



Universidad Austral de Chile

Facultad de Ciencias de la Ingeniería

Escuela de Ingeniería en Construcción

**“MOLDAJES RUGOSOS PARA ELEMENTOS
DE HORMIGÓN QUE HAN
DE ESTUCARSE”**

Tesis para optar al Título de:
Ingeniero Constructor

Profesor Guía:
Sr. Heriberto Vivanco Bilbao.
Constructor Civil, especialidad Obras Civiles
Ingeniero Comercial

JOSÉ ALEJANDRO OYARZO VILLEGAS

VALDIVIA – CHILE

2007

DEDICATORIA

Debo comenzar mi memoria dedicando este trabajo a aquellas personas que mi Dios me dió y que siempre estuvieron presentes durante los últimos cinco años de esta etapa de mi vida, y también a aquellos que sin su constante presencia aportaron motivación y apoyo.

Mis amados padres están viendo recompensados sus esfuerzos, su dedicación, su preocupación, y en definitiva su amor, en este trabajo que concluye una carrera que en un principio se veía difícil de sostener, pero que a pesar de esto prosperó y pudo finalizarse con éxito. Papi José y Mami Flor a ustedes dedico el resultado de estos años de estudio, para empezar a retribuir todo lo que han significado en mi vida.

Mis hermanitas tienen parte importante también en la dedicación de este trabajo. Kathy ha estado a mi lado toda mi vida consciente, pero fue en esta última etapa que aprendí a valorarla más que nunca. Coni llegó como otro regalo de mi Dios dos años antes que emprendiera el viaje, y sin duda fue un rayito de luz que ayudó a iluminar mis pasos. Para ustedes amadas hermanitas sea este trabajo.

Mami Gueja, Chenano, Tía Yine y K-nito completan el círculo familiar más íntimo que merece parte especial en esta dedicatoria. Su incondicional apoyo merece tributo.

Finalmente quisiera dedicar este esfuerzo a mis hermanos en Cristo, tanto a aquellos que me vieron nacer y crecer en Puerto Montt, como a aquellos que me acogieron los cinco años que estuve en Valdivia. Además a mis amigos, a todos aquellos que puedan sentirse aludidos con esta palabra tan necesaria, amistad. Y por último a ti, mi costilla pérdida, en donde creo completaré mi felicidad, en donde estoy seguro encontraré la parte que siempre he estado esperando.

AGRADECIMIENTOS

“ Dad gracias en todo, porque esta es la voluntad de Dios para con vosotros en Cristo Jesús. ”

1 Tesalonicenses 5:18

No estaría escribiendo estas líneas si no fuera por la persona más importante en toda mi existencia, a quien no me siento digno de dedicar trabajo alguno que no sea para su entera gloria, a mi Dios y Señor Jesucristo. A Él le debo todo lo que tengo y todo lo que he logrado, por lo que esta es la parte en la cual corresponde expresarle mi reconocimiento y adoración.

Menciono nuevamente a mis padres, hermanas, tía, abuelos, amigos, y hermanables, y les agradezco por cada muestra de amor y apoyo que me brindaron en los momentos en que los necesitaba, y para que decir de las provisiones materiales que nunca faltaron. También extendiendo el agradecimiento a los demás parientes que no alcanzo a enumerar, a todos mis tíos y primos que alguna vez se hicieron presentes, aún con un buen deseo.

A mis amigos, compañeros de estudio, y futuros colegas. Alex, Feña, Rubén, Willy, Andrés y Gustavo merecen mención aparte, pero inclúyanse también los demás.

A mis profesores, a aquellos que con cada clase fueron cultivando el conocimiento y forjando el perfil profesional. Y a todo el personal universitario.

A don Pedro y señora que desinteresadamente y como si me hubiesen conocido de siempre me extendieron la mano y facilitaron un lugar donde desarrollar mi vida estudiantil. Gracias por la casita que me cobijó los 5 años, y gracias a mi compañero Daniel.

Y para terminar a todos los que apoyaron de alguna manera en la realización de esta tesis. En especial a mi hno Andrés Kluge y familia, gracias por sus ideas y aportes, y a don René Delgado por facilitarme sus dependencias y ayuda. Agréguese los que faltaron.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICES	
RESUMEN	
ABSTRACT	
INTRODUCCIÓN	
OBJETIVOS	
METODOLOGÍA	
ESTRUCTURACIÓN	
GLOSARIO	
 <u>CAPÍTULO I.-</u>	
ANTECEDENTES PRELIMINARES	1
1.1.- <u>Marco Teórico - Conceptual</u>	1
1.1.1.- Soluciones Existentes	1
1.1.1.1.- Puntereo Mecánico	2
1.1.1.2.- Agente Promotor de Adherencia	4
1.1.1.3.- Malla Metálica	4
1.1.2.- Soluciones Propuestas Anteriormente	6
1.1.2.1.- Utilización de Lámina de Plástico de Embalar	6
1.1.3.- Conceptos Relativos a los Moldajes	8
1.1.3.1.- Características de los Moldajes	8
1.1.3.2.- Variedades de Moldajes	9
1.2.- <u>Consideraciones Previas</u>	15

CAPÍTULO II.-

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO	17
2.1.- <u>Descripción de la Manera de Trabajo</u>	17
2.2.- <u>Descripción General del Proceso de Trabajo</u>	19
2.3.- <u>Definición del los Prototipos de Moldaje a Fabricar</u>	19
2.3.1.- Tipos y Características de los Moldajes a Fabricar	19
2.3.2.- Descripción de los Materiales a Utilizar	20
2.3.2.1.- <i>Para el Moldaje de Madera</i>	20
2.3.2.2.- <i>Para el Moldaje Metálico</i>	21
2.3.3.- Estudio del Método a Utilizar para Lograr la Rugosidad	22
2.3.3.1.- <i>Para el Moldaje de Madera</i>	22
2.3.3.2.- <i>Para el Moldaje Metálico</i>	23
2.4.- <u>Descripción de la Fabricación de los Prototipos</u>	24
2.4.1.- Fabricación Moldaje de Madera	24
2.4.2.- Fabricación Moldaje Metálico	28
2.5.- <u>Confección de las Muestras de Elementos de Hormigón</u>	33
2.5.1.- Utilización de los Moldajes Rugosos	33
2.5.2.- Confección del Hormigón	36
2.5.3.- Llenado del Molde	39
2.5.4.- Protección y Curado de la Muestra	41
2.6.- <u>Realización de Pruebas y Ensayos</u>	43
2.6.1.- Materiales, Equipos y Herramientas Utilizadas	46
2.6.2.- Descimbre de los Moldajes	51
2.6.3.- Prueba de Trabajabilidad	58
2.6.4.- Ensayo de Consistencia	63
2.6.5.- Ensayo de Resistencia Mecánica	65
2.6.6.- Ensayo de Adherencia	73

CAPÍTULO III.-

RESULTADOS, ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE LOS ENSAYOS	89
3.1.- <u>Resultados de los Ensayos</u>	89
3.1.1.- Resultados del Ensayo de Consistencia	89
3.1.2.- Resultados del Ensayo Resistencia Mecánica	90
3.1.3.- Resultados del Ensayo de Adherencia	93
3.2.- <u>Análisis de Resultados</u>	94
3.5.- <u>Síntesis de los Ensayos</u>	99

CAPÍTULO IV.-

ESTUDIO COMPARATIVO CON MÉTODOS TRADICIONALES	101
4.1.- <u>Resumen de Eficiencia y Ventajas</u>	101
4.2.- <u>Análisis Estimativo de Disminución de Costos</u>	102
4.3.- <u>Evaluación de Proyección al Mercado</u>	104
 CONCLUSIONES	 106
 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 108

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
Nº 1 : Puntereo Mecánico Tradicional de Muro	3
Nº 2 : Estucado sobre Malla Metálica	5
Nº 3 : Moldaje con Aplicación de Lámina de Plástico	7
Nº 4 : Cadena Texturada después de Aplicada la Lámina de Plástico	7
Nº 5 : Moldaje con Tablas en la Construcción de Vigas	10
Nº 6 : Moldaje de Madera con Placa de Terciado en Sobrecimiento	11
Nº 7 : Moldajes Metálicos en la Construcción de Muros	12
Nº 8 : Moldajes Prefabricados de Madera Integrados con Moldajes Metálicos	12
Nº 9 : Sistema de Moldajes Deslizantes en la Construcción de Pilar de Puente	13
Nº 10 : Armado Estructura Moldaje de Madera	25
Nº 11 : Inicio de Colocación de Clavos Tapiceros en el Moldaje de Madera	26
Nº 12 : Acercamiento Colocación de Clavos Tapiceros	26
Nº 13 : Avance en la Colocación de los Clavos Tapiceros	27
Nº 14 : Moldaje de Madera Terminado con Todos los Clavos Tapiceros	27
Nº 15 : Armado Estructura Moldaje Metálico	28
Nº 16 : Inicio Colocación Tornillos en el Marco del Moldaje Metálico	29
Nº 17 : Colocación Terciado Adicional en la Parte Posterior del Moldaje Metálico	30
Nº 18 : Avance en la Colocación de los Tornillos (parte frontal)	31
Nº 19 : Acercamiento Colocación de Tornillos	32
Nº 20 : Avance en la Colocación de los Tornillos (parte posterior)	32
Nº 21 : Moldajes Terminados en el Laboratorio	33
Nº 22 : Moldajes Preparados en el Laboratorio para Recibir el Hormigón	34
Nº 23 : Moldajes Armados con las Placas Laterales	35
Nº 24 : Separación de los Moldajes para el Espesor del Muro de Muestra	35

Nº 25	: Equipos y Herramientas Utilizados en la Confección del Hormigón	38
Nº 26	: Resultado Final de la Mezcla Confeccionada para la Muestra	39
Nº 27	: Llenado del Molde por Capas (primera capa)	40
Nº 28	: Vibrado del Hormigón en cada Capa (segunda capa)	40
Nº 29	: Muestra de Hormigón Terminada y Enrasada	41
Nº 30	: Curado y Protección de las Muestras con Arpilleras Húmedas	42
Nº 31	: Herramientas Utilizadas para la Preparación del Mortero	47
Nº 32	: Discos Fijadores para el Ensayo de Adherencia	50
Nº 33	: Adhesivo Epóxico para el Ensayo de Adherencia	51
Nº 34	: Retiro de las Placas Laterales del Molde	52
Nº 35	: Descimbre Moldaje de Madera	53
Nº 36	: Rebaje del Canto Superior del Muro para el Descimbre del Moldaje Metálico	54
Nº 37	: Progreso en el Descimbre del Moldaje Metálico	54
Nº 38	: Descimbre Moldaje Metálico	55
Nº 39	: Resultado del Moldaje de Madera sobre la Superficie del Muro de Hormigón	55
Nº 40	: Acercamiento de la Superficie Lograda con el Moldaje de Madera	56
Nº 41	: Resultado del Moldaje Metálico sobre la Superficie del Muro de Hormigón	56
Nº 42	: Acercamiento de la Superficie Lograda con el Moldaje Metálico	57
Nº 43	: Separación del Muro de Muestra en Dos Muros Iguales	57
Nº 44	: Preparación de los Morteros para Estuco	58
Nº 45	: Chicoteo de Muro Realizado con Moldaje Metálico	59
Nº 46	: Pulido y Afinado del Estuco con Llana de Albañil	60
Nº 47	: Estuco Terminado para Muro Correspondiente al Moldaje Metálico	60
Nº 48	: Chicoteo de Muro Realizado con Moldaje de Madera	61
Nº 49	: Estuco Terminado para Muro Correspondiente al Moldaje de Madera	62
Nº 50	: Protección con Arpilleras para Estucos Terminados	63
Nº 51	: Enrasado de Cono Reducido en Ensayo de Consistencia	64

Nº 52 : Retiro del Cono para Realizar Medición de Asentamiento	65
Nº 53 : Colocación Segunda Capa en el Molde Rilem para ser Compactada	69
Nº 54 : Pesado de Probeta Desmoldada	69
Nº 55 : Probeta Situada con los Rodillos en la Máquina de Flexión	70
Nº 56 : Probetas Rilem para Ensayo de Flexión a los 28 Días	71
Nº 57 : Probetas Rilem Ensayadas a la Flexión a los 28 Días	71
Nº 58 : Máquina de Compresión Ensayando los Trozos de las Probetas Rotas a Flexión	72
Nº 59 : Trozo de Probeta Rota a la Compresión	72
Nº 60 : Formación Probetas con Anillo Marcador en Muro para Ensayo de Adherencia	76
Nº 61 : Desprendimiento de Estuco de Muro Antes de Realizar el Ensayo	78
Nº 62 : Mezclado y Preparación de Adhesivo en Base a Resinas Epóxicas	78
Nº 63 : Colocación Discos Fijadores con Adhesivo Sobre Probetas	79
Nº 64 : Pesos Conocidos Utilizados para Aplicar la Carga de Tracción Directa	81
Nº 65 : Disposición de los Implementos Usados para Lograr la Aplicación de la Carga	82
Nº 66 : Cordel Traccionado Aplicando Carga sobre Disco Fijador	82
Nº 67 : Rompimiento Probeta de Estuco Realizado en Muro de Moldaje de Madera	83
Nº 68 : Pesos Utilizados para Rompimiento Primera Probeta Ensayada	83
Nº 69 : Desestabilización de la Disposición Adoptada para la Realización del Ensayo	84
Nº 70 : Acondicionamiento y Refuerzo de los Muros de Muestra Ensayados	85
Nº 71 : Pesado de Pesos Extras para Intentar Rompimiento en Tercera Probeta	86
Nº 72 : Carga Soportada sin Rompimiento por Tercera Probeta Ensayada	87
Nº 73 : Desestabilización del Sistema Habilitado para Contener los Pesos Conocidos	88
Gráfico Nº 1: Grado Mínimo Recomendado por Norma contra Grados Obtenidos	95
Gráfico Nº 2: Adherencia Mínima Recomendada contra Adherencias Obtenidas	96
Gráfico Nº 3: Relación entre Grados y Adherencias de Morteros	98
Gráfico Nº 4: Disminución de Costos Estimada para Edificio de 2000 m ²	103

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
Nº 1 : Resultados Obtenidos para Ensayo de Consistencia	89
Nº 2 : Expresión de Resultados Equivalentes para Ensayo de Consistencia	90
Nº 3 : Resultados Obtenidos para Ensayo de Resistencia Mecánica	91
Nº 4 : Expresión de Resultados para Ensayo de Resistencia Mecánica	92
Nº 5 : Media Aritmética y Conversión de Resultados Obtenidos a los 28 Días	92
Nº 6 : Resultados Obtenidos para Ensayo de Adherencia	93
Nº 7 : Expresión de Resultados para Ensayo de Adherencia	94
Nº 8 : Paralelo que Resume Ventajas de la Utilización de Moldajes Rugoso	101
Nº 9 : Costo Aproximado por m ² de Superficie de los Métodos Existentes	102

RESUMEN

La identificación de un problema adecuado es la clave para el nacimiento de un trabajo que pretenda aportar a lo ya conocido, y que persiga encontrar una solución perdurable en el tiempo. Se sabe que en la construcción de edificios y viviendas, muchos elementos de hormigón necesitan un tratamiento pre-estuco para que posteriormente el mortero se adhiera al paramento, tratamiento que muchas veces resulta más engorroso que el propio proceso de revoque. El objetivo principal de esta memoria de tesis es proponer una solución para el tratamiento necesario antes del estuco que sea distinta a las existentes, principalmente al puntereo, que es la más recurrente. Esta solución consiste en moldajes rugosos los cuales dejarán apto el hormigón para ser estucado inmediatamente después del descimbre. Aquí se describe en detalle el proceso de fabricación de éstos, pruebas y ensayos realizados, análisis, y conclusiones finales.

ABSTRACT

The identification of a suitable problem is the key for the birth of a job that it tries to contribute to the well-known already, and that it persecutes to find a lasting solution in the time. One knows that in the construction of buildings and houses, many concrete elements need previous treatment stucco so that later mortar adheres to the element, treatment that often is more troublesome than the own process from stucco. The primary target of this thesis memory is to propose a solution for the treatment necessary before stucco different from the existing ones, mainly to the pecked, that is most recurrent. This solution consists of rough molds, which will let the concrete to be stuccoed immediately apt after strips. Here one describes in detail the made process of manufacture of these, made test, final analyses, and conclusions.

INTRODUCCIÓN

En el amplio campo de la construcción, y en realidad en toda ciencia práctica, especialmente las relacionadas con la ingeniería, siempre pueden identificarse problemáticas que surgen por el natural desarrollo del arte propiamente tal, o por la necesidad de dar solución a un asunto anteriormente no considerado o considerado de poca relevancia en el proceso. En este sentido la identificación de un problema resulta relativamente sencillo, pero si profundizamos un poco más con la finalidad de investigarlo, estudiarlo y quizás resolverlo, nos daremos cuenta que muchos de esos problemas ya han sido analizados y provistos de variadas soluciones dependiendo del contexto general en el que se encuentren. *Por lo tanto no tan sólo se trata de identificar un problema, sino más bien de identificar un problema adecuado.*

De esta manera al plantearme el desafío del proyecto de tesis de titulación tuve como propósito emprender una tarea que trajera algún beneficio al rubro de la construcción como una profesión que, al igual que muchas otras, trasciende más allá de los estudios teóricos, por lo que la posibilidad de identificar un problema real, constante, y común en las obras es relativamente alta, sobretodo en nuestro país en dónde aún nos encontramos a una distancia considerable de los altos estándares de eficiencia y calidad de los países desarrollados.

La presente memoria de tesis nace del proyecto de investigación realizado para la asignatura Métodos y Técnicas de la Investigación, correspondiente al octavo semestre de la carrera. En particular el *Capítulo I* se extrae íntegramente de dicho trabajo y por consiguiente esta información recopilada desde las fuentes originales (ver referencias bibliográficas respectivas) constituye la base de este documento, ya que gran parte de las ideas enunciadas en ese trabajo fueron desarrolladas más ampliamente, trasladadas a un contexto más próximo, y por supuesto llevadas a cabo.

En lo último consiste básicamente el trabajo de tesis: Materializar aquella idea incipiente del proyecto de investigación a partir de un análisis de factibilidades de las distintas dimensiones que encierra el proyecto para su realización. Por esta razón este documento se basa en un lenguaje descriptivo, sencillo, y apoyado con muchas imágenes, que sirven para acercar más claramente al lector a la experiencia involucrada en esta tesis.

Planteamiento general del problema

Como se citó en un comienzo la identificación de un problema adecuado es la clave para el nacimiento de un trabajo que pretenda aportar a lo ya conocido, y que persiga encontrar una solución perdurable en el tiempo.

Con esto en mente se llegó al mundo de los muros, pilares, cadenas, y elementos de hormigón en general. Más precisamente al proceso de revoque (o estuco) de dichos elementos de hormigón. Es sabido que estos elementos necesitan un tratamiento pre-estuco para que posteriormente el mortero se adhiera al elemento, tratamiento que muchas veces resulta más engorroso que el propio proceso de revoque. El problema en este asunto radica en que a todas luces esta etapa de estucado puede optimizarse mucho más, en cuanto a recursos y tiempo se refiere. En la práctica es un proceso rústico y anti-constructivo que hasta los días de hoy se sigue manteniendo. En el marco teórico se profundizará más acerca de las soluciones existentes en la actualidad. Por lo pronto corresponde mencionar que la solución propuesta apunta a los moldajes para el hormigón.

