiende a disminuir, en promedio, un 5%. (Melón Hormigones., 2020, pág. 4)

## **8. CAPÍTULO VI: ELABORACIÓN DEL MANUAL DE RECOMENDACIONES TÉCNICAS**

### **8.1. Presentación del concepto y la estructura del manual**

Se consultaron distintas fuentes para poder revisar las principales características y contenidos básicos que debe tener un manual técnico, en síntesis, un manual nace ante la necesidad de poder traspasar conocimientos y experiencias específicas de forma práctica y adecuada de un tema determinado, con el fin que quien lo lea se vuelva rápidamente un entendido en el área.

Respaldando lo anterior, un texto consultado define que un "MANUAL" es un libro que reúne los aspectos más esenciales de un tema. En este contexto, los Manuales son cruciales para aumentar y aprovechar el conjunto de conocimientos y experiencias de individuos y organizaciones. Los Manuales representan una de las herramientas más efectivas para la transmisión de conocimientos y experiencias, ya que documentan la tecnología acumulada hasta ese momento sobre un tema específico (Álvarez Torres, 1996).

También es crucial considerar la estructura y los elementos clave en la elaboración de un manual técnico, con el objetivo de transmitir la información de manera clara y precisa. Para asegurar una experiencia satisfactoria para el usuario, el Diseñador Gráfico Byron Vargas, a través de su sitio web, recomienda definir claramente el público objetivo del manual, estructurar el contenido de manera lógica y organizada en secciones, emplear un lenguaje claro y evitar tecnicismos innecesarios. Además, es esencial proporcionar instrucciones claras y secuenciales (Vargas, 2024).

Después de haber revisado diferentes manuales de recomendaciones la estructura que comparten podría resumirse de la siguiente manera.

#### **8.1.1. Introducción Manual de Recomendaciones**

Esta sección presenta una reseña de la problemática que abordará el manual. Se define el objetivo del documento, se especifica a quién va dirigido y se delimita su alcance. Además, se incluye una breve reseña para contextualizar al lector sobre los desafíos específicos relacionados con la construcción de muros curvos de hormigón visto.

#### **8.1.2. Cuerpo del Manual de Recomendaciones**

Con la introducción establecida, se desarrolla la estructura del cuerpo del manual, en la cual se abordan de manera detallada los temas relevantes, organizados punto por punto. Para esta propuesta, se incluirán las siguientes secciones.

- **Elección del Proveedor y Consideraciones al Seleccionar el Moldaje:** Se presentan recomendaciones para elegir proveedores confiables y aspectos técnicos clave a evaluar en los sistemas de moldaje, tales como la capacidad de adaptación a curvaturas y la calidad de los componentes.
- **Consideraciones en la Partida de Enfierradura:** Puntos clave para asegurar la correcta colocación de la armadura, incluyendo la importancia del recubrimiento, el uso de separadores y la técnica de ajuste de la enfierradura hacia la cara no visible en muros con terminación vista.
- **Montaje de los Moldajes:** Procedimientos para la instalación correcta de los moldajes, garantizando la hermeticidad y estabilidad del sistema. Se incluirán recomendaciones sobre la revisión de la curvatura y la importancia de ajustar los husillos de regulación.
- **Vaciado y Compactación del Hormigón:** Instrucciones sobre los métodos de colocación del hormigón, ya sea por bomba o capacho, y la importancia de una compactación adecuada mediante vibradores de inmersión para evitar segregaciones y defectos superficiales.
- **Juntas Frías:** Un apartado específico que detallará el tratamiento de las juntas frías, incluyendo la preparación de la superficie y la importancia de saturarla antes del nuevo vaciado para asegurar una adecuada adherencia.
- **Curado del Hormigón:** Consideraciones sobre los métodos de curado para evitar la pérdida de humedad en el hormigón, prevenir fisuras por retracción y asegurar que el elemento alcance la resistencia deseada.
- **Supervisión en Terreno:** Importancia de la supervisión constante para garantizar que se sigan correctamente los procedimientos establecidos y se mantenga la calidad del producto final

### 8.1.3. Conclusiones del Manual de Recomendaciones.

Tal como lo dice el título, se concluye el documento proporcionado información de como cumplió los objetivos explicados en la introducción y como se obtendrán resultados positivos al aplicar el manual.

