

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y
MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE JUNTAS FRÍAS DE
HORMIGONADO MATERIALIZADAS CON MALLAS
METÁLICAS

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JUAN PABLO RODRIGUEZ AYUSO

PROFESOR GUIA:
FEDERICO DELFÍN ARIZTÍA

COMISIÓN:
MIGUEL FIGUEROA NEICUN
YURI TOMICIC CALVO

SANTIAGO DE CHILE

AGOSTO 2012

"ESTUDIO COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y PERMEABILIDAD DE JUNTAS FRIAS DE HORMIGONADO MATERIALIZADAS CON MALLAS METALICAS"

La naturaleza del proceso constructivo, que normalmente presenta discontinuidades, obliga a contemplar la eventual materialización de juntas frías de hormigonado como singularidades dentro de las estructuras. Los últimos eventos sísmicos han evidenciado la importancia de una correcta ejecución y localización de éstas para que no se transformen en planos de falla. En la búsqueda de una mayor eficiencia en la construcción y de una mejor transferencia de esfuerzos en el plano de la junta, es que se ha recurrido a diversas formas de materializar las juntas. Dependiendo del tratamiento utilizado se puede optimizar la eficiencia en cuanto a tiempo de ejecución y la consiguiente resistencia al corte y tracción en el plano de unión de los hormigones. En distintas obras de Chile y Europa se ha utilizado nuevos tipos de tratamientos de superficie, los que han sido avalados por distintos estudios.

El objetivo del presente Trabajo de Título es estudiar la resistencia al corte y permeabilidad de juntas frías de hormigonado cuando se utiliza una doble malla metálica galvanizada, del tipo hexagonal con aberturas de 19 [mm], como elemento contenedor del escurrimiento en el plano de interrupción del hormigonado, manteniendo el plano regular con una textura adecuada para recibir el hormigón de la segunda etapa. Para esto, se construyeron prismas rectangulares de 20 [cm] x 20 [cm] de sección y 80 [cm] de altura, con una junta de hormigonado que forma un plano oblicuo, generando un ángulo de 27° con respecto a la arista mayor.

La efectividad de los distintos tratamientos se evaluó comparando la resistencia al corte en el ensayo de compresión (Slant Shear Test) y la permeabilidad en el plano de la junta. Obteniendo una resistencia al corte promedio para la junta materializada con doble malla metálica de un 104% de la alcanzada para el prisma considerado como patrón, donde se simuló la reparación de una grieta como un plano de fractura obtenido por hendimiento, se concluyó que el factor fundamental para asegurar la estanqueidad y monolitismo a través del plano de la junta es la rugosidad lograda en la superficie de contacto. Además se confirmó que la utilización de la doble malla metálica para materializar las juntas frías de hormigonado, es una solución constructiva viable.

Agradecimientos

Al finalizar la presente tesis para optar al título de Ingeniero Civil quiero agradecer principalmente a mi familiar por el apoyo incondicional y la confianza durante el transcurso de la carrera. Especialmente a mi madre Mónica y mi padre Juan Carlos quienes han confiado en mí de manera incondicional a lo largo de este camino que termina.

Además agradecer a todos mis amigos quienes sin duda ayudaron a hacer más llevadera la vida estudiantil y me alegraron y ayudaron en todos los momentos que los necesité.

También agradecer al mi profesor guía, Sr. Federico Delfín por todo su apoyo, la colaboración, su buena disposición y todo el tiempo dedicado a la realización del estudio.

Agradezco también a Yuri Tomicic y Miguel Figueroa quienes no dudaron en responder mis inquietudes y prestarme ayuda siempre que lo requerí.

A la gente de IDIEM, principalmente a Don Carlos Arcos, Julio y Rodrigo del laboratorio de hormigones de prueba y los funcionarios de la sala de máquinas. Quienes de manera desinteresada me ayudaron y facilitaron el material para la construcción de los prismas.

Índice de Contenidos

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

1.1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.2	OBJETIVOS.....	2
1.2.1	<i>Objetivos generales.....</i>	2
1.2.2	<i>Objetivos específicos</i>	2

CAPÍTULO 2 ANTECEDENTES 3

2.1	ANTECEDENTES SOBRE MÉTODOS DE ENSAYO	9
-----	--	---

CAPÍTULO 3 ANTEAMIENTO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL 13

3.1	INTRODUCCIÓN.....	13
3.2	PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	13
3.3	DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES	14
3.4	PROGRAMA DE ENSAYOS	16
3.5	DEFINICIÓN DE LOS ENSAYOS	17
3.5.1	<i>Ensayo de cizalle (Slant Shear Test).....</i>	17
3.5.2	<i>Ensayo de permeabilidad.</i>	19
3.6	TRATAMIENTOS UTILIZADOS.....	20
3.6.1	<i>Sin tratamiento</i>	21
3.6.2	<i>Puente de adherencia.....</i>	21
3.6.3	<i>Picado (50% de la superficie)</i>	21
3.6.4	<i>Malla metálica galvanizada.....</i>	22
3.6.5	<i>Plano de fractura por hendimiento, sin tratamiento (Patrón)....</i>	22
3.6.6	<i>Plano de fractura por hendimiento, con puente de adherencia.</i>	23

CAPÍTULO 4 DESARROLLO DEL PROGRAMA EXPERIMENTAL 24

4.1	INTRODUCCIÓN.....	24
4.2	MAQUINARIA Y EQUIPOS	24
4.2.1	<i>Betonera.....</i>	24
4.2.2	<i>Moldes.....</i>	25
4.2.3	<i>Máquina de ensayo</i>	26
4.3	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES.....	26
4.3.1	<i>Cemento.....</i>	26
4.3.2	<i>Áridos</i>	27
4.3.3	<i>Puente de adherencia.....</i>	28
4.3.4	<i>Malla metálica galvanizada.....</i>	29
4.3.5	<i>Dosificación de los hormigones</i>	30
4.4	CONFECCIÓN DE LAS SERIES DE ENSAYO.....	30
4.4.1	<i>Fabricación de los prismas con junta de hormigonado</i>	31
4.4.2	<i>Fabricación de prismas monolíticos</i>	42
4.4.3	<i>Confección de los cubos para ensayo a compresión</i>	43
4.5	ENSAYO DE LOS PRISMAS	44
4.5.1	<i>Ensayo de permeabilidad</i>	44
4.5.2	<i>Ensayo de cizalle (Slant Shear Test).....</i>	45

CAPÍTULO 5 RESULTADOS	46
5.1 INTRODUCCIÓN.....	46
5.2 HORMIGÓN DE PAVIMENTO	46
5.2.1 <i>Ensayo de cizalle inclinado</i>	46
5.2.2 <i>Ensayo de compresión del prismas monolítico</i>	53
5.2.3 <i>Ensayo de compresión de probetas cúbicas</i>	53
5.3 HORMIGÓN ESTRUCTURAL.....	54
5.3.1 <i>Ensayo de cizalle inclinado</i>	54
5.3.2 <i>Ensayo de compresión del prisma monolítico</i>	60
5.3.3 <i>Ensayo de compresión de probetas cúbicas</i>	60
5.4 ENSAYO DE PERMEABILIDAD	61
CAPÍTULO 6 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	62
6.1 INTRODUCCIÓN.....	62
6.2 INFLUENCIA DEL TIPO DE HORMIGÓN UTILIZADO.	62
6.3 INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO APLICADO.....	63
6.4 PERMEABILIDAD DE LA JUNTA.....	66
CAPÍTULO 7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
7.1 CONCLUSIONES	67
7.2 RECOMENDACIONES	68
REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXO A CÁLCULOS REALIZADOS	71
ANEXO B PLANILLAS HORMIGÓN FRESCO	75
ANEXO C SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS DE MOLDAJE CON MATERIAL DESPLEGADO	84

Índice de Figuras

FIGURA 2. 1: ENSAYOS DE TRACCIÓN, TRACCIÓN POR HENDIMIENTO Y CORTE	10
FIGURA 2. 2: SLANT SHEAR TEST	11
FIGURA 2. 3: RELACIÓN ENTRE EL COEFICIENTE DEL ESFUERZO DE COMPRESIÓN Y LA FUERZA DE CORTE PURO, Y EL ÁNGULO DE LA INTERFAZ ENTRE HORMIGONES	12
FIGURA 3. 1: ENSAYO DE CIZALLE	18
FIGURA 3. 2: CIRCULO DE MOHR	19
FIGURA 3. 3 : ENSAYO DE PERMEABILIDAD	20
FIGURA 4. 1: BETONERA	24
FIGURA 4. 2: (A): MOLDE PROBETA MONOLÍTICA; (B): MOLDE CON PARED FENÓLICA;(C): MOLDE CON DOBLE MALLA DE ALAMBRE GALVANIZADA	25
FIGURA 4. 3 MÁQUINA DE ENSAYO	26
FIGURA 4. 4: MALLA METÁLICA GALVANIZADA	29
FIGURA 4. 5: COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN DE LA PRIMERA ETAPA	32
FIGURA 4. 6: ASENTAMIENTO DE CONO DE ABRAMS	33
FIGURA 4. 7: DENSIDAD APARENTE DEL HORMIGÓN	34
FIGURA 4. 8: SONDA Y MOTOR UTILIZADOS EN LA COMPACTACIÓN DE LOS PRISMAS	35
FIGURA 4. 9: SUPERFICIE SIN TRATAMIENTO	36
FIGURA 4. 10: APLICACIÓN DEL PUENTE DE ADHERENCIA	37
FIGURA 4. 11: TRATAMIENTO DE PICADO (50% DE LA SUPERFICIE)	38
FIGURA 4. 12: LECHADA QUE PASA A TRAVÉS DE LA MALLA METÁLICA	39
FIGURA 4. 13: SUPERFICIE DE CONTACTO AL USAR LA MALLA METÁLICA GALVANIZADA	39
FIGURA 4. 14: FRACTURA POR HENDIMIENTO	40
FIGURA 4. 15: SUPERFICIE DE FRACTURA POR HENDIMIENTO	40
FIGURA 4. 16: SUPERFICIE DE FRACTURA POR HENDIMIENTO MÁS PUENTE DE ADHERENCIA	41
FIGURA 4. 17: COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN DE LA SEGUNDA ETAPA	42
FIGURA 4. 18: FABRICACIÓN DE PRISMAS MONOLÍTICOS	42
FIGURA 4. 19: FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS CÚBICAS	43
FIGURA 4. 20: INSTALACIÓN DEL EQUIPO PARA EL ENSAYO DE PERMEABILIDAD	44
FIGURA 4. 21: ENSAYO DE PERMEABILIDAD	45
FIGURA 4. 22: DISPOSICIÓN DEL PRISMA PARA EL ENSAYO DE CIZALLE	45
FIGURA 5. 1: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA SIN TRATAMIENTO DE SUPERFICIE	47
FIGURA 5. 2: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA CON PUENTE DE ADHERENCIA	48

FIGURA 5. 3: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA CON TRATAMIENTO DE PICADO	49
FIGURA 5. 4: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA CON TRATAMIENTO DE MALLA METÁLICA GALVANIZADA	50
FIGURA 5. 5: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y SIN TRATAMIENTO	51
FIGURA 5. 6: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y CON PUENTE DE ADHERENCIA	52
FIGURA 5. 7: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y SIN TRATAMIENTO DE SUPERFICIE	55
FIGURA 5. 8: FALLA TÍPICA PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y CON TRATAMIENTO DE PUENTE DE ADHERENCIA	56
FIGURA 5. 9: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y CON TRATAMIENTO DE PICADO (50% DE LA SUPERFICIE)	57
FIGURA 5. 10: FALLA TÍPICA PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y CON TRATAMIENTO DE MALLA DE GALLINERO	58
FIGURA 5. 11: FALLA TÍPICA PRISMAS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y SIN TRATAMIENTO	59
FIGURA 5. 12: FALLA TÍPICA PRISMAS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y CON PUENTE DE ADHERENCIA	60
FIGURA 6.1: ESFUERZO DE CORTE MÁXIMO PROMEDIO SEGÚN TRATAMIENTO DE SUPERFICIE Y HORMIGÓN UTILIZADO	62
FIGURA 6.2: INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO UTILIZADO	64
FIGURA C. 1 : COMPONENTES DEL HY – RIB	85
FIGURA C. 2 : FORMA DE COLOCAR EL MOLDAJE HY – RIB	87
FIGURA C. 3: FORMA DE UNIR LAS PLACAS DEL MOLDAJE HY – RIB	87
FIGURA C. 4: LÁMINAS DE MADERA INSTALAS EN LOS EXTREMOS DE LA PLACA	88
FIGURA C. 5: VACIADO Y VIBRADO DEL HORMIGÓN	88
FIGURA C. 9 FIGURA RESULTANTE Y ELIMINACIÓN DE LOS ESCOMBROS	89
FIGURA C. 10: PRESIÓN DE POROS DEL HORMIGÓN	90

Índice de Tablas

TABLA 3. 1: VARIABLES DE ESTUDIO	15
TABLA 3.2: DENOMINACIÓN DE LAS SERIES	17
TABLA 4. 1: GRANULOMETRÍA DE LA GRAVILLA	27
TABLA 4. 2: GRANULOMETRÍA DE LA ARENA	27
TABLA 4. 3: PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS	28
TABLA 4. 4: PROPIEDADES DEL PUENTE DE ADHERENCIA	29
TABLA 4. 5: DOSIFICACIÓN DE LOS HORMIGONES	30
TABLA 5. 1: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA SIN TRATAMIENTO DE SUPERFICIE	47
TABLA 5. 2: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA CON PUENTE DE ADHERENCIA	48
TABLA 5. 3: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA CON TRATAMIENTO DE PICADO	49
TABLA 5. 4: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO Y JUNTA MOLDEADA CON TRATAMIENTO DE MALLA DE GALLINERO	50
TABLA 5. 5: T T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y SIN TRATAMIENTO	51
TABLA 5. 6: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y CON PUENTE DE ADHERENCIA	52
TABLA 5. 7: ENSAYOS DE COMPRESIÓN PRISMA MONOLÍTICO DE HORMIGÓN DE PAVIMENTO	53
TABLA 5. 8: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CUBOS FABRICADOS CON HORMIGÓN DE PAVIMENTO	53
TABLA 5. 9: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y SIN TRATAMIENTO DE SUPERFICIE	54
TABLA 5. 10: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y CON TRATAMIENTO DE PUENTE DE ADHERENCIA	55
TABLA 5. 11: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y CON TRATAMIENTO DE PICADO (50% DE LA SUPERFICIE)	56
TABLA 5. 12: T PARA LOS PRISMAS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL Y CON TRATAMIENTO DE MALLA DE GALLINERO	57
TABLA 5. 13: T PARA LOS PRISMAS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y SIN TRATAMIENTO	58
TABLA 5. 14: T PARA LOS PRISMAS DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL, CON PLANO DE FRACTURA POR HENDIMIENTO Y CON PUENTE DE ADHERENCIA	59
TABLA 5. 15: ENSAYOS DE COMPRESIÓN PRISMAS MONOLÍTICOS	60
TABLA 5. 16: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CUBOS FABRICADOS CON HORMIGÓN ESTRUCTURAL	61

CAPÍTULO 1 Introducción

1.1 Introducción

En condiciones ideales, toda estructura de hormigón armado debiese ser monolítica. Sin embargo, generalmente por la envergadura de éstas y la imposibilidad de colocar los grandes volúmenes de hormigón que son necesarios para su construcción sin interrupciones es normal la aparición de juntas de hormigonado. La NCh 170 define una junta de hormigonado como *"la unión que se debe realizar para mantener la continuidad monolítica entre dos secciones contiguas cuando se ha producido una interrupción prolongada que supera el periodo plástico del hormigón"*. Lo anterior implica que estas juntas deben ser capaces de transferir los esfuerzos de corte y tracción a través de la interfaz entre los hormigones que conforman el elemento estructural hormigonado en dos etapas. Como mínimo, las juntas de hormigonado deben permitir el desarrollo de resistencias de corte y tracción que superen los niveles de solicitaciones a las que se verá sometido e idealmente su resistencia debiese corresponder a la del hormigón circundante.

Ejecutar una buena junta de hormigonado es responsabilidad tanto del constructor como de quien diseña la estructura. El constructor debe tomar todas las precauciones para mantener la continuidad de las faenas de hormigonado y realizar los tratamientos (ya sean mecánicos o químicos) indicados por el calculista al momento de introducir una junta de construcción. Éste, por su parte, debe disponer la ubicación de las juntas en zonas donde las solicitaciones de corte sean bajas.

Las juntas de hormigonado preparadas de manera deficiente, pueden originar planos débiles dentro de la estructura donde no se asegura la resistencia estructural ni la impermeabilidad al traspaso del agua, con el consiguiente deterioro del elemento estructural. Por lo general, se consideran como juntas de hormigonado defectuosas aquellas donde existe presencia de lechada superficial en el hormigón fraguado, presencia de partículas inertes de polvo en la superficie de unión, segregación del hormigón de la segunda etapa y cuando hay una dosificación o compactación inadecuada.

La experiencia ha demostrado [1, 2, 5, 10] que la preparación de la superficie de contacto, dejando partículas del árido descubierto en ese plano y generando una rugosidad de aproximadamente 6 [mm] antes de colocar el

hormigón de segunda etapa es un factor determinante para asegurar el monolitismo y la impermeabilidad del elemento. La aplicación de chorro de agua a presión en el periodo inicial de endurecimiento del hormigón y chorro de arena después de endurecido sobre la superficie de contacto son unos tratamientos habitualmente calificados como óptimos para lograr una buena rugosidad de superficie y asegurar la continuidad monolítica.

Sin embargo, la aplicación de este tipo de tratamientos involucra tiempo en la ejecución de los trabajos dentro de las obras especialmente en los casos industriales donde la envergadura de las estructuras hace necesario vaciar grandes volúmenes de hormigón. La búsqueda de una mayor eficiencia a la hora de construir lleva a estudiar nuevas soluciones constructivas para lograr una mayor eficiencia a la hora de construir las juntas frías de hormigonado. En el presente trabajo de título se analizará la eficacia en cuanto a la resistencia al corte e impermeabilidad de las juntas frías de hormigonado al aplicar distintos tratamientos en la superficie de contacto. Particularmente se evaluará la materialización de las juntas frías de hormigonado al utilizar una malla metálica galvanizada como elemento contenedor del hormigón en el plano de interrupción del hormigonado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos generales

El objetivo de este trabajo de título es evaluar la solución constructiva para la materialización de juntas frías de hormigonado en elementos estructurales de hormigón que utiliza malla metálica como elemento contenedor del hormigón en el plano de interrupción del hormigonado. El estudio se avoca a la determinación de la eficiencia de estas juntas, desde el punto de vista de su resistencia mecánica, en el ensayo de corte y de la infiltración de agua a través del plano bajo carga hidrostática de agua.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinación de la resistencia al corte de las juntas frías de hormigonado materializadas con mallas metálicas para hormigones con distintas características.
- Comparar la eficiencia del tratamiento con malla para materializar la junta con otros tratamientos de uso aceptado en obras de hormigón.
- Estudio de la permeabilidad de las juntas frías de hormigonado materializadas con mallas metálicas para distintos hormigones.