Justificación de la investigación

La alternativa que surgió de la investigación tiene relación con la posibilidad de utilizar moldajes, o complementos para moldajes (como láminas superficiales), que provean a

los elementos de hormigón una terminación rugosa, los cuales evidentemente serán reutilizables y nos entregarán una superficie lista, una vez desmoldado el elemento de hormigón, para recibir el mortero sin la necesidad de realizar tratamientos post-descimbre. En esta línea la investigación se justifica por el sólo hecho de constituir en sí misma una solución mucho más económica que las existentes, ya que de todas maneras se ahorraría un paso en la etapa de revoque de elementos de hormigón.

Por la investigación realizada se ha constatado que ya se han llevado a cabo investigaciones similares apuntando al mismo fin, pero este proyecto de tesis consiste en una forma aún más económica y perdurable. Representa una atractiva solución, la cual sin lugar a dudas ameritaba evaluarse, incluso para poder ser concretada a nivel empresarial a futuro (lo cual es bastante viable considerando que se trata de una simple modificación superficial, en sentido literal, de los moldajes tipo ya existentes), ya que contribuiría en el mejoramiento de la calidad y eficiencia de una etapa importante en la construcción de edificios y viviendas.

OBJETIVOS

Generales

- Proponer una solución para el tratamiento antes del estuco distinta a las existentes, principalmente al puntereo que es la más recurrente. Esta solución consiste en moldajes rugosos, los cuales dejarán apto el hormigón para ser estucado inmediatamente después del descimbre.
- Optimizar al máximo los recursos, obteniendo resultados de alta calidad y contribuyendo al mejoramiento de las obras de construcción y de su proceso.

Específicos

- Eliminar el tratamiento intermedio entre el desmolde o descimbre de los elementos de hormigón y el estucado de éstos.
- Estudiar la alternativa de fabricación de moldajes rugosos, y acto seguido proceder a materializar los prototipos respectivos.
- Evaluar a partir de ensayos prácticos la efectividad y trabajabilidad del sistema propuesto.
- Analizar las ventajas comparativas del nuevo sistema y considerar la proyección de este al mercado.

METODOLOGÍA

La metodología está enfocada a lograr una adecuada comprensión de los conceptos, procesos y conclusiones involucradas en esta memoria de tesis. Para lo cual se utiliza una estructura lingüística directa, simple y descriptiva. Esto sumado al uso recurrente de imágenes facilita la asimilación por parte del lector de las ideas desarrolladas, ya que muchas veces al desconocerse la situación real estas se tornan demasiado abstractas.

Con este fin lo primero que se expondrá serán aquellos términos y definiciones usadas en las distintas etapas de este proyecto. Además de establecer el marco teórico necesario para la correcta contextualización del desarrollo de la metodología de trabajo.

Seguidamente se entrará de lleno a describir el procedimiento relacionado con la fabricación de los moldajes. Esta parte constituye la esencia de todo el trabajo de tesis por lo que se le dará la importancia y extensión que amerita dentro del cuerpo de este documento. De esta manera se describen minuciosamente los aspectos iniciales que condicionaron la materialización de los moldajes y posterior experiencia con ellos. Luego se detallan los pasos seguidos dentro del proceso de fabricación, hasta la culminación de éstos. Posteriormente se presenta la forma en la cual fueron utilizados los moldajes para poder realizar al final la evaluación de acuerdo a los objetivos planteados inicialmente. Con respecto a esto debe mencionarse que en sí este trabajo de tesis no apunta a obtener resultados numéricos ni estadísticos, si no más bien a comprobar la efectividad práctica de la solución propuesta, por lo que los ensayos que se realizaron para estos efectos pueden considerarse complementarios y no fundamentales.

Finalmente, y como se insinuó antes, todo el desarrollo de la tesis desemboca en los análisis, estudios, y conclusiones respecto a la experiencia adquirida en este proyecto.

ESTRUCTURACIÓN

La estructura del tema obedece a la secuencia lógica enunciada anteriormente en la metodología. De esta manera después de definir el alcance y contexto general de la presente memoria, principalmente con la introducción, objetivos y glosario de términos, se procederá a presentar el *CAPÍTULO I.- de Antecedentes Preliminares*, que incluye el marco teórico y algunas consideraciones previas necesarias para el desarrollo. De algún modo representa la prolongación de lo anterior, pero debido a su extensión y contenido específico se presenta en un capítulo aparte.

El *CAPÍTULO II.-* corresponde al *Desarrollo de la Metodología de Trabajo* en el cual se describe detalladamente el itinerario seguido desde las gestiones iniciales hasta los ensayos correspondientes, pasando por la *Definición de los Prototipos de Moldajes a Fabricar*, la *Descripción de la Fabricación de los Prototipos*, y la *Confección de las Muestras de Elementos de Hormigón*, que constituyen las divisiones más relevantes del capítulo.

Posteriormente se continúa con el *CAPÍTULO III.-* que comprende los *Resultados, Análisis y Conclusiones de los Ensayos*. Éste se enfoca en lo concerniente a los ensayos realizados a los morteros, es decir, *Resultados del Ensayo de Consistencia*, *Resultados del Ensayo de Resistencia Mecánica*, y *Resultados del Ensayo de Adherencia*, más que a los resultados y conclusiones generales del desarrollo, las que serán presentadas al final.

Para terminar se llega al *Estudio Comparativo con Métodos Tradicionales* que constituye el *CAPÍTULO IV.-* Aquí se realiza en términos globales un paralelo con los sistemas conocidos en cuanto a eficiencia y costos, además de una hipotética incursión en el mercado. Todo esto es seguido y consumado con las conclusiones, bibliografías y anexos respectivos.

GLOSARIO

Absorbencia: atracción que ejerce una superficie sólida sobre un fluido con el que está en contacto, de modo que las moléculas de éste penetren en ella.

Adherencia: resistencia que opone un recubrimiento a ser separado de la superficie donde está colocado, al aplicarle una fuerza de tracción.

Agua de amasado o agua libre: agua que contiene el hormigón fresco, descontada el agua absorbida por los áridos hasta la condición de saturado superficialmente secos.

Conglomerante: producto que al reaccionar químicamente con agua, generalmente en forma estable e irreversible, endurece y adquiere resistencia (por ejemplo: cemento hidráulico, cemento de albañilería, cales hidráulicas).

Consistencia: grado de fluidez del mortero fresco que depende fundamentalmente de la fase líquida y del contenido y características de los componentes sólidos.

Compresión: esfuerzo al que se somete una probeta y que ejerce la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a disminuir su volumen hasta producir la rotura.

Curado: protección del hormigón de agentes externos que puedan alterar sus propiedades, necesario principalmente en la etapa de endurecimiento.

Chicoteo: proceso manual que consiste en arrojar el mortero al paramento a recubrir con la finalidad que éste se adhiera a el.

Desmolde (Descimbre): proceso de retiro de los moldajes una vez que el hormigón ha endurecido y es capaz de autosoportarse.

Dosificación: las cantidades de los distintos materiales expresados en masa o volumen que constituyen un determinado volumen de hormigón o mortero.

Flexión: esfuerzo al que se somete una probeta y que ejerce la acción de una fuerza transversal a ella hasta producir la rotura.

Grado del mortero: denominación que se asigna a los morteros para clasificarlos de acuerdo a su resistencia a la compresión a los 28 días expresada en MPa.

Granulometría: distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas (granos) que constituyen un árido.

Hormigón: material que resulta de la mezcla de agua, arena, grava, cemento, eventualmente aditivos y adiciones, en proporciones adecuadas que, al fraguar y endurecer, adquiere resistencia.

Imprimante: producto líquido que disminuye la absorbencia del sustrato al ser colocado sobre su superficie.

Moldaje: estructura temporal destinada a sostener a la estructura definitiva y a ser retirada una vez que tal estructura haya alcanzado una resistencia adecuada. Deben contener al hormigón durante el fraguado reteniendo al agua para hidratación.

Mortero: mezcla constituida por cemento, arena y eventualmente otro material conglomerante que con adición de agua reacciona y adquiere resistencia. También puede tener algún otro producto para mejorar sus propiedades siempre que cumpla los requisitos según su uso.

Mortero de revestimiento continuo (Estuco): mortero que se aplica a una superficie base para mejorar la terminación. Puede estar compuesto de capa de adherencia y capa de terminación.

Probeta: muestra normalizada a la cual se le realiza el ensayo.

Resinas epóxicas: polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.

Retentividad: capacidad del mortero de retener el agua de amasado ante solicitudes externas de absorción o succión.

Resistencia mecánica: tensión máxima que soporta el mortero (de compresión, de tracción, de flexión, de hendimiento, etc.).

Rugosidad: característica de una superficie no lisa.

Sustrato: superficie sobre la que se extiende el recubrimiento (estuco).

Tracción directa: fuerza de separación aplicada en un segmento del recubrimiento, en sentido perpendicular a la superficie.

CAPÍTULO I.- ANTECEDENTES PRELIMINARES

1.1.- Marco Teórico - Conceptual

Desde hace mucho tiempo en las obras de edificación existe la necesidad de revestir los elementos estructurales, fundamentalmente para protegerlos del ambiente externo y para brindarles una acabada apariencia estética. En el caso particular de elementos de hormigón y en menor grado de albañilería armada estos revestimientos se denominan estucos o revoques de mortero cemento - arena, o enlucidos de yeso en el caso de las losas.

En los paramentos de albañilería la adherencia del estuco no presenta mayores inconvenientes debido a la superficie irregular que se forma por la conjugación entre ladrillos y mortero de pega. Pero para muros de hormigón la adherencia del estuco se dificulta ya que los muros de obra gruesa presentan una superficie prácticamente lisa debido a los moldajes que tradicionalmente se usan.

1.1.1.- Soluciones Existentes

Para lograr obtener una superficie rugosa en los elementos de hormigón se han propuesto algunas alternativas. Pero pese a esto la gama de variantes no es muy abultada, ya que se reconocen en general tres maneras de lograr la adherencia del mortero. Estas son:

- Puntereo mecánico convencional.
- Aplicación de un agente promotor de adherencia.
- Colocación de papel fieltro y malla metálica.

1.1.1.1.- Puntereo Mecánico

Lo que tradicionalmente se hace es brindarle una porosidad a la superficie de hormigón mediante un procedimiento mecánico que consiste en picotear el elemento, para de esta manera proveerle de orificios repartidos lo más uniformemente posible y que simulen un acabado rugoso. Este procedimiento se conoce comúnmente como puntereo (ver Figura N° 1), y se lleva a cabo a través de herramientas como picotas, combo y punto, o en el mejor de los casos con demoledores o rotamartillos eléctricos.

Sin embargo este procedimiento va evidentemente en contra de los ideales constructivos, ya que no sólo consiste en un procedimiento destructivo, si no que además implica un considerable gasto de recursos y tiempo que pueden ser aprovechables en otras actividades relativas a la construcción. Podemos resumir algunos de los múltiples inconvenientes al momento de efectuar el puntereo mencionados por Vielma y Rojas (2003):

- Disponer de personal, distrayéndolo de otras faenas más provechosas.
- Disponer de herramientas apropiadas para tal efecto, con gasto de reparación a corto plazo.
- Trabajo de bajo rendimiento, es decir, se ocupa demasiado tiempo atrasando partidas cronológicas inmediatas a esta.
- Deterioro en algún grado del elemento que se está golpeando, sobretodo que poseen corta vida a ese momento, resentimiento estructural del hormigón.

- Operación casi rudimentaria, que involucra un alto grado de ocurrencia de accidentes del trabajo.
- Anarquía en el procedimiento, ya que generalmente las características del puntereo pueden diferir significativamente entre operadores distintos: profundidad del puntereo, espaciamientos entre puntos, energía del golpe aplicado, dureza superficial del hormigón, posición del elemento picado (frontal, sobre cabeza, inclinado).

Figura N° 1

PUNTEREO MECÁNICO TRADICIONAL DE MURO



Fuente: VIELMA, E. 2003.

1.1.1.2.- *Agente Promotor de Adherencia*

El agente promotor de adherencia descrito por Cave S.A. (2005) consiste en una sustancia líquida que se aplica directamente sobre la superficie del hormigón. Se usa integrado con áridos especiales. Se aplica como imprimación sobre estructuras que van a ser recubiertas con enlucidos de yeso o estucadas con mortero de cemento, dejando una superficie rugosa. Su tratamiento es similar al de cualquier pintura corriente. Podemos nombrar algunas de sus características más relevantes, según el fabricante:

- Viene listo para ser usado, es de fácil y rápida aplicación. Se debe agitar para mantener la uniformidad durante la aplicación.
- Se aplica como imprimante con brocha o rodillo. Es importante obtener el rendimiento especificado y la textura rugosa uniforme en toda la superficie.
- Adicionalmente, puede avanzar la imprimación independiente del avance de la aplicación del yeso o estuco.
- La superficie de adherencia y la rugosidad que se obtiene es similar a la obtenida con el puntereo.

1.1.1.3.- *Malla Metálica*

La otra alternativa se relaciona con el uso de mallas de alambre que van dispuestas sobre el elemento a estucar, tal como se aprecia en la Figura N° 2. Se pueden distinguir los siguientes pasos (PETRO – MUR, 2005):

- 1) Cubrir la superficie con papel fieltro, en capas traslapadas.
- 2) Luego instalar malla de metal desplegado (o malla gallinero) apernada en tarugos cada 10 centímetros con golilla diamante.
- 3) A continuación se chicotea con mezcla de mortero simple (cemento, agua y arena), para que cubra superficialmente la malla y se deja secar (fragar) por 12 horas.
- 4) Por último se aplica un mortero fino para el acabado superficial del elemento.

Figura N° 2

ESTUCADO SOBRE MALLA METÁLICA



Fuente: PETRO-MUR. 2005.

Los tres procedimientos antes mencionados para obtener una superficie rugosa en el hormigón, demandan en la práctica un trabajo por así decirlo extra, en el sentido de que si bien se cumple parcialmente la finalidad, se está trabajando de manera doble, y no se están optimizando todos los recursos. Por esta razón conviene intentar buscar otra solución que resulte un poco más eficiente.

En este sentido este trabajo no es el primero que ha evidenciado este problema, y que ha pretendido encontrarle una solución.

1.1.2.- Soluciones Propuestas Anteriormente

1.1.2.1.- Utilización de Lámina de Plástico de Embalar

En Octubre de 2003, en las XIV Jornadas Chilenas del Hormigón justamente en la ciudad de Valdivia se presentó un proyecto de investigación con la finalidad de presentar una nueva solución al problema que se ha venido mencionando, en el cual se evaluaron también las soluciones planteadas anteriormente, principalmente la solución tradicional del puntereo.

El método propuesto en ese entonces consiste en la aplicación de láminas de plástico con esferas de aire (aquéel plástico comúnmente usado en embalaje de productos frágiles) sobre los moldajes que dan cabida a hormigones cualquiera sea su función constructiva según Vielma y Rojas (2003). Las láminas pueden ser adheridas con corchetes industriales, como se muestra en la Figura N° 3.

Una vez que se ha desmoldado el elemento de hormigón se obtiene una superficie rugosa (ver Figura N° 4), con lo que se cumple el objetivo de proveer al hormigón de las cavidades necesarias para que se pueda adherir el estuco de mortero.

Figura N° 3

MOLDAJE CON APLICACIÓN DE LÁMINA DE PLÁSTICO



Fuente: VIELMA, E. 2003.

Figura N° 4

CADENA TEXTURADA DESPUÉS DE APLICADA LA LÁMINA DE PLÁSTICO



Fuente: VIELMA, E. 2003.

Los buenos resultados del procedimiento anterior son el punto de partida para la investigación que aquí se desarrolla. *A priori* el resultado en los elementos de hormigón utilizando moldajes rugosos debería aproximarse bastante a los resultados obtenidos con las láminas de plástico.

Después de haber revisado los antecedentes necesarios respecto a las soluciones existentes para la problemática planteada, queda definir algunos conceptos y clasificaciones relativas a los moldajes, que como se ha dicho al principio, serán la base de la solución desarrollada en este proyecto de investigación.

1.1.3.- Conceptos Relativos a los Moldajes

1.1.3.1.- Características de los Moldajes

Según Domarchi (2004) todos los moldajes deben cumplir con las siguientes condiciones generales:

- *Forma:* deben reproducir fielmente las formas y dimensiones del elemento constructivo que se va a hormigonar en él, según especificaciones de arquitectura y/o ingeniería.
- *Resistencia:* deben resistir el peso y los empujes del hormigón hasta que éste adquiera la resistencia necesaria para soportar por sí solo.
- *Estanqueidad:* deben ser impermeables, evitando en lo posible las pérdidas de lechada.
- *Impermeabilidad:* no deben absorber el agua de amasado pues afectarían a los procesos químicos que se producen durante el fraguado del hormigón.
- *Inmovilidad:* deben ser fijos y permanentes, sin sufrir ningún tipo de movimiento bajo las acciones del vertido y compactación del hormigón. Las tolerancias generalmente

admitidas son de 5 mm. para los movimientos locales y de una milésima de la longitud de la pieza para los del conjunto.

- *Rigidez:* deben ser indeformables bajo las acciones de cargas, de cambios de temperatura o de humedad. Las tolerancias de deformaciones son, generalmente, de un 1/300 de la luz en piezas flexionadas, y de 8 mm. de flecha máxima de planeidad en parámetros, medida sobre regla de 2 m. de longitud.
- *Adherencia:* no deben ser adherentes al hormigón, a no ser que se trate de moldajes perdidos.
- *Sencillez:* deben permitir el rápido y fácil montaje y desmoldado, con la mayor economía posible de tiempo y dinero. En este aspecto es necesario destacar la decisiva influencia que tiene el número de piezas iguales a hormigonar en la solución constructiva a adoptar.

1.1.3.2.- Variedades de Moldajes

Existe una amplia gama de materiales en los que se confeccionan moldajes, de entre los cuales es necesario seleccionar alguno específico para cada obra. Al seleccionar el tipo de moldaje a usar se debe tener en cuenta una serie de factores; el principal es la naturaleza del trabajo y las condiciones en que será realizado. También se deben considerar en la selección las posibilidades de reutilización del molde, la secuencia constructiva, la capacidad y experiencia de los encargados de manejar el molde, las facilidades de uso, los costos, etc.

Por su disponibilidad, economía y facilidad de trabajo en terreno, tradicionalmente se ha hecho uso de moldajes de madera; pero para proyectos modernos, de larga duración, se han desarrollado materiales más durables, resistentes y manejables. Entre las variedades de moldaje usados y descritos por Domarchi (2004) en la actualidad se destacan:

- *Moldaje tradicional con tablas de madera:* se confeccionan con tablas de álamo o pino insigne de 3,2 m. de largo, las que se unen convenientemente para dar forma al molde. Estos fueron de los primeros moldajes que se fabricaron en construcción; su uso tiende a desaparecer pues emplean demasiada mano de obra y ocupan mucho tiempo en su fabricación, instalación y desmolde. Además, no permiten un alto grado de reutilización sin destruirse (soportan 1 uso).

Figura N° 5

MOLDAJE CON TABLAS EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIGAS



Fuente: PLATAFORMA ARQUITECTURA. 2006.

- *Moldajes prefabricados de madera terciada:* son moldajes fabricados con tableros de madera terciada, son del tipo modular, por lo que ocupan menos mano de obra; son más reutilizables, incluso es posible que en muchos casos resulten más económicos que los tradicionales, dado su mayor número de usos; son fáciles de manejar, instalar y desmoldar (soportan hasta 8 usos).