## **8.2. Propuesta “MANUAL DE RECOMENDACIONES TÉCNICAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS CURVOS DE HORMIGÓN VISTO”**

### **8.2.1. INTRODUCCIÓN.**

Este manual presenta una serie de recomendaciones técnicas basadas en la experiencia adquirida durante la ejecución del proyecto Floramatic y otros casos de estudio. El objetivo es proporcionar lineamientos claros para enfrentar los desafíos asociados con la construcción de muros curvos de hormigón visto, asegurando tanto la calidad estética como estructural del resultado final

### **8.2.2. RECOMENDACIONES TÉCNICAS**

#### **8.2.2.1. Elección del proveedor y materialidad del encofrado**

Es esencial conocer el diseño antes de seleccionar el tipo y proveedor de moldaje a utilizar.

**Moldaje de Madera:** Se recomienda para formas y diseños específicos con radios variables, especialmente en muros únicos. Se sugiere rutear las placas para otorgarles flexibilidad y elaborar plantillas con la forma de la curva para facilitar su instalación.

**Moldajes Mixtos:** Para muros repetitivos y de gran volumen, se recomiendan moldajes mixtos modulares con capacidad de regulación del radio de curvatura. El sistema Rundflex de PERI es ideal por combinar madera y acero, ofreciendo flexibilidad y estabilidad, y permitiendo ajustes precisos gracias a sus husillos de regulación.

**Control de Calidad:** Es fundamental verificar que todos los componentes del moldaje, incluidos husillos y estabilizadores, hayan pasado un riguroso control de calidad. Los husillos deben estar correctamente etiquetados y diferenciados para su instalación según las especificaciones de diseño.

#### **8.2.2.2. Consideraciones en la partida de enfierradura**

**Ajuste de Enfierradura:** Desplazar ligeramente la enfierradura hacia la cara no visible en muros con terminación vista, asegurando un recubrimiento uniforme y evitando la exposición de las barras de acero.

**Uso de Separadores:** Colocar separadores plásticos de manera adecuada para asegurar el recubrimiento especificado y evitar que los fierros queden expuestos, lo cual podría comprometer la estética y durabilidad del muro.

### **8.2.2.3. Preparación y montaje de moldajes.**

**Revisión de Planos:** Revisar si existe alguna interferencia entre el diseño de Arquitectura y otros elementos que puedan dañar la estética de la fachada.

**Inspección Previa:** Comparar la modulación ejecutada con los planos de montaje entregados por el proveedor de encofrados para asegurar su correcta instalación.

**Hermeticidad:** Aplicar cordones de silicona en todas las uniones del moldaje y cinta de goma esponja en puntos críticos como la base del panel y la coronación del muro inferior para evitar la pérdida de lechada. Si el diseño de la fachada incluye madera, es recomendable saturar la superficie con agua un día antes del hormigonado del elemento, para que la madera se hinche y mejore la hermeticidad.

### **8.2.2.4. Vaciado y compactación del hormigón.**

**Programación del Hormigonado:** Cubicar con un margen de error al alza para evitar la falta de material durante el vaciado, lo cual podría generar juntas frías que comprometan la calidad estética del muro. También considerar los tiempos de vaciado para programar de acuerdo a la frecuencia de camiones correcta.

**Métodos de Vaciado:** Al usar bomba, considerar el volumen mínimo que se cobrará y asegurarse de contar con suficiente espacio para su instalación. Si se utilizan capachos y grúas torre, es recomendable disponer de más de un capacho para mantener un flujo constante de material.

**Compactación:** Disponer de al menos dos vibradores de inmersión de alta frecuencia y contar con operadores capacitados, ya que una compactación inadecuada puede causar segregaciones y nidos de piedra.

### **8.2.2.5. Juntas frías de hormigonado.**

**Preparación de Juntas:** Picar y limpiar adecuadamente las superficies de contacto en las juntas frías para asegurar la adherencia entre capas de hormigón. Saturar con agua antes del nuevo vaciado para evitar que la superficie absorba el agua de amasado.

### **8.2.2.6. Curado del Hormigón.**

**Métodos de Curado:** Cubrir la parte superior de los muros con plástico y arena inmediatamente después del vaciado para evitar la pérdida de agua. No descimbrar el muro hasta haber cumplido un mínimo de 3 días. Después de retirar el moldaje, regar los muros cada 8 horas durante 3 a 4 días para mantener la humedad y evitar fisuras por retracción plástica.

#### **8.2.2.7. Supervisión en terreno.**

**Revisión Constante:** Asignar un supervisor para verificar la correcta instalación y ejecución en cada etapa del proceso, asegurando que se sigan los procedimientos y se mantenga la calidad esperada en el hormigón visto.

**Documentación Fotográfica:** Realizar registros fotográficos de cada fase del proceso para identificar posibles problemas y documentar soluciones efectivas.