CAPITULO 2 Antecedentes

Por su naturaleza y métodos constructivos no es siempre posible la materialización de las obras de hormigón de manera continua lo que ha obligado a estudiar la forma de asegurar el buen comportamiento de las estructuras no obstante la presencia de juntas de hormigonado y procurar obtener el monolitismo de los elementos estructurales que la conforman. Las normas establecen para estos efectos ciertos tratamientos de la superficie de contacto entre los hormigones en juntas de hormigonado, que en algunos casos son difíciles de implementar o su aplicación implica altos costos. Estos tratamientos, además de asegurar el monolitismo de la estructura deben asegurar la impermeabilidad de la interfaz para resguardar el estado de la enfierradura de refuerzo que de sufrir corrosión puede generar mayores costos de mantención de la estructura.

La aplicación de mallas metálicas como elemento contenedor del hormigón en el plano de interrupción del hormigonado es una técnica que se ha estado utilizando en diferentes obras pero para la que aun no existen estudios que demuestren la eficacia de su aplicación. Esta malla permite contener y delimitar el escurrimiento del hormigón en el plano de la junta lo que se logra al amarrarla a la enfierradura de refuerzo y a los elementos de moldaje. La penetración de partículas del árido por las aberturas de la malla permite generar una rugosidad de superficie adecuada con la que se busca lograr la correcta transferencia de esfuerzos de corte a través de la interfaz entre los hormigones que conforman las estructuras.

Investigaciones sobre el comportamiento de juntas de hormigonado, tratadas con métodos tradicionales como picado, escobillado, chorro de arena y de puentes de adherencia son los más frecuentes. A continuación se presenta el alcance y conclusiones de algunas de estas investigaciones.

Ya en 1964 Atilano Lamana [1] analizó las fallas producidas en juntas de hormigonado, anclajes y empalmes en los terremotos de Chile de 1958 y 1960 que afectaron a distintas estructuras tales como muros de gran altura, muros de edificios y pilares en donde se ve claramente que las fallas se producen en las juntas de hormigonado. El trabajo evidencia que las uniones hormigón – hormigón tienen resistencias menores que las distintas piezas de hormigón que conforman una estructura.

En ese estudio se hace hincapié en la necesidad de poner especial cuidado y vigilancia en la ejecución de la junta y que, a menos que se empleen procedimientos especiales en ejecución de las juntas, no debe confiarse en su resistencia y por lo tanto hay que contar con la existencia de planos débiles para los efectos de cálculo. Finalmente, habla de las notables fallas producidas en las juntas de hormigonado de muros de gran altura tales como silos y estanques elevados, donde la ejecución de la junta debe ser muy cuidadosa.

Foncea y Levy [2], bajo la dirección y guía del Profesor Lamana, ensayaron a cizalle juntas de hormigón preparadas con distintos tratamientos donde se introduce por primera vez la aplicación de resinas epóxicas en las juntas de hormigonado. Resinas que no alcanzaban las resistencias de las producidas hoy en día.

En el estudio se utilizó tratamientos de chorro de arena, resina epóxica, escobillado, ataque con ácido y picado de la superficie. De estos, el mejor resultado ser el chorro de arena donde se alcanzó un 87% de la resistencia del hormigón monolítico. Tras este tratamiento la resina, el escobillado y el ataque con ácido alcanzaron un 78%, 50% y 48% de la resistencia alcanzada para el caso monolítico respectivamente. Además, se detalla que el humedecimiento de la superficie de la junta antes de colocar el nuevo hormigón y la presencia de lechada superficial se presentan como factores perjudiciales para la buena adherencia de la junta de hormigonado.

Fernández Cánovas [3] realizó un estudio experimental donde se ensayó a flexotracción prismas de 10 x 15 x 120 [cm] con una junta de hormigonado donde se aplicó resina epóxica como tratamiento de superficie. Lo que se investigó en el trabajo fue la influencia de la dosificación del hormigón, edad del hormigón base y el tratamiento de superficie al que se somete el hormigón base en la resistencia alcanzada por la junta de hormigonado.

De los resultados obtenidos en este estudios se desprende que la dosificación del hormigón no tuvo influencia alguna sobre el comportamiento de junta, obteniendo altas resistencias independiente de la relación cemento árido elegida. La rotura de las vigas se produjo, por lo general, fuera de la junta, y siempre por el hormigón de menor edad. La edad del hormigón viejo no fue factor para la calidad de la junta donde se obtuvo resistencias similares para hormigones unidos a las 24 hrs, 7, 28 y 120 días.

El mejor de los tratamientos utilizados resultó ser el picado de la superficie de contacto seguido por el escobillado de la misma. El tratamiento y limpiado

de la superficie resultó ser clave para la adherencia de la junta cuando se utilizó resinas epóxicas.

Antonio Perez [4] estudió a resistencia de juntas de hormigonado variando el tratamiento de la superficie y la edad del hormigón base al momento de materializar la junta. Como tratamiento Perez utilizó el escobillado de la superficie más la aplicación de distintos adhesivos, la aplicación de chorro de arena contra el hormigón base y, el chorro de arena más el uso de distintos adhesivos. El tiempo que transcurrió entre la colocación del hormigón base y el de la segunda etapa fue de 6 horas, 1 día y 7 días.

Para esto, se construyó probetas cubicas de 15 x 15 x 15 [cm], confeccionadas en 2 mitades de 15 x 15 x 7,5 [cm] cada una que fueron ensayadas por hendimiento para determinar su carga última. De los ensayos realizados se desprende que para las juntas de hormigonado donde el tratamiento fue mecánico (no incluye el uso de adhesivos) la edad del hormigón base si tiene influencia sobre la resistencia de la probeta, obteniéndose menores resistencias a mayores edades del hormigón base. En cambio, para los tratamientos donde se incluyó resina epóxica fue necesario que el hormigón tuviese suficiente resistencia para mejorar la calidad de la junta.

En cuanto a los tratamientos de superficie aplicados, el mejor resultado ser el chorro de arena por sobre el escobillado con 86% de la resistencia del hormigón monolítico. De los adhesivos utilizados el mejor resultó ser el puente de el puente de adherencia AS 233-10 de Químicas A. Stierling con un 96% de la resistencia de la probeta monolítica. Finalmente Perez recomienda la utilización de chorro de arena junto con la colocación de una película de resina epóxica para lograr una mejor adhesión en la junta de hormigonado.

Muchos expertos postulan que las juntas de hormigonado pueden ser vistas como grietas artificiales en las estructuras de hormigón que son producidas por las tensiones internas que se generan dentro del hormigón. Esto entrega la posibilidad de evitar o controlar el agrietamiento sufrido por la estructuras permitiendo ubicarlas en lugares que donde se asegure un mejor comportamiento de la estructura o en lugares que no se puedan apreciar fácilmente.

Neshvadian [5], quien estudió la resistencia de la unión entre el hormigón viejo y el nuevo utilizado en la reparación de grietas establece que los principales factores que afectan en la resistencia de esta unión son la

limpieza de la superficie de contacto, el tratamiento aplicado a la superficie de contacto, la presencia de lechada superficial, la colocación y compactación de la segunda capa de hormigón y el curado del hormigón con que se materializa la junta. Además, indica como factores secundarios de la resistencia de la junta de hormigonado las propiedades del hormigón de la segunda etapa, la edad del hormigón base al momento de materializar la junta y el humedecimiento previo de la superficie de contacto.

El ACI 224 [6] postula que debido al cambio de volumen sufrido por el hormigón relacionado principalmente a la pérdida de humedad y a los cambios de temperatura, puede ser conveniente generar juntas para así aliviar las tensiones de tracción a las que se verá sometida la estructura, tensiones que son proporcionales al largo del elemento. Además, indica que las juntas de hormigonado pueden ser diseñadas para transferir momento y corte. La continuidad de momento se logra con la continuidad de las barras de refuerzo y con un largo suficiente a través de la junta para asegurar un empalme adecuado para la enfierradura. Al proporcionar un refuerzo continuo y asegurar una rugosidad adecuada de la superficie de la junta se puede obtener una capacidad adecuada de corte.

De acuerdo al ACI 318-08, el esfuerzo de corte nominal que resiste el hormigón puesto sobre hormigón endurecido viene dado por:

$$V_n = A_{vf}f_y\mu$$

Donde A_{vf} y f_y corresponden al área y a la tensión de fluencia de las barras de refuerzo en la junta, y el coeficiente de fricción μ que viene dado por lo siguiente:

- $1,4\mu$:Para hormigón colocado monolíticamente.
- $1,0\mu$:Para hormigón colocado sobre hormigón endurecido con la superficie intencionalmente rugosa.
- $0,6\mu$:Para hormigón colocado sobre hormigón endurecido con la superficie no intencionalmente rugosa.
- $0,7\mu$:Para hormigón anclado a acero estructural mediante pernos con cabeza o mediante barras de refuerzo.

Donde $\lambda = 1.0$ para hormigón normal, $0,85$ para hormigón liviano con arena de peso normal y $0,75$ para hormigón liviano en todos sus componentes. Se permite usar interpolación lineal si se emplea sustitución parcial de arena.

El factor de corte que se usa en diseño es 1,0 dado que ACI 318 supone que el elemento se puede fisurar lo que significa que las juntas de hormigonado pueden ser consideradas como fisuras. Por esto, las juntas deben tener hormigón sano con rugosidad de amplitud 6mm.

J.P. Covarrubias [7,8,9] propone como solución para la materialización de las juntas de hormigonado induciendo fisuras de retracción que aliviarán tensiones en el hormigón en muros y losas, disminuyendo la fisuración en otros lugares.

Para llevar a cabo este método el hormigón debe ser vibrado en la zona cercana a la malla por lo que esta debe estar bien amarrada a la armadura que la atraviesa. Además, una vez hormigonado la malla debe quedar perdida dentro del hormigón base. Si la malla quedase visible, se debería picar la superficie para asegurar que el hormigón de la junta tenga la resistencia requerida y la rugosidad de 6 [mm] como lo requiere la ACI producto de los áridos del hormigón que sobresalen por las aberturas de la malla. De esta forma se puede obtener una zona sin tensiones en la dirección perpendicular a la junta y con resistencia al corte en el plano de la junta.

Para los casos de hormigones masivos, el ACI 224.3R-95 dispone la ubicación de juntas de hormigonado a una distancia de entre 12 y 18 metros construyendo la estructura en bloques sin uniones entre ellos por lo que es adecuado mantener la continuidad de las barras de refuerzo a través de la junta si es que el diseño de la estructura lo requiere. Además las juntas de hormigonado se deben ubicar en lugares donde se asegure el buen comportamiento estructural del elemento.

Billy D. et al [10] estudiaron el distintos métodos de preparación de juntas horizontales para hormigones masivos donde variaron el tipo de tratamiento aplicado a la superficie del hormigón inferior y la condición de humedad a la que se sometió previo a la colocación el hormigón superior. Para esto tomaron testigos cilíndricos de manera perpendicular al plano de la junta horizontal de bloques de 1,83 x 0,53 [m] de sección y dos capas de hormigón de 0,45 [m] y 0,30 [m] respectivamente los que sometieron a ensayos de tensión directa, corte y permeabilidad. Como tratamientos utilizaron el chorro de agua a presión, chorro de aire con agua o simplemente no utilizaron tratamiento y como condición de humedad se mantuvo la superficie húmeda hasta colocar el hormigón de la segunda capa, se dejó seca por 24, o se dejó seca por 16 horas y se humedeció justo antes de colocar el hormigón.

Como conclusiones de su trabajo se destaca que para lograr una buena adhesión de la junta de hormigonado se necesita limpiar la superficie con chorro de agua a presión o con chorro de aire con agua y que la superficie se encuentra correctamente limpia cuando se ha removido la lechada superficial y las partículas de los áridos quedan visibles. Con respecto a la humedad de la superficie se concluyó que se obtiene un mejor resultado cuando se ha dejado secar la superficie por 24 horas antes de colocar el nuevo hormigón y cuando se mojó la superficie inmediatamente antes de la colocación del hormigón de la segunda etapa se obtuvo mejores resultados que cuando esta se mantuvo húmeda.

Por su parte la norma Chilena NCh 170 Of. 1985 "Hormigón - Requisitos generales", indica que "las juntas de hormigonado se ubican, en general, perpendicularmente a las tensiones principales de compresión y en las zonas en que las tensiones de tracción o de corte son nulas o las menores posibles".

La NCh 170 establece que para muros y pilares las juntas de trabajo deben ser horizontales y ubicarse 0,2 ó 0,3 metros más abajo del nivel inferior de los elementos horizontales o inclinados en que se apoyan. En losas y vigas estas deben ubicarse a una distancia aproximada de un cuarto de la luz, pasado el apoyo, y en dirección inclinada a 45° (compresión diagonal). En vano de muros debe ser horizontal y estar 0,1 metro más abajo del nivel superior de vano. Finalmente indica que en cruces y encuentro de vigas esta debe ubicarse en la viga que se hormigonará posteriormente, a una distancia igual al doble del ancho de la viga que se esté hormigonando.

Además dice que para el hormigón envejecido se debe picar la superficie ya endurecida y, si fuera necesario, completar el tratamiento con chorro de arena a presión ó lavar con chorro de agua a presión y mantener saturada la superficie de contacto durante 24 horas suspendiendo el mojado la noche anterior al día en que se reinicia el hormigonado.

Últimamente, se han desarrollado sistemas de moldaje que utilizan malla metálica que genera una superficie rugosa la que permite generar la junta sin hacer tratamiento a la superficie. Estos moldajes cuentan con aberturas que permiten que parte del hormigón pase a través de los ellos asegurando así la rugosidad de la superficie de contacto logrando una mejor unión entre los hormigones.

Además, como beneficios de estos moldajes se presenta la disminución de las presiones que se ejerce sobre la pared del molde debido a la

permeabilidad de sus paredes y el ahorro de tiempo de preparación de la superficie entre otros. Diversos estudios se han realizado a estos moldajes logrando obtener resultados que avalan su utilización. En el Anexo C se especifica, caracteriza y detalla los sistemas industrializados de moldaje con material desplegado.

2.1 Antecedentes sobre métodos de ensayo

Numerosos trabajos se han realizado para estudiar la unión entre hormigones utilizando distintos métodos. La mayoría de los métodos tiene como principio la tracción directa, tracción indirecta o el esfuerzo de corte en especímenes donde se unen dos cuerpos mediante la aplicación de algún tipo de adhesivo.

En la Figura 2. 1 a) se somete a la probeta a una tensión perpendicular al plano de la junta. Este método de ensayo no ha recibido gran aceptación debido a la imposibilidad de fijar ambos extremos de la probeta sin generar excentricidad. El ensayo de hendimiento mostrado en la Figura 2. 1 b) donde la carga se aplica paralela al plano de la junta a pesar de ser simple de practicar que el de tensión directa no es muy usado para las juntas de hormigón - hormigón. Ambos métodos se basan en la tracción del hormigón como el criterio de falla. El ensayo del esfuerzo de corte se muestra en la Figura 2. 1 c) donde se tiene dos secciones iguales que se unen utilizando algún método para asegurar la adherencia. A ambos lados de la sección actúa un corte diagonal formando un ángulo de 30° con respecto a la vertical y una tensión de compresión. La resistencia de la unión se obtiene de la división de la carga última de compresión por el área de la unión de los hormigones.

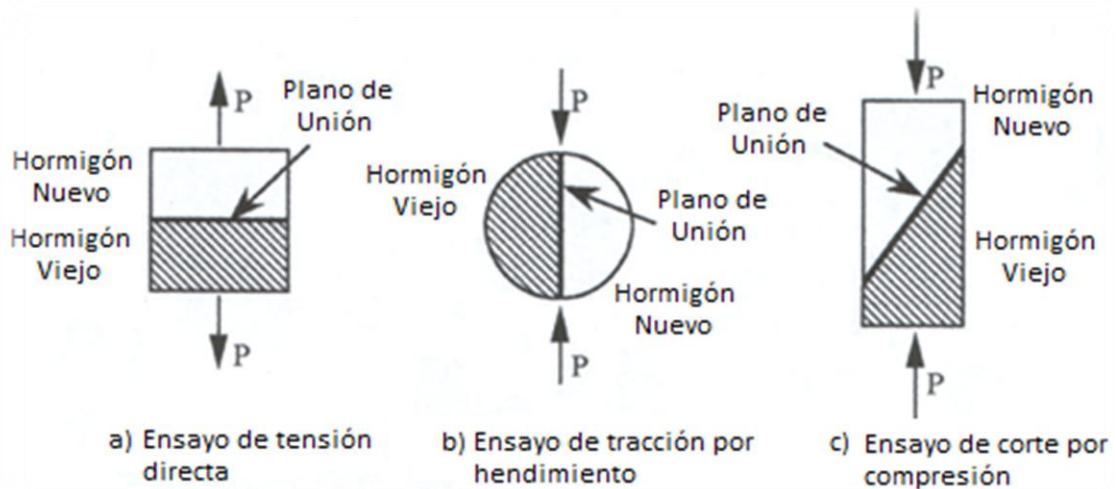


Figura 2. 1: Ensayos de tracción, tracción por hendimiento y corte.

El ensayo de cizalle diagonal es uno de los métodos más comunes para determinar la resistencia de una junta. En este ensayo la junta de hormigonado se somete a una combinación de esfuerzos de compresión y corte los que son producto de la carga de compresión a la que se somete a la probeta. Este ensayo fue presentado primero con el nombre de "Arizona Slant Shear Test" (Kreigh, 1976)[11] y después de cierto desarrollo fue estandarizado en la British Standard, BS 6319. El ASTM C882-99 también incorporó el método para evaluar la resistencia de las uniones con epóxicos y en ella explica cómo se debe realizar este ensayo.

Wall y Shrive [12] modificaron el método usando un prisma con un largo de tres veces la sección transversal en vez del cilindro que se indica en la ASTM. Como en la mayor parte de los casos los esfuerzos reales a los que se ve sometida la estructura tiene una componente de corte, este método de ensayo representa de forma más real lo que sucede en la realidad.

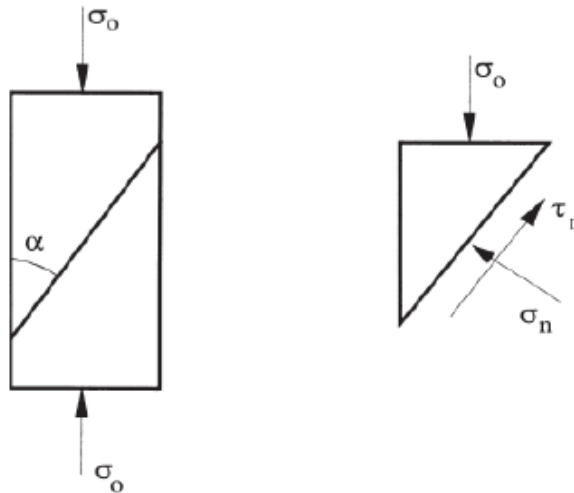


Figura 2. 2: Slant Shear Test.