Figura N° 6

MOLDAJE DE MADERA CON PLACA DE TERCIADO EN SOBRECIMIENTO



Fuente: CDT. 2007.

- *Moldajes metálicos:* consistentes en paneles metálicos unidos a bastidores (de barras metálicas) que contribuyen a la conservación de su forma y resistencia a la flexión. En el campo de la industrialización del proceso constructivo, los moldajes metálicos han aportado una gran variedad de soluciones en donde se obtienen altos rendimientos de construcción, alta durabilidad de los moldajes, y reproducciones geométricas de la arquitectura de mucha perfección. Normalmente son de tipo modular, fáciles de manejar y garantizan una superficie pareja. Su principal inconveniente es la dificultad de aplomo en pilares de altura superior a los 4m (soportan hasta 40 usos). Entre las variedades de moldajes metálicos se encuentran:
 - o EFCO: son moldajes modulares formados por piezas relativamente pequeñas que se unen dando forma al elemento que se desea hormigonar. Son fáciles de armar y desarmar y cuentan con sistemas de conectores y de alineamiento especiales.

o OUTINORD: moldajes compuestos por piezas monolíticas de grandes dimensiones que dan forma al hormigón en dos etapas: vertical (para muros y columnas) y horizontal (para losas). Permiten un trabajo rápido y con poco personal, además son versátiles y dan buenas terminaciones.

Figura N° 7

MOLDAJES METÁLICOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE MUROS



Fuente: ALFE. 2007.

Figura N° 8

MOLDAJES PREFABRICADOS DE MADERA INTEGRADOS CON MOLDAJES METÁLICOS



Fuente: SAN MARTÍN, E. 2005.

- *Moldajes deslizantes:* son aquellos moldajes que se desplazan en dirección vertical u horizontal a medida que el hormigón se fragua. El desplazamiento se hace mediante el uso de elementos impulsores (tales como gatas hidráulicas) y su velocidad depende del fraguado únicamente. Una condición básica para que este tipo de moldaje sea realmente eficiente es que la alimentación de hormigón debe ser permanente, de lo contrario se producirán juntas frías. Su uso principal está en la construcción de silos y estanques, pero se ha usado también en edificios.

Figura N° 9

**SISTEMA DE MOLDAJES DESLIZANTES EN LA CONSTRUCCIÓN DE PILAR DE
PUENTE**



Fuente: GOB. SANTAFÉ. 2007.

- *Moldajes de fibra:* se usan generalmente para dar formas variadas a las piezas a construir, aprovechando la facilidad de obtener moldes de fibra de formas complicadas mediante el uso de la técnica del vaciado. Para tal efecto se procede a construir la forma constructiva a hormigonar, moldeándola, y una vez obtenida esta pieza patrón, se utiliza de molde para fabricar los moldajes de fibra. Por regla general estos moldajes se utilizan sólo una vez, porque obtenida la forma patrón es más fácil construir tantos moldajes como se necesiten, que al desmoldar permite que no haya deterioros.

- *Moldajes cerámicos:* los moldajes cerámicos son de muy variadas aplicaciones, y en casi todas ellas las piezas cerámicas quedan como moldajes perdidos, mejorando las condiciones aislantes del elemento constructivo que se hormigona. Existen sistemas constructivos patentados que han sido utilizados en Chile con bastante éxito.

- *Moldajes de hormigón:* los moldajes de hormigón se emplean preferentemente en industria de prefabricados de grandes dimensiones, como lo son el caso de vigas pre o post tensadas de puentes y otros. Estos se emplean fijos, enclavados en el terreno, siendo las piezas hormigonadas las que se retiran.

- *Moldajes de plástico:* la utilización, cada vez más fuerte en el mercado de la construcción, de los materiales de plástico ha alcanzado también el mercado de los moldajes, gracias a las siguientes propiedades:
 - 1) Facilidad de obtención de piezas de formas muy variadas, gracias a su fabricación por estampado o multicapas.
 - 2) La perfección de las superficies del hormigón que se obtiene.

3) Son moldajes rígidos, pero estancos.

4) Bajo consumo de desmoldantes. Todo esto ha hecho que el plástico rígido se aplique fundamentalmente como moldaje de forjados encasetonados y de elementos de doble curvatura.

- *Moldajes perdidos*: corresponden a elementos que sirven de molde para ser recubiertos con mortero u hormigón por ambas caras posteriormente y así dar origen a estructuras resistentes. Los moldajes de este tipo pueden ser de poliestireno expandido con malla de refuerzo de acero (tipo paneles Covintec, por ejemplo) o de otros materiales similares.

1.2.- Consideraciones Previas

Con el marco conceptual definido queda reafirmar los propósitos de la investigación en cuanto a que: por ser el moldaje la estructura que contiene temporalmente a los elementos de hormigón y la cual le dará la forma final, resulta evidentemente conveniente en relación a los objetivos, el aprovechar tal estructura para proveer al hormigón de la rugosidad necesaria para recibir el mortero de estuco.

A partir de esto último se descarta de plano la alternativa mencionada en la *Justificación de la Investigación* (ver *Introducción*) que hacía referencia a la utilización de complementos para moldajes, ya que de algún modo es lo que encontramos en el proyecto citado en el capítulo anterior, vale decir aquel de las láminas con esferas de aire.

En definitiva la solución se reduce a lograr de alguna manera una superficie rugosa que sea parte integral del moldaje, es decir, que este posea en sus características físicas

permanentes la propiedad de entregar el acabado necesario al hormigón para que este reciba directamente el estuco de mortero.

El tipo de moldaje a fabricar y el proceso para llevar a cabo esta tarea depende de la forma de trabajo y los recursos de los cuales se dispuso en el mismo desarrollo de la tesis. Aspectos que serán descritos en extenso en los capítulos siguientes.

CAPÍTULO II.- DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO

En este capítulo se describirá detalladamente el proceso de realización del trabajo de tesis, desde las mismas gestiones para la fabricación de los moldajes hasta la concepción final de éstos, y posteriores ensayos. Por esta razón constituye el capítulo más extenso y de mayor importancia en toda la memoria de tesis.

2.1.- Descripción de la Manera de Trabajo

La manera de trabajo hace alusión básicamente a dos posibilidades precon sideradas:

- 1) Con apoyo empresarial.
- 2) De manera particular, sin apoyo empresarial.

La idea primaria era contar con respaldo de alguna fábrica de moldajes a nivel regional o nacional que estuviese dispuesta a cooperar con la fabricación de los prototipos de moldajes. Valiéndose de las dependencias, materiales, equipos, y experiencia que lógicamente posee al respecto una empresa dedicada al rubro.

El paso inmediato fue averiguar acerca de la existencia de estas fábricas en el país, para lo cual se recurrió a Internet por la facilidad y eficiencia que posee este medio.

Después de recorrer el web para buscar, contactar y conseguir algún tipo de asesoramiento de aquellas empresas afines dedicadas al rubro, se hizo necesario emprender en forma particular la tarea de fabricación de los prototipos. Esto se debió principalmente a tres factores:

- 1) Las empresas contactadas eran exclusivamente de la Región Metropolitana, por lo que se hacía muy difícil el asesoramiento por un tema de recursos.
- 2) El rubro de moldajes en Chile se centra más en el arriendo de estos, que en su fabricación. Por lo tanto era poco probable conseguir apoyo en este sentido.
- 3) La probabilidad de sufrir algún tipo de plagio o copia de la idea era alta. Considerando que puede resultar en un buen proyecto de negocios si se maneja adecuadamente.

De esta manera se debió planificar la fabricación de los moldajes a partir de materiales accesibles y procesos relativamente simples. Para ello se recurrió a varias empresas de la ciudad de Valdivia para gestionar algún aporte en materiales o algún beneficio de venta y/o entrega. Entre ellas Asenav, Ferretería Valdivia y Barraca de Fierros Las Ánimas, por nombrar las más relevantes. Esto sumado al aporte de la Escuela de Ingeniería en Construcción para la compra de algunos materiales hizo posible la fabricación de los moldajes.

La Figura A.1 (ver *Anexos*) muestra un croquis preparado previamente, el cual refleja el modelo primario pensado para la confección del moldaje. Con esto se facilitaron las gestiones para conseguir ayuda externa, debido a que ello mostró cierta claridad en el proyecto que se pensaba realizar.

En el punto 2.3.2.- se describirán cada uno de los materiales gestionados para la consecución de los prototipos de moldajes definitivos.

2.2.- Descripción General del Proceso de Trabajo

Como se desprende del ítem anterior el proceso de trabajo se definió una vez establecido la forma en la cual se realizaría la fabricación de los moldajes.

El primer paso luego de las gestiones para conseguir los materiales, consistía en reunir éstos en un lugar conveniente que asegurara un adecuado almacenamiento de éstos y la posibilidad de trabajar dependiendo de la disponibilidad de horario, por lo cual se optó por el propio domicilio.

Una vez confeccionados los moldajes correspondía como segundo paso trasladar éstos al LEMCO (Laboratorio de Ensaye de Materiales de Construcción) del Campus Miraflores de la Universidad Austral de Chile. En este recinto se realizaría la confección de los elementos de hormigón que servirían de muestras, además de los mismos ensayos relativos al mortero utilizado para estuco.

El tercer paso y final: retirar los moldajes y muestras del laboratorio una vez realizados los ensayos.

2.3.- Definición del los Prototipos de Moldaje a Fabricar

2.3.1.- Tipos y Características de los Moldajes a Fabricar

Entre las diferentes variedades de moldajes que existen (ver 1.1.3.2.-), se debió escoger aquellas que aseguraran factibilidad y agilidad en el proceso de fabricación de acuerdo a los medios que se disponían.

Por esta razón se optó por lo más sencillo y tradicional: un moldaje corriente de madera y otro de estructura metálica.

El objetivo perseguido al momento de planificar la fabricación de dos tipos de moldajes apunta a contar con un margen de error por si se dificultaba el proceso y sólo podía fabricarse uno de ellos, y evidentemente a la posibilidad de evaluar más de una alternativa

Las dimensiones de los moldajes se definieron tomando en cuenta el trabajo que significaría la manipulación de estos en los futuros ensayos, debido a que mientras más grandes, más se dificulta su traslado, manejo, y almacenamiento. Además las dimensiones de los moldajes inciden directamente en el tamaño de las muestras de hormigón, por lo que finalmente esto condicionó que se escogiera un tamaño más bien medio.

De esta manera se fabricarían dos moldajes rectangulares, cuyo largo para ambos se estableció en 120 cm, mientras que el ancho en 50 cm.

2.3.2.- Descripción de los Materiales a Utilizar

En este punto se describen cada uno de los materiales utilizados en la fabricación de los moldajes. La forma y disposición en la cual fueron utilizados se detallará verbal y gráficamente en el capítulo que explica el proceso de fabricación.

2.3.2.1.- Para el Moldaje de Madera

- *Piezas de pino en bruto de 2x2”*: como se usa habitualmente en las obras de construcción constituyeron el armazón del moldaje.

- *Placa contrachapada 8 mm*: se utilizó la tradicional placa de terciado para servir de molde de las muestras de hormigón confeccionadas. Sobre esta se aplicaría el tratamiento para obtener la rugosidad requerida.
- *Clavos corrientes de 3"*: utilizados lógicamente para unir las piezas de 2x2" correspondientes al armazón del moldaje.
- *Tornillos autoperforantes 1 ½"*: fueron usados tornillos tirafondo para unir la placa de terciado contra el armazón de madera.
- *Clavos tapiceros 11 mm*: con ellos se obtendría la superficie rugosa para el moldaje de madera. Los 11 mm corresponden al diámetro de la cabeza de los clavos.

2.3.2.2.- Para el Moldaje Metálico

- *Perfiles de acero 40x40x2 mm*: estos perfiles cuadrados constituyeron la estructura perimetral del moldaje metálico.
- *Perfiles de acero 30x20x3 mm*: éstos también formaron parte de la estructura del moldaje como travesaños interiores del marco.
- *Plancha aluminio perforada 1200x500x1 mm*: esta plancha especial fue aportada por Asenav, y fue pieza fundamental para la fabricación del moldaje metálico. Las perforaciones eran circulares y de 4 mm de diámetro.

- *Tornillos roscalata ½"x10 mm:* utilizados para lograr la rugosidad en la superficie del moldaje. Los 10 mm corresponden al diámetro de la cabeza del tornillo mientras que la ½" al largo del mismo.
- *Placa de terciado de 4 mm:* necesaria para el proceso de colocación y fijación de los tornillos roscalatas.
- *Anticorrosivo para estructuras metálicas:* debido al tiempo que transcurriría entre la fabricación y el ensayo, se debió utilizar anticorrosivo para proteger la estructura de acero.

2.3.3.- Estudio del Método a Utilizar para Lograr la Rugosidad

Indudablemente lograr la superficie rugosa en los moldajes es el punto más relevante en todo el desarrollo de este trabajo. Por lo que encontrar la manera de hacerlo significó en la práctica una tarea importante.

2.3.3.1.- Para el Moldaje de Madera

Como se dejó entrever en el punto 2.3.2.1.-, el método utilizado para lograr dicho objetivo se basó en la utilización de clavos tapiceros distribuidos uniformemente sobre la superficie de la placa del moldaje.

La distribución de los clavos tapiceros se realizó de acuerdo a un patrón similar al de las láminas de plástico, considerando que los resultados con los clavos tapiceros en la placa de terciado deberían aproximarse bastante a los obtenidos con la lámina de plástico por la forma propia de estos, es decir, su forma semiesférica y redondeada. A pesar de esto último la

profundidad de las cavidades inducidas por los clavos es menor a la inducida por las semiesferas de la lámina de plástico por la forma de la cabeza del clavo.

La separación de los clavos se estableció en 2,5 cm de centro a centro, en una distribución romboidal de acuerdo a la Figura A.2 incluida en los *Anexos*.

2.3.3.2.- Para el Moldaje Metálico

En el caso del moldaje metálico se pensó en el uso de tornillos roscalatas para proveer a la superficie la rugosidad necesaria, debido a que las características de la plancha de aluminio utilizada para este moldaje facilitaba el uso de estos tornillos al estar esta previamente perforada. Por esta razón la distribución de los tornillos debió adecuarse al patrón de perforado de la plancha de aluminio. Esta distribución se grafica en la Figura A.3 de los *Anexos*.

La forma particular de la cabeza del tornillo cumpliría el objetivo de proporcionar a la superficie del moldaje la rugosidad requerida para la adherencia del estuco. Cabe destacar que la profundidad del poro inducido al hormigón por el tornillo es mayor a la profundidad lograda con los clavos tapiceros para el moldaje de madera, debido lógicamente a que la cabeza del tornillo es de mayor volumen que la cabeza del clavo. En tanto el diámetro de ambos es similar.

En la Figura A.4 de los *Anexos* se aprecia gráficamente la diferencia entre las dimensiones aludidas de ambos elementos. Además de esto se presentaría una diferencia lógica entre la distribución de los clavos versus los tornillos, puesto que los primeros estarían mucho más distanciados el uno del otro, mientras que los roscalatas estarían ubicados más densamente.

Otro aspecto a considerar lo constituyó la huella en la cabeza del tornillo, la cual eventualmente se llenaría de mortero al momento de confeccionar las muestras y vibrar el hormigón, por lo que se presumía que en general la cabeza del tornillo actuaría en la práctica como una semiesfera sólida, por lo que se desestimaba el efecto que podrían tener estas cavidades en el acabado de las muestras de hormigón.

Contar con dos tipos de moldajes posibilitaba la evaluación de alternativas distintas en cuanto a características y distribución de los poros que aportarían la rugosidad, por lo que las disimilitudes entre uno y otro sin duda ayudaría en las conclusiones posteriores.

2.4.- Descripción de la Fabricación de los Prototipos

Una vez definidos los aspectos relevantes de los moldajes a fabricar y reunidos los materiales necesarios se inició el proceso de fabricación de estos.

Se comenzó cortando simultáneamente todas las piezas que conformarían el armazón de los moldajes, es decir, las piezas de pino de 2x2” y los perfiles de acero 40x40x2, para el moldaje de madera y el metálico, respectivamente.

2.4.1.- Fabricación Moldaje de Madera

El segundo paso, en el caso particular del moldaje de madera, consistió en armar el moldaje de acuerdo a las dimensiones preestablecidas mediante dos clavos de 3” por unión. El armado incluyó dos largueros de 120 cm, y cuatro travesaños de 40 cm. Una vez fijadas estas piezas que constituían la estructura restaba fijar la placa contrachapada sobre ella mediante los tornillos autoperforantes.

Figura N° 10

ARMADO ESTRUCTURA MOLDAJE DE MADERA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Para facilitar el siguiente paso se trazó en la placa la distribución de los clavos tapiceros de acuerdo al patrón adoptado previamente. Sólo después de esto fue posible ubicar con exactitud los clavos que se necesitarían.

Con el moldaje de madera ya armado sólo faltaba comenzar la ardua tarea de colocar los clavos tapiceros sobre la placa de terciado. Teniendo en cuenta que todo este trabajo se realizó en forma manual, sólo con la ayuda de un martillo. Esta fue la etapa más prolongada y trascendente en toda la fabricación del moldaje. En total se colocaron aproximadamente 2450 clavos tapiceros.

El resultado de este proceso se puede ver en las figuras siguientes. Donde también se aprecia en forma secuencial el avance en la colocación de los clavos tapiceros, hasta la culminación del trabajo y obtención del moldaje definitivo.

Figura N° 11

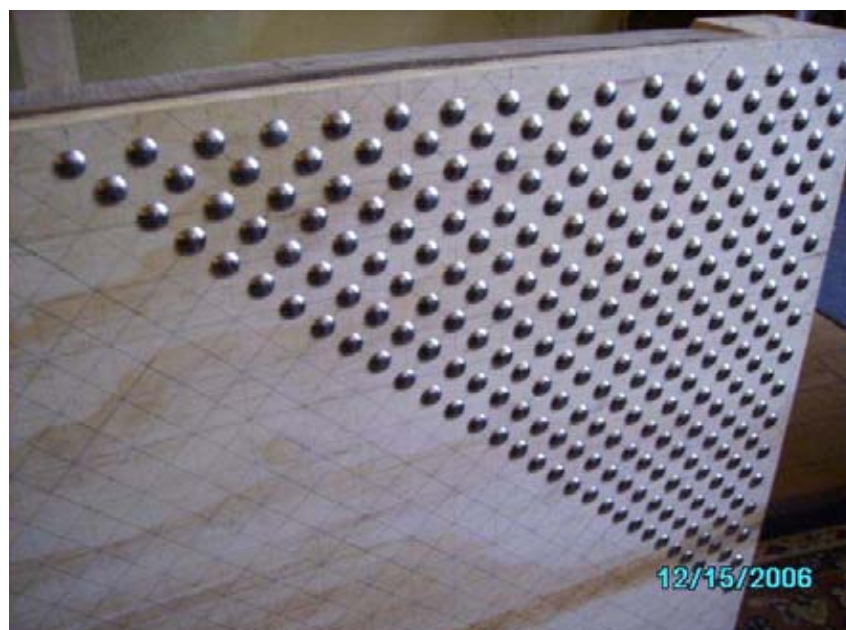
**INICIO DE COLOCACIÓN DE CLAVOS TAPICEROS EN EL MOLDAJE DE
MADERA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 12

ACERCAMIENTO COLOCACIÓN DE CLAVOS TAPICEROS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 13

AVANCE EN LA COLOCACIÓN DE LOS CLAVOS TAPICEROS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 14

MOLDAJE DE MADERA TERMINADO CON TODOS LOS CLAVOS TAPICEROS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.4.2.- Fabricación Moldaje Metálico

Mientras aún se trabajaba en el moldaje de madera se hizo necesario trasladar los elementos para el armado del moldaje metálico a la maestranza donde serían pulidos y soldados.