#### **8.2.3. Conclusión del Manual de Recomendaciones.**

Este manual ofrece una guía práctica para la construcción de muros curvos de hormigón visto, resaltando la importancia de una adecuada planificación, selección de materiales y supervisión del equipo de trabajo. Seguir estas recomendaciones permitirá obtener resultados estéticamente satisfactorios y muros estructuralmente sólidos, minimizando los riesgos de fallas comunes en este tipo de proyectos.

SOLO USO ACADÉMICO

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9.1. Conclusión del Estudio.

El desarrollo de esta tesis tuvo como objetivo principal la elaboración de un manual de recomendaciones técnicas para la construcción de muros curvos de hormigón visto, utilizando como caso de estudio la fachada del edificio Floramatic. A lo largo de este trabajo, se analizaron en detalle los desafíos y soluciones enfrentados durante la ejecución de este tipo de estructuras, abarcando desde la selección de proveedores hasta la instalación de moldajes y la correcta aplicación de técnicas de vaciado y compactación.

Los resultados obtenidos demuestran que la construcción de muros curvos de hormigón visto presenta una serie de complejidades que requieren un enfoque integral y una coordinación constante entre todos los actores involucrados. La elección del encofrado adecuado y la preparación minuciosa de la enfierradura son fundamentales para asegurar una correcta ejecución y evitar fallas estéticas o estructurales. Asimismo, la importancia de una correcta compactación y tratamiento de las juntas frías quedó evidenciada como una de las claves para garantizar la calidad del acabado del hormigón visto.

La experiencia adquirida en la ejecución del proyecto Floramatic y los conocimientos recopilados de otras fuentes bibliográficas permitieron establecer un conjunto de directrices que buscan minimizar los riesgos y asegurar un resultado estéticamente satisfactorio y sin problemas estructurales. La implementación de prácticas como la revisión continua de la curvatura del moldaje, la aplicación de sistemas de hermeticidad en las uniones y la supervisión rigurosa durante todo el proceso son esenciales para alcanzar los estándares de calidad deseados.

Además, el estudio reveló la importancia de adaptarse a las condiciones específicas de cada proyecto, ya que aspectos como la altura del muro y la complejidad del diseño influyen significativamente en la planificación y ejecución de los trabajos. La necesidad de soluciones prácticas y la capacidad de respuesta ante problemas imprevistos, como los ajustes en los estabilizadores en muros superiores, resaltan la importancia de contar con un equipo de trabajo altamente capacitado y con experiencia en hormigones vistos.

Finalmente, la creación del manual de recomendaciones técnicas propuesto en esta tesis busca servir como una herramienta práctica para futuros proyectos, ofreciendo un enfoque sistemático y basado en la experiencia para enfrentar los desafíos de la construcción de muros curvos de hormigón visto. Su implementación no solo contribuirá a mejorar la calidad del producto final, sino que también optimizará los procesos constructivos y fortalecerá la

planificación y supervisión en terreno, asegurando que los resultados cumplan con los más altos estándares de diseño y ejecución.

## **9.2. Recomendaciones.**

Dado que muchos errores en la ejecución de hormigón visto son conocidos y repetitivos, la aplicación del presente manual proporcionará las directrices necesarias para abordar las problemáticas cuando se presenten. Se recomienda utilizar el “Manual de Recomendaciones Técnicas para la Construcción de Muros Curvos de Hormigón Visto” como una guía fundamental para la planificación y ejecución de proyectos con características similares. Este manual es un compendio de procedimientos y buenas prácticas, basado en conocimientos técnicos, experiencias reales y bibliografía de respaldo, que facilitará la toma de decisiones y reducirá los errores comunes.

La integración y coordinación entre arquitectos, ingenieros calculistas y constructores son esenciales para evitar incongruencias entre el diseño y la ejecución. Es necesario promover un enfoque colaborativo desde la fase de diseño hasta la construcción, garantizando que las especificaciones técnicas sean coherentes y que los desafíos específicos, como las densidades de armadura en muros curvos, sean resueltos de manera conjunta.

Invertir en la formación y capacitación de los trabajadores es crucial, especialmente en la ejecución de hormigones vistos. Los errores en la compactación y el manejo del encofrado pueden comprometer tanto la estética como la integridad estructural del muro; por lo tanto, contar con personal calificado y actualizado en técnicas constructivas es determinante para el éxito del proyecto. Asimismo, es fundamental disponer de supervisión constante en todas las etapas del proceso, asignando un responsable que verifique periódicamente la curvatura del muro, la correcta aplicación de técnicas de hermeticidad, el adecuado vibrado del hormigón y el tratamiento de las juntas frías.