Austin y Robins [13] demostraron que existen ciertas deficiencias con este tipo de ensayo. Primero que la falla depende fundamentalmente del ángulo en que esté la interface. Generalmente se usa un ángulo de 30° según los estándares del ensayo, que de aumentar su valor incrementará la tensión de compresión ya que la influencia de la componente de compresión aumenta en el plano de la unión. Segundo, el ensayo es relativamente insensible a la preparación y rugosidad de la superficie. Austin y Robins muestran que al cambiar la superficie de lisa a rugosa tuvo una gran influencia en los resultados, pero al cambiar la rugosidad por distintos métodos no varió los resultados de forma notoria. sus resultados muestran que la resistencia de la junta crece al doble después de cambiar la superficie de lisa a rugosa, pero al cambiar la rugosidad de relativamente rugosa a altamente rugosa no cambió de gran forma los resultados. Más aún, sus estudios demuestran que el incremento de la rugosidad de la superficie de contacto puede cambiar la forma de falla de la probeta.

Al existir una componente de compresión en la interfaz entre los hormigones gana más fricción y una trabazón producida por la rugosidad de la superficie. Por esto, la influencia de la fuerza de compresión en la junta es mayor que la influencia de la preparación de la superficie al menos que la superficie este lisa. Así el "Slant Shear test" produce una componente de compresión y genera una mayor unión en la interfaz, de esta forma aunque las partes no estuviesen unidas, el ensayo mostraría cierta resistencia de la junta.

Austin y Robins representan la relación entre el ángulo y el coeficiente del esfuerzo de compresión σ y la fuerza de corte puro τ (Figura 2. 3). El gráfico muestra que el ángulo de 30° recomendado por la ASTM C882 está cerca del

valor mínimo de carga necesaria para lograr la falla para las superficies lisas. Pero, mientras más rugosa es la superficie, se hace necesario aplicar mayor carga para lograr la falla para el mismo ángulo. A mayor rugosidad de superficie mayor carga será necesaria para lograr la falla de la superficie.

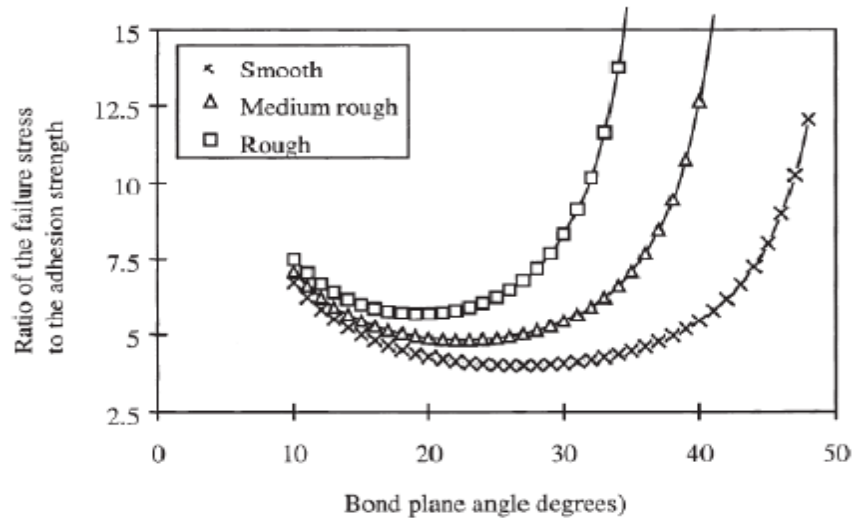


Figura 2. 3: Relación entre el coeficiente del esfuerzo de compresión y la fuerza de corte puro, y el ángulo de la interfaz entre hormigones.

El ASTM C882-99 describe el "Slant Shear Test" como el ensayo de cilindros fabricados de la unión de dos medios cilindros de 76.2 x 152.4 [mm] mediante el uso de resina epóxica. Ambas mitades, una hecha de hormigón y la otra de mortero, se obtienen del corte de cilindros monolíticos generando un ángulo de 30° con respecto a la vertical. Luego de unir las partes, se espera el fraguado de la resina y se ensaya el cilindro a compresión para determinar la carga última de compresión y así determinar la resistencia de la junta. El valor de la resistencia de la junta se obtiene dividiendo la carga última de compresión por la superficie de unión de los medios cilindros. La figura X.XX.X muestra una figura del ensayo.

CAPÍTULO 3 Planteamiento del programa experimental

3.1 Introducción

En el presente capítulo se detallará el programa experimental que permitirá analizar la resistencia al corte y permeabilidad de las juntas frías de hormigonado cuando se varía el tratamiento a la superficie de contacto y el tipo de hormigón utilizado para fabricar los prismas.

El programa experimental busca replicar el comportamiento de las juntas frías de hormigonado en obras industriales donde se utilizan hormigones de alta resistencia y se les somete a grandes solicitaciones. Para esto utilizando un hormigón de pavimento y otro estructural, se fabricarán prismas rectangulares en dos etapas donde se variará el tratamiento aplicado sobre la superficie de unión entre los hormigones. Los resultados de los ensayos de compresión permitirán verificar la eficacia de la transferencia de los esfuerzos de corte y tracción a través de la interfaz entre los hormigones y la posible infiltración de líquido a través del plano de la junta permitirá determinar el comportamiento de la junta ante el ataque del agua para proteger la enfierradura de refuerzo de las estructuras.

3.2 Planteamiento de la investigación

El plan de trabajo a seguir comprende la realización de dos series de ensayos con dos variables importantes a estudiar: el tipo de tratamiento de superficie que se le aplica al hormigón de la primera etapa y el tipo de hormigón utilizado para la fabricación de los prismas.

El tipo de tratamiento aplicado a la superficie tendrá directa relación con los resultados ya que un tratamiento eficiente tendrá como consecuencia una buena adhesión entre ambos hormigones, obteniendo una mejor transferencia de esfuerzos a través del plano de la junta. Además no presentará una gran porosidad impidiendo así la infiltración de agua a través de la interfaz entre los hormigones.

El tipo de hormigón se variará con el fin de estudiar el comportamiento de los tratamientos y la diferencia en la resistencia al corte obtenida en el plano

de la junta al utilizar hormigones más fluidos y con mayor relación A/C para fabricar los prismas.

Así, se construirá en dos etapas, prismas rectangulares de 20 x 20 [cm] de sección transversal y de 80 [cm] de altura con un plano oblicuo ($26,56^\circ$ c/r a la arista mayor del prisma) en el que se materializará la junta fría de hormigonado utilizando hormigones con razón A/C de 0,50 y 0,44 [cm], de ahora en adelante hormigón de pavimento, y asentamiento de cono de Abrams de 6 y 15 [cm], de ahora en adelante hormigón estructural.

Como tratamiento de la superficie de la junta se utilizará un puente de adherencia, picado del 50% de la superficie de contacto, la utilización de una malla de acero galvanizado como elemento contenedor del hormigón en el plano de la junta o simplemente no se hará un tratamiento. Estas resistencias se compararán con la resistencia obtenida cuando la rugosidad de la superficie de contacto de los hormigones se logra después de hacer fallar un prisma monolítico mediante tracción por hendimiento.

En una primera etapa se especificarán las variables del estudio, luego se detallarán los ensayos a realizar para finalmente, según el programa de ensayos, fabricar los prismas y para su posterior ensayo.

3.3 Definición de las variables

De las variables que pueden influir en la adhesión lograda en la junta fría de hormigonado se ha decidido variar el tratamiento de superficie y el tipo de hormigón que se utilizará para la fabricación de los prismas a ensayar. Por su parte se ha mantenido constante el tamaño máximo del árido a utilizar, la edad del hormigón base cuando se aplique el tratamiento de superficie y la resistencia a la compresión del hormigón.

Con el fin de replicar obras de la industria de la minería donde el hormigón tiene un uso estructural, es sometido a grandes solicitaciones y es necesario asegurar la durabilidad de las estructuras es que se dosificarán hormigones con una resistencia a la compresión promedio de 50 [MPa].

En busca de acotar el estudio, el tamaño máximo del árido que tendrá directa influencia en la rugosidad de superficie lograda cuando se aplica la malla de gallinero, se ha fijado en 20 [mm] y por su parte, la edad de aplicación del tratamiento sobre la superficie del hormigón base se estableció en 24 horas.

Los tratamientos de superficie que serán aplicados en las juntas frías de hormigonado se definen según la utilización de los mismos dentro de las obras, la factibilidad de aplicación de los mismos en el laboratorio de IDIEM y la búsqueda de afirmar la hipótesis que establece la eliminación de la lechada superficial y generación de una rugosidad de superficie como factores principales para asegurar la transferencia de esfuerzos a través del plano de la junta. De esta forma se emplearán tratamientos químicos y mecánicos para materializar la junta fría de hormigonado.

La definición de los hormigones a utilizar se basa en los hormigones habitualmente utilizados para fabricar las estructuras utilizadas en este tipo de obras. Se definió un hormigón de baja trabajabilidad y menor relación A/C, usado generalmente en pavimentos donde se necesita una alta durabilidad y resistencia y otro con mayor relación A/C y mayor trabajabilidad utilizado generalmente en elementos estructurales. Las características de los hormigones con se materializarán los prismas tendrá directa incidencia en la adhesión lograda para el tratamiento de malla de gallinero debido a que a más fluidez mayor será el escurrimiento de lechada a través de la malla. Las variables a estudiar se detallan en la tabla X.XX.X.

Tabla 3. 1: Variables de estudio.

Variable	Valores
Edad de aplicación del tratamiento [horas]	24
Tamaño máximo del árido [mm]	20
Resistencia a la compresión del hormigón [Mpa]	50
Tipo de hormigón	Hormigón de pavimento (Cono 6 [cm], A/C=0,44)
	Hormigón estructural (Cono 15 [cm], A/C=0,50)
Tratamiento de superficie de la junta fría de hormigonado	Superficie generada por hendimiento (plano inclinado 26,6°)
	Superficie generada por hendimiento + puente de adherencia
	Sin Tratamiento
	Puente de adherencia
	Picado (50% de la superficie)
	Malla metálica galvanizada

3.4 Programa de ensayos

Dadas las variables definidas anteriormente se ensayarán dos series de prismas. Cada una de las series comprende un tipo de hormigón y 6 tipos de tratamientos de superficie en la junta fría de hormigonado.

Los prismas serán sometidos a un ensayo de cizalle como se detalla en 3.5.1 para determinar la resistencia al corte de la junta fría de hormigonado, y sólo a uno de ellos se le realizará de manera previa, un ensayo de permeabilidad según se especifica en 3.5.2 para estudiar la eventual infiltración de agua a través del plano de la junta.

Para cada tipo de hormigón se construirán prismas rectangulares de 20 x 20 [cm] de sección transversal y 80 [cm] de altura. Serán fabricados en dos etapas independientes y según el tratamiento de superficie aplicado se variará la cantidad de prismas a fabricar. Así, para el ensayo de compresión del prisma monolítico se construirá sólo uno, dos para los tratamientos donde la superficie de contacto se genera al hacer fallar al prisma monolítico mediante tracción por hendimiento, tres para los tratamientos de puente de adherencia, malla metálica y los que no incluyen tratamiento y, 4 para los el caso del tratamiento de picado.

La permeabilidad de la junta fría de hormigonado se determinará mediante un ensayo donde se aplicará presión de agua sobre una de las trazas de la junta para verificar la eventual infiltración de agua a través del plano de la junta en el tiempo. Este ensayo se realizará cuando el hormigón nuevo cumpla la edad de 20 días.

En total se construirá 36 prismas los que atribuyen su nombre a el asentamiento de cono de Abrams del hormigón utilizado para su fabricación y al tipo de tratamiento de superficie aplicado a la junta fría de hormigonado. La representación definida se estructura de la siguiente forma: [Tipo de hormigón utilizado (hormigón de pavimento (HP) ó hormigón estructural (HE)) - Tratamiento de superficie (ST: sin tratamiento, PA: puente de adherencia, P: picado del 50% de la superficie, M: malla metálica galvanizada, H: superficie de fractura por hendimiento (patrón) y H+PA: superficie de fractura por hendimiento más puente de adherencia)]. Las series para los ensayos se muestran a continuación.

Tabla 3.2: Denominación de las series.

Serie	Tipo de hormigón		Tratamiento de superficie					
	Pavimento	Estructural	ST	PA	P	M	H	H+PA
HP - ST	x		x					
HP - PA	x			x				
HP - P	x				x			
HP - M	x					x		
HP - H	x						x	
HP - H+PA	x							x
HE - ST		x	x					
HE - PA		x		x				
HE - P		x			x			
HE - M		x				x		
HE - H		x					x	
HE - H+PA		x						x

3.5 Definición de los ensayos

A continuación se detallará los ensayos a los que se someterán los prismas para determinar la eficacia en cuanto a la resistencia al corte y permeabilidad de los tratamientos de superficie aplicados en la junta fría de hormigonado.

3.5.1 Ensayo de cizalle (Slant Shear Test)

El ensayo de cizalle por compresión se realizará utilizando un procedimiento análogo al descrito en el ASTM C882 (1999): "Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used with Concrete by slant Shear".

Se construirán prismas rectangulares de 20 x 20 de sección transversal y 80 [cm] de altura los que serán sometidos a carga de compresión hasta generar la falla tomando registro de la carga última. Los prismas serán fabricados en dos etapas independientes para generar una junta de hormigonado formando un ángulo de 26,57° con respecto a la vertical como muestra la figura a continuación.

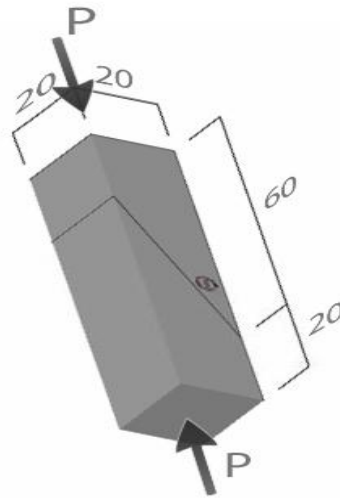


Figura 3. 1: Ensayo de cizalle.

Para calcular la tensión de corte última primero es necesario calcular el área nominal (A_n) de la superficie de la junta. Esto se hizo de la siguiente forma:

$$A_n = \frac{A}{\text{sen}(\theta)}$$

De esta forma se calcula la tensión de corte última de la junta de hormigonado como se muestra a continuación.

$$\tau_u = \frac{P_u}{A} \cdot \cos(\theta) \cdot \text{sen}(\theta)$$

Finalmente se obtiene,

$$\tau_u = \frac{P_u}{2 \cdot A} \cdot \text{sen}(2 \cdot \theta)$$

Donde:

τ_u = Tensión de corte última en el plano de la junta [MPa].

σ_y = Tensión principal última [kg/cm²].

P_u = Carga última de la máquina [ton].

A = Sección transversal del prisma [cm²].

θ = Ángulo entre el plano de la junta y la arista mayor del prisma [°].

Ahora, según el prisma diseñado para el desarrollo del estudio se tiene que $\theta = 26,57^\circ$ y $A = 400 \text{ [cm}^2\text{]}$. Con esto el valor de la tensión de corte último queda dado por la como queda a continuación.

$$\tau_u = 0,098 \cdot P_u \quad [\text{MPa}]$$

El análisis tensional en el plano de la junta para la carga última se describe mediante el círculo de Mohr correspondiente,

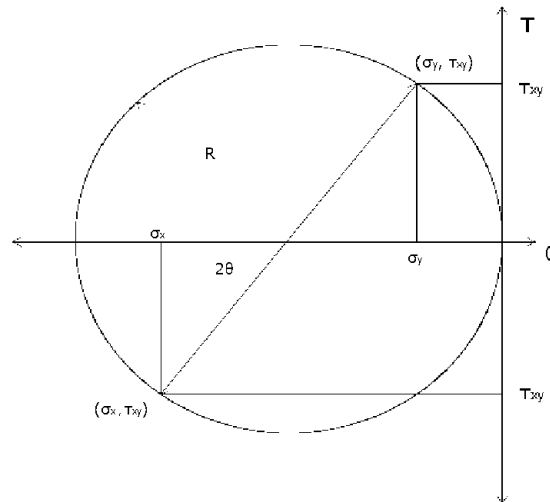


Figura 3. 2: Círculo de Mohr.

3.5.2 Ensayo de permeabilidad.

Con el fin de determinar la resistencia al paso del agua a través de la junta de hormigonado se contempla efectuar ensayos de permeabilidad aplicando carga hidrostática a lo largo de una de las trazas del plano de la junta. La permeabilidad de la junta de hormigonado se obtiene aplicando la ley de Darcy como se muestra a continuación.

$$Q = k \cdot \frac{\Delta h}{\Delta L} \cdot A$$

En que la incógnita corresponde al coeficiente de permeabilidad de Darcy "k". Por ende, la ecuación queda de la siguiente forma,

$$k = \frac{Q}{A} \cdot \frac{\Delta L}{\Delta h}$$

Donde,

Q = caudal que pasa a través de la interface [m^3/s].

A = sección transversal de la muestra [m^2].

ΔL = distancia entre los puntos donde se registra la altura [m].

Δh = diferencia de potencial entre dos puntos [m].

Para efectos del ensayo a realizar se tiene los siguientes valores para las variables del problema:

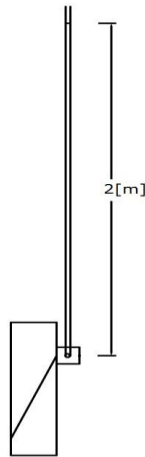


Figura 3. 3 : Ensayo de permeabilidad.

3.6 Tratamientos Utilizados.

Con el fin de determinar la eficacia del tratamiento de superficie aplicado en la transferencia de los esfuerzos de corte y tracción en las juntas frías de hormigonado es que se variará tipo de preparación que se le dará a la superficie de contacto entre hormigón viejo y nuevo. Para materializar la junta se plantea la utilización de puentes de adherencia, la eliminación de la lechada superficial y generación de una rugosidad de superficie adecuada de forma mecánica y la generación de la superficie mediante la fractura por hendimiento. Los tratamientos a utilizar se detallan a continuación.

3.6.1 Sin tratamiento

Para esta experiencia se quiere determinar la adherencia obtenida al hormigonar un elemento estructural en dos etapas suspendiendo el hormigonado por 24 [hrs] y sin aplicar ningún tipo de tratamiento en la superficie de unión. La resistencia obtenida será determinada solo por la ligazón que se genera entre la capa de lechada superficial del hormigón de la primera etapa y el de la segunda etapa.

Mediante el ensayo de prismas donde no se aplique tratamiento alguno se podrá determinar si se hace necesaria la preparación de la superficie de contacto antes de aplicar el hormigón de la segunda etapa.

Según estudios la presencia de lechada es uno de los factores nocivos a la hora de asegurar una buena transferencia de esfuerzos a través de una junta fría de hormigonado por lo que tras la aplicación de este tratamiento se espera obtener una resistencia muy baja en comparación con los otros métodos de preparación de la superficie que se utilizarán.