Dichos elementos estaban conformados por cuatro perfiles 40x40x2 que constituyeron el marco del moldaje: dos piezas de 120 cm y dos de 50 cm, medidas exteriormente, ya que fueron unidas en corte 45 en las cuatro esquinas. Además el moldaje contemplaba dos travesaños interiores de 42 cm cada uno, para ello se utilizaron los perfiles 40x20x3, los cuales fueron soldados a tope contra el marco descrito anteriormente. Sobre dicha estructura se fijó la plancha laminada de aluminio como muestra la figura.

Figura N° 15

ARMADO ESTRUCTURA MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Para la fijación de la plancha al marco metálico se usaron los mismos tornillos que serían colocados para otorgar la rugosidad a la superficie del moldaje, puesto que podían cumplir perfectamente esta función al ser del tipo roscalata. De esta manera se lograría una superficie uniforme en todo el moldaje. Para ello se perforó el marco exterior con un taladro eléctrico y broca de 4 mm. En el caso de los travesaños interiores se utilizó broca de 5 mm, debido a que por ser estos de mayor espesor (3 mm) se dificultaba la penetración del tornillo con la broca de 4 mm.

Figura N° 16

INICIO COLOCACIÓN TORNILLOS EN EL MARCO DEL MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Luego de realizar todas las perforaciones requeridas en la estructura metálica de acuerdo a la ubicación de los orificios propios de la plancha de aluminio, y poner cada uno de los tornillos en dichas perforaciones correspondía colocar los tornillos en las zonas centrales del moldaje, es decir en los vanos entre los perfiles metálicos. Previo a esto se aplicó una mano de anticorrosivo a la estructura de acero como lo deja ver la Figura N° 17.

En esta etapa se presentó el primer inconveniente del proceso de fabricación de los moldajes, debido a que los tornillos no quedaban bien afianzados a la plancha de aluminio. Esto se produjo por el poco espesor de la plancha, ya que el hilo del tornillo al no llegar hasta la cabeza de este no alcanzaba a agarrarse en la perforación. En lenguaje sencillo los tornillos quedaban “bailando” al ser puestos directamente sobre la plancha perforada.

El problema antes mencionado debió solucionarse sumando una plancha de terciado de 4 mm en la parte posterior del moldaje con la finalidad de que el hilo del tornillo se agarre de esta y ejerza la presión suficiente sobre la plancha de aluminio para así evitar que los tornillos queden sueltos, ya que esto hubiese significado filtraciones del agua de amasado en el momento de la confección de las muestras de hormigón. La colocación de estas planchas adicionales se muestra en la figura siguiente.

Figura N° 17

**COLOCACIÓN Terciado ADICIONAL EN LA PARTE POSTERIOR DEL
MOLDAJE METÁLICO**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Cabe destacar que para facilitar la colocación de estos tornillos se realizó una perforación previa en la plancha de terciado con broca de 4 mm, lógicamente respetando la distribución de los orificios de acuerdo al perforado de la plancha de aluminio.

Análogo al moldaje de madera, la colocación de los tornillos representó la etapa más extensa de todo el proceso de fabricación del moldaje. Los tornillos fueron colocados valiéndose del mismo taladro eléctrico multifuncional usado para perforar los perfiles y la plancha de terciado.

La evolución en la colocación de los tornillos se ve reflejada en las Figuras N° 18 y N° 20. La razón por la cual se pusieron primero los tornillos en las partes centrales de los vanos tiene que ver con evitar posibles alabeos provocados en la plancha de terciado al haber colocado primero los tornillos perimetrales.

Figura N° 18

AVANCE EN LA COLOCACIÓN DE LOS TORNILLOS (parte frontal)



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 19

ACERCAMIENTO COLOCACIÓN DE TORNILLOS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 20

AVANCE EN LA COLOCACIÓN DE LOS TORNILLOS (parte posterior)



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Finalmente al terminar el proceso de colocación de los tornillos se concluyó con éxito la fabricación de los moldajes, superando incluso las expectativas que se tenían. Por lo tanto los moldajes ya se encontraban listos para ser evaluados en laboratorio, lo que constituiría el clímax en todo el desarrollo de este trabajo de tesis. En la figura siguiente se pueden apreciar los moldajes ya terminados en el laboratorio.

Figura N° 21

MOLDAJES TERMINADOS EN EL LABORATORIO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.5.- Confección de las Muestras de Elementos de Hormigón

2.5.1.- Utilización de los Moldajes Rugosos

Al momento de establecer la manera en la cual se usarían los moldajes se pensó en un elemento de hormigón que resultara fácil de trabajar y estucar. Por esta razón al utilizar los moldajes en laboratorio se adoptó la forma de un muro, o más bien, de un segmento de muro,

según muestra la Figura N° 22. El llenado del elemento se hizo en el mismo mesón donde fueron puestos los moldajes, por lo que además fue el sitio en donde se realizó el proceso de estucado debido a que ofrecía una posición adecuada para efectuar esta tarea.

Figura N° 22

**MOLDAJES PREPARADOS EN EL LABORATORIO PARA RECIBIR EL
HORMIGÓN**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Para dar la estabilidad y firmeza necesaria a los moldajes que recibirían la mezcla se atornillaron en ambos extremos dos placas de 11 x 50 cm de terciado de 8 mm (ver Figura N° 23), las cuales formaron junto con los moldajes la estructura que confinaría el hormigón preparado para las muestras. El espesor del muro de muestra sería de 8 cm, como se aprecia en la Figura N° 24, espesor más que suficiente considerando que en definitiva lo que interesaba evaluar era el resultado de los moldajes en la superficie del hormigón. Un espesor mayor implicaba más hormigón y por ende más dificultad en la manipulación de las muestras.

Luego se aplicó desmoldante en toda la superficie de los moldajes y de las placas de terciado mencionadas anteriormente.

Figura N° 23

MOLDAJES ARMADOS CON LAS PLACAS LATERALES



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 24

SEPARACIÓN DE LOS MOLDAJES PARA EL ESPESOR DEL MURO DE MUESTRA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Se colocó también una tabla de 8 x 50 cm en la mitad para dividir el muro de muestra en dos muros de 60 x 50 cm, lo cual implicaría que se tuviesen finalmente cuatro superficies para estucar, dos de cada moldaje utilizado.

Posteriormente se preparó una especie de cama bajo los moldajes para evitar que el hormigón de la muestra se adhiriera al mesón y evitar también posibles filtraciones de hormigón por el borde inferior de ellos al momento de vibrar. Esto se hizo utilizando cartón y abundante plástico sobre el cartón, para que este no absorba el agua de amasado.

De manera de asegurar que el borde inferior de los moldajes quede hermético con la superficie del mesón y no se produzcan inconvenientes futuros, se adicionaron también discos circulares usados para probetas de hormigón encima de los moldajes a modo de pesas. Además se colocó una probeta para ensayos de flexotracción a cada lado para prevenir el volcamiento de éstos.

Todas estas medidas especiales previo hormigonado se pueden apreciar en la Figura N° 27 correspondiente al punto 2.5.3.-

Una vez realizada la habilitación y preparación de todas las variables descritas anteriormente el molde se encontraba listo para recibir el hormigón.

2.5.2.- Confección del Hormigón

En la confección del hormigón utilizado en el muro de muestra (que serviría para evaluar los resultados de los moldajes) se utilizó una dosificación tentativa para un hormigón H20 de acuerdo a las dosificaciones propuestas por FCFM (2007) (ver *Anexos* Tabla A.1). Esta dosificación se ajustó proporcionalmente a la cantidad de hormigón que se requería para

la muestra, la cual se calculó en 50 litros, lo que permitía preparar solamente una mezcla de acuerdo a la capacidad de la betonera utilizada. El detalle de las cantidades de material utilizado es el siguiente:

- Gravilla = 68 Kg
- Arena = 47 Kg
- Agua = 13 lt
- Cemento = ½ saco

Debido a que el hormigón en sí no constituyó el blanco de los ensayos sólo bastaba con confeccionar un hormigón de resistencia promedio aproximada a las que se utilizan normalmente en las obras para losas y muros particularmente, atendiendo a los objetivos que se fijaron en un comienzo.

Lo anterior no implica que el muro de hormigón se haya realizado sin las precauciones mínimas y sin considerar lo establecido en la norma chilena NCh 170 de requisitos generales del hormigón (INN, 1985), al contrario esta se consideró en lo que respecta a la confección y curado de hormigones, y en todo aquello en que la normativa tenga alcance para el trabajo específico que se estaba realizando.

De esta manera en términos generales el proceso para la confección del hormigón se realizó como sigue:

1) En primer lugar se reunieron los materiales (gravilla, arena, cemento y agua) además de los equipos y herramientas que se utilizarían para realizar la mezcla (betonera, pala, balde hormigonero y vibrador). Ver Figura N° 25.

- 2) Luego se realizó la medición de los materiales que se utilizarían en la mezcla de acuerdo a la dosificación establecida previamente.
- 3) Seguidamente se colocó en la betonera parte del agua de amasado como lo recomienda la NCh 170 en 8.2.2 (INN, 1985).
- 4) El cargío de los materiales se inició con la gravilla, luego la arena, y después el cemento. Se dejó mezclar en seco unos minutos y se agregó el resto del agua.
- 5) El tiempo de mezclado fue el suficiente para alcanzar la homogeneidad necesaria en la mezcla. El resultado final se aprecia en la Figura N° 26.

Figura N° 25

**EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADOS EN LA CONFECCIÓN DEL
HORMIGÓN**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 26

RESULTADO FINAL DE LA MEZCLA CONFECCIONADA PARA LA MUESTRA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.5.3.- Llenado del Molde

El llenado se efectuó por capas, tres en total (ver Figuras N° 27 y N° 28), utilizando el balde hormigonero para trasladar la mezcla desde la betonera hasta el mesón donde se encontraba dispuesto el molde.

Cada capa fue vibrada hasta asegurarse que la lechada copara toda la superficie de los moldajes y no quedaran nidos de aire, puesto que este era un aspecto fundamental en todo el proceso, al requerirse que el moldaje produzca una especie de estampado en la muestra de hormigón para poder evaluar eficientemente el resultado de los moldajes sobre el acabado superficial del hormigón. Con este propósito, cuando el molde estuvo lleno se realizó un último vibrado haciendo llegar la sonda hasta el fondo de la muestra. Después de esto se vibró también por la parte exterior de los moldajes desplazando la sonda por todo el perímetro de estos.

Figura N° 27

LLENADO DEL MOLDE POR CAPAS (primera capa)



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 28

VIBRADO DEL HORMIGÓN EN CADA CAPA (segunda capa)



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Finalmente se retiró el exceso de hormigón enrasando la muestra según se puede apreciar en la figura.

Figura N° 29

MUESTRA DE HORMIGÓN TERMINADA Y ENRASADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.5.4.- Protección y Curado de la Muestra

En esta parte se adelantará la etapa de curado de la muestra debido a que el descimbre, que lógicamente es previo al curado, se considerará en el ítem siguiente por la importancia que tiene este en la evaluación de los resultados como prueba práctica.

El plazo total de curado y protección del muro de muestra una vez descimbrado fue de 14 días. Este plazo se dio más por un tema de disponibilidad de horario, ya que para dar cumplimiento a la norma sólo se necesitan 6 días (INN, 1985), si consideramos el caso más desfavorable. Ver Tabla A.2 en los *Anexos*.

Las condiciones favorables del laboratorio y los objetivos perseguidos en este proyecto permitían tomar las medidas mínimas que nos garantizaran un adecuado resultado final. De esta manera las muestras fueron protegidas con arpilleras húmedas atendiendo a la recomendación del punto 12.2.1 e) de la NCh 170, el cual hace referencia a cualquier material que retenga la humedad sin dañar la superficie del hormigón (INN,1985). La manera en que fueron cubiertas se aprecia en la figura que sigue.

Figura N° 30

**CURADO Y PROTECCIÓN DE LAS MUESTRAS CON ARPILLERAS
HÚMEDAS**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Con referencia a lo anterior y como se indicó en el punto 2.5.1- después del desmolde se obtendrían dos muros de muestra, es por esta razón que en la Figura N° 30 se aprecian dos elementos independientes, cada uno cubierto con las arpilleras utilizadas para el curado.

Transcurridos los 14 días mencionados anteriormente se continuó con la etapa de ensayos descrita en el capítulo que sigue.

2.6.- Realización de Pruebas y Ensayos

En la práctica las pruebas y ensayos respectivos se iniciaron 5 días después del hormigonado de la muestra con el descimbre de los moldajes. Los criterios para definir dichos ensayos se exponen en los párrafos siguientes.

Según establece la NCh 2256-1 los requisitos para morteros de revestimientos continuos (estucos) dependen del tipo de superficie a recubrir. De acuerdo a esto la superficie que corresponde al hormigón es clasificada como fuerte, según se indica en la Tabla N° 7 de la citada norma. Ver *Anexos* Tabla A.3.

Lo que dice la norma NCh 2256-1 en su punto 7.2 respecto a los requisitos mínimos para morteros de revestimientos continuos se resume como sigue (INN, 2001):

- *Requisitos granulométricos de la arena*

La arena debe tener un tamaño máximo nominal, D_n , que sea menor o igual a $1/3$ del espesor de la capa (capa de adherencia, media o de terminación).

- *Requisitos de resistencia mecánica*

La Especificación Técnica puede establecer requisitos mecánicos a un revestimiento continuo. La resistencia mínima que el Comité Morteros y hormigones recomienda exigir es de 2,5 MPa para estucos exteriores y de 1,0 MPa para estucos interiores, valores basados en los requisitos fijados por DIN 18555/1.

- *Requisitos de durabilidad*

De acuerdo a las solicitaciones físico-químicas a que vaya a estar expuesto el mortero durante su vida útil, se puede determinar su resistencia a los ciclos de congelación/deshielo, su impermeabilidad como resistencia a la penetración de agua bajo presión, su permeabilidad al vapor de agua, permeabilidad al agua lluvia como coeficiente de absorción u otras.

- *Requisitos de consistencia*

La consistencia del mortero de revestimiento continuo se debe adecuar a las condiciones de fabricación y puesta en obra. Sin embargo, a efectos de la dosificación el Comité Morteros y hormigones recomienda que se consideren consistencias medidas según el extendido en la Mesa de sacudidas entre 180 mm y 200 mm para estucos colocados manualmente.

- *Requisitos de retentividad*

Deben tener una retentividad mínima de grado 2.

Para asegurar el buen funcionamiento de los revestimientos continuos se recomienda que el valor de la retentividad sea mayor a 60%.

- *Requisitos de adherencia*

Los revestimientos continuos deben tener una adherencia de al menos 0,2 MPa a los 28 días cuando se colocan sobre superficies nuevas, determinados según NCh 2471.

- *Requisitos de contracción*

De acuerdo a las condiciones de ejecución del mortero de revestimiento continuo y de exposición durante su vida útil, el proyectista puede establecer requisitos de contracción y la realización de ensayos según NCh2281/1.

- *Requisitos de contenido de aire*

Sólo se deben cumplir cuando se exijan requisitos de durabilidad.

En esta parte se debe destacar que los requisitos antes mencionados están enfocados a las características de los morteros más que a las superficies en los cuales estos deben adherirse, puesto que en la actualidad no hay normativa específica que establezca requisitos para los paramentos que han de recibir estuco.

Por lo tanto de acuerdo a la finalidad de esta tesis se consideraron más que nada aquellos requisitos de los morteros que tenían alguna relación con los objetivos que se plantearon en un principio: los de evaluar la trabajabilidad y resultados prácticos de la solución propuesta. Además de considerar aquellos ensayos que resultaban factibles de realizar de acuerdo a las condiciones, infraestructura y posibilidades del laboratorio.

Por esta razón los ensayos realizados cumplen más bien una función complementaria dentro del trabajo de tesis. Los ensayos realizados según este criterio fueron: resistencia mecánica, consistencia y adherencia.

Desde el punto 2.6.2.- en adelante se describen detalladamente las pruebas prácticas y ensayos realizados a los morteros considerando el argumento expuesto anteriormente.

2.6.1.- Materiales, Equipos y Herramientas Utilizadas

Se optó por incluir este contenido en un solo ítem para enfocar exclusivamente los ítems que siguen a la descripción de los procedimientos de las pruebas y ensayos.

A continuación se enumeran y describen los materiales y herramientas necesarias para la preparación del mortero.

- *Arena fina para estucos*: para seleccionar el árido necesario para la preparación del mortero se utilizó el tamiz 0,315 de la serie preferida. Con esto se cumplía con el requisito de granulometría expuesto en el punto anterior.
- *Cemento corriente*: como conglomerante se usó el mismo cemento usado en la confección de las muestras de hormigón, para lo cual se guardó y protegió de la humedad adecuadamente.
- *Agua potable*: necesaria como último componente del mortero.
- *Balde hormigonero*: utilizado como recipiente para la preparación del mortero.
- *Pala de mano*: herramienta utilizada para la medición de las cantidades de arena y cemento, y para realizar el mezclado de los componentes y el posterior chicoteo del estuco.
- *Probeta graduada 1000 cm³*: recipiente usado para añadir el agua necesaria al mortero.

Figura N° 31

HERRAMIENTAS UTILIZADAS PARA LA PREPARACIÓN DEL MORTERO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Ahora se detallan los equipos y aparatos utilizados para los ensayos según se describen textualmente en las normas respectivas. Debe destacarse que para el ensayo de adherencia se debió recurrir a procedimientos alternativos, por lo que la utilización de los aparatos mencionados en la norma no fue rigurosa. En el punto correspondiente al ensayo se profundiza al respecto.

Para el ensayo de consistencia los aparatos son los siguientes (INN, 1996):

- *Molde troncocónico*: recto y abierto en ambos extremos. Tiene una base inferior de 100 mm, una base superior de 50 mm y una altura de 150 mm. La tolerancia es de $\pm 1,5$ mm y el espesor de la plancha metálica debe ser igual o superior a 1,5 mm.
- *Varilla pisón*: barra lisa de acero de 10 mm de diámetro y 300 mm de longitud, con sus extremos redondeados.

- *Placa de apoyo*: rígida, de espesor mínimo 1,5 mm, de material no absorbente y por lo menos de 200 por 300 mm.
- *Regla*: u otro instrumento similar, para medir con una exactitud de 1 mm.

En tanto para el ensayo de resistencia mecánica los aparatos son (INN, 1967):

- *Moldes*: serán de material que no sea atacado por el mortero de cemento. Estarán divididos en tres compartimentos prismáticos, que permitan confeccionar tres probetas. Las dimensiones interiores de cada uno de los compartimentos de los moldes nuevos serán las siguientes:

a) longitud $l = 160$ mm, tolerancia $\pm 0,4$ mm;

b) ancho $a = 40$ mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm; y

c) altura $h = 40$ mm, tolerancia $\pm 0,1$ mm.