Finalmente, es imprescindible desarrollar la capacidad de adaptarse y evaluar soluciones técnicas según las condiciones particulares de cada proyecto. Dado que los proyectos de muros curvos de hormigón visto suelen ser únicos, es necesario ajustarse a las especificidades de cada obra, tales como el tipo de curvatura, altura de los muros, texturas y diseños de terminación, condiciones del terreno y otros factores externos. Por ello, es fundamental ser flexible al tomar decisiones y contar con la capacidad de respuesta adecuada frente a los problemas que puedan surgir

## 10.REFERENCIAS

### 10.1. Referencias

- Aguilar Huerta, J. R., Barreto Rivera, U., & Atapaucar, B. (2023). Encofrados de madera y metálicos en muros de corte y su desempeño respecto al número de usos y costo. *Universidad, Ciencia y Tecnología*, 27(119), 89-98. Obtenido de <https://doi.org/10.47460/uct.v27i119.710>
- Álvarez Torres, M. G. (1996). *Manual para elaborar manuales de políticas y procedimientos*. Col.San Rafael, México: Panorama editorial.
- ArchDaily Team. (17 de Febrero de 2017). *Cómo se construyeron los muros inclinados y curvos que dan forma a la última obra de Toyo Ito en México*. Recuperado el 18 de Agosto de 2024, de ArchDaily en Español: <https://www.archdaily.cl/cl/804947/materiales-innovadores-museo-internacional-del-barroco-de-toyo-ito>
- Casado Terán, J., Barrientos González, M., Ramos Paños, J., & Abellán, J. A. (1997). EDIFICIO DE OCIO Y ESPECTÁCULOS. PLAZA DE TOROS EN MÓSTOLES, MADRID/ESPAÑA. *Informes de la Construcción*, 48(447), 5-14. Obtenido de <https://doi.org/10.3989/ic.1997.v48.i447.971>
- Cifuentes, G. L. (ENERO de 2012). ¿Qué es el hormigón arquitectónico? *REVISTA INGENIERIA DE OBRAS CIVILES*, 37-46. Obtenido de <https://revistas.ufro.cl/ojs/index.php/rioc/article/view/1965>
- Condominio Industrial ENEA. (2022).
- Díaz, C., Cornadó, C., & Vima, S. (2015). El uso del hormigón armado en los sistemas estructurales de los edificios y I Congreso Internacional Hispanoamericano. 531-540.
- FLORAMATIC SPA. (2019). *Nosotros*. Obtenido de Av Marathon Floramatic: <https://www.floramatic.com/nosotros/>
- Ganderats, C. (2020). *Memorial Uc San Carlos Apoquindo 026*. Obtenido de Bial de Iluminación: <https://bial.iluminet.com/proyectos/2024/memorial-universidad-catolica-apoquindo/>
- GOOGLE EARTH. (2023). Obtenido de <https://earth.google.com/web/@-33.43814791,-70.78005375,486.3317651a,238.7102446d,35y,-177.72265687h,51.008256t,0r/data=OgMKATA>

- Guillermo Hevia Arquitectos SPA. (2019). Especificaciones Técnicas. *Edificio Corporativo y Planta Productiva Floramatic*. Santiago.
- Guillermo Hevia Arquitectos SPA. (Agosto de 2020). Elevaciones. *Detalle Moldaje de Fachada, 0*.
- Instituto Nacional de Normalización - INN. (1985). *NCh170 .Of85. Hormigón – Requisitos Generales*. Santiago, Chile: INN - Chile. Obtenido de <https://www.inn.cl/>
- Leon Gonzalez, G. R. (1977). Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, IMCYC. (*Tesis de licenciatura*). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Arquitectura, MX. Obtenido de <http://132.248.9.195/pmig2020/0075641/Index.html>
- López Vidal, A., & Bartolomé Muñoz, C. (DICIEMBRE de 2019). Fachadas de hormigón arquitectónico. Industrialización, eficiencia y estética. *ALZADA*, 52-57. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12251/1678>
- López, A., Zerbino, R. L., & Traversa, L. P. (2009). Evolución tecnológica del hormigón visto empleado en estructuras, monumentos y esculturas. *VIII Jornada Técnica de Restauración y Conservación del Patrimonio.*, (pág. 16). La Plata. Obtenido de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/44372>
- Mansilla Torres, S. E. (2003). Hormigón Arquitectónico [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. *Capítulo IV. Moldajes*. Repositorio Digital, Valdivia, Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfcim288h/html/index-frames.html>
- Martínez, C. A., Díaz, J. F., & Duque, R. (Noviembre de 2019). Diseño del encofrado para muros usando encofrados modulares. *TecnoLógicas*, 22, 1-18. Obtenido de <https://doi.org/10.22430/22565337.1509>
- Melón Hormigones. (Abril de 2020). Recomendaciones Desmoldante. Santiago, Chile. Obtenido de <https://asesoria.melon.cl/recomendaciones>
- Melón Hormigones. (Abril de 2020). Recomendaciones Compactación del hormigón. Santiago, Chile. Obtenido de <https://asesoria.melon.cl/recomendaciones>
- Mindola Robayo, D. M. (1997). *Hormigón Arquitectónico [Tesis de Grado, Escuela Superior Politécnica del Litoral]*. Repositorio Digital, Guayaquil. Obtenido de <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/32478>