3.6.2 Puente de adherencia

Usando este tratamiento se busca determinar la eficacia de la transferencia de esfuerzos al aplicar un puente de adherencia epóxico sobre la superficie de contacto entre los hormigones. La resistencia obtenida será íntegramente gracias a la utilización del puente de adherencia ya que al no aplicar ningún tratamiento mecánico para eliminar la lechada superficial no existe la ligazón obtenida gracias a la rugosidad de la superficie de contacto entre los hormigones.

Se utilizará un puente de adherencia existente en el mercado típicamente usado en obra con el fin de replicar de manera más exacta las condiciones con que se materializan las juntas de hormigonado en la práctica.

3.6.3 Picado (50% de la superficie)

Mediante el picado mecánico del hormigón base se espera eliminar la lechada superficial del lugar donde se producirá la interfaz entre los hormigones. De esta forma se espera obtener una superficie irregular como se indica en la NCh 170 Of 1985 con lo que se tendrá una ligazón mecánica entre ambos hormigones dada por la rugosidad de superficie obtenida. Esta ligazón tendría como resultado una mayor resistencia al corte de la unión.

Con la aplicación de los tratamientos ya expuestos será posible comparar la diferencia entre la resistencia que se obtiene al aplicar algún tratamiento epóxico y uno mecánico a la superficie y determinar la influencia de la rugosidad de superficie en la transferencia de los esfuerzos a través de la junta fría de hormigonado.

3.6.4 Malla metálica galvanizada

El presente tratamiento consiste en la instalación de una doble malla de gallinero como elemento contenedor del hormigón en el plano de interrupción del hormigonado. Así, gracias a la presencia de aberturas en la malla metálica se permitiría generar una rugosidad de superficie adecuada debido a la penetración parcial del árido grueso a través de estas. Esta rugosidad de superficie sería lo bastante profunda para obtener una ligazón mecánica entre los hormigones lo que daría una mejor transferencia de los esfuerzos de corte y tracción a través de la junta fría de hormigonado.

Mediante la generación de la superficie de contacto con la aplicación de la malla metálica se espera obtener resistencia al corte similar a la que se obtendrá con el tratamiento de picado.

3.6.5 Plano de fractura por hendimiento, sin tratamiento (Patrón)

Este tratamiento consiste en generar la superficie de contacto mediante la fractura de un prisma monolítico a tracción por hendimiento. Con esto se busca simular la generación de una grieta dentro de una estructura debido a los esfuerzos de tracción interna que se producen en las estructuras de hormigón.

Como resultado del tratamiento se tiene una superficie donde la transferencia de esfuerzos a través del plano de la junta fría de hormigonado viene dada por la ligazón mecánica entre el árido que queda descubierto además de la adhesión que se genera entre ambos hormigones. A diferencia de los demás tratamientos, la rugosidad de la superficie se genera por la falla en la unión entre el árido fino y grueso, la falla del árido grueso y por la falla del árido fino.

3.6.6 Plano de fractura por hendimiento, con puente de adherencia.

La finalidad del tratamiento es estudiar la transferencia de esfuerzos en una estructura cuando se ha producido una grieta y esta ha sido reparada mediante la aplicación de un puente de adherencia. De manera análoga al tratamiento de superficie de fractura por hendimiento se simulara una grieta pero para este caso la grieta se reparara con la aplicación de un puente de adherencia. Con la aplicación de este tratamiento se podrá estudiar la eficacia de la aplicación de un puente de adherencia una vez que se ha logrado una rugosidad de superficie adecuada.

CAPITULO 4 Desarrollo del programa experimental

4.1 Introducción

La elaboración de los prismas y su posterior ensaye se realizó en el laboratorio de hormigones de prueba y sala de maquinas de IDIEM.

Los prismas fueron fabricadas en dos etapas para así dar origen a la junta fría de hormigonado. El material, las máquinas utilizados, las dosificaciones de los hormigones y el procedimiento para la construcción de las probetas se detallan en el presente capítulo.

4.2 Maquinaria y equipos

A continuación se muestran las máquinas y los equipos utilizados para el desarrollo de la memoria.

4.2.1 Betonera

Se ha empleado una betonera eléctrica de tipo basculante con una capacidad máxima 150 litros de hormigón, su velocidad de rotación es de aproximadamente 20 [rev /min].



Figura 4.1: Betonera.

4.2.2 Moldes

Para la confección de los prismas para el ensayo de cizalle se usaron moldes contruidos con placas de terciado de moldaje de 18 [mm] de espesor y de dimensiones interiores de 20 x 20 x 80 [cm] El molde en su base cuenta con un perfil metálico para asegurar que esté debidamente nivelado.

Se utilizó 2 tipos de moldes. Al primero se le puede apernar una cuña que junto a una pared de terciado cortada apropiadamente, detiene el escurrimiento del hormigón para generar la primera mitad del prisma. El segundo tipo cuenta con una doble pared lateral con la finalidad de colocar, fijar y tensar la malla de alambre galvanizado que hará de pared para detener el escurrimiento del hormigón. Esta malla se inserta en unos cortes que tiene la pared interna y se fija contra la cara externa de la primera pared. La segunda pared tiene como finalidad mantener la rigidez de la pared interna para asegurar que el prisma construido cumpla con las medidas establecidas.

Las paredes divisorias de los moldes y la malla de alambre están dispuestas de tal forma que forman un ángulo de $26,57^\circ$ con la pared En la Figura4. 2 a), b) y c) se muestran los moldes utilizados.

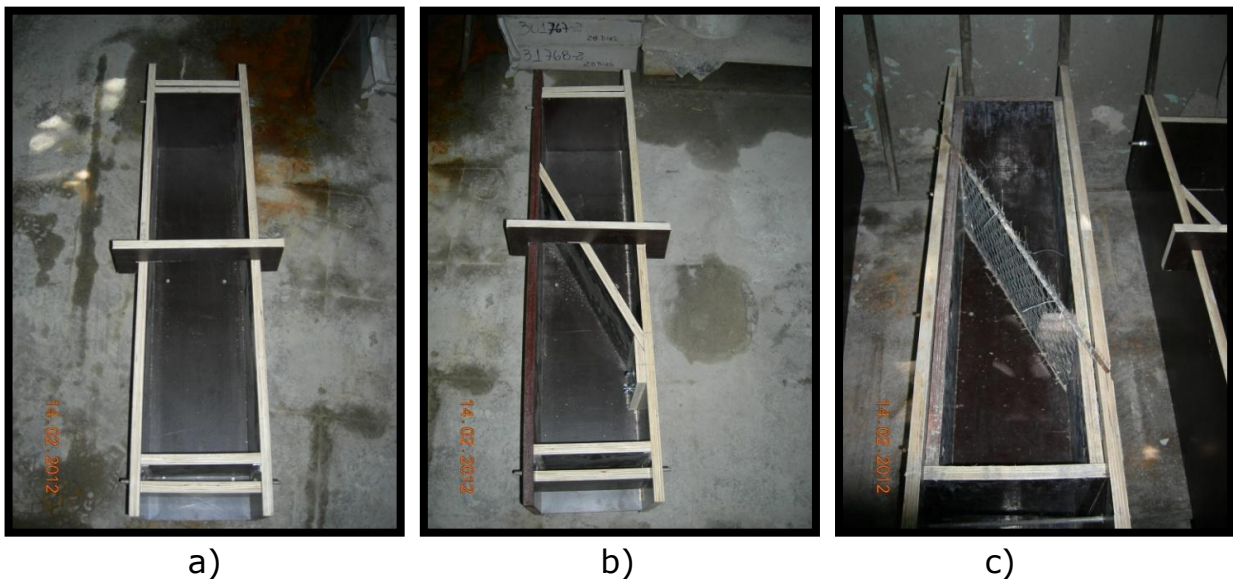


Figura 4. 23: (a): Molde probeta monolítica; (b): Molde con pared fenólica; (c): Molde con doble malla de alambre galvanizada.

4.2.3 Máquina de ensayo

La máquina de ensayo corresponde a una LOSENHAUSENWERK para ensayo de compresión con escalas de 100, 250 y 500 toneladas de la sala de máquinas de IDIEM. La Figura 4. 3 muestra la máquina utilizada para los ensayos de cizalle.



Figura 4. 3 Máquina de ensayo.

4.3 Caracterización de los materiales

A continuación se detallarán los materiales utilizados para la fabricación de los prismas necesarios para llevar a cabo el estudio.

4.3.1 Cemento

El cemento utilizado para el trabajo experimental corresponde a un cemento de alta resistencia inicial resultado de la de la molienda conjunta de clínquer, yeso y puzolana volcánica. Según lo establecido en la NCh 148 Of. 68. "Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales" corresponde a un cemento "Pórtland Puzolánico Grado Alta Resistencia.

4.3.2 Áridos

Los áridos utilizados para fueron proporcionados por la empresa Petreos Río Maipo la cual procesa material fluvial de dicho río. El tamaño máximo de los áridos corresponde a 20 [mm] para el caso de la gravilla y 10 [mm] para la arena.

Las características de los áridos se muestran en las Tablas 4. 1, 4. 2 y 4. 3.

Tabla 4. 1: Granulometría de la gravilla.

TAMICES		PORCENTAJE QUE PASA (EN PESO)
ASTM	[mm]	
2"	50	-
1 1/2"	40	-
1"	25	100
3/4"	20	99
1/2"	12.5	54
3/8"	10	20
4	5	1
8	2.5	-
16	1.25	-
30	0.63	-
50	0.315	-
100	0.16	-

Tabla 4. 2: Granulometría de la arena.

TAMICES		PORCENTAJE QUE PASA (EN PESO)
ASTM	mm	
2"	50	-
1 1/2"	40	-
1"	25	-
3/4"	20	-
1/2"	12.5	-
3/8"	10	100
4	5	97
8	2.5	74
16	1.25	53
30	0.63	37
50	0.315	21
100	0.16	6

Tabla 4. 3: Propiedades de los áridos.

Propiedad	Gravilla	Arena
Tamaño máximo nominal [mm]	20.00	5.00
Módulo de finura	6.80	3.03
Densidad real árido saturado superficialmente seco [kg/m ³]	2.73	2.70
Densidad real árido seco [kg/m ³]	2.70	2.66
Densidad neta [kg/m ³]	2.78	2.77
Absorción de agua [%]	1.04	1.37
Densidad aparente compactada [kg/m ³]	1.60	1.79
Densidad aparente seca [kg/m ³]	1.50	1.65
Contenido de huecos [%]	44.30	38.00

4.3.3 Puente de adherencia

Como puente de adherencia se usó Sikadur 32, producto a base de resinas epóxicas, libre de solventes.

Por lo general este producto se usa en obras como adhesivo estructural de hormigón fresco con hormigón endurecido; adhesivo entre elementos de: hormigón, piedra, acero, fierro, fibrocemento, madera; adhesivo entre hormigón y mortero; y para anclajes de pernos de hormigón o roca.

Para su aplicación la superficie debe encontrarse limpia, exenta de polvo, partes sueltas o mal adheridas, sin impregnaciones de aceite, grasa, pintura, etc. firme y sana respecto a sus resistencias mecánicas. Su aplicación es mediante brocha, rodillo o pulverizado sobre la superficie preparada.

El hormigón fresco debe ser vaciado antes de 3 horas de aplicado el puente de adherencia a 20°C ó 1 hora a 30°C. En todo caso, el producto debe encontrarse fresco al vaciar la mezcla sobre él. Las propiedades del puente de adherencia utilizado se muestran en la Tabla 4.4.

Tabla 4. 4: Propiedades del puente de adherencia.

Propiedad	Edad	Valor	Unidad
Densidad		1.6	kg/m ³
Resistencia a compresión	1 día	75	MPa
	10 días	90	MPa
Resistencia a flexión	10 días	34	MPa
Adherencia		> 13	MPa
Fuerza de arrancamiento de anclaje en hormigón H25		6000	kgf
Pot life a 20°C		25	min
Consumo		0.3 a 0.5	kg/m ²

4.3.4 Malla metálica galvanizada

Como elemento contenedor del hormigón de la primera etapa para el molde mostrado en la Figura 4. 1 c) se uso una malla hexagonal de alambre galvanizado conocida vulgarmente como malla de gallinero. Esta malla tiene huecos de 19 [mm] para asegurar que los áridos del hormigón no escurran a través de ella.

Su principal uso es como malla de protección en pendientes, construcción de cercas de corral para aves y animales y como cerca para jardines. En el mercado se encuentra disponible con distintos huecos y calibres de alambres. La Figura 4. 4 muestra la malla utilizada.

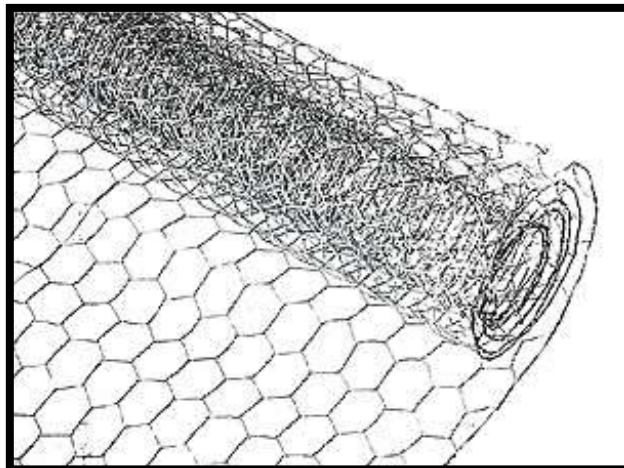


Figura 4. 4: Malla metálica galvanizada.

4.3.5 Dosificación de los hormigones

El cálculo de las dosificaciones de los hormigones se realizó de acuerdo a lo establecido en el ACI 211 y la norma NCh 170 Of .1985.

Con el fin de replicar un hormigón de alta resistencia utilizado por lo general en obras de la minería donde se necesita gran fidelidad y durabilidad de las estructuras se dosificó para una resistencia a la compresión de 50 MPa con un 90% de confiabilidad y con razones de A/C=0.5 y 0,44 para hormigones de asentamiento de cono de Abrams de 15 y 6 [cm] respectivamente empleando un cemento de alta resistencia. Además para la dosificación se estimó un modulo de finura de los áridos de 2.8 y se consideró que el hormigón cuenta con aire atrapado al interior.

Las dosificaciones empleadas para el estudio se detallan en la Tabla 4. 5.

Tabla 4. 5: Dosificación de los hormigones.

ITEM	Unidad	Tipo de hormigón	
		Pavimento	Estructural
Cemento	[Kg/m ³]	432	432
Gravilla	[Kg/m ³]	961	961
Arena	[Kg/m ³]	770	699
Agua	[Kg/m ³]	190	216
TOTAL	[Kg/m ³]	2353	2308

4.4 Confección de las series de ensayo

Para los ensayos de compresión y permeabilidad se construyó tres tipos de probetas. El primer tipo corresponde a prismas rectángulas de 20 x 20 [cm] de sección transversal y 80 [cm] de altura con una junta fría de hormigonado generando un ángulo de 26,57 ° con respecto a la arista mayor, el segundo tipo corresponde al mismo prisma pero construido monolíticamente, ambos para ser sometidos a un ensayo de cizalle, y por último se fabricarán cubos de 15 [cm] de arista para determinar la resistencia a la compresión del hormigón.

Las series fueron fabricadas en dos coladas independientes. La primera colada comprende el hormigonado de cinco medios prismas más la fabricación de tres cubos y con la segunda colada se termina de construir los prismas y paralelamente se fabrican tres cubos para el ensayo a compresión.

En alguno de los casos durante la primera colada se fabricó prismas monolíticas en desmedro de la fabricación de prismas con junta para generar la superficie de contacto mediante tracción por hendimiento.

Durante la fabricación de las series se procuró aplicar distintos tratamientos a los prismas construidos de forma paralela para asegurar que de existir alguna singularidad que influya en la resistencia del hormigón se vea reflejado en los resultados obtenidas para todos los tratamientos y no influya sólo a uno de ellos.

El procedimiento utilizado para la fabricación de las series de ensayo se detalla a continuación.

4.4.1 Fabricación de los prismas con junta de hormigonado

Para la fabricación de los prismas con junta de hormigonado se debió confeccionar dos hormigones con un intervalo de 24 horas entre su fabricación. La metodología con que se materializaron los prismas se muestra a continuación.

4.4.1.1 Confección del hormigón primera etapa

4.4.1.1.1 Mezclado y colocación

El procedimiento utilizado para la mezcla y colocación del hormigón fue el siguiente:

- Se humedeció y homogeneizó los áridos necesarios y se estimó las humedades para la corrección de la dosificación.
- Se pesó el cemento, gravilla, arena y agua especificados según la colada siguiendo las dosificaciones detalladas en 4.3.5.
- Se aplicó aceite desmoldante sobre las paredes interiores de los moldes para asegurar el fácil desmolde de los prismas y se instaló la pared divisoria de ser necesario.
- Se humedeció los instrumentos necesarios para la fabricación del hormigón.
- Se vació la gravilla dentro de la betonera. Luego se agregó la arena y el cemento de manera alternada.
- Se mezcló los áridos con el cemento a una velocidad constante de 20 [rev/min] durante 10 minutos.
- Con la mezcla homogeneizada se agregó el 75% del agua de amasado y se volvió a mezclar a la misma velocidad durante 5 minutos.

- Se analizó el hormigón y de ser necesario se agregó el agua faltante para cumplir con el asentamiento de cono establecido.
- Se volvió a mezclar durante 3 minutos hasta obtener una mezcla homogénea.
- Se hizo los ensayos para determinar las propiedades del hormigón fresco según se explica en 4.4.1.2 y así cumplir con lo establecido en el programa de ensayo.
- Se colocó el hormigón en los moldes utilizando una pala y se vibro según lo establecido en 4.4.1.3.
- Se fabricó los cubos para el ensayo de compresión.

A continuación se muestra una foto de los moldes luego de aplicar el hormigón de la primera etapa.



Figura 4. 5: Colocación del hormigón de la primera etapa.

4.4.1.2 Determinación de las propiedades del hormigón fresco

Los ensayos para determinar las propiedades del hormigón fresco para la fabricación de los prismas se realizaron en el laboratorio de hormigones de prueba de IDIEM siguiendo lo establecido en la norma chilena según corresponda.

4.4.1.2.1 Asentamiento de cono

La medida de asentamiento de cono de Abrams permite medir la docilidad del hormigón fresco por la disminución de altura que experimenta en este ensayo. Esto se realizó con el fin de cumplir con la trabajabilidad especificada para cada tipo de hormigón en el programa de ensayos.

El descenso de cono se midió siguiendo el procedimiento especificado en la norma NCh 1019 E Of. 74 "Construcción – Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams".

Este ensayo se hizo 8 minutos después de agregarle agua a la mezcla para fabricar el hormigón.



Figura 4. 6: Asentamiento de cono de Abrams.

4.4.1.2.2 Densidad aparente

Corresponde a la densidad en que se considera el volumen aparente de la mezcla (volumen real de la mezcla más el volumen de aire atrapado o incorporado en ella).

El ensayo se realizó conforme al procedimiento indicado en la norma NCh 1564 Of. 79 "Hormigón – Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco".



Figura 4. 7: Densidad aparente del hormigón.