Las paredes de los moldes serán de espesor superior o igual a 6 mm. Las caras interiores serán planas con aproximación de 0,02 mm. Las caras internas formarán entre sí ángulos de 90° con tolerancias de $\pm 0,5^\circ$. Los moldes estarán provistos de un marco metálico superpuesto para facilitar el llenado, el cual constará de tres compartimentos prismáticos de 20 a 40 mm de altura, cuya abertura inferior sea aproximadamente coincidente con la de los moldes, a la cual sobrepasará en una magnitud no superior a 0,4 mm.

- *Máquina para ensayo de flexión*: tendrá una precisión superior o igual a 1%. Tendrá dos rodillos de 10 mm situados a una distancia de 100 mm ó de 106,7 mm. Tendrá además, un rodillo equidistante de los de apoyo y de igual diámetro que ellos. Los

rodillos serán móviles alrededor de su centro para permitir una repartición uniforme de las cargas.

- *Máquina para ensayo de compresión:* tendrá una precisión superior o igual a $\pm 1,5\%$ en todo el intervalo de cargas utilizado en los ensayos. El dispositivo para colocar las probetas tendrá un sistema de placas, el cual se coloca entre los platillos de la máquina de ensayo a compresión y que consta de dos placas de presión, rectangulares, de las dimensiones siguientes:
 - a) espesor superior o igual a 10 mm;
 - b) ancho de $40 \pm 0,1$ mm;
 - c) longitud superior a 40 mm.

Las placas serán de acero, de dureza Vickers superior o igual a 600 o de carburo de tungsteno. Estarán guiadas sin frotamiento y una de ellas será solidaria con un sistema de rótula y podrá inclinarse. Las caras de las placas serán planas con una tolerancia de 0,01 mm en la superficie de contacto.

Finalmente para el ensayo de adherencia el INN describe los siguientes aparatos (2000):

- *Anillos marcadores:* los anillos marcadores, usados como moldes para formar las probetas en el mortero fresco, deben ser de material rígido, de $50 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de diámetro interno.
- *Discos fijadores:* los discos fijadores deben ser de acero de $50 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ de diámetro y a lo menos 4 mm de espesor, con conexión central para propósito de tracción, los que se adhieren mediante adhesivo a la superficie de la probeta del recubrimiento a ensayar.

- *Adhesivo:* el adhesivo para afianzar el disco fijador a la probeta debe ser un material en base a resina epóxica, metilmetacrilato u otro que asegure una adecuada adherencia.
- *Equipo para aplicar la fuerza de tracción:* equipo con resolución 1 N, que se conecta al disco fijador para aplicar la fuerza de tracción en sentido perpendicular a la superficie, en forma manual o mecánica.

Figura N° 32

DISCOS FIJADORES PARA EL ENSAYO DE ADHERENCIA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 33

ADHESIVO EPÓXICO PARA EL ENSAYO DE ADHERENCIA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.6.2.- Descimbre de los Moldajes

En realidad el descimbre no constituyó en si una prueba o ensayo específico, pero sin duda esta etapa lógica y necesaria en el proceso sirvió para evaluar una parte importante en lo que a moldajes para hormigón se refiere, ya que un fácil y rápido descimbre es tan importante como la misma eficiencia del moldaje. Es un aspecto intrínseco de un buen moldaje.

El plazo de 5 días entre la confección de la muestra y el desmolde de esta, que se mencionó anteriormente, es más que suficiente considerando los 2 días mínimos recomendados en la Tabla 14 de la NCh 170 (INN, 1985). Ver *Anexos* Tabla A.4.

Una incertidumbre inmediata nació al momento de ver los resultados de los moldajes al final de la etapa de fabricación, especialmente en el caso del moldaje metálico, puesto que la densidad y forma de los tornillos hacía presagiar que el desmolde sería una tarea compleja. En el caso del moldaje de madera no fue tan así, debido a que la superficie resultante a pesar

de los clavos tapiceros se podía apreciar bastante lisa, por las mismas características de los clavos y la distribución menos densa que en el caso del moldaje metálico.

En efecto, después de retirar las placas laterales del muro de hormigón que estaban atornilladas en los bordes de ambos moldajes (ver Figura N° 35), se procedió a descimbrar primero el moldaje de madera y se comprobó como el retiro de este fue realizado en forma sencilla y rápida. En la Figura N° 36 se da cuenta de lo anterior.

Figura N° 35

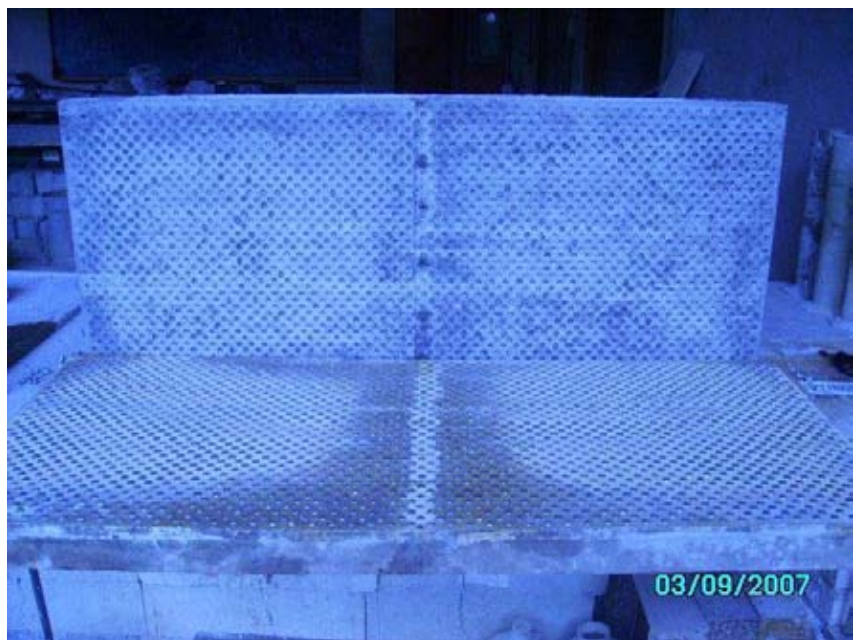
RETIRO DE LAS PLACAS LATERALES DEL MOLDE



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 36

DESCIMBRE DEL MOLDAJE DE MADERA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

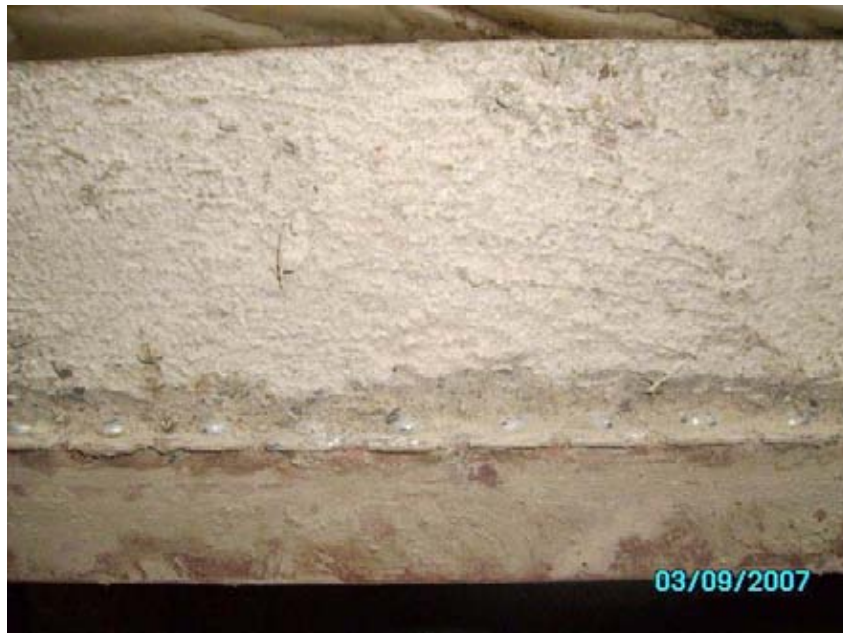
Para el moldaje metálico, como se pensaba, el proceso fue algo más trabajoso. A simple viste se notaba que la superficie del moldaje estaba firmemente adherida a la muestra de hormigón. Para proceder con el retiro de este moldaje se hizo necesario rebajar el canto superior del muro confeccionado, tal como lo muestra la Figura N° 36.

Además, simultáneamente se separaba el moldaje de la muestra utilizando una barretilla de manera progresiva y constante. Cuando la parte superior estuvo completamente despegada fue posible retirar el moldaje con mayor facilidad haciendo uso de la palanca. Ver Figura N° 37 y N° 38.

Así se llegó al punto crítico de todo el proceso y se vieron finalmente los resultados en el muro de muestra como se aprecia en las Figuras N° 39 a N° 42. También se realizó la separación de del muro en dos partes como muestra la Figura N° 43.

Figura N° 36

**REBAJE DEL CANTO SUPERIOR DEL MURO PARA EL DESCIMBRE DEL
MOLDAJE METÁLICO**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 37

PROGRESO EN EL DESCIMBRE DEL MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 38

DESCIMBRE DEL MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 39

**RESULTADO DEL MOLDAJE DE MADERA SOBRE LA SUPERFICIE DEL MURO
DE HORMIGÓN**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 40

**ACERCAMIENTO DE LA SUPERFICIE LOGRADA CON EL MOLDAJE DE
MADERA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 41

**RESULTADO DEL MOLDAJE METÁLICO SOBRE LA SUPERFICIE DEL MURO
DE HORMIGÓN**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 42

**ACERCAMIENTO DE LA SUPERFICIE LOGRADA CON EL MOLDAJE
METÁLICO**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 43

SEPARACIÓN DEL MURO DE MUESTRA EN DOS MUROS IGUALES



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.6.3.- Prueba de Trabajabilidad

Luego de la etapa de descimbre de las muestras llegaría otra parte importantísima dentro del trabajo que se estaba realizando. La de evaluar directamente la trabajabilidad en cuanto a la aplicación del estuco en cada una de las muestras realizadas. Este proceso se desarrolló de la forma tradicional, es decir, por medio del clásico chicoteo manual.

Las dosificaciones de los morteros utilizados fueron definidas aleatoriamente variando las dosis de cada componente para las tres mezclas de mortero según se preparaban. Con esto se pretendía emular lo que sucede en la realidad, puesto que en la gran mayoría de los casos las dosificaciones de los morteros para estucos en las obras siguen la regla del “3x1”, lo que implica en la práctica que se produzcan diferencias obvias en los morteros. Además lógicamente esto permitiría evaluar los resultados finales teniendo distintos tipos de morteros.

Figura N° 44

PREPARACIÓN DE LOS MORTEROS PARA ESTUCO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Después de haber humedecido la superficie a estucar se procedió a realizar el chicoteo del primero de los muros realizados con el moldaje metálico como se ve en la Figura N° 45. En este caso el estuco se adhirió firmemente al hormigón, por lo que el chicoteo del mortero se efectuó en forma rápida y efectiva, casi sin desprendimiento de mezcla.

Figura N° 45

CHICOTEO DE MURO REALIZADO CON MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Luego se le dio la terminación con la llana metálica de albañil (ver Figura N° 46). Cabe destacar aquí que luego de un intento fallido se decidió no usar reglas para darle un espesor uniforme al estuco, por la dificultad extra que implicaba y porque en definitiva el espesor no era determinante en la evaluación de los resultados. De todas formas el rango de espesor del estuco estuvo entre los 1 y 1,5 cm.

Figura N° 46

PULIDO Y AFINADO DEL ESTUCO CON LLANA DE ALBAÑIL



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 47

ESTUCO TERMINADO PARA MURO CORRESPONDIENTE AL MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En esta parte se optó por estucar primero las dos superficies logradas con el moldaje metálico y al día siguiente hacer lo propio con las restantes dos superficies, debido a que se corría el riesgo de que se desprendiera el estuco de un lado al chicotear el otro lado del muro. Por esta razón el primer día de estucado se utilizaron dos dosificaciones distintas de mortero, mientras que para el segundo día se confeccionó un solo tipo de mortero suficiente para recubrir las superficies que faltaban.

En el caso del muro correspondiente al moldaje de madera el chicoteo resultó bastante más complicado que para el caso anterior. Aquí si se produjeron desprendimientos constantes de mortero, por lo que el proceso resultó algo más tedioso. A simple vista daba la impresión que el estuco, aunque pegaba parcialmente, rehusaba adherirse a la superficie del muro como muestra la figura.

Figura N° 48

CHICOTEO DE MURO REALIZADO CON MOLDAJE DE MADERA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

El pulido del estuco se realizó en forma análoga a los muros estucados el primer día, pero con la evidente dificultad mencionada en el párrafo anterior se tuvo que trabajar más para lograr el objetivo. El resultado final de los estucos para las superficies correspondientes al moldaje de madera se puede apreciar en la figura siguiente.

Figura N° 49

**ESTUCO TERMINADO PARA MURO CORRESPONDIENTE AL MOLDAJE DE
MADERA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Luego de estucadas todas las superficies se protegieron los muros de muestra utilizando las mismas arpilleras usadas en el curado como se ve en la Figura N° 50.

Figura N° 50

PROTECCIÓN CON ARPILLERAS PARA ESTUCOS TERMINADOS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.6.4.- Ensayo de Consistencia

Este se llevó a cabo debido a que constituye un antecedente a considerar tomando en cuenta lo que dice la norma NCh 2256/1 en su Anexo C: la adherencia es una propiedad del mortero que depende de su dosificación y de su consistencia (INN, 2001). Por esta razón se justificaba realizar este ensayo por sobre otros, además de contar en el laboratorio con los implementos necesarios para su ejecución.

Fue realizado en el momento en que se estucaban las muestras siguiendo el procedimiento establecido en la NCh 2257/3, el cual se detalla a continuación (INN, 1996):

- 1) Limpiar y humedecer la placa de apoyo y la superficie interior del cono.
- 2) Colocar el cono sobre la placa de modo que permanezca inmóvil durante el llenado.

- 3) Colocar el mortero en el cono, en dos capas de aproximadamente igual volumen y compactar con 20 golpes de la varilla pisón.
- 4) Enrasar con la varilla pisón, sin compactar la superficie.
- 5) Levantar lenta y cuidadosamente el molde en dirección vertical.
- 6) Una vez levantado el molde, medir inmediatamente la disminución de altura del mortero moldeado respecto al molde, con aproximación de 1 mm. Hacer esta medición en el eje central del molde en su posición primitiva.
- 7) El llenado, el enrase y la medición deben realizarse en un tiempo menor que 3 min.

Figura N° 51

ENRASADO DE CONO REDUCIDO EN ENSAYO DE CONSISTENCIA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 52

RETIRO DEL CONO PARA REALIZAR MEDICIÓN DE ASENTAMIENTO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Cabe señalar que este procedimiento de ensayo se siguió para cada uno de los tres morteros preparados, y en el orden descrito en 2.6.3.-. El asentamiento en centímetros que arrojó cada mortero debió ser expresado según la equivalencia con el ensayo en la mesa de sacudidas como lo indica la NCh 2258 (INN, 1994). Los resultados del ensayo y su expresión final serán incluidos en el *CAPÍTULO III*.-

2.6.5.- Ensayo de Resistencia Mecánica

El antecedente de la resistencia del mortero a la flexotracción y a la compresión también constituye un aspecto a considerar si se tiene en cuenta que el tipo de mortero está clasificado primeramente por esta característica, lo que implica en la práctica que los morteros, análogo a lo que sucede con los hormigones, se diferencien básicamente por la relación agua – cemento, dando lugar a las denominaciones en grados de los morteros según la Tabla 1 de la NCh 2256/1 (ver *Anexos* Tabla A.5)

De este modo el contar con tres grados de morteros favorecía las conclusiones posteriores respecto de la incidencia de la cantidad de cemento en la adherencia de los morteros, considerando lo expuesto en el primer párrafo del punto 2.6.4.-

Este ensayo fue realizado según la norma NCh 158 y con la ayuda del personal del LEMCO, debido a que se trata de un ensayo que se maneja habitualmente en este laboratorio. El procedimiento que detalla la norma para este ensayo se detalla a continuación (INN, 1967):

- Preparación y conservación de probetas:

1) El molde se cubrirá interiormente con una delgada capa de aceite. Las uniones exteriores deberán sellarse.

2) El molde y el marco se fijarán sobre la mesa de compactación.

3) Se introducirá en cada uno de los compartimentos una primera capa de alrededor de 320 g de mortero, directamente desde el mezclador. Esta capa se nivelará por medio de una espátula plana con dos movimientos de ida y vuelta apoyándose sobre el borde superior del dispositivo superpuesto.

4) Se hará funcionar la mesa de golpes dando 60 caídas en 60 s.

5) Se colocará una segunda capa de mortero igual aproximadamente a la anterior, la cual se enrasará y compactará en la misma forma.

- 6) Se sacará el molde y se retirará el marco. Se enrasará el mortero con la arista de una regla metálica, mantenida en posición casi vertical, que se desplazará con un movimiento de sierra, perpendicularmente a la longitud del molde.
- 7) Se emparejará la superficie alisándola con la regla que se mantendrá débilmente inclinada sobre la horizontal.
- 8) Se identificarán las probetas.
- 9) Los moldes se cubrirán con una plancha de material no absorbente, para evitar la evaporación de agua.
- 10) Los moldes se trasladarán a la cámara húmeda que se mantendrá en las condiciones descritas.
- 11) Las probetas que se romperán a las 24 h se desmoldarán 15 a 20 min antes del ensayo. Las demás probetas se desmoldarán entre 20 y 24 h después de haberlas moldeado. Si el mortero no ha adquirido suficiente resistencia para desmoldarlo sin peligro de deterioro, el desmolde puede postergarse 24 h, pero debe anotarse en el informe.
- 12) Las probetas desmoldadas se limpiarán suavemente y se pesarán.
- 13) Las probetas desmoldadas se sumergirán en posición vertical, en agua detenida, saturada en cal, a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta el momento del ensayo. El agua deberá tener libre acceso sobre todas las caras de las probetas. El agua deberá renovarse por mitades cada 30 días. El volumen del agua de conservación será por lo menos 4 veces el del total de las probetas contenidas.

14) Las probetas se sacarán del agua menos de 15 min antes del ensayo. Si es necesario para satisfacer esta condición, las probetas se transportan a las máquinas de ensayo en un recipiente lleno de agua.

- Procedimiento ensayo flexión y compresión:

1) La probeta se apoyará, en una de las caras laterales del moldaje, sobre los rodillos de apoyo de la máquina a flexión.

2) La carga se aplicará a través del rodillo superior con una velocidad de carga de 5 ± 1 kg/s.

3) Los trozos de las probetas rotas a flexión, se conservarán húmedos hasta el momento en que cada uno de ellos se someta al ensayo de compresión.

4) Cada trozo obtenido del ensayo a flexión se ensayará a la compresión en una sección de 40x40 mm, aplicándose la carga a las dos caras provenientes de las laterales del moldaje, colocándose entre las placas de la máquina de compresión.

5) La velocidad de carga será tal que la presión sobre la probeta aumente entre 10 y 20 kg/cm²/s. Hasta la mitad de la carga de ruptura la carga podrá aumentar a mayor velocidad, pero en todo caso la duración de cada ensayo será menor o igual en 10 s.

En la práctica el procedimiento descrito en la norma debió adaptarse a las condiciones del laboratorio en cuanto al uso de la mesa de compactación. Este proceso se realizó manualmente, pero siempre respetando los 60 golpes en un minuto establecidos en la norma.