- Ministerio de las Culturas, las Artes y el Patrimonio. (2015). *Arquitecturas Inusuales. 011\_centro de innovación uc*. Obtenido de [https://inusuales.cl/011\\_centro-de-innovacion-uc/#](https://inusuales.cl/011_centro-de-innovacion-uc/#)
- Oyarzún, F. P., Pinochet, R. B., Saldívar, C. V., & Lozano, Y. M. (2021). *CIMENTANDO EL CENTENARIO: EL HORMIGÓN EN TRES EDIFICIOS DE SANTIAGO DE CHILE A COMIENZOS DEL SIGLO XX*. Concepción: Atenea 523. doi:10.29393/At523-409FPCC40409
- PERI. (Junio de 2012). RUNDFLEX Encofrado circular. *Instrucciones de montaje y uso para la configuración estándar*. Obtenido de <https://mc.peri.com/pinaccess/pinaccess.do?pinCode=sJd5Wk2rSNqp>
- PERI. (Mayo de 2021). Plano de Montaje. *1° Piso - Plantas Muro Exterior*.
- PERI. (Marzo de 2023). *Proyectos*. Obtenido de Floramatic: <https://www.peri.cl/projects/skyscrapers-and-towers/floramatic.html>
- PERI. (s.f.). *Encofrado Circular RUNDFLEX*. Obtenido de PERI: <https://www.peri.cl/products/formwork/wall-formwork/rundflex-circular-wall-formwork.html>
- Polpaico. (2018). *AGRIETAMIENTO POR RETRACCION PLÁSTICA*. Técnico. Obtenido de <https://www.polpaico.cl/hormigones/documentos-tecnicos/>
- Polpaico. (Agosto de 2021). Manual del Constructor. A, 21. Recuperado el Julio de 2024, de <https://www.polpaico.cl/hormigones/documentos-tecnicos/>
- Roldán Medina, F. J. (2018). *Geometría y métrica en la planta circular del Palacio de Carlos V*. Universidad Internacional de Andalucía. doi:10.56451/10334/5480
- Silva, O. (28 de Junio de 2024). *UNA REFERENCIA ARQUITECTÓNICA EN CONCRETO: UNITÉ D HABITATION DE MARSELLA, FRANCIA*. Obtenido de 360 en concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/unite-habitation-marseille-francia-referencia-en-concreto/>
- Suazo, C. (Abril de 13 de 2014). *MOLDAJES EN LA CONSTRUCCIÓN*. Obtenido de <https://cristiansuazoaipe.blogspot.com/2014/04/moldajes-en-la-construccion.html>
- Toirac Corral, J. (Enero.Marzo de 2004). Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón ; origen y prevención. *Ciencia y Sociedad*, 29(1), 72-114. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87029104>

- Trüb, U. (1977). *Superficies de hormigón visto*. (E. T. S.A., Ed., & A.-J. Rivas, Trad.) Barcelona, España: Reverte. Recuperado el 2024
- Valcuende, M., Parra, C., & Jarque, C. (2007). Homogeneidad de los hormigones autocompactantes. *Materiales de Construcción*, 57(287), 37-52. Obtenido de <https://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/view/55/68>
- Vargas, B. (10 de Febrero de 2024). *Guía completa para redactar un manual técnico: consejos y mejores prácticas*. Obtenido de Byron Vargas: <https://www.byronvargas.com/web/como-redactar-un-manual-tecnico/>
- Vidaud, E. (2013). Fisuras en el concreto; Síntoma o enfermedad? *Construcción y Tecnología en concreto*, 1(45), 20-23.

SOLO USO ACADÉMICO