4.4.1.2.3 Contenido de aire

El método para determinar el volumen de aire atrapado en el hormigón se basa en la variación de volumen que experimenta una muestra de hormigón o mortero fresco al ser sometido a presión.

El procedimiento para determinar el contenido de aire del hormigón se realizó según lo especificado en la norma NCh 2184 Of. 92 "Hormigón y mortero – Método de ensayo – Determinación del contenido de aire".

Cabe destacar que este ensayo se pudo realizar de manera satisfactoria sólo para algunas de las coladas debido a las recurrentes fallas del equipo necesario para la realización del ensayo.

4.4.1.3 Compactación y vibrado.

La compactación de los hormigones se realizó utilizando un vibrador de inmersión tipo pendular con una velocidad de 1000 a 12000 vibraciones por minuto. Se procuró sumergir el vibrador lentamente en la masa manteniéndolo, sin hacer contacto con las paredes del molde, durante el tiempo suficiente para asegurar que las burbujas atrapadas en el hormigón suban a la superficie. La distancia entre los sucesivos puntos de inmersión fue la adecuada para asegurar la compactación de todo el hormigón dentro del molde.

La Figura 4. 8 muestra la sonda utilizada para la compactación de los prismas.



Figura 4. 8: Sonda y motor utilizados en la compactación de los prismas.

4.4.1.4 Aplicación del tratamiento

Luego de la colocación del hormigón de la primera etapa se procedió a remover la pared divisoria del molde y a aplicar el tratamiento según corresponda a la superficie de contacto entre los hormigones. Se realizaron 6 tratamientos distintos. El procedimiento aplicado en cada uno de ellos se detalla a continuación.

4.4.1.4.1 Sin tratamiento

Cuando el hormigón de la primera etapa alcanzó la edad de 24 hrs. se procedió a sacar la pared fenólica que delimita el escurrimiento del hormigón y limpiar la superficie mediante la aplicación de chorro de agua con el fin de eliminar el polvo, las impurezas que pudiesen afectar la unión de los hormigones y los posibles restos de desmoldante que pudiesen haber quedado en la superficie de contacto. Una vez que la superficie estuviese seca se volvió a limpiar con una brocha para asegurar la eliminación del polvo presente y mejorar la adherencia entre los hormigones.

Como resultado del tratamiento se tiene la superficie entregada luego del vibrado del hormigón de la primera etapa con la capa de lechada correspondiente. La Figura 4. 9 muestra la superficie de contacto luego de la aplicación del tratamiento.



Figura 4. 9: Superficie sin tratamiento.

4.4.1.4.2 Puente de Adherencia

Para llevar a cabo el tratamiento se necesitó de dos etapas. Primero, cuando se cumple la edad de 24 horas se removi6 la pared fen6lica y se elimin6 las impurezas de la superficie mediante la aplicaci6n de chorro de agua para asegurando as6 que esta se encontrase sana y limpia, libre de partes sueltas, contaminaci6n de aceite, polvo, residuos curadores, lechada de cemento u otras sustancias extra6as antes de aplicar el puente de adherencia.

En una segunda etapa se prepar6 el puente de adherencia incluyendo los componentes en proporci6n 2:1 seg6n lo indicado por el fabricante y se mezcl6 de forma manual hasta asegurar la homogeneidad de la mezcla. Luego se aplic6 el producto sobre la superficie de uni6n con una brocha siguiendo de manera rigurosa las indicaciones del fabricante y procurando de colocar el hormig6n nuevo antes de 30 minutos de aplicado el puente de adherencia siguiendo de esta forma lo indicado en la NCh 170 Of.1985.

El rendimiento en cuanto a consumo del puente de adherencia obtenido fue de 1.5 [kg/m²].

La Figura 4. 10 muestra la superficie de contacto luego de aplicar el tratamiento.



Figura 4. 10: Aplicación del puente de adherencia.

4.4.1.4.3 Picado

Con la finalidad de eliminar parte de la lechada superficial se picó de manera manual el 50% de la superficie de contacto entre los hormigones antes de la aplicación del hormigón nuevo. Para esto una vez que el hormigón de la primera etapa llegó a la edad de 24 hrs se golpeó la superficie golpes con un cincel y un combo para de esta forma eliminar buena parte del mortero relativamente blando. El picado se realizó de manera continua sobre el 50% central de la cara del prisma para evitar generar micro fracturas en el prisma que pueden afectar en la resistencia obtenida o el desprendimientos de los bordes debido a los golpes.

Generando una rugosidad de al menos 6 [mm] se espera obtener una ligazón mecánica en la unión que entregue como resultado una mejor transferencias de esfuerzos a través del plano de la junta fría de hormigonado. Esta mayor eficacia se debe al aumento de aspereza en la superficie y a la penetración del hormigón fresco a través de los áridos descubiertos del hormigón de la primera etapa.

Finalmente, se eliminó las partículas sueltas y se mojó y limpió con una brocha la superficie para dejarla libre de polvo. A continuación se muestra una figura de la rugosidad de superficie lograda tras la aplicación del tratamiento.



Figura 4. 11: Tratamiento de picado (50% de la superficie).

4.4.1.4.4 Malla metálica galvanizada

Para la ejecución de este tratamiento de manera previa a la colocación del hormigón de la primera etapa se instaló la malla como pared contenedora del hormigón de la primera etapa fijando y tensando la malla para asegurar la correcta generación del plano de la junta según se dispuso para los ensayos realizados.

Con el molde debidamente preparado se aplicó el hormigón de la primera etapa y luego del vibrado de la mezcla, una vez que la malla estuviese embebida dentro del hormigón debido a la penetración del árido a través de las aberturas de esta se eliminó toda la lechada que escurrió a través de la malla.



Figura 4. 12: Lechada que pasa a través de la malla metálica.

Cuando el hormigón de la primera etapa cumplió la edad de 24 horas se aplicó chorro de agua y se removió las partículas sueltas para finalmente, una vez que la superficie se encontrase seca, colocar la segunda colada de hormigón. A continuación se muestra la superficie de contacto obtenida tras la aplicación del tratamiento.



Figura 4. 13: Superficie de contacto al usar la malla metálica galvanizada.

4.4.1.4.5 Superficie de fractura por hendimiento (Patrón)

Cuando el hormigón de los prismas monolíticos alcanzó sobre el 75% de su resistencia se sometió a un ensayo de tracción por hendimiento hasta llegar a la falla de tal forma de obtener el mismo plano que el establecido para los prismas con junta de hormigonado (formando un ángulo de $26,57^\circ$ con la arista mayor). La definición del plano de falla se logró luego de poner

apropiadamente barras de acero con una de sus caras cilíndricas en las trazas superior e inferior del plano donde se quiere generar la falla del prisma. La Figura 4. 14 muestra la disposición de los fierros para lograr la fractura.



Figura 4. 14: Fractura por hendimiento.

Con el prisma fracturado en el plano requerido, se tomó ambas mitades, y a cada una de ellas se le eliminó las fracciones agrietadas y/o como consecuencia de las cargas de tracción a las que se sometió durante el ensayo de hendimiento y se limpió la superficie mediante chorro de agua para finalmente, una vez que esta se secura, colocar el hormigón de la segunda etapa en el molde. El resultado del tratamiento de superficie se muestra en la figura 4. 15.



Figura 4. 15: Superficie de fractura por hendimiento.

4.4.1.4.6 Superficie de fractura por hendimiento más puente de adherencia

Este tratamiento corresponde a la suma de los tratamiento de hendimiento y el de puente de adherencia. En una primera etapa de manera análoga al tratamiento de hendimiento se hizo fallar el prisma de 20 x 20 x 80 [cm] generando la superficie de contacto mediante fractura por hendimiento y luego de eliminar las partes sueltas se procedió a realizar el tratamiento de puente de adherencia según lo indicado en 4.4.1.4.2 para finalmente completar el prisma mediante la colocación del hormigón de la segunda etapa. El resultado del tratamiento aplicado se muestra en la figura 4. 16.



Figura 4. 16: Superficie de fractura por hendimiento más puente de adherencia.

4.4.1.5 Confección hormigón segunda etapa

Una vez que el hormigón de la primera etapa cumplió la edad de 24 horas y se haya aplicado el tratamiento correspondiente se procedió a colocar el hormigón de la segunda etapa para completar la construcción de los prismas. El procedimiento utilizado para la colocación y mezclado del hormigón es análogo al indicado en 4.4.1.1. La Figura 4. 17 muestra los moldes una vez colocado el hormigón de la segunda etapa..



Figura 4. 17: Colocación del hormigón de la segunda etapa.

4.4.2 Fabricación de prismas monolíticos

Paralelamente a la construcción de los prismas con tratamiento de junta se fabricó seis prismas monolíticos de iguales características los que serían utilizados para llevar a cabo los tratamientos de superficie de fractura por hendimiento y superficie de fractura por hendimiento más puente de adherencia. De los prismas fabricados sólo cuatro se sometieron a hendimiento y los dos restantes se ensayaron a compresión.

Este tipo de prisma se construyó de manera paralela a la fabricación de los con junta de hormigonado y el procedimiento utilizado fue el mismo que el establecido en 4.4.1 con la salvedad de que se lleno el molde completo. La figura 4. 18 muestra el molde luego de la colocación del hormigón.



Figura 4. 18: Fabricación de prismas monolíticos

4.4.3 Confección de los cubos para ensayo a compresión

Paralelamente a la construcción de los prismas para el ensayo de cizalle se fabricaron tres probetas cúbicas de 15 [cm] de arista en cada una de las coladas para someterlas a un ensayo de compresión a velocidad constante hasta llegar a la falla y así determinar la resistencia a la compresión de los hormigón confeccionados.

El llenado de los moldes y la compactación de las probetas cúbicas se realizó de acuerdo a lo indicado en la norma NCh 1017 Of. 75 "Hormigón - Confección y curado en obra de probetas para ensayos de tracción y compresión". La mesa utilizada para la compactación de los cubos y el llenado de los mismos se muestra en la Figura 4. 19.



Figura 4. 19: Fabricación de las probetas cúbicas.

El curado inicial de las probetas cúbicas (mientras estas se encontraban en el molde) se realizó cubriendo la superficie con aspilleras húmedas para mantenerla a temperaturas de entre 16 y 27°C y evitar la evaporación del agua del hormigón. Después de desmoldadas se sumergieron en piscinas con agua tranquila a temperaturas entre 17°C y 23°C saturada con cal según lo indica la NCh 1017 Of.75.

4.4.3.1 Curado de los prismas

El curado inicial de los prismas (mientras los prismas se encontraban dentro del molde) se realizó cubriendo la superficie expuesta con aspilleras húmedas para mantener la baja temperatura y evitar la evaporación de agua incorporada dentro del hormigón.

A la edad de tres días se desmoldó los prismas y se trasladó los prismas a una bodega ubicada dentro de las pertenencias de IDIEM donde se aseguró

que estos se mantuviesen bajo la sombra y a bajas temperaturas. Los prismas fueron dispuestos de manera vertical, apilados uno al lado de otro hasta que se completó el ciclo de maduración del hormigón.

4.5 Ensayo de los prismas

4.5.1 Ensayo de permeabilidad

Cuando la junta fría de hormigonado cumplió la edad de 21 días se fijó sobre una de sus trazas menores un molde de acrílico de 6 [mm] de espesor cuya forma corresponde a prisma recto de sección cuadrada de 10 x 10 [cm] y de 20 [cm] de altura (medidas externas) abierto por una de sus caras mayores.

Este equipo, que se instaló de tal forma que su cara libre estuviese en contacto con el prisma de hormigón, cuenta en unas de sus caras menores con un orificio por el que se le instaló un tubo de PVC al que se le fijó una manguera para aplicar presión hidrostática sobre la traza.

El equipo, la manguera y el tubo de PVC se fijaron con resina para evitar la filtración de agua y además las trazas mayores de la junta de hormigonado se sellaron con macilla para asegurar que el flujo de agua fuese a través de todo el largo del plano de la junta y no escurriese agua hacia el exterior de la interfaz. La Figura 4. 20 muestra el equipo que se fijó para realizar el ensayo.

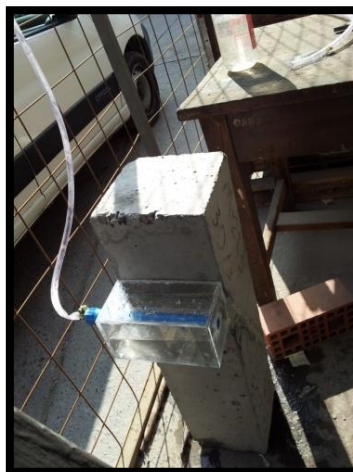


Figura 4. 20: Instalación del equipo para el ensayo de permeabilidad.

Con el equipo instalado se llevó el prisma a los patios de IDIEM donde realizó el ensayo aplicando agua hasta llegar a la altura de 2 metros desde el nivel de la traza de la junta como se muestra en la figura a continuación.



Figura 4. 24: Ensayo de permeabilidad.

4.5.2 Ensayo de cizalle (Slant Shear Test)

A la edad de 28 días del hormigón nuevo se trasladó los prismas a la sala de máquinas de IDIEM. Ahí, con el prisma ubicado correctamente, se regulo la escala a utilizar en la máquina de ensayos según la resistencia estimada para cada tipo de tratamiento y se aplicó una carga de compresión hasta llegar a la falla del prisma (la que pudo ser provocada por las sollicitaciones de corte en el plano de la junta o por el esfuerzo de compresión al que se sometió el hormigón). La Figura 4. 21 muestra la disposición del prisma para el ensayo.



Figura 4. 22: Disposición del prisma para el ensayo de cizalle.

CAPITULO 5 Resultados

5.1 Introducción

A continuación se muestran los resultados obtenidos tanto en los ensayos de cizalle y permeabilidad para los hormigones estudiados en probetas prismáticas.

Además se detallan los resultados obtenidos para los cubos ensayados a compresión según el tipo de hormigón fabricado.

5.2 Hormigón de Pavimento

A continuación se muestran los resultados de los ensayos realizados a los prismas construidos con hormigón de pavimento.

5.2.1 Ensayo de cizalle inclinado

Los resultados obtenidos para la carga máxima de compresión y el esfuerzo de corte en el plano de la junta fría de hormigonado se muestran según el tipo de hormigón utilizado para la fabricación del prisma y el tratamiento de superficie aplicado en la interfaz entre los hormigones. Para la presentación de ellos se ha definido la siguiente nomenclatura,

P_u = Carga última de compresión [tonf].

τ = Tensión de corte última en el plano de la junta [MPa]

s = Desviación de la muestra.

Además según la forma de falla observados durante los ensayos se han distinguido tres tipos.

1 = Falla por corte en el plano de la junta.

2 = Falla por compresión (comportamiento monolítico).

3 = Falla mixta.

5.2.1.1 Junta moldeada sin tratamiento

La Tabla 5. 1 muestra los resultados de los ensayos de compresión a los que se sometieron los prismas donde no se aplicó tratamiento alguno sobre la superficie de contacto de los hormigones.

Tabla 5. 17: τ para los prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada sin tratamiento de superficie

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	17,00	1,67	1
2	3,60	0,35	1
3	*	*	
Promedio	10,30	1,01	
Desviación estándar	9,48	0,93	

* Prisma falló antes de ser sometido a ensayo.

Para el cálculo del promedio de la carga última resistida por los prismas se desestimó el prisma N°3 ya que este falló antes de que fuese sometido a ensayo. En la Figura 5.1 se puede apreciar la forma de falla del prisma correspondiente a una falla brusca producida por corte en el plano de la junta sin previo agrietamiento del prisma.



Figura 5. 13: Falla típica prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada sin tratamiento de superficie.

5.2.1.2 Junta moldeada con puente de adherencia

Como se muestra en la Tabla 5. 2 el esfuerzo de corte máximo promedio en el plano de la junta fría de hormigonado para los prismas fabricados con hormigón de pavimento.

Tabla 5. 218: τ para los prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada con puente de adherencia.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	66,50	6,52	1
2	46,40	4,55	1
3	10,00	0,98	1
Promedio	56,45	5,54	
Desviación estándar	14,21	1,39	

Para el cálculo de los promedio para este caso no se tomó en cuenta el resultado obtenido para el prisma N°3 ya que la resistencia última obtenida fue notablemente inferior a la obtenida para los demás prismas (tanto para este tipo de hormigón como para el hormigón estructural).

En la Figura 5.2 se puede apreciar la falla típica para ese tipo de prisma. Se aprecia que al igual que para el caso anterior, se tiene una falla brusca generada por las sollicitaciones de corte en el plano de unión de los hormigones.

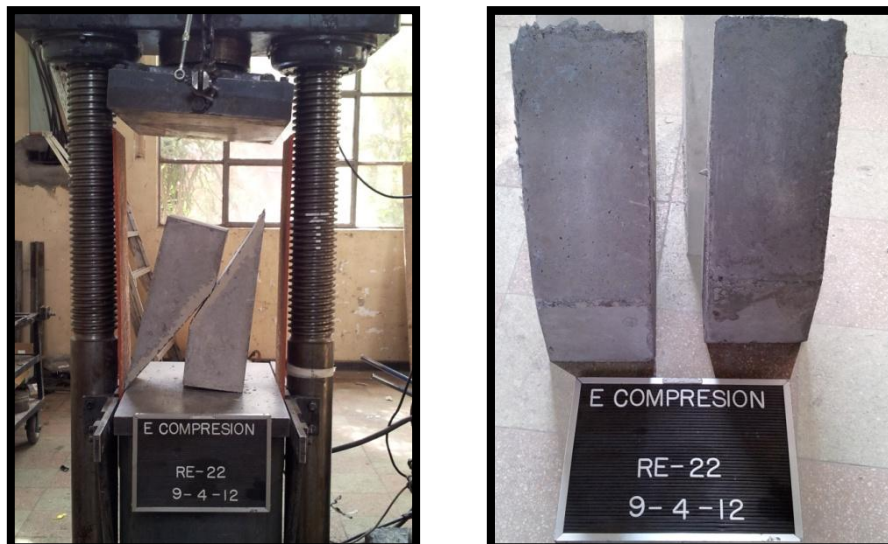


Figura 5. 2: Falla típica prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada con puente de adherencia.

5.2.1.3 Junta moldeada con picado (50% de la superficie)

A continuación se muestran los resultados obtenidos para los ensayos de compresión de los prismas con tratamiento de picado del 50% de la superficie de contacto. Como se puede ver en la Tabla 5. 3 el promedio de la resistencia al corte en el plano de la junta es de 8,36 [MPa].

Tabla 5. 3: τ para los prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada con tratamiento de picado.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	130,00	12,75	3
2	93,00	9,12	1
3	90,80	8,90	1
4	72,00	7,06	1
Promedio	85,27	8,36	
Desviación estándar	11,54	1,13	

Para el cálculo del promedio no se tomó en cuenta el valor del prisma N°1. Este se desestimó debido a la alta resistencia obtenida debido a que por la rotura de una de las puntas la primera mitad del prisma al aplicar el tratamiento se llenó al vaciar el hormigón de la segunda etapa generándose un "diente" que aumentó la resistencia del prisma.