Figura N° 53
COLOCACIÓN SEGUNDA CAPA EN EL MOLDE RILEM PARA SER
COMPACTADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 54
PESADO DE PROBETA DESMOLDADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

El ensayo de las probetas rílem se realizó en dos etapas. Para cada muestra de mortero se ensayaron tres probetas, una a los 7 días, y las otras dos restantes a los 28 días.

En las figuras que siguen se aprecia la realización de los ensayos en la máquina e flexión y compresión.

Figura N° 55

PROBETA SITUADA CON LOS RODILLOS EN LA MÁQUINA DE FLEXIÓN



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 56

PROBETAS RILEM PARA ENSAYO DE FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 57

PROBETAS RILEM ENSAYADAS A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 58

**MÁQUINA DE COMPRESIÓN ENSAYANDO LOS TROZOS DE LAS PROBETAS
ROTAS A FLEXIÓN**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 59

TROZO DE PROBETA ROTA A LA COMPRESIÓN



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

2.6.6.- Ensayo de Adherencia

De todos los ensayos realizados a los morteros indudablemente este constituía el más importante debido a la relevancia que tiene para los objetivos perseguidos.

La adherencia del mortero a la superficie obtenida con los moldajes sencillamente condiciona en gran parte la efectividad de la solución propuesta, ya que lógicamente lo que se quiere de un estuco es que este se una firmemente a la superficie que cubre para garantizar entre otras cosas su funcionalidad y durabilidad.

En esta línea la realización de un ensayo que entregara luces al respecto se hacía primordial, puesto que después de estudiar la norma NCh 2471 de Morteros – Ensayo de adherencia – Método de tracción directa, se llegó la conclusión que no sería posible realizar el ensayo según lo estrictamente establecido en la norma. El procedimiento para el ensayo con mortero preparado en laboratorio se describe a continuación (INN, 2000):

- 1) Preparar una cantidad de mortero suficiente para efectuar los ensayos que indique la norma correspondiente al recubrimiento que se ensaya o cinco probetas si no se especifica.
- 2) Colocar la(s) capa(s) de mortero sobre un sustrato horizontal de baja absorbencia.
 - a) Después que el mortero ha sido aplicado, formar las probetas colocando los anillos marcadores previamente lubricados, mediante una suave presión y rotación en el mortero fresco, hasta que su borde inferior esté en completo contacto con el sustrato, homogeneizar la distribución y compactación del mortero fresco en los anillos, mediante golpes suaves con un pisón de base rectangular, tratando de dejar la superficie lo más lisa posible.

b) El mortero fresco puede ser colocado directamente en los anillos sobre el sustrato requerido, en posición horizontal, previamente lubricados, para obtener probetas de espesor $15 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, compactando el mortero con el pisón suavemente como se indica en a).

3) La distancia entre los anillos y de ellos con los bordes debe ser superior a 50 mm, de modo que posteriormente el equipo aplicador de fuerza de tracción se apoye en la superficie del mortero endurecido y permanezca estable durante la ejecución del ensayo.

4) Retirar cuidadosamente los anillos marcadores cuando el recubrimiento ha alcanzado un grado de endurecimiento tal que la probeta no se deforme, fisure o altere la zona de adherencia entre sustrato y recubrimiento. Si la probeta se observa deteriorada con alguna de las fallas mencionadas u otra, debe ser desechada y una nueva probeta puede ser preparada en el recubrimiento endurecido con el otro procedimiento, si se cuenta con este último.

5) Mantener las probetas de recubrimientos en base a cemento cubiertas con lámina flexible, no absorbente, para evitar la pérdida de humedad, a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta el momento del ensayo. Para otro tipo de recubrimientos, mantener las probetas de acuerdo al sistema de fraguado que corresponda.

6) La edad del recubrimiento para efectuar el ensayo debe ser la establecida en la norma respectiva (generalmente 28 días) o diferente en casos particulares, lo que se debe indicar en el informe de resultados.

7) Previo a colocar el disco fijador asegurar que la superficie de la probeta esté limpia y libre de humedad superficial. Si existe humedad superficial es necesario eliminarla con material absorbente como papel secante. Si existen contaminantes adheridos a la superficie de la

probeta removerlos con un abrasivo cuidadosamente para no afectar la probeta y no dejar residuos sueltos.

8) Preparar el adhesivo de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y extenderlo sobre la superficie de la probeta con el espesor aproximado recomendado.

9) Colocar el disco fijador sobre el adhesivo con ligera presión para evitar que se produzcan burbujas que originarían fuerzas discontinuas durante el ensayo. Remover cuidadosamente el exceso de adhesivo alrededor del disco fijador.

10) Esperar el tiempo de endurecimiento recomendado para el adhesivo, asegurando que no se produzcan alteraciones que afecten la posición del disco fijador y la adherencia entre éste y la probeta.

11) Eliminar cualquier residuo adherido al disco fijador previo a colocar el adhesivo.

12) Conectar el equipo aplicador de tracción al disco fijador, asegurando que la fuerza de tracción sea aplicada perpendicular a la superficie y con la velocidad aproximada a la indicada, de acuerdo a la adherencia esperada, hasta que se produzca el despegue del sustrato.

13) Si no se tiene antecedentes sobre la adherencia, en el primer ensayo se aplica la menor velocidad de carga señalada, y en los ensayos posteriores la velocidad correspondiente al valor de adherencia determinado en el primer ensayo.

14) Registrar el valor de la fuerza obtenida en cada ensayo y la zona de rotura o combinación de ellas.

Debido a los objetivos de esta tesis no era necesario preparar un sustrato adicional para ensayar la adherencia del mortero a éste, ya que el sustrato en se requería evaluar la adherencia estaba constituido por el mismo muro de muestra confeccionado con los moldajes rugosos. De este modo los puntos 1) al 5) del procedimiento anterior descrito en la norma no son aplicables al método seguido en el laboratorio.

En el momento de realizar el estucado de los muros de muestra, cuando el estuco fresco estuvo pulido y lo suficientemente firme, se procedió a preparar las probetas para el ensayo de adherencia sobre el muro utilizando como anillo marcador el borde superior del molde troncocónico usado para el ensayo de consistencia, ya que resultaba sencillo y cumplía con el diámetro de 50 mm exigido en la norma para la probeta.

Figura N° 60

**FORMACIÓN PROBETAS CON ANILLO MARCADOR EN MURO PARA ENSAYO
DE ADHERENCIA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Luego de haber preparado tres probetas en cada estuco, para contar con un margen en caso de cualquier inconveniente futuro, y de proteger los muros de muestra ya estucados como se indica en 2.6.3.- se debió dejar reposar las muestras en el laboratorio durante los 28 días necesarios para la realización del ensayo. En este período se intentó buscar alternativas respecto a la manera de aplicar la fuerza de tracción requerida para la parte final del ensayo.

Los discos fijadores requeridos para el ensayo fueron fabricados previo al momento de realizar el ensayo, es decir transcurridos los 28 días de la confección de las probetas, en una maestranza cercana al laboratorio, cumpliendo las exigencias establecidas en la norma según se menciona en el punto 2.6.1.-

Posteriormente correspondía seleccionar las probetas que serían ensayadas en cada uno de los cuatro muros estucados, ya que como se indicó anteriormente en cada estuco se prepararon tres probetas. En esta etapa se evidenció un problema que se había hecho presente en la etapa de chicoteo de los muros de muestra. Este problema tiene que ver con la adherencia del mortero en el muro preparado con el moldaje de madera, puesto que como se aprecia en Figura N° 61 se hizo inevitable el desprendimiento del mortero de revestimiento al momento de manipular los muros para ensayarlos.

A pesar de esta situación se logró rescatar el otro estuco realizado con el moldaje de madera manipulando cuidadosamente el muro de muestra, lo que permitió preparar tres probetas para el ensayo de adherencia. Se escogieron finalmente aquellas que presentaban una superficie más regular y que facilitaran el proceso de aplicación de la carga de tracción.

Con esto ya definido se inició la preparación del adhesivo en base a resinas epóxicas (ver Figura N° 61). Se utilizó Sikadur 32 Gel, el cual es usado comúnmente en la construcción

como puente de adherencia para juntas de hormigón y en anclajes de acero con hormigón endurecido.

Figura N° 61

DESPRENDIMIENTO DE ESTUCO DE MURO ANTES DE REALIZAR EL ENSAYO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 62

MEZCLADO Y PREPARACIÓN DE ADHESIVO EN BASE A RESINAS EPÓXICAS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 63

COLOCACIÓN DISCOS FIJADORES CON ADHESIVO SOBRE PROBETAS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Como se mencionó anteriormente el procedimiento normalizado para este ensayo debió adecuarse a las condiciones existentes y a los equipos disponibles en el laboratorio. La modificación más importante tiene relación con la aplicación de la carga de tracción directa.

Las máquinas existentes en el LEMCO sólo trabajan aplicando cargas a la compresión, por lo que la posibilidad de realizar el ensayo con alguna de estas máquinas era remota, al tener necesariamente que adaptar una de ellas para lograr la aplicación de una carga de tracción. En la práctica esto resultó contraproducente puesto que no era factible realizar tal adaptación, ni mucho menos mover las máquinas al lugar dónde se encontraban las muestras.

Otra posibilidad era contar con la ayuda de la Escuela de Ingeniería Naval, puesto que el Laboratorio del Astillero de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería dispone de máquinas que ensayan materiales a la tracción.

Sin embargo, después de consultar al encargado de dicho laboratorio se concluyó que esta opción tampoco resultaba factible debido a que la máquina que ensayaba aceros a la tracción era de un potencial mucho mayor al requerido para el ensayo de adherencia, por lo que no se disponía de la sensibilidad necesaria. Traduciendo esto último a números se tiene que la máquina aludida está diseñada para cargas de hasta 40 toneladas, mientras que para el ensayo de adherencia se requería una carga del orden de los 50 kilogramos según cálculos estimados.

Con este panorama se recurrió a una solución alternativa. La solución consistió en aplicar directamente la carga necesaria para despegar la probeta de mortero haciendo uso de pesos conocidos (pesas convencionales usadas en el gimnasio), los cuales aplicarían la fuerza sobre el disco fijador mediante un cordel traccionado por los mismos pesos.

Evidentemente este método representaba una solución manual y por ende el proceso fue artesanal, pero considerando la importancia de este ensayo era fundamental realizarlo aunque se escapara del marco establecido por la norma correspondiente. En definitiva se cumplía con el objetivo de aplicar la carga de tracción a la probeta, a pesar de no hacerlo con una máquina calibrada ni a la velocidad recomendada por el procedimiento normalizado.

Figura N° 64

**PESOS CONOCIDOS UTILIZADOS PARA APLICAR LA CARGA DE TRACCIÓN
DIRECTA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Posteriormente se tuvo que definir la manera en la cual se soportarían los pesos para que estos puedan transmitir la carga directamente al cordel. Lo ideal era que el peso de todos estos elementos no incida mayormente en la magnitud de la carga aplicada con las pesas, por lo que se utilizó una arpillera doble arreglada como bolsa para contener los pesos como se aprecia en la Figura N° 65.

Además se dispuso de un rodillo de metal liso que redujera al máximo el roce con el cordel traccionado. Dicho cordel se amarró en un extremo al disco fijador y en el otro a la bolsa de arpilleras que contenía las pesas. Cada una de las pesas utilizadas era de 10 Kg. El cargío de las pesas en la bolsa se realizó en forma gradual una por una, hasta producir el rompimiento de la probeta (ver Figura N° 67). La primera probeta que se ensayó fue la correspondiente al muro confeccionado con el moldaje de madera, el cual fue el último estuco confeccionado, es decir la muestra n° 3 de mortero.

Figura N° 65

**DISPOSICIÓN DE LOS IMPLEMENTOS USADOS PARA LOGRAR LA
APLICACIÓN DE LA CARGA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 66

CORDEL TRACCIONADO APLICANDO CARGA SOBRE DISCO FIJADOR



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 67

**ROMPIMIENTO PROBETA DE ESTUCO REALIZADO EN MURO DE MOLDAJE
DE MADERA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 68

PESOS UTILIZADOS PARA ROMPIMIENTO PRIMERA PROBETA ENSAYADA



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

La segunda probeta ensayada correspondió a la muestra n° 2 de mortero utilizado en uno de los muros confeccionados con el moldaje metálico.

La adherencia del estuco en este caso forzó la colocación de más pesas de las que era capaz de contrarrestar el peso propio del muro, produciendo la desestabilización del sistema habilitado para aplicar la carga al disco fijador. Específicamente el muro de muestra fue arrastrado por la carga inducida por las pesas como se aprecia en la figura siguiente.

Figura N° 69

**DESESTABILIZACIÓN DE LA DISPOSICIÓN ADOPTADA PARA LA
REALIZACIÓN DEL ENSAYO**



Fuente: **ELABORACIÓN PROPIA**

Luego de esto se asumió la carga soportada por la probeta como carga final, a pesar de no haber producido el rompimiento de ésta.

Para realizar el ensayo de la última probeta se debió acondicionar el sistema de tal manera que entregara mayor estabilidad al momento de realizar el cargío de las pesas. Esto se

logró fijando el muro de muestra a un punto fijo mediante cuerdas y colocando en la parte frontal el otro muro en forma perpendicular, como se aprecia en la Figura N° 70 y N° 72.

Figura N° 70

**ACONDICIONAMIENTO Y REFUERZO DE LOS MUROS DE MUESTRA
ENSAYADOS**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Una vez reforzado el sistema se inició el proceso de cargó para la tercera probeta sometida al ensayo, que correspondía al segundo estuco del muro confeccionado con el moldaje metálico.

En este caso se pudo cargar la totalidad de las pesas en la bolsa de arpilleras sin que se produzca el rompimiento de la probeta.

Por esta razón se requería adicionar pesos con la finalidad de producir el rompimiento de la probeta. En la Figura N° 71 se observan en la balanza los pesos utilizados con este fin. Se

debe destacar que la bolsa de arpilleras denotaba la exigencia que implicaba soportar todas las pesas, por lo que se podía suponer que no sería posible cargarla con mucho más peso.

De esta manera se colocaron los pesos adicionales como muestra la Figura N° 72, con lo que prácticamente se copaba la capacidad de la bolsa de arpilleras. A pesar de esto la probeta ensayada no rompió. Al añadir un último peso finalmente la bolsa cedió, dándose por terminado el ensayo sin rompimiento de la tercera probeta. Ver Figura N° 73.

Figura N° 71

**PESADO DE PESOS EXTRAS PARA INTENTAR ROMPIMIENTO EN TERCERA
PROBETA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 72

**CARGA SOPORTADA SIN ROMPIMIENTO POR TERCERA PROBETA
ENSAYADA**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Figura N° 73

**DESESTABILIZACIÓN DEL SISTEMA HABILITADO PARA CONTENER LOS
PESOS CONOCIDOS**



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

CAPÍTULO III.- RESULTADOS, ANÁLISIS Y CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS

Este capítulo se limita a presentar los resultados obtenidos en los ensayos descritos anteriormente, y la expresión de estos resultados cuando proceda. Además se realizará un breve análisis de éstos para desprender conclusiones específicas acerca de los ensayos realizados.

3.1.- Resultados de los Ensayos

3.1.1.- Resultados del Ensayo de Consistencia

Los resultados arrojados por cada una de las tres muestras ensayadas en el orden en que fueron estucados los muros según 2.6.3.-, aproximados a 0,5 cm, se detallan a continuación:

Tabla N° 1
RESULTADOS OBTENIDOS PARA ENSAYO DE CONSISTENCIA

Muestra	Tipo Moldaje	Asentamiento (mm)
N° 1	Metálico (1)	25
N° 2	Metálico (2)	30
N° 3	Madera (2)	20

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Cabe recordar que las primeras dos muestras corresponden al estuco de los muros confeccionados con el moldaje metálico, mientras que la última al confeccionado con el moldaje de madera.

Expresando los resultados anteriores como equivalentes al ensayo en la mesa de sacudidas según indica la Tabla A.1 de la NCh 2258 (ver Tabla A.6 de los *Anexos*) se tiene (INN, 1994):

Tabla N° 2

EXPRESIÓN DE RESULTADOS EQUIVALENTES PARA ENSAYO DE CONSISTENCIA

Muestra	Tipo Moldaje	Cono Reducido (mm)	Mesa de Sacudidas (mm)
N° 1	Metálico (1)	25	180
N° 2	Metálico (2)	30	190
N° 3	Madera (2)	20	170

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

La equivalencia anterior es necesaria puesto que la clasificación y requisitos de consistencia de los morteros están definidos para los resultados obtenidos según el extendido en la mesa de sacudidas. Ver clasificación según INN (1985) en Tabla A.7 de los *Anexos*.

3.1.2.- Resultados del Ensayo de Resistencia Mecánica

En la Tabla N° 3 se presentan los resultados obtenidos en las máquinas para las tres muestras de mortero ensayadas a la flexión y a la compresión:

Tabla N° 3

RESULTADOS OBTENIDOS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA

Muestra	N° Probeta	Carga Flexión (Kg)			Carga Compresión (Kg)		
		7 días	28 días (1)	28 días (2)	7 días	28 días (1)	28 días (2)
N° 1	7	39	49	44	2550	4000	3900
N° 2	3	28	28	29	2300	2350	2450
N° 3	6	45	62	63	4400	4900	5500

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

La expresión de estos resultados debe hacerse según la NCh 158 en Kg/cm² (INN, 1967), para lo cual debe realizarse el siguiente cálculo:

- Resistencia a la Flexión (Kg/cm²) = 0,243*P

Donde:

0,234 = Constante de conversión para distancia de 10 cm entre apoyos.

P = Carga total de ruptura en Kg.

- Resistencia a la Compresión (Kg/cm²) = C/16

Donde:

C = Carga total de ruptura en Kg.

16 = Sección de 40*40 mm, área de aplicación de la carga en cm².

De esta manera realizando el cálculo para cada uno de los resultados obtenidos se obtiene el siguiente cuadro que resume los resultados finales expresados según la exigencia de la norma antes citada.

Tabla N° 4

EXPRESIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA MECÁNICA

Muestra	N° Probeta	Resistencia a la Flexión (Kg/cm²)			Resistencia a la Compresión (Kg/cm²)		
		7 días	28 días (1)	28 días (2)	7 días	28 días (1)	28 días (2)
N° 1	7	9,13	11,47	10,30	159,38	250,00	243,75
N° 2	3	6,55	6,55	6,79	143,75	146,88	153,13
N° 3	6	10,53	14,51	14,74	275,00	306,25	343,75

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Para convertir en MPa se tiene la siguiente relación, según la NCh 2256/1 (INN, 2001):

- 1 MPa = 10,2 Kg/cm²
- ➔ 1 Kg/cm² = 0,09804 MPa

Considerando la media aritmética de las resistencias a los 28 días de las muestras, pues son estas las resistencias relevantes para la clasificación en grados del mortero según establece la NCh 2256/1 (INN, 2001), y realizando la conversión a MPa de acuerdo a la relación anterior se tiene:

Tabla N° 5

MEDIA ARITMÉTICA Y CONVERSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS A LOS 28 DÍAS

Muestra	N° Probeta	Flexión 28 días		Compresión 28 días		Grado Mortero
		Promedio (Kg/cm²)	en Mpa	Promedio (Kg/cm²)	en Mpa	
N° 1	7	10,88	1,07	246,88	24,20	M 20
N° 2	3	6,67	0,65	150,00	14,71	M 10
N° 3	6	14,63	1,43	325,00	31,86	M 30

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

El grado del mortero se aproximó al múltiplo de 5 inferior más cercano para establecer un margen de tolerancia a favor y para cotejar estos valores con los grados definidos en la Tabla 1 de la NCh 2256/1 según INN (2001) (Ver *Anexos* Tabla A.5).

3.1.3.- Resultados del Ensayo de Adherencia

Para el ensayo de adherencia se obtuvieron los resultados que muestra la Tabla N° 6, en la cual se presentan los resultados según el orden en que fueron efectuados para cada muestra.

Tabla N° 6
RESULTADOS OBTENIDOS PARA ENSAYO DE ADHERENCIA

Muestra	Tipo Moldaje	Peso Soportado (Kg)	Observaciones
N° 3	Madera (2)	30	Rompe
N° 2	Metálico (2)	60	No Rompe
N° 1	Metálico (1)	90	No Rompe

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Según la NCh 2471 la adherencia determinada en cada probeta como resistencia a la tracción directa debe ser calculada con la fórmula siguiente (INN, 2000):

- Adherencia (MPa) = F/A

Donde:

F = Carga de rotura en N (Newton).

A = Área de la probeta en mm².

Para realizar la conversión a Newton de la carga soportada obtenida en Kg, se debe considerar la siguiente relación:

- 1 Kg = 9,806 N

Además el área de las probetas en mm² se puede determinar de la siguiente manera, teniendo en cuenta que las tres probetas eran de igual dimensión:

- $A = \pi \cdot 25^2 = 1963,5 \text{ mm}^2$

Aplicando estas conversiones en la fórmula inicial se obtiene el siguiente cuadro que resume la adherencia de cada probeta expresada en MPa:

Tabla N° 7
EXPRESIÓN DE RESULTADOS PARA ENSAYO DE ADHERENCIA

Muestra	Tipo Moldaje	Adherencia (MPa)
N° 3	Madera (2)	0,15
N° 2	Metálico (1)	0,30
N° 1	Metálico (2)	0,45

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

3.2.- Análisis de Resultados

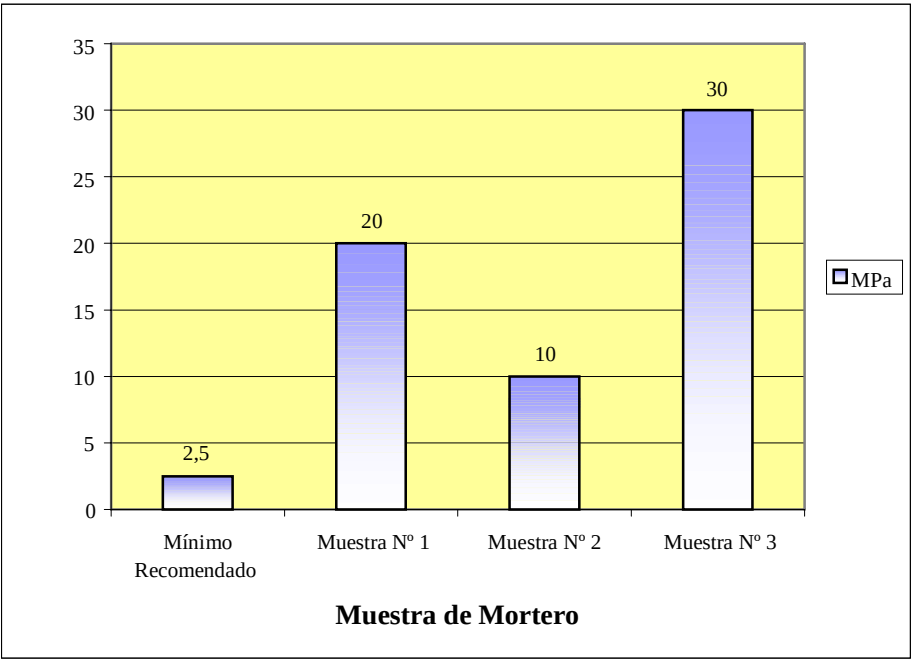
En relación al ensayo de consistencia se puede decir que dos de los tres morteros ensayados cumplen el requisito establecido en la norma respectiva, de 180 mm a 200 mm

según el extendido en la mesa de sacudidas, según se menciona en 2.6.- Estos corresponden a los morteros utilizados en el muro confeccionado con el moldaje metálico.

Conviene destacar que las muestras con mayor grado de fluidez se usaron en estos muros, mientras que el mortero utilizado para estucar el muro confeccionado con el moldaje de madera requirió ser menos fluido, es decir, con una dosis menor de agua para que se pueda adherir adecuadamente al muro.

En cuanto a los resultados del ensayo de resistencia mecánica se analizarán las resistencias obtenidas para cada muestra correspondientes al ensayo de compresión a los 28 días y expresadas en MPa. Así se tiene el gráfico siguiente:

Gráfico N° 1
GRADO MÍNIMO RECOMENDADO POR NORMA CONTRA GRADOS
OBTENIDOS



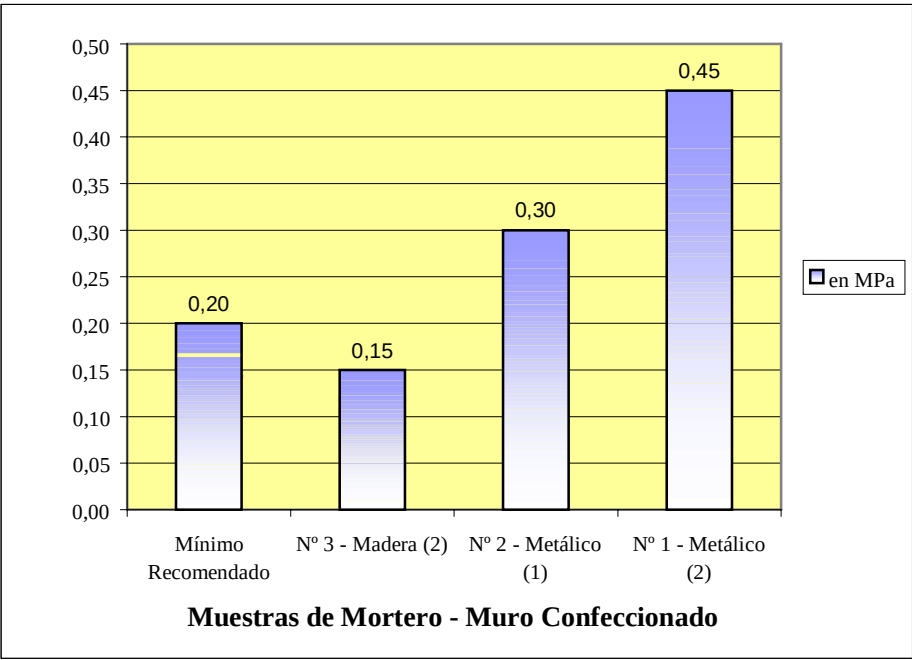
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

A la luz de lo reflejado por la gráfica anterior los morteros ensayados sobrepasan considerablemente la resistencia mecánica mínima recomendada por la norma en cuanto a los requisitos mínimos mencionados en 2.6.-

El mortero con menor resistencia es 4 veces más resistente que el mínimo exigido, mientras que el mortero de mayor resistencia lo es 12 veces, considerando el requisito para estucos exteriores. Esto nos da a entender que en la práctica el requisito de resistencia mecánica es fácil de lograr, puesto que en las dosificaciones usadas en los morteros confeccionados no se utilizó una dosis excesiva de cemento. En tanto el mortero de mayor grado (M 30), es decir el que contaba con una dosis más rica de cemento en relación con el agua de amasado, fue utilizado en el estuco del muro confeccionado con el moldaje de madera.

Finalmente resta analizar los resultados del ensayo de adherencia con respecto al requisito mencionado en 2.6-, para lo cual se ha confeccionado el siguiente gráfico:

Gráfico N° 2
ADHERENCIA MÍNIMA RECOMENDADA CONTRA ADHERENCIAS OBTENIDAS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

La gráfica anterior da cuenta, por un lado, de la resistencia a la adherencia de la probeta correspondiente al moldaje de madera, la cual llegó a los 0,15 MPa con lo que no alcanzó a cumplir con el requisito mínimo recomendado. Cabe recordar que solamente se pudo ensayar una de las dos probetas del moldaje de madera, puesto que la primera sufrió el desprendimiento del estuco antes de realizar el ensayo. Por esta razón la baja adherencia obtenida en este caso era predecible.

Por otro lado las adherencias obtenidas con la primera y segunda probeta del moldaje metálico superan en un 50% y 125% respectivamente, la adherencia mínima recomendada según se expone en 2.6.-

Los resultados obtenidos con estas probetas son esperanzadores debido a que no se llegó a producir el rompimiento de ninguna de ellas, si no que se asumieron tales cargas por la imposibilidad de seguir aplicando más carga dado el sistema utilizado para lograrlo, tal como se explicó en 2.6.6.- Por tanto se puede deducir que la resistencia de estas probetas en la realidad pudo ser aún mayor.

También podemos ver la relación entre las resistencias mecánicas de los morteros y su resistencia a la adherencia en el Gráfico N° 3.

Gráfico N° 3

RELACIÓN ENTRE GRADOS Y ADHERENCIAS DE MORTEROS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Del gráfico anterior se desprende que los morteros con menor grado de resistencia mecánica arrojaron mejor resistencia a la adherencia con respecto a la superficie en que estaban aplicados. Mientras que para el mortero de mayor grado se nota una fuerte caída en la adherencia.

Lo anterior demuestra que la superficie en la cual se aplican los morteros para estucos tiene mucho que ver en la adherencia de estos al paramento, a pesar de la dosis de cemento que éstos posean, puesto que es debido a este factor que se evidenció tal diferencia en los resultados obtenidos.

3.3.- Síntesis de los Ensayos

De los análisis anteriores podemos asumir que la característica de consistencia pudo haber afectado en la adherencia del estuco correspondiente al moldaje de madera, al no estar en el rango recomendado por la norma respectiva. De todas maneras a la luz de lo experimentado en el proceso de estucado se puede decir que la principal causa no fue esta, ya que se debió adicionar cemento y arena al mortero preparado en un principio para que se pueda realizar el chicoteo sin tanto desprendimiento de mezcla.

Por otro lado este mortero resultó a la larga ser el más resistente, por lo tanto el grado del mortero tampoco aportó demasiado a su adherencia al muro, a pesar de que constituye un factor importante en este sentido.

De lo anterior puede desprenderse que lo que condicionó finalmente la insuficiente adherencia de este estuco fue la forma particular de la superficie lograda con el moldaje de madera. Dicha superficie resultó fina al tacto, demasiado lisa a pesar de las cavidades inducidas por los clavos tapiceros, además de no ser éstas lo suficientemente profundas para una adecuada compenetración del mortero a la superficie, y por último estar demasiado distanciadas una de la otra.

Por su parte los morteros correspondientes a los muros confeccionados con el moldaje metálico cumplieron a cabalidad con los requisitos mínimos exigidos por las normas chilenas. Sin embargo el aspecto a rescatar tiene relación con la firme adherencia lograda en esta superficie, a pesar de haber utilizado morteros menos resistentes mecánicamente, lo que indudablemente fue producto de las características propias del moldaje metálico, que a diferencia del anterior indujo en el muro de muestra cavidades de mayor volumen, más juntas unas de otras, y con una terminación mucho más áspera.

Se puede decir entonces que la superficie lograda con este moldaje resultó óptima. Quizás el único aspecto relativamente negativo lo constituyó la etapa del descimbre, en la cual se requirió un trabajo adicional, pero que de todas maneras está dentro de lo aceptable y normal para este proceso.

Lo anterior sin duda es manejable, puesto que dependiendo de la adherencia que se requiera en el estuco se puede variar la profundidad y densidad de las semiesferas en la superficie del moldaje. También puede idearse un sistema que permita que no toda la superficie del moldaje quede en contacto con el muro. Con sencillas modificaciones como estas se puede facilitar considerablemente el proceso de desmolde.

CAPÍTULO IV.- ESTUDIO COMPARATIVO CON MÉTODOS TRADICIONALES

Este último capítulo está destinado a presentar antecedentes generales que permitan ubicar la solución desarrollada en un contexto real respecto a los métodos tradicionales existentes descritos en 1.1.1.-, pensando en la posibilidad de implementar la solución en el mercado.

4.1.- Resumen de Eficiencia y Ventajas

El cuadro que sigue representa un paralelo entre los métodos existentes para lograr la rugosidad en los paramentos que han de estucarse y el moldaje rugoso propuesto. Este paralelo se basa en los inconvenientes del puntereo mencionados en 1.1.1.1.-

Tabla N° 8

**PARALELO QUE RESUME VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DE MOLDAJES
RUGOSOS**

Característica	Puntereo	Promotor Adherencia	Malla Metálica	Moldaje Rugoso
Requiere tiempo adicional	Si	Si	Si	No
Requiere personal específico	Si	Si	Si	No
Requiere implementos específicos	Si	Si	Si	No
Retraso de partidas inmediatas	Si	Si	Si	No
Deterioro de elementos involucrados	Si	No	No	No
Alta ocurrencia de accidentes	Si	No	No	No
Desuniformidad de resultados con distintos operarios	Si	No	No	No
Costos adicionales asociados	Si	Si	Si	No

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

El cuadro anterior deja ver como aquellos aspectos que constituyen inconvenientes y/o desventajas para el método tradicional del puntereo son superados en su totalidad por el sistema propuesto de moldajes rugosos.

4.2.- Análisis Estimativo de Disminución de Costos

A continuación se presenta una comparación estimativa en cuanto a la disminución de costos que significaría el uso de los moldajes rugosos por metro cuadrado de superficie en vez de los métodos existentes, teniendo en cuenta que los moldajes rugosos no adicionarían valor alguno al proceso por concepto de tratamiento previo estuco.

Tabla N° 9
COSTO APROXIMADO POR M² DE SUPERFICIE DE LOS MÉTODOS
EXISTENTES

Método	Costo por m2 (\$)
Puntereo	400
Promotor Adherencia	880
Malla Metálica	670

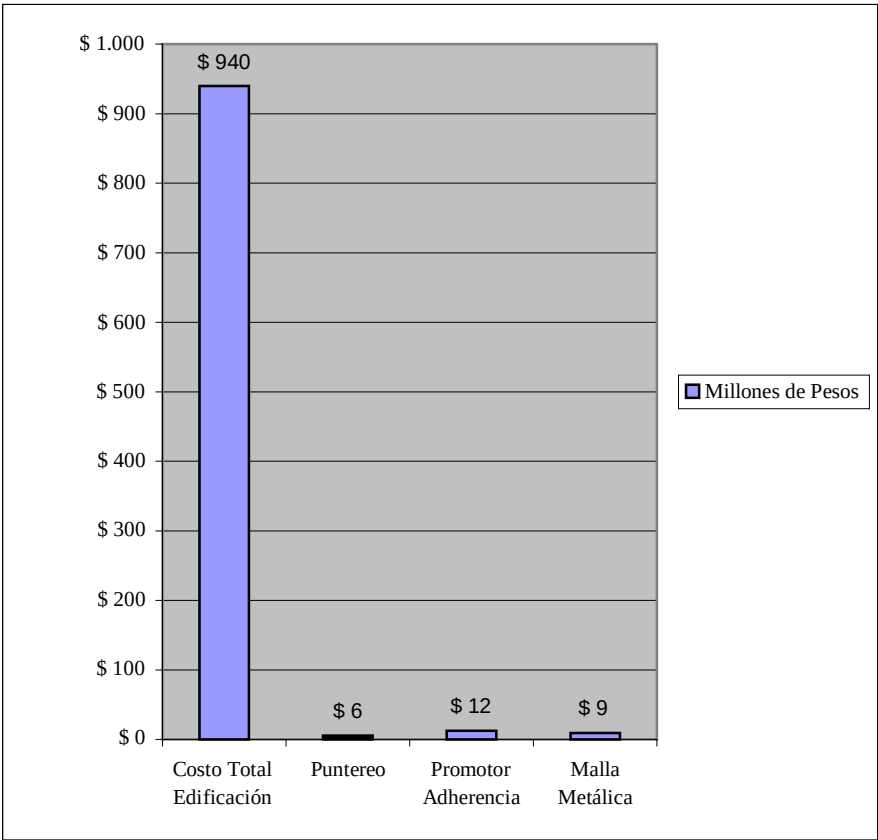
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Los valores de la Tabla N° 9 son aproximados y sólo entregan una referencia en cuanto a los costos reales asociados que puede tener cada procedimiento, ya que se estimaron en base al valor de los materiales y mano de obra involucrada.

A partir de estos valores se presenta un gráfico que muestra la incidencia de cada uno de estos procedimientos en el costo total de un edificio de hormigón de 2000 m². Se consideró

para estos efectos un costo estimativo de 470.000 por m² de edificación, con un índice de superficie a estucar por metro cuadrado de edificación de 7 m²/m² edificado. Este gráfico refleja a la larga la disminución proporcional en los costos de una edificación al utilizar moldajes rugosos en vez de los otros procedimientos.

Gráfico N° 4
DISMINUCIÓN DE COSTOS ESTIMADA PARA EDIFICIO DE 2000 M²



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

En definitiva se tiene que en una obra cualquiera el porcentaje aproximado de disminución de costos que implicaría el uso de los moldajes rugosos en vez del tradicional puntereo asciende a 0,6 %. Este porcentaje aumenta a un 1,3 % para el caso del uso de promotor de adherencia, y a un 1,0 % si se utiliza malla metálica.

4.3.- Evaluación de Proyección al Mercado

Para implementar el nuevo sistema propuesto de moldajes rugosos al mercado sin duda se requiere primeramente de un estudio específico y acabado que defina un plan de negocios concreto a partir de la evaluación del proyecto. Dicha mención representa un trabajo aparte, sin embargo esta memoria sirvió para desarrollar aquella idea original e innovadora que es el punto de partida para cualquier negocio exitoso.

A pesar de ello esta parte de la presente memoria pretende evaluar la eventual inclusión de los moldajes rugosos al rubro de la construcción, en cuanto a los puntos más relevantes a considerar para iniciar el hipotético negocio. En la práctica constituye las conclusiones referentes a la posibilidad de explotar la idea comercialmente.

El primer paso lo constituye el patente industrial. Según averiguaciones directas en la base de datos de DPI (Departamento de Patentes Industriales), disponible en el sitio web de dicha institución, se constató que en Chile no hay antecedentes similares acerca del producto que aquí se desarrolla.

En este sentido una posibilidad la constituye el explotar la patente industrial proponiendo la idea a las empresas dedicadas a los moldajes en Chile que estén interesadas en el producto. Se debe tener en cuenta que los moldajes no son fabricados en nuestro país, pero la implementación del producto pasaría por la modificación de la superficie de los moldajes ya existentes y utilizados actualmente, lo que en la práctica resulta sencillo y atractivo para cualquier empresa que desee innovar.

La otra posibilidad es comenzar la empresa de fabricación de moldajes por iniciativa personal, para lo cual sin duda se requiere el apoyo de inversionistas interesados en el

proyecto. Considero que esto no está demasiado alejada de la realidad puesto que en charlas dadas por la *Incubadora de Negocios de la Universidad Austral de Chile*, en las cuales estuve presente, se expuso acerca de los *inversionistas ángeles* que se caracterizan por apoyar ideas innovadoras y con promesa de rentabilidad a corto, mediano e incluso largo plazo, dependiendo de la magnitud de la inversión.