En la Figura 5.3 se muestra la falla frágil del prisma generada por las sollicitaciones de corte en la junta fría de hormigonado.



Figura 5. 3: Falla típica prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada con tratamiento de picado.

5.2.1.4 Junta moldeada con malla metálica galvanizada

En la Tabla 5. 4 se muestran los resultados obtenidos para los ensayos de compresión de los prismas donde se utilizó una doble malla metálica como elemento contenedor del hormigón en el plano de la junta fría de hormigonado.

Tabla 5. 4: τ para los prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada con tratamiento de malla de gallinero.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	131,00	12,85	1
2	127,50	12,50	2
3	120,00	11,77	2
Promedio	126,17	12,37	
Desviación estándar	5,62	0,55	

Las fallas observadas en los prismas ensayados se muestran en la Figura 5.4. Ahí se puede ver la falla vertical generada por compresión en el prisma. Se aprecia además que la grieta atraviesa la junta de hormigonado de manera perpendicular reafirmando el comportamiento monolítico de la estructura.



Figura 5. 4: Falla típica prismas fabricados con hormigón de pavimento y junta moldeada con tratamiento de malla metálica galvanizada.

5.2.1.5 Plano de fractura por hendimiento, sin tratamiento (Patrón)

Los resultados de los ensayos de compresión realizados a los prismas donde la rugosidad de la superficie de contacto se obtuvo al hacer falla un prisma monolítico por hendimiento se muestran en la Tabla 5.5.

Tabla 5. 5: τ para los prismas fabricados con hormigón de pavimento, con plano de fractura por hendimiento y sin tratamiento.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	126,00	12,36	2
2	115,50	11,33	2
Promedio	120,75	11,84	
Desviación estándar	7,42	0,73	

La Figura 5.5 muestra el comportamiento monolítico del prisma. en esta se puede apreciar la grieta vertical debido a las sollicitaciones de compresión a las que se sometió el prisma.



Figura 5. 5: Falla típica prismas fabricados con hormigón de pavimento, con plano de fractura por hendimiento y sin tratamiento.

5.2.1.6 Plano de fractura por hendimiento, con puente de adherencia

En la Tabla 5. 6 se muestra el promedio de las res los resultados obtenidos en los ensayos de compresión realizados a los prismas donde la superficie de contacto se produjo por la fractura por hendimiento de un prisma monolítico más la aplicación de un puente de adherencia.

Tabla 5. 6: τ para los prismas fabricados con hormigón de pavimento, con plano de fractura por hendimiento y con puente de adherencia.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	123,50	12,11	2
2	112,50	11,03	2
Promedio	118,00	11,57	
Desviación estándar	7,8	0,8	

En la figura a continuación se aprecia la falla del prisma. Como era de esperar se ve la grieta vertical generada por los esfuerzos de compresión. La falla registrada parte vertical por el centro del prisma y en el medio del prisma se divide en dos, una sigue el plano de la junta y la otra lo atraviesa perpendicularmente.



Figura 5. 614: Falla típica prismas fabricados con hormigón de pavimento, con plano de fractura por hendimiento y con puente de adherencia.

5.2.2 Ensayo de compresión del prisma monolítico

El resultado del ensayo realizado al prisma monolítico fabricado para el hormigón de pavimento se muestra en la Tabla 5.7. Cabe destacar que estos resultados se presentan sólo de manera referencial.

Tabla 5. 7: Ensayos de compresión prisma monolítico de hormigón de pavimento.

Tipo de hormigón	Pu [tonf]
Pavimento	190

El valor obtenido para este ensayo sin duda es mucho mayor que los registrados en las demás pruebas realizadas para los prismas fabricados con hormigón de pavimento. Este alta resistencia se puede explicar a la mayor resistencia de la colada con que se fabricó este prisma.

5.2.3 Ensayo de compresión de probetas cúbicas

Los resultados de los ensayos de compresión realizados según la NCh 1037 Of. 77 "Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas" para los cubos fabricados con hormigón de pavimento se muestran a continuación. Se mostrará los promedios de las resistencias obtenidas para el ensayo de compresión de las probetas cubicas fabricadas en cada una de las coladas.

Tabla 5. 8: Resistencia a la compresión de los cubos fabricados con hormigón de pavimento.

Colada	Resistencia a la compresión [MPa]
1	61,03
2	63,26
3	59,01
4	55,53
5	56,76
6	54,71
7	51,84
8	54,10
Promedio	57,03

5.3 Hormigón estructural

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los ensayos de cizalle, compresión monolítica realizado a los prismas fabricados con hormigón estructural. al igual que para el caso anterior los resultados se mostraran según ensayo realizado y según el tratamiento de superficie aplicado en la junta fría de hormigonado.

5.3.1 Ensayo de cizalle inclinado

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de compresión (Slant Shear Test) realizados a los prismas fabricados con hormigón estructural. La notación para la falla registrada y las unidades en que se midió los resultados será la misma que la empleada para el hormigón de pavimento.

5.3.1.1 Junta moldeada sin tratamiento

En la Tabla 5. 9 se muestra que la resistencia máxima al corte promedio en el plano de la junta para los prismas sin tratamiento es de 0,8 [MPa]. De manera similar a lo ocurrido con el otro hormigón hubo prismas que fallaron previo a la realización del ensayo.

Tabla 5. 9: τ para los prismas fabricados con hormigón estructural y sin tratamiento de superficie.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	8,20	0,80	1
2	*	*	
3	*	*	
Promedio	8,20	0,80	
Desviación estándar	-	-	

* Los prismas fallaron antes de ser sometidos a ensayo.

Los prismas N°2 y N°3 , de la misma forma que en el caso anterior, no se tomaron en cuenta para el cálculo del promedio.

En la Figura 5. 7 se muestra la falla típica de los prismas ensayados. En ella se aprecia la falla frágil registrada sin previo agrietamiento del prisma.



Figura 5. 7: Falla típica prismas fabricados con hormigón estructural y sin tratamiento de superficie.

5.3.1.2 Junta moldeada con puente de adherencia

La carga máxima de compresión y la resistencia última al corte de la junta fría de hormigonado para la junta moldeada con puente de adherencia se muestran en la Tabla 5. 10.

Tabla 5. 10: τ para los prismas fabricados con hormigón estructural y con tratamiento de puente de adherencia.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	44,00	4,31	1
2	53,00	5,20	1
3	42,20	4,14	1
Promedio	46,40	4,55	
Desviación estándar	5,79	0,57	

La forma de falla típica de los prismas corresponde a la falla por los esfuerzos de corte sobre superficie de la junta. Esta falla corresponde a una falla frágil sin agrietamiento previo de la estructura.



Figura 5. 8: Falla típica para los prismas fabricados con hormigón estructural y con tratamiento de puente de adherencia.

5.3.1.3 Junta moldeada con picado (50% de la superficie)

Los resultados de los ensayos de cizalle de los prismas con tratamiento de picado para el hormigón estructural se muestran a continuación.

Tabla 5. 11: τ para los prismas fabricados con hormigón estructural y con tratamiento de picado (50% de la superficie).

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	78,00	7,65	1
2	76,00	7,45	1
3	78,40	7,69	1
4	81,60	8,00	1
Promedio	78,50	7,70	
Desviación estándar	2,32	0,23	

La falla frágil registrada para estos prismas se muestra en la Figura 5. 9.



Figura 5. 9: Falla típica prismas fabricados con hormigón estructural y con tratamiento de picado (50% de la superficie).

5.3.1.4 Junta moldeada con malla metálica galvanizada

El esfuerzo de corte último para los prismas donde se utilizó malla de gallinero para interrumpir el escurrimiento del hormigón en el plano de la junta se muestra en la Tabla 5. 12.

Tabla 5. 12: τ para los prismas fabricados con hormigón estructural y con tratamiento de malla de gallinero.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	99,00	9,71	1
2	112,00	10,98	2
3	107,00	10,49	2
Promedio	106,00	10,40	
Desviación estándar	6,56	0,64	

Las falla típica observada en los ensayos de los prismas, que corresponden a la falla generada por las sollicitaciones de compresión al que se sometió el hormigón, se muestran en la figura a continuación.



Figura 5. 10: Falla típica prismas fabricados con hormigón estructural y con tratamiento de malla de gallinero.

5.3.1.5 Plano de fractura por hendimiento, sin tratamiento (Patrón)

Los resultados de los ensayos de cizalle realizados a los prismas fabricados con hormigón y tratamiento donde se obtuvo la superficie de contacto mediante la fractura por hendimiento de un prisma monolítico se muestran a continuación.

Tabla 5. 13: τ para los prismas de hormigón estructural, con plano de fractura por hendimiento y sin tratamiento.

Prisma	Pu [tonf]	τ [Pa]	Tipo de falla
1	106,00	10,40	2
2	93,00	9,12	2
Promedio	99,50	9,76	
Desviación estándar	9,19	0,90	

La Figura 5. 11 muestra la falla típica para este tipo de prismas. Como se puede apreciar la falla viene dada por la rotura por las sollicitaciones de compresión a las que se sometió el prisma. La grieta registrada es vertical, recorre todo el prisma y cruza de forma perpendicular la junta fría de hormigonado.



Figura 5. 11: Falla típica prismas de hormigón estructural, con plano de fractura por hendimiento y sin tratamiento.

5.3.1.6 Plano de fractura por hendimiento, con puente de adherencia

Como se muestra en la Tabla 5. 14 el promedio de la resistencia última al corte en el plano de la junta de los prismas fabricados con hormigón estructural, para este tratamiento es de 9,41 [MPa].

Tabla 5. 14: τ para los prismas de hormigón estructural, con plano de fractura por hendimiento y con puente de adherencia.

Prisma	Pu [tonf]	τ [MPa]	Tipo de falla
1	103,00	10,10	2
2	89,00	8,73	2
Promedio	96,00	9,41	
Desviación estándar	9,9	1,0	

Al igual que para lo sucedido para el otro hormigón fabricado, la falla de los prismas se produjo por las solicitaciones de compresión a las que se sometió en el ensayo. Nuevamente se puede apreciar una grieta vertical que atraviesa la perpendicularmente la junta fría de hormigonado.



Figura 5. 115: Falla típica prismas de hormigón estructural, con plano de fractura por hendimiento y con puente de adherencia.

5.3.2 Ensayo de compresión del prisma monolítico

La carga última registrada para el prisma monolítico fabricado con hormigón estructural ensayado a compresión se muestra en la Tabla 5. 15.

Tabla 5. 15: Ensayos de compresión prismas monolíticos.

Tipo de hormigón	Pu [tonf]
Estructural	121

5.3.3 Ensayo de compresión de probetas cúbicas

Los resultados de los ensayos de compresión realizados según la NCh 1037 Of. 77 "Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas" se presentan en la Tabla 5.16. Los promedios de las resistencias a la compresión de las probetas cubicas fabricadas en cada una de las coladas de hormigón estructural se muestran según la colada fabricada.

Tabla 5. 16: Resistencia a la compresión de los cubos fabricados con hormigón estructural.

Colada	Resistencia a la compresión [MPa]
1	57,33
2	55,64
3	47,90
4	48,64
5	51,63
6	53,90
7	54,71
8	55,45
9	51,19
Promedio	52,93

5.4 Ensayo de permeabilidad

A continuación se muestra los resultados de pérdida de carga en el ensayo de permeabilidad a través del plano de la junta para un prisma fabricado con hormigón de pavimento. En el ensayo se empezó utilizando una carga hidrostática de 2 metros columna de agua.

Tabla 5.17: Perdida de carga de agua.

Tiempo [min]	Columna de agua [m]
0	2,00
5	2,00
10	2,00
20	2,00
35	2,00
55	2,00
80	2,00

De la Tabla 5. se puede apreciar que no se registró infiltración de agua a través de la interfaz entre los hormigones.

CAPITULO 6 Análisis de resultados

6.1 Introducción

En el presente capítulo se analizarán los resultados obtenidos para los ensayos de corte y permeabilidad realizados a los prismas. Se estudiará y comparará los resultados obtenidos según las variables definidas en el programa de ensayos.

6.2 Influencia del tipo de hormigón utilizado.

En la Figura 6. 1 se muestra el promedio de los esfuerzos de corte en el plano de la junta fría de hormigonado al momento de la falla. Los resultados se muestran según el tratamiento de superficie aplicado y el tipo de hormigón utilizado para fabricar los prismas.

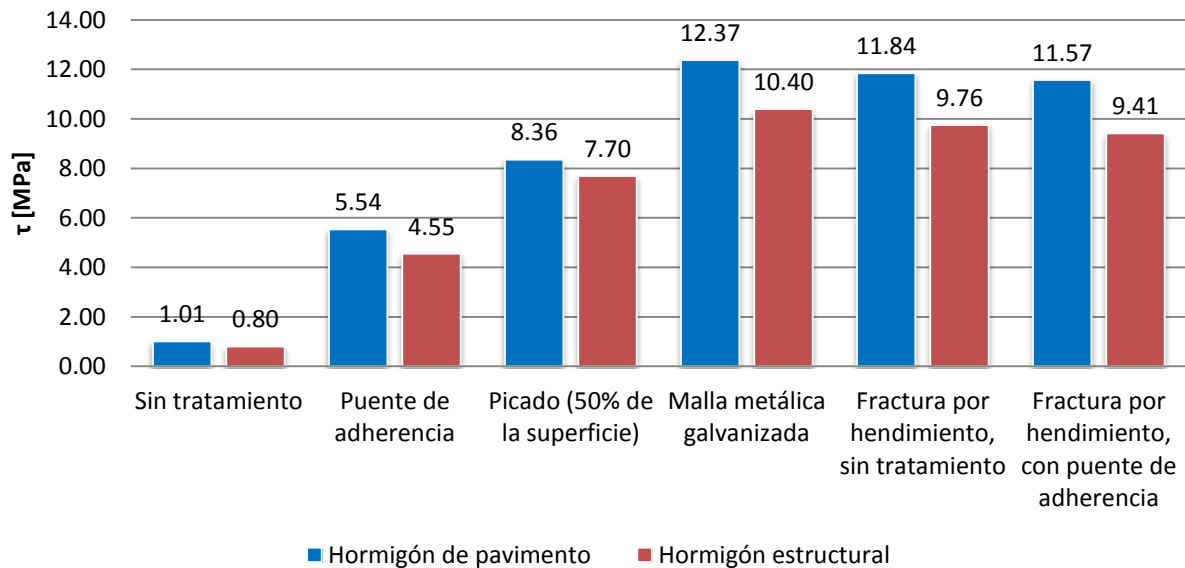


Figura 6. 1: Esfuerzo de corte máximo promedio según tratamiento de superficie y hormigón utilizado.

De la Figura se puede ver que, como era de esperar, en los prismas fabricados con un hormigón con menor relación A/C se obtuvo una mayor resistencia a las sollicitaciones de corte. Los prismas de hormigón estructural

resistieron aproximadamente un 83 % de lo hecho por los prismas contruidos con un hormigón más seco.

En cuanto a las formas de fallas observadas al realizar el ensayo de cizalle, tampoco hubo diferencias en el tipo de falla observada para un mismo tratamiento al utilizar distintos tipos de hormigones. Para los tratamientos de malla metálica galvanizada, Superficie por hendimiento y Superficie por hendimiento más puente de adherencia se registraron fallas atribuibles a la sollicitaciones de compresión del hormigón y no por los esfuerzos de corte en la junta de hormigonado.

Como se puede ver en la Figura 6.2, el porcentaje de resistencia con respecto a la superficie generada por hendimiento para cada uno de los tratamiento se mantiene relativamente constante independiente del tipo de hormigón utilizado. La aplicación de una malla metálica galvanizada como elemento contenedor del hormigón en el plano de interrupción del hormigonado y el picado del 50% de la superficie de contacto son los tratamientos donde se obtuvo una mayor diferencia (3%) en el comportamiento de estos frente al patrón utilizado para los distintos tipos de hormigones con que se fabricaron los prismas. La mejoría evidenciada en los resultados al utilizar un hormigón con mayor asentamiento de cono cuando se instala una malla metálica galvanizada se puede explicar debido a que a mayor fluidez del hormigón utilizado para fabricar los prismas escurrirá más lechada y mayor será la penetración del árido grueso a través de las aberturas de la malla generando así una mayor rugosidad de superficie.

6.3 Influencia del tratamiento aplicado

En la Figura 6. 2 se muestra el porcentaje del esfuerzo último de corte promedio resistido en el plano de la junta fría de hormigonado para cada uno de los tratamiento aplicados con respecto a la resistencia entregada en los prismas donde la superficie se obtuvo luego de hacer falla un prisma monolítico a tracción por hendimiento (patrón).

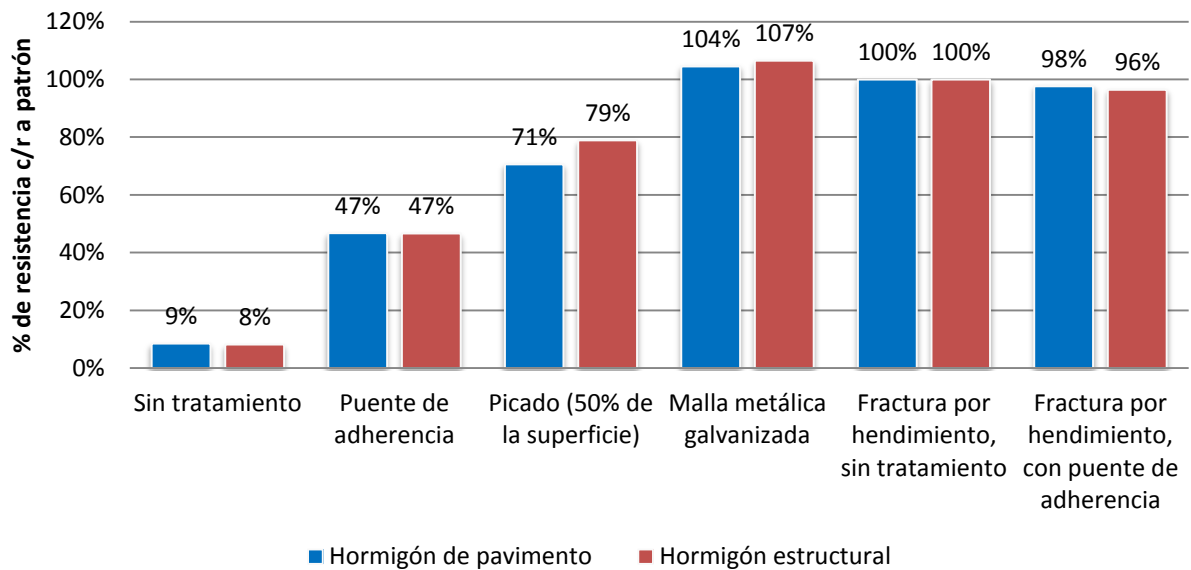


Figura 6. 2: Influencia del tratamiento utilizado.