Otro aspecto importante lo constituye la publicidad que se le haga al producto, tomando como base y carta de presentación los buenos resultados obtenidos en la presente memoria de tesis. Esto último es fundamental ya que es necesario que las empresas constructoras vean los beneficios del sistema propuesto y puedan comprobar también que los resultados obtenidos con el producto serán de calidad.

A pesar de que es muy probable que una vez introducido el molde rugoso al mercado y que sean comprobadas sus ventajas se produzca la inevitable copia de la idea y por ende competencia directa, se puede mantener la rentabilidad del proyecto con un adecuado manejo de los factores claves que este involucra.

En resumen y para finalizar, creo personalmente que la alternativa de los moldes rugosos representa una atractiva idea de negocios posible y digna de explotar.

CONCLUSIONES

El mejoramiento de los procesos constructivos y de sus resultados es una tarea diaria, que involucra muchos factores y principalmente personas. Es la esencia para lograr la tan anhelada meta de la calidad. Esta fue la motivación principal que me impulsó a desarrollar un tema innovador, un trabajo que en un principio era difuso, pero que al concretarse favorablemente aportaría un granito de arena a lo ya conocido.

Por otro lado la carencia de equipos especializados muchas veces reta al verdadero ingenio, a la capacidad que hemos adquirido como ingenieros para resolver problemas que pueden parecer complejos, pero que muchas veces pueden encontrar soluciones simples y que cumplan con las exigencias requeridas.

Se puede decir que esta tesis cumplió con los objetivos de proponer, estudiar, y materializar los moldajes rugosos para los elementos de hormigón que requieren estucarse como solución para mejorar un proceso que presenta evidentes inconvenientes en las obras de construcción, por lo que de todas maneras aportó en alguna medida al mejoramiento de la calidad y eficiencia de la construcción y su proceso en cuanto al conocimiento adquirido.

Más específicamente la solución estudiada elimina los problemas derivados del método tradicional del puntereo, considerando que éste es el más utilizado tal vez por la escasa preparación que requiere el personal y porque resulta más económico que los otros métodos existentes.

Problemas como el deterioro y resentimiento estructural de los elementos, la ocurrencia de accidentes por las características casi rudimentarias del trabajo, retraso de partidas siguientes, pero por sobre todo pérdida de tiempo, mano de obra, y por lo tanto de

dinero, son no tan sólo eliminadas, sino que son omitidas al no requerirse procedimientos post-descimbre para obtener la rugosidad necesaria para una firme adherencia del estuco, al utilizar moldajes rugosos.

En cuanto a la efectividad del sistema el moldaje metálico cumplió e incluso superó, a la luz de los resultados de los ensayos, las expectativas trazadas en cuanto al objetivo de proveer al elemento las cavidades para la adecuada penetración e integración del mortero al paramento de hormigón. Indudablemente el hecho de haber fabricado dos tipos de moldajes con distintas características y de distintos materiales contribuyó a poder evaluar entre los distintos parámetros que condicionaron los resultados finales. De acuerdo a esto se concluye que mientras más densas y profundas sean estas cavidades mejores serán los resultados de adherencia, pero a la vez se dificultará más la trabajabilidad de los moldajes en cuanto al descimbre. Por esta razón se debe buscar un equilibrio entre estos factores.

En resumen la solución de los moldajes aporta efectividad al proceso en cuanto a lograr los objetivos de adherencia del estuco, lo cual fue comprobado con las pruebas y ensayos realizados, y además su utilización implica la eliminación de una etapa prescindible en el proceso de construcción lo que a la larga se traduce en beneficios económicos, que si bien porcentualmente no parecen ser significativos, a grande escala implican una disminución de costos importante y el consiguiente aumento en el margen de utilidades.

Finalmente creo que emprender el desafío de comercialización de la idea resulta factible y hasta necesario, considerando el mencionado ahorro monetario y productivo que acarrearía su implementación, puesto que de esta manera el aporte de este proyecto en el mejoramiento de la calidad y eficiencia de los procesos constructivos no sólo queda en el conocimiento si no que se traslada a la realidad misma de las obras de edificación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

VIELMA, E; ROJAS, E. 2003. Comportamiento de un nuevo método para texturar superficies de hormigón que han de estucarse. Trabajo de Escuela de Ingeniería en Construcción Universidad Central de Chile, Fac. Ciencias Físicas y Matemáticas. 33 p.

CAVE S.A. 2005. Cave Tecno Bond. Agente promotor de adherencia para yeso y mortero. (Disponible en:
[http://www.prodcave.com/fichas_tecnicas/fichas/Trat_superf/CAVE%20TECNO%20BOND%20\(FT51\).pdf](http://www.prodcave.com/fichas_tecnicas/fichas/Trat_superf/CAVE%20TECNO%20BOND%20(FT51).pdf). Consultado el: 05 de Mayo de 2007).

PETRO - MUR. 2005. Instalación de muros rígidos exteriores e interiores. (Disponible en:
<http://www.petromur.cl/instalacion.htm>. Consultado el: 07 de Abril de 2007).

DOMARCHI, C. 2004. Construcción en Hormigón. (Disponible en:
<http://www2.udec.cl/~cdomarch/>. Consultado el: 21 de Noviembre de 2005).

PLATAFORMA ARQUITECTURA. 2006. Equipamiento, hoteles, y restaurants en construcción. (Disponible en:
<http://www.plataformaarquitectura.cl/category/equipamiento>. Consultado el: 07 de Mayo de 2007).

CORPORACIÓN DE DESARROLLO TECNOLÓGICO (CDT) – CÁMARA CHILENA DE LA CONSTRUCCIÓN. 2007. Registro Técnico de Materiales. Fichas Específicas. (Disponible en:
http://www.registrocdt.cl/fichas%20especificas/listado_fichas/fichas/c13/ARQUIPAN_EL_panel_estructural_pandereta/index.htm. Consultado el: 07 de Mayo de 2007).

ALFE ENCOFRADOS. 2007. Imágenes moldajes. (Disponible en: <http://www.grupoalfe.com/img/p300.jpg>. Consultado el: 07 de Mayo de 2007).

SAN MARTÍN, SÁNCHEZ, DIÉGUEZ. 2005. Sistemas de encofrados. (Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos16/encofrados/Image127.jpg>. Consultado el: 07 de Mayo de 2007).

GOBIERNO DE SANTAFÉ. 2007. Sistemas de encofrados deslizantes. (Disponible en: http://www.santafe.gov.ar/mospyv/obras_en_ejecucion/puente_ros_vic/rosvic-004.html. Consultado el: 07 de Mayo de 2007).

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS (FCFM) – UNIVERSIDAD DE CHILE. 2007. Sección Apuntes, Capítulo V: Obra gruesa. (Disponible en: <http://www.cec.uchile.cl/~ci52a/Apuntes/Cap%20V.pdf>. Consultado el: 07 de Mayo de 2007).

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1985. Hormigón – Requisitos Generales. Norma Chilena Oficial NCh 170.Of85. 65 p.

INN. 2001. Morteros – Parte 1: Requisitos Generales. Norma Chilena Oficial NCh 2256/1.Of2001. 39 p.

INN. 1996. Morteros – Determinación de la consistencia – Parte 3: Método del asentamiento del cono. Norma Chilena Oficial NCh 2257/3.Of96. 7 p.

INN. 1967. Cementos - Ensayo de flexión y compresión de morteros de cemento. Norma Chilena Oficial NCh 158.Of67. 13 p.

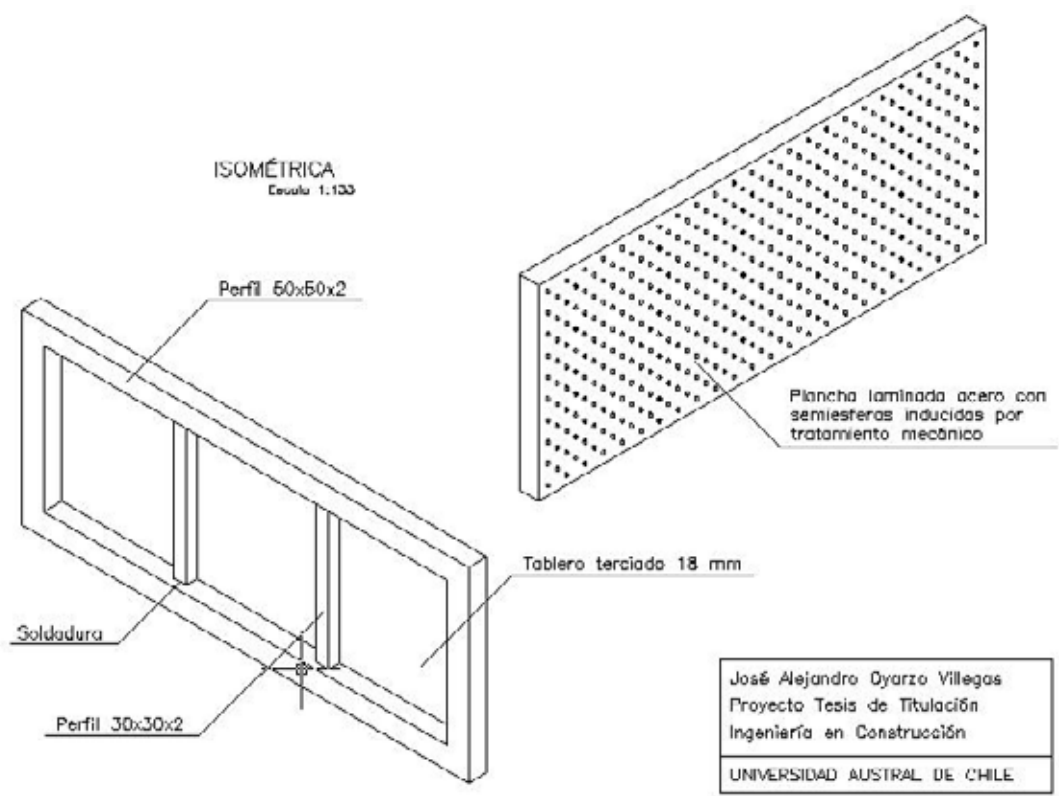
INN. 2000. Morteros – Ensayo de adherencia – Método de tracción directa. Norma Chilena Oficial NCh 2471.Of2000. 15 p.

INN. 1994. Morteros – Determinación de la consistencia medida en la obra. Proyecto de Norma en Consulta Pública NCh 2258.c94. 7 p.

ANEXOS

FIGURA A.1

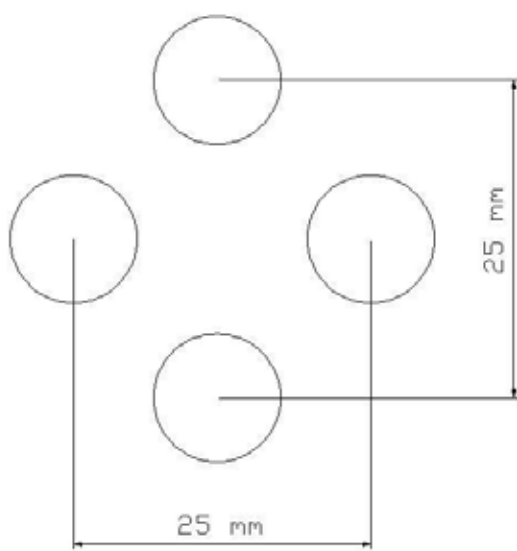
CROQUIS MODELO PRELIMINAR MOLDAJE RUGOSO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

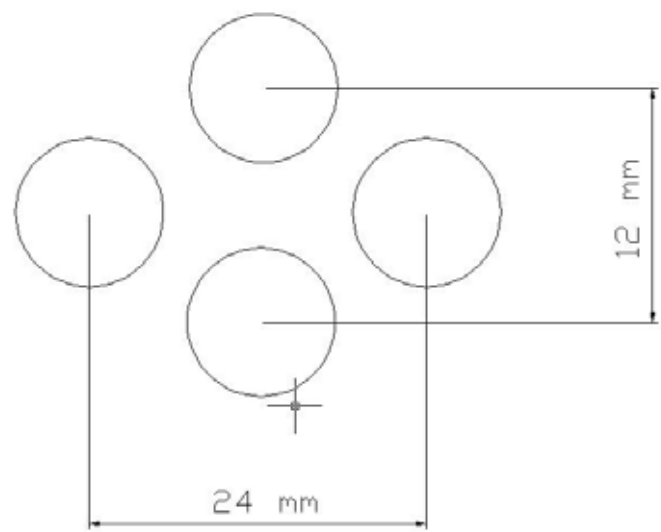
FIGURA A.3

DISTRIBUCIÓN DEFINIDA DE CLAVOS EN PLACA CONTRACHAPADA



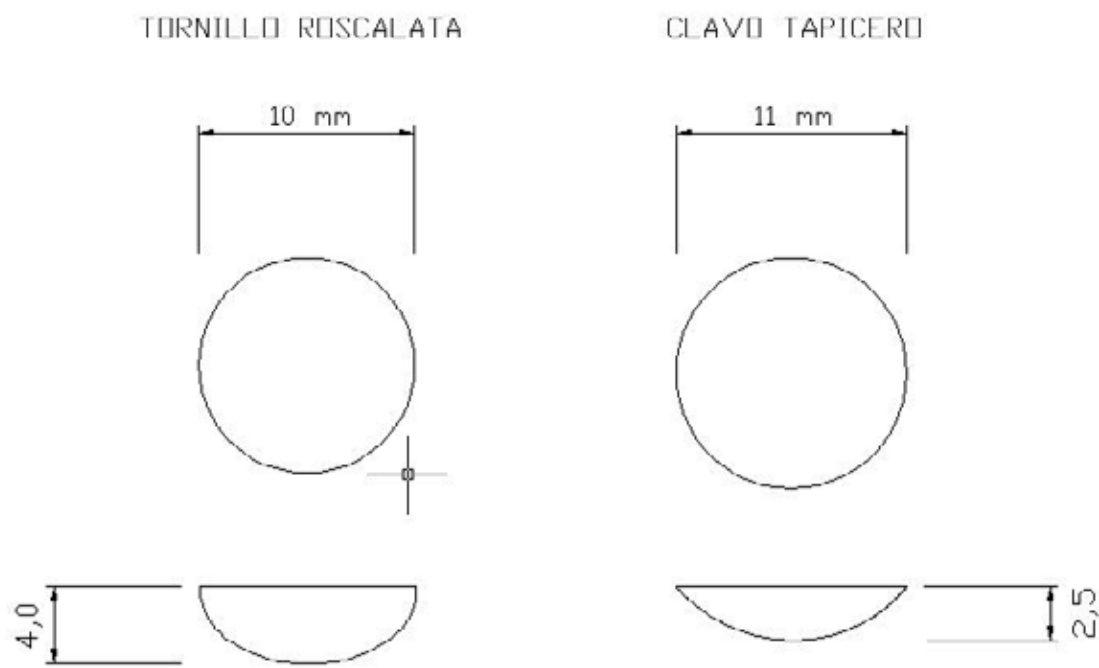
Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA A.3
PATRÓN DISTRIBUCIÓN DE TORNILLOS MOLDAJE METÁLICO



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA A.4
COMPARACIÓN DIMENSIONES CLAVOS TAPICEROS VERSUS TORNILLOS



Fuente: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla A.1

DOSIFICACIONES TENTATIVAS PARA HORMIGÓN CONFECCIONADO CON CEMENTO CORRIENTE Y GRAVILLA DE TAMAÑO MÁXIMO 3/4”

R28 especificada Mpa	Cemento (Kg)	Gravilla (Kg)	Arena (Kg)	Agua (lt)
	1 saco	336	323	66
	1 saco	256	230	49
H10	1 saco	192	153	36
H15	1 saco	168	128	30
H20	1 saco	136	94	25
H25	1 saco	128	77	22

Fuente: FCFM. 2007.

Tabla A.2

PLAZOS DE PROTECCIÓN EN DÍAS

Condición del elemento	Plazo para asegurar durabilidad		Plazo para asegurar durabilidad y resistencia	
	Cemento grado		Cemento grado	
	Corriente	Alta resistencia	Corriente	Alta resistencia
Sin carga, no expuesto (fundación bajo tierra)	2	1	2	1
Sin carga, expuesto (represas, pilares macizos)	3	2	3	2
Carga parcial, expuesto (sobrecimientos)	3	2	6	4
Cargado y expuesto (vigas, losas, columnas)	3	2	Aplicar tabla 12	

Fuente: INN. 1985.

Tabla A.3

TIPOS DE PARAMENTOS A RECUBRIR POR EL REVESTIMIENTO

Superficie tipo	Absorbencia ¹⁾	Velocidad de absorción, según Anexo A, kg/m² en 1 min	Ejemplos de superficie base
I Fuerte	Baja	0,4 - 0,8	Hormigón
II Media	Mediana	0,8 - 1,5	Ladrillos cerámicos y bloques huecos de hormigón
III Débil	Alta	1,5 - 2,5	Ladrillos hechos a mano y ladrillos o bloques de suelo cemento
IV Otra	Variable	-	Superficie con malla metálica ²⁾
1) La absorbencia se determina según el procedimiento indicado en Anexo A, midiendo la capacidad de absorción de agua de un material durante 1 min.			
2) La superficie que sustenta la malla metálica con diversos sistemas de anclaje puede estar fabricada con materiales tales como polimeros, madera, adobe, geotextil u otros.			

Fuente: INN. 2001.

Tabla A.4

PLAZOS MÍNIMOS PARA DESMOLDE Y DESCIMBRE EN CASOS CORRIENTES
EN DÍAS

Moldajes	Cemento grado	
	Corriente	Alta resistencia
Costados de muros, vigas o elementos no solicitados	2	1
Costados de pilares o elementos solicitados por peso propio o cargas externas	5	3
Fondos, cimbras, puntales y arriostramientos de vigas y losas siempre que no estén cargados	16	10

Fuente: INN. 1985.

Tabla A.5

GRADOS DE MORTEROS SEGÚN LA RESISTENCIA ESPECIFICADA f_m DE

COMPRESIÓN A 28 DÍAS

Grado del mortero	MPa
M 0,5	0,5
M 2,5	2,5
M 5,0	5,0
M 7,5	7,5
M 10,0	10,0
M 12,5	12,5
M 15,0	15,0
M 20,0	20,0
M 25,0	25,0
M 30,0	30,0

Fuente: INN. 2001.

Tabla A.6

EQUIVALENCIA DE LOS LÍMITES DE LA CONSISTENCIA POR EXTENDIDO EN

LA MESA DE SACUDIDAS

Consistencia	Ø mm	Caja mm	Cono 300 cm	Cono 150 cm	Embudo
Seca	110	60 - 70	0 - 1	0 - 0,5	-
Plástica	130	40 - 55	0,5 - 1,5	0 -,5 1	-
Blanda	180	20 - 30	5,5 - 7,5	3 - 4,5	-
Fluida	220	0 - 5	21 - 24	8 - 9,5	-
Líquida	250	-	-	-	18 - 22

Fuente: INN. 1994.

Tabla A.7

CLASIFICACIÓN DE MORTEROS POR CONSISTENCIA

Tipos	Extendido, mm
1) Seca	< 150
2) Plástica	150 - 240
3) Fluida	> 240

Fuente: INN. 2001.