Como se ve en la figura el de los 6 tratamientos de superficie aplicados el más eficiente en cuanto a la transferencia de esfuerzos los esfuerzos de corte a través del plano de la junta resultó ser la malla metálica galvanizada con un 104% y 107% del esfuerzo de corte del prisma patrón en el plano de la junta para los hormigones de pavimento y estructural. Si bien, la resistencia obtenida es mayor que la del tratamiento patrón esta se puede ver explicada por la mayor resistencia de los hormigones utilizados para fabricar los prismas con este tipo de tratamiento.

El tipo de preparación donde se obtuvo los peores resultados resultó ser la no aplicación de ningún tratamiento en la superficie de contacto. De esta forma se reafirma la hipótesis de la necesidad de aplicación de algún tipo de tratamiento sobre la superficie de contacto para asegura la correcta transferencia de esfuerzos de corte a través del plano de la junta. Además, dada la recurrente falla de los prismas previo a ser sometidos al ensayo de cizalle, se deja entrever la incapacidad del chorro de agua como producto para eliminar el aceite utilizado como desmoldante que puede haber quedado en la cara de la superficie luego de que fuese aplicado sobre la pared que delimita el escurrimiento del hormigón de la primera etapa, disminuyendo la resistencia de la junta fría de hormigonado.

En los tratamientos de superficie por hendimiento, superficie por hendimiento más puente de adherencia y malla metálica galvanizada donde se obtuvo el 100%, 97% y 106% respectivamente como promedio con respecto al patrón, se observó una falla por las sollicitaciones de compresión

a las que se sometió el hormigón y no la producida por el esfuerzo de corte al que se ve sometido el plano de la junta como si sucedió en los demás tratamientos. Esta variación en la forma de falla acusa la importancia de la generación de una rugosidad de superficie adecuada (sobre 6 [mm]) para asegurar la buena transferencia de esfuerzos de corte al momento de generar la junta fría de hormigonado.

Además, en el tratamiento de picado del 50% de la superficie de contacto se obtuvo una resistencia promedio del 75% de la alcanzada para el tratamiento considerado como patrón, lo que considerando que sólo se aplicó sobre la mitad del área de contacto entre los hormigones demuestra nuevamente la importancia de este mismo punto.

La aplicación de un puente de adherencia como agente para aumentar la resistencia alcanzada por la junta fría de hormigonado resultó ser un tratamiento con el que efectivamente se mejoró los resultados con respecto a la superficie sin tratamiento obteniendo un 47% de la resistencia alcanzada por el patrón. Sin embargo, al aplicar un puente de adherencia a la superficie generada por la fractura por hendimiento de un prisma monolítico no mejoró los resultados obtenidos lo que demuestra que el principal factor involucrado en la buena transferencia de esfuerzos a través de la interfaz de los hormigones es la rugosidad de superficie lograda.

De lo anteriormente expuesto se puede ver que la generación de una rugosidad adecuada de superficie es el factor fundamental para lograr una buena resistencia en la junta fría de hormigonado. Como factores secundarios se presentan la eliminación de la lechada superficial, la aplicación de algún tratamiento donde se deje el árido al descubierto y la utilización de un puente de adherencia.

6.4 Permeabilidad de la junta

De los resultados mostrados en 5.3 se puede ver que no se registró descenso de la columna de agua durante la realización del ensayo de permeabilidad. Según lo establecido en 3.5.2 debido al nulo flujo de caudal a través del plano de la junta fría de hormigonado se obtiene un coeficiente de permeabilidad de Darcy igual a cero. Con esto, la junta se puede considerar como impermeable.

Sin embargo, la carga de agua aplicada sobre la traza de la junta de hormigonado no es lo suficientemente alta como la que se indica en la NCh 2262 Of.97 - "Hormigón y mortero - Métodos de ensayo - Determinación de la impermeabilidad al agua - Método de la penetración de agua bajo presión". En dicha norma se aplica una presión de 70 metros de columna de agua y la aplicada durante el ensayo corresponde sólo a 2 metros de columna de agua por lo que no se puede obtener mayores conclusiones del ensayo realizado.

A pesar de esto, el resultado se adecúa a la realidad de lo que se trató de replicar a lo largo del trabajo ya que no se espera que los estructuras se vean sometidas a cargas de agua mayores a las probadas.

CAPITULO 7 Conclusiones y recomendaciones

7.1 Conclusiones

Del estudio realizado donde sus objetivos se centraron principalmente en buscar una solución constructiva para la materialización de juntas frías de hormigonado en elementos estructurales de hormigón se concluye lo siguiente.

1. Para asegurar la buena adherencia en una junta de hormigonado se hace imprescindible la aplicación de algún tratamiento de superficie en el plano de la junta y la eliminación de la lechada superficial.
2. La transferencia de esfuerzos a través de la junta fría de hormigonado se hace más eficiente al aplicar tratamientos donde se elimina la lechada superficial y se deja el árido a la vista. De esta forma, se genera una rugosidad en la superficie de contacto similar a la indicada en la ACI (6 [mm]).
3. Los valores más altos para el esfuerzo de corte se obtuvieron en juntas donde se utilizó una malla de acero galvanizado como elemento contenedor del hormigón llegando incluso a tener mejores resultados que para el tratamiento considerado como patrón. Con la aplicación de la malla galvanizada se logró la falla por compresión del prisma lo que muestra que la junta fría de hormigonado no corresponde a un plano débil dentro de la estructura.
4. El tratamiento de superficie aplicado se comporta de manera similar independiente el hormigón utilizado para la fabricación de los prismas.
5. La resistencia de la junta de hormigonado disminuye en aproximadamente un 20% al disminuir la relación A/C de 0,50 a 0,44 independiente del tratamiento de superficie aplicado.
6. La aplicación de un puente de adherencia se presenta como un factor secundario para asegurar el correcto comportamiento mecánico de la estructura. La principal variable que afecta este comportamiento es la rugosidad de superficie.

7. Para presiones hidrostáticas del orden de 2 [m.c.a.] en juntas materializadas con malla metálica no se observó infiltración de agua a través del plano (la columna se mantuvo a altura constante).

7.2 Recomendaciones

Como recomendaciones a la hora de ejecutar las juntas frías de hormigonado se recomienda lo siguiente:

1. Asegurar la eliminación de la lechada superficial en la superficie de contacto entre los hormigones, además de la eliminación de las impurezas, polvo o aceites que se encuentren en la superficie.
2. Aplicar algún tratamiento de superficie donde se genere una rugosidad de superficie adecuada (6 [mm]) para asegurar la correcta transferencia de esfuerzos a través de la junta fría de hormigonado.
3. Si se aplica un puente de adherencia como tratamiento de superficie seguir de manera rigurosa las indicaciones del fabricante del producto tanto en dosificación, colocación y almacenamiento. Además vibrar cuidadosamente el hormigón de la segunda etapa para no vibrar la superficie de contacto y no tener contacto con el adhesivo de tal modo que no queden zonas sin resina.
4. Las juntas de hormigonado deben ubicarse en los lugares especificados por el calculista. En caso que se produzca una junta no estipulada, debe procurar que se ubique en un lugar con bajas solicitaciones de corte.

Referencias y bibliografía

1. Lamana, A., Fallas de juntas de hormigonado y de anclajes y empalmes de armaduras: terremotos de Chile de 1958 y 1960, Revista del IDIEM, Vol 3, N°1, Marzo 1964.
2. Foncea, C. y Levy, H. Juntas de hormigonado. Memoria de Título. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile, 1963.
3. Fernández Cánovas. La resina epóxica en la construcción. Informe de la construcción N° 159.
4. Perez, A., Usos de adhesivos en juntas de hormigonado, Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 1981.
5. Neshvadian K., Evaluation of Bond Strength between Overlay and Substrate in Concrete Repairs, Master Degree Thesis, 2010.
6. ACI 224R-01, Control de la Fisuración de Estructuras de Hormigón.
7. Covarrubias, J.P., Managment of cracks, Concrete international, Julio 2011.
8. Covarrubias, J.P., Procedimiento de ejecución para juntas de contracción con resistencia al corte, Litoral Ingeniería LTDA.
9. Covarrubias, J.P., Construcción de juntas en losas, Litoral Ingeniería LTDA.
10. Billy D. Neeley, Toy Spotswood Poole, United States. Army. Corps of Engineers, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Methods of preparing horizontal construction joints in mass concrete, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, 1996.
11. Kreigh, J. D. (1976). Arizona Slant Shear Test: A Method to Determine Epoxy Bond Strength. *ACI Journal*, 73, (7), 372-373.

12. Wall, J.S., y Shrive, N.G., Factors Effecting Bond between New and Old Concrete. ACI Materials Journal, 85, (2), 117-25. 1988.
13. Austin, S., Robins, P., y Pan, Y., Shear bond Testing of Concrete Repairs. cement and Concrete Research, 29, 1067 - 1076, 1999.
14. Elkurdi A., Khoury S. y Abdo, A., Evaluating of new - old concrete bonding agents system by slant shear test, AICSGE 5, Structural Engineering Dept., Faculty of Engineering, Alexandria University, 22 de Diciembre de 2003.
15. ASTM C882 (1999): "Standard Test Method for Bond Strength of Epoxy-Resin Systems Used with Concrete by slant Shear".
16. BS 6319-3, "Testing of resin and polymer/cement compositions for use in construction. Methods for measurement of modulus of elasticity in flexure and flexural strength", 1990
17. NCh 170 Of.85 "Hormigón - Requisitos generales"
18. NCh 148 Of. 68. "Cemento - Terminología, clasificación y especificaciones generales".
19. NCh 1017 Of. 75 "Hormigón - Confección y curado en obra de probetas para ensayos de tracción y compresión".
20. NCh 1019 E Of. 74 "Construcción - Hormigón - Determinación de la docilidad - Método del asentamiento del cono de Abrams".
21. NCh 1564 Of. 79 "Hormigón - Determinación de la densidad aparente, del rendimiento, del contenido de cemento y del contenido de aire del hormigón fresco".
22. NCh 2184 Of. 92 "Hormigón y mortero - Método de ensayo - Determinación del contenido de aire".
23. NCh 1037 Of. 77 "Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas".

Anexo A Cálculos realizados

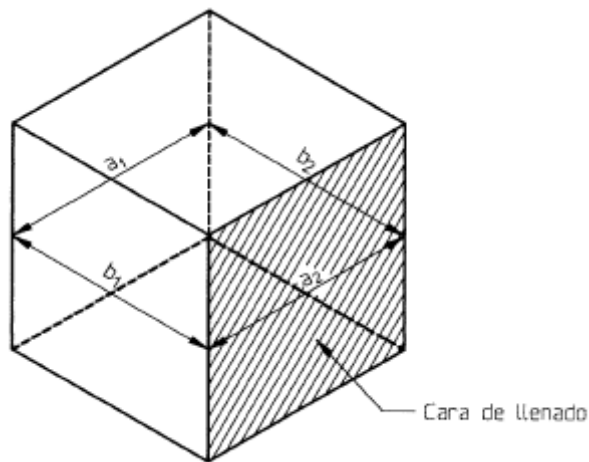
Determinación de la resistencia a compresión de las probetas cúbicas

Cálculo de la sección de ensayo

La sección de ensayo viene dada, según la norma NCh 1037 Of. 77 "Hormigón - Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas", es:

$$S = \left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) \cdot \left(\frac{b_1 + b_2}{2}\right)$$

donde a_1 , a_2 , b_1 y b_2 son las medidas que se detallan en la siguiente figura.



Calculo de la resistencia a la compresión

la resistencia a la compresión se calcula como la tensión de rotura según la fórmula siguiente:

$$R = \frac{P}{S}$$

en que:

R = tensión de rotura [kgf/cm²]

P = carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, [kgf]

S = sección de ensayo [cm²]

Cálculo de dosificaciones

Para el cálculo de las dosificaciones se define una resistencia mínima a la compresión, el tamaño máximo y modulo de finura de los áridos grueso y fino respectivamente y la trabajabilidad del hormigón.

De la NCh 170 Of. 85 "Hormigón - Requisitos generales" se obtiene la razón agua - cemento en masa para el hormigón.

Luego, según el asentamiento de cono y el tamaño máximo de los áridos de la ACI 211 se obtiene el peso del agua y el volumen de aire atrapado por metro cubico de hormigón.

Con el peso del agua y la razón agua - cemento se puede obtener el cemento necesario para el hormigón de la siguiente forma:

$$P_C = \frac{P_{H_2O}}{A/C}$$

$$V_C = \frac{P_C}{pe_c}$$

Donde:

P_C = peso cemento Pórtland por metro cúbico de hormigón [kg/m³].

P_{H_2O} = peso del agua por metro cúbico de hormigón [kg/m³].

A/C = razón agua - cemento.

pe_c = pese específico del cemento.

Con el módulo de finura del árido fino y el tamaño máximo del árido grueso de la ACI 211 se obtiene el volumen de gravilla necesario por metro cúbico de hormigón. Así con la densidad del árido grueso se obtiene el peso y volumen final de los áridos como se detalla a continuación.

$$P_G = V_G \cdot d_G$$

y finalmente

$$V_{Gf} = \frac{P_G}{pe_G}$$

Donde:

P_G = peso de gravilla por metro cúbico de hormigón [kg/m³]

V_G = volumen de gravilla por metro cúbico de hormigón según la ACI 211 [l/m³]

d_G = densidad de la gravilla [kg/m³]

V_{Gf} = volumen final de gravilla por metro cubico de hormigón [kg/m³]

pe_G = peso especifico de los áridos [kg/l]

Una vez calculado el volumen de agua, cemento, gravilla y aire atrapado por metro cúbico de hormigón se puede calcular el volumen de arena necesario para la fabricación.

$$V_a = 1000 - V_C - V_{H_2O} - V_{aire} - V_G$$

y el peso de la arena como

$$P_a = V_a \cdot pe_a$$

Con:

V_a = volumen de arena por metro cúbico de hormigón [l/m³]

V_{aire} = volumen de aire atrapado por metro cúbico de hormigón [l/m³]

P_a = peso de arena por metro cúbico de hormigón [kg/m³]

pe_a = peso específico de la arena [kg/l]

Así se obtiene los pesos necesarios finales según los litros a elaborar de la siguiente forma:

$$\text{Peso Cemento final} = P_C \cdot \frac{\text{litros a elaborar}}{1000}$$

$$\text{Peso gravilla final} = P_G \cdot \frac{\text{litros a elaborar}}{1000}$$

$$\text{Peso arena final} = P_a \cdot \frac{\text{litros a elaborar}}{1000}$$

$$\text{Peso agua final} = P_{H_2O} \cdot \frac{\text{litros a elaborar}}{1000}$$

Anexo B Planillas de hormigón fresco.

Fecha	15-02-2012		Asentamiento de cono [cm]	6		
Razón A/C	0,44		Contenido de aire	1,6		
Cono de diseño [cm]	6					
Prismas	T - 21		Peso muestra [kg]	19,31		
	PA - 21		Volumen [l]	8,02		
	M - 21					
	P - 21		Densidad	2,41		
	H - 21					
Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	60,5	0,0			60,5	22,0
Gravilla	134,5	1,5	1,0	0,6	135,2	
Arena	107,8	4,1	1,4	2,9	110,7	
Agua	26,6	0,0			23,0	

Fecha	17-02-2012		Asentamiento de cono [cm]	6		
Razón A/C	0,44		Contenido de aire	1,4		
Cono de diseño [cm]	6					
Prismas	T - 21		Peso muestra [kg]	19,521		
	PA - 21		Volumen [l]	8,02		
	M - 21					
	P - 21		Densidad	2,43		
Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	38,9	0,0			38,9	14,0
Gravilla	86,5	2,3	1,0	1,1	87,6	
Arena	69,3	3,3	1,4	1,3	70,6	
Agua	17,1	0,0			14,7	

Fecha	21-02-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	H - 11
	H - 12

Asentamiento de cono [cm]	16
Contenido de aire	-

Peso muestra [kg]	19,329
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,41
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	43,2	0,0			43,2	17,4
Gravilla	96,1	2,3	1,0	1,2	97,3	
Arena	70,0	4,1	1,4	1,9	71,9	
Agua	21,6	0,0			18,6	

Fecha	21-02-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	H - 13
	P - 11
	P - 12

Asentamiento de cono [cm]	16
Contenido de aire	1,4

Peso muestra [kg]	19,34
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,41
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	43,2	0,0			43,2	17,8
Gravilla	96,1	2,3	1,0	1,2	97,3	
Arena	70,0	4,1	1,4	1,9	71,9	
Agua	21,6	0,0			18,6	

Fecha	23-02-2012
Razón A/C	0,44
Cono de diseño [cm]	6
Prismas	H - 22
	H - 23

Asentamiento de cono [cm]	6
Contenido de aire	1,4

Peso muestra [kg]	19,32
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,41
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	% w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	41,0	0,0			41,0	14,3
Gravilla	91,3	2,4	1,0	1,2	92,5	
Arena	73,2	5,0	1,4	2,7	75,8	
Agua	18,1	0,0			14,2	

Fecha	23-02-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	P - 11
	P - 12
	M - 11

Asentamiento de cono [cm]	16
Contenido de aire	1,3

Peso muestra [kg]	19,193
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,39
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	% w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	32,4	0,0			32,4	14,0
Gravilla	72,1	2,4	1,0	1,0	73,1	
Arena	52,5	5,0	1,4	1,9	54,4	
Agua	16,2	0,0			13,3	

Fecha	24-02-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prisma	M - 11

Asentamiento de cono [cm]	15
Contenido de aire	-

Peso muestra [kg]	19,17
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,39
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	% w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	15,1	0,0			15,1	6,7
Gravilla	33,6	1,0	1,0	0,0	33,6	
Arena	24,5	4,7	1,4	0,8	25,3	
Agua	7,6	0,0			6,8	

Fecha	28-02-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	T - 11
	PA - 11
	M - 12
	T - 12
	PA - 12

Asentamiento de cono [cm]	15
Contenido de aire	1

Peso muestra [kg]	19,188
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,39
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	47,5	0,0			47,5	17,6
Gravilla	105,7	1,8	1,0	0,8	106,5	
Arena	77,0	7,8	1,4	5,0	82,0	
Agua	23,8	0,0			18,0	

Fecha	29-02-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	T - 11
	PA - 11
	M - 12
	T - 12
	PA - 12

Asentamiento de cono [cm]	15
Contenido de aire	-

Peso muestra [kg]	19,222
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,40
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	49,9	0,0			49,9	20,0
Gravilla	111,0	1,4	1,0	0,4	111,4	
Arena	88,9	2,9	1,4	1,4	90,3	
Agua	21,9	0,0			20,2	

Fecha	02-03-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	P - 13
	M - 13
	T - 13
	PA - 13
	P - 14

Asentamiento de cono [cm]	16
Contenido de aire	0,8

Peso muestra [kg]	19,072
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,38
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	47,5	0,0			47,5	19,3
Gravilla	105,7	1,2	1,0	0,2	105,9	
Arena	77,0	3,3	1,4	1,5	78,5	
Agua	23,8	0,0			22,1	

Fecha	03-03-2012
Razón A/C	0,50
Cono de diseño [cm]	15
Prismas	P - 13
	M - 13
	T - 13
	PA - 13
	P - 14

Asentamiento de cono [cm]	15
Contenido de aire	-

Peso muestra [kg]	19,117
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,38
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	47,5	0,0			47,5	20,0
Gravilla	105,7	2,7	1,0	1,8	107,5	
Arena	77,0	3,1	1,4	1,3	78,3	
Agua	23,8	0,0			20,7	

Fecha	08-03-2012
Razón A/C	0,44
Cono de diseño [cm]	6
Prismas	P - 22
	M - 22
	PA - 22
	T - 22
	P - 23

Asentamiento de cono [cm]	6
Contenido de aire	1,3

Peso muestra [kg]	19,1
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,38
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	47,5	0,0			47,5	17,1
Gravilla	105,7	1,9	1,0	0,9	106,6	
Arena	84,7	3,7	1,4	2,0	86,7	
Agua	20,9	0,0			18,0	

Fecha	09-03-2012
Razón A/C	0,44
Cono de diseño [cm]	6
Prismas	P - 22
	M - 22
	PA - 22
	T - 22
	P - 23

Asentamiento de cono [cm]	7
Contenido de aire	1,1

Peso muestra [kg]	19,38
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,42
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	47,5	0,0			47,5	17,5
Gravilla	105,7	1,9	1,0	0,9	106,6	
Arena	84,7	3,7	1,4	2,0	86,7	
Agua	20,9	0,0			18,0	

Fecha	23-03-2012
Razón A/C	0,44
Cono de diseño [cm]	6
Prismas	H - 21
	H - 22
	H + PA - 21
	H + PA - 22

Asentamiento de cono [cm]	6
Contenido de aire	-

Peso muestra [kg]	19,15
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,39
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	%w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	41,0	0,0			41,0	15,0
Gravilla	91,3	2,4	1,0	1,2	92,5	
Arena	73,2	3,7	1,4	1,7	74,8	
Agua	18,1	0,0			15,2	

Fecha	27-03-2012		Asentamiento de cono [cm]	16		
Razón A/C	0,50		Contenido de aire	0,9		
Cono de diseño [cm]	15					
Prismas	H - 11		Peso muestra [kg]	19,14		
	H - 12		Volumen [l]	8,02		
	H + PA - 11					
	H + PA - 12		Densidad	2,39		
Dosificación						
	[Kg]	% w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	41,0	0,0			41,0	16,7
Gravilla	91,3	2,7	1,0	1,5	92,8	
Arena	66,5	2,9	1,4	1,0	67,5	
Agua	20,5	0,0			18,0	

Fecha	29-03-2012		Asentamiento de cono [cm]	7		
Razón A/C	0,44		Contenido de aire	1,2		
Cono de diseño [cm]	6					
Prismas	M - 23		Peso muestra [kg]	19,19		
	T - 23		Volumen [l]	8,02		
	PA - 23					
	P - 24		Densidad	2,39		
Dosificación						
	[Kg]	% w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	41,0	0,0			41,0	15,6
Gravilla	91,3	1,9	1,0	0,8	92,1	
Arena	73,2	4,5	1,4	2,3	75,4	
Agua	18,1	0,0			15,0	

Fecha	30-03-2012
Razón A/C	0,44
Cono de diseño [cm]	6
Prismas	M - 23
	T - 23
	PA - 23
	P - 24

Asentamiento de cono [cm]	7
Contenido de aire	1,3

Peso muestra [kg]	18,959
Volumen [l]	8,02

Densidad	2,36
----------	------

Dosificación						
	[Kg]	% w	Absorción [%]	Agua libre [kg]	Total [kg]	Agua real [kg]
Cemento	41,0	0,0			41,0	14,8
Gravilla	91,3	2,2	1,0	1,0	92,3	
Arena	73,2	4,7	1,4	2,4	75,6	
Agua	18,1	0,0			14,6	

Anexo C Sistemas industrializados de moldaje con material desplegado

Hoy en día distintas compañías (Catnic, Expamet y Anping Xingtai entre otros) comercializan laminas de acero galvanizado de metal desplegado, llamadas "Hy - Rib", que son utilizadas como pared de moldaje permanente para el escurrimiento del hormigón, cuando se debe materializar una junta fría de hormigonado. Estas láminas cuentan con orificios que permiten que el traspaso de agua, generando una rugosidad de superficie óptima para la colocación del hormigón, y permitiendo el ahorro del tiempo necesario para aplicar un tratamiento de superficie. Además, el moldaje "Hy - Rib" cuenta con costillas, que le entregan rigidez a la placa y permite ensamblar las láminas para aumentar el volumen a hormigonar.

Entre los principales beneficios que entrega la utilización de estas láminas Expamet y Catnic postulan los siguientes:

- Mayor productividad en obra debido a la facilidad de instalar y la no aplicación de tratamiento de superficie.
- Mejor transferencias de esfuerzos de corte y tracción a través del plano de la junta que cuando se aplican tratamientos de superficie tradicionales.
- Reduce la presiones de poros en el hormigón, siendo menores que cuando se utilizan moldajes de madera o metálicos. Esto disminuye además los soportes necesarios para sostener el moldaje.
- Permite una gran altura de vaciado del hormigón.
- Entrega mayor versatilidad y puede ser utilizado con las costillas de forma horizontal o vertical y curvar dependiendo del diseño del cuerpo a hormigonar.
- Liviano y fácil de manipular.
- Permite la fácil penetración de las barras de refuerzo a través de los orificios sin la necesidad de hacerlos manualmente sobre la pared de moldaje..
- El moldaje queda embebido en el hormigón dejando una superficie ideal para la continuación del hormigonado.
- Disminuye la presencia de aire atrapado al interior del hormigón.

Como se muestra en la Figura C.1 las placas de moldaje "Hy - Rib" están constituidas por cuatro componentes:

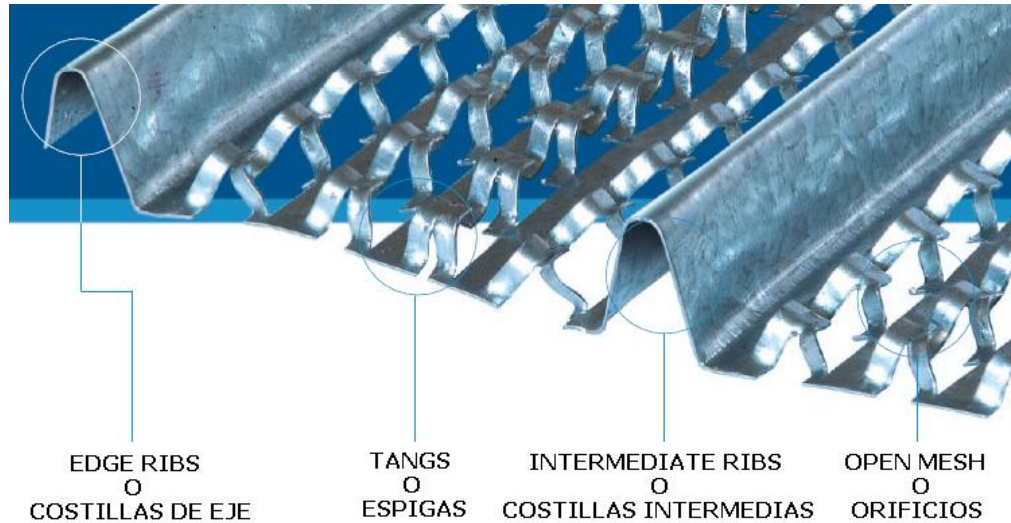


Figura C. 1 : Componentes del Hy - Rib.

- Edge Rib o Costillas de eje: Diseñada para encajar fijamente con la placa adyacente maximizando la rigidez de la unión entre placas.
- Tangs o Espigas: Diseñadas para que la placa quede embebida dentro del hormigón de la primera capa, anclándola a este debido a la filtración de material a través de los orificios. Así, se impide que la placa se despegue del hormigón.
- Intermediate Ribs" o Costillas intermedias: Entregan mayor rigidez a lo largo de la placa para poder colocarla y mantener su rigidez entre soportes.
- Open Mesh o Orificios: Permiten el traspaso del agua proveyendo una zona densa e impenetrable en el sector inmediatamente posterior.

Tipos de láminas disponibles

Expamet cuenta con 6 láminas distintas cuyas características se muestran en la Tabla X.XX

Esta marca cuenta con 6 tipos de láminas distintas cuyas características

Propiedad	Unidad	2411	2611	2811	2811 S 304	2811 S 316
Color	tira	Amarillo	Verde	Rojo	Azul	Negro
Peso por área	kg/m ²	6,34	4,23	3,39	3,40	3,40
Espesor de la lámina	mm	445	445	445	445	445
Largos disponibles	m	2, 3, 4, 5	2, 3, 4, 5	2, 3, 4, 5	2, 3, 4, 5	2, 3, 4, 5

Por su parte Catnic cuenta con tres tipos de láminas distintas que se muestran en la figura X.XX

Tipo de lámina	Espesor de la lámina [mm]	Peso [kg/m ²]	Dimensiones [m]
RIB 21/0.40	0,400	3,4	2,3,4 X 0,445
RIB 21/0.57	0,575	4,9	2,3,4 X 0,445
RIB 21/0.75	0,750	6,4	2,3,4 X 0,445

Instalación de las láminas.

Las láminas Hy - Rib se pueden ubicar con las costillas en posición vertical u horizontal dependiendo del tipo de estructura que se quiere hormigonar. Generalmente para la construcción de lozas de hasta 3 metros de altura las láminas serán por lo general puestas de forma horizontal e instalando soportes verticales. Las costillas debiesen siempre apuntar la parte interior del primer volumen a hormigonar haciendo que las maderas utilizadas como soportes contengan la placa como se muestra en la figura X.XX

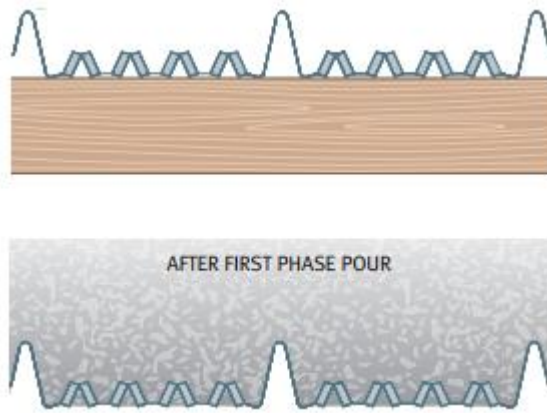


Figura C. 2 : Forma de colocar el moldaje Hy - rib.

Cuando se hace necesario unir láminas, si se hace de manera lateral será necesario unir las costillas de eje y atarlas cada aproximadamente 150 [mm]. Si la unión es a lo largo será necesario traslaparse por 50 [mm] e ir intercalando el lugar donde se generan las uniones como se muestra en la figura X.XX.

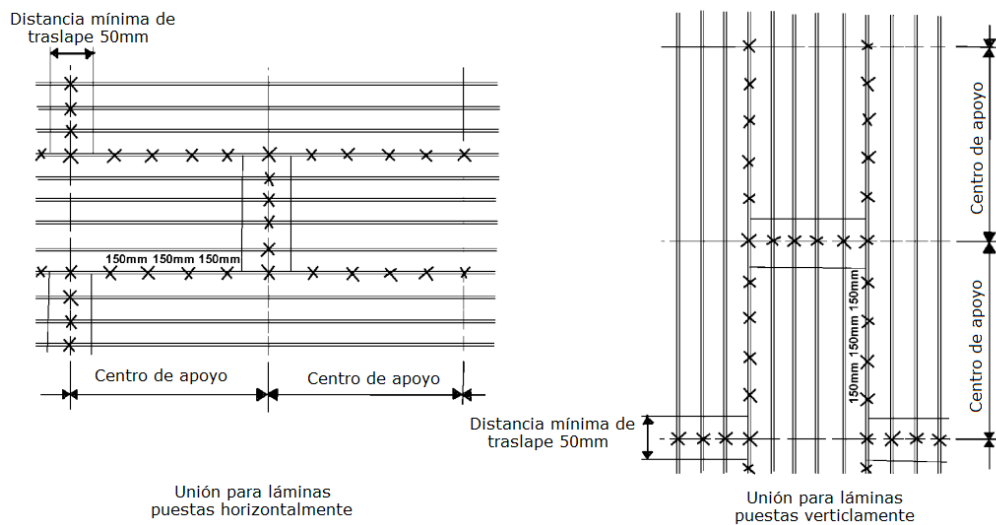


Figura C. 3: Forma de unir las placas del moldaje Hy - rib.

Además, como se puede ver en la figura X.XX es necesaria la colocación de laminas de madera en los extremos del cuerpo a hormigonar, independiente de la orientación con que se esté utilizando la placa, para cubrirlos y mantener la forma del cuerpo que se quiere hormigonar.

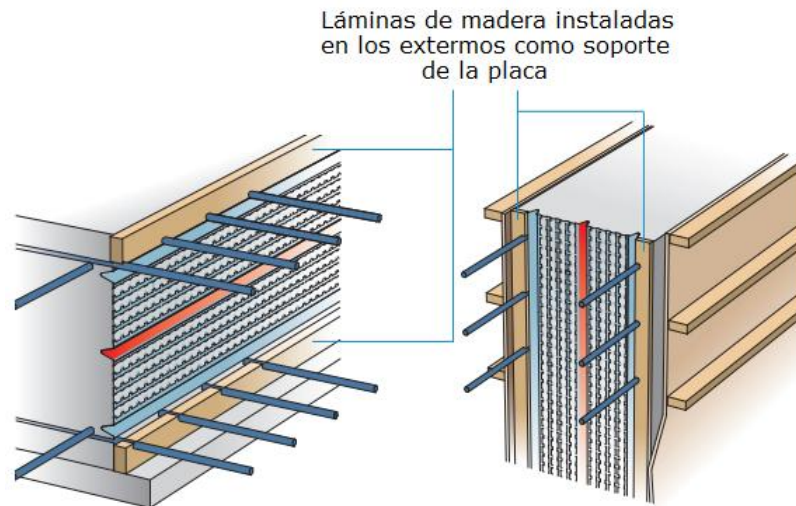


Figura C. 4: Láminas de madera instaladas en los extremos de la placa.

En cuanto a la manera de verter el hormigón cuando se utiliza las placas Hy-rib, se recomienda dejar una distancia de por lo menos 500 [mm] entre la placa y el lugar donde se vacía el hormigón para permitir que este fluya naturalmente contra la placa como se muestra en la Figura X.X. Por su parte, para la compactación del hormigón de la misma forma que para el vaciado debe dejar una zona próxima a la placa sin vibrar, permitiendo que el hormigón penetre de manera natural la placa.

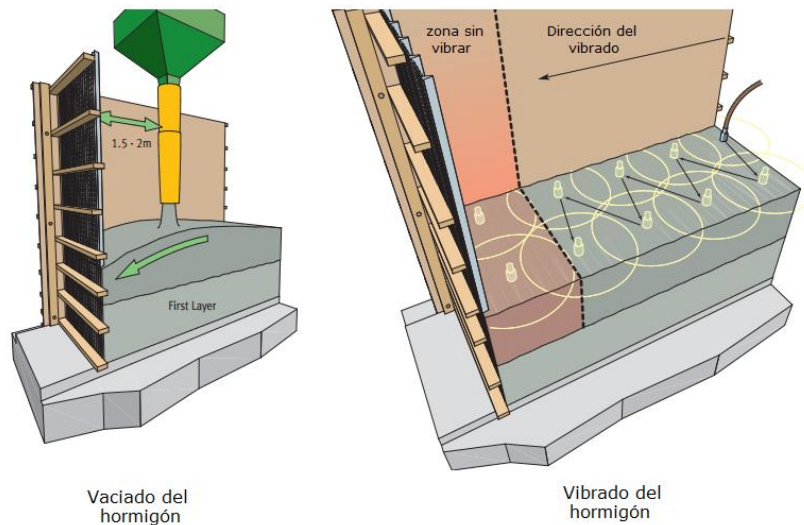


Figura C. 5: Vaciado y vibrado del hormigón.

Finalmente será necesario la limpieza de los excesos de material que pudiesen haber atravesado la placa de moldaje antes del que el hormigón endurezca, remover las laminas de madera puestas en los extremos del moldaje y quitar las maderas utilizadas como soporte. Como resultado se

tendría una superficie con una rugosidad óptima para el vaciado del nuevo hormigón.



Figura C. 9 Figura resultante y eliminación de los escombros.

Reducción de la presión de poros

La figura X.X.X muestra la máxima presión del hormigón al utilizar distintos tipos de moldajes. En ella se puede apreciar que la presión obtenida cuando se utiliza un moldaje High Rib en 2 caras del cuerpo a hormigonar es aproximadamente la mitad de la presión resultante al utilizar moldajes impermeables en estructuras de 3 metros de altura, llegando a un límite máximo de 38 kN/m² para muros de entre 3 y 5 metros de alto.

El trabajo realizado por la British Cement Association confirma la significativa reducción de la presión dentro del hormigón vaciado en secciones verticales contra las placas Hy - rib cuando se compara con la obtenida en moldajes impermeables.

Los resultados de los ensayos hechos en cinco muros a escala real, de 5 metros de altura cada uno, se muestran en la figura. Utilizando hormigones con una alta trabajabilidad para obtener aumento de presiones muy rápidos se midió la presión a 1,2 [m], 2, 5 [m], 3,8 [m] y 5 [m] del límite superior de cuerpo a hormigonar. Ciria 108 postula que el aumento de presión de poros dentro del hormigón es lineal a medida que se aumenta la altura de hormigonado, en cambio como se puede ver, cuando se utiliza la placas de moldaje Hy -rib, la presión de poros se aumenta más lentamente y se llega a una cota máxima debido a la penetración de agua a través de los huecos de la placa.

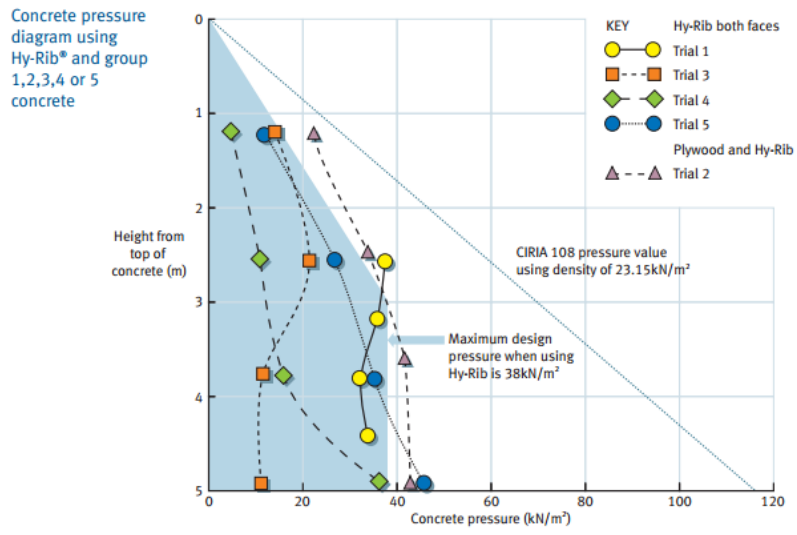


Figura C. 10: presión de poros del hormigón.