



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

**“ESTUDIO DE LA VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA
EN HORMIGÓN DE PAVIMENTOS H – 35, DEBIDO A UNA
MODIFICACIÓN EN LA DOSIFICACIÓN DE SUS ÁRIDOS”**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CONSTRUCTOR

PROFESOR GUÍA: ENZO ARELLANO RAMOS

KATHERINE IVONNE ROJAS TOBAR

CURICÓ – CHILE

2017

CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Curicó, 2019

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco al Director de Escuela de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Talca, el Sr. Armando Isaías Durán Bustamante por haberme facilitado las inmediaciones del laboratorio de hormigón de la escuela, y por suministrarme los materiales para la realización de la memoria. Además, agradecer al Laboratorista Cristián Véjares Alcántara por guiarme y apoyarme en cada uno de los procesos tanto de elaboración como en los ensayos de los hormigones, sin su orientación habría sido difícil haber trabajado de forma autónoma.

Dar gracias a los docentes Enzo Arellano Ramos por haberme guiado desde el inicio de la memoria tanto en el desarrollo técnico como la gramática de ésta, y al Sr. Jorge Bravo González por brindarme su apoyo, orientación y tiempo cada vez que me surgían dudas sobre la memoria.

Mi agradecimiento también va dirigido a mi compañero Carlos Morán Covarrubias, quién estuvo siempre a disposición para ayudarme en todo lo que necesitase en la ejecución de mis ensayos, por darme apoyo físico y moral en todo este proceso. Y para finalizar, a mis amigas Andrea Muñoz Moraga, Tiarens Valdivia González y Francisca Guzmán Parra, quienes fueron un pilar fundamental anímicamente en los años de Universidad y en el desarrollo de la memoria.

DEDICATORIA

En especial a mi padre Alfonso por apoyarme incondicionalmente desde que decidiste ser mi padre, a pesar de todo siempre estuviste ahí para mí, gracias a ti todo esto fue posible. A mi familia por esperar cada fin de semana para recibirme y entregarme todo su cariño. Y finalmente a mi madre de Curicó la tía Luz por haberme acogido durante todos estos años en su casa, por permitirme ser parte de su familia y por haberme hecho sentir como una hija.

RESUMEN EJECUTIVO

La presente memoria tiene como objetivo determinar dosificaciones de hormigón alternativas respecto de una dosificación de hormigón de pavimentos patrón H – 35 que permita obtener la misma resistencia mecánica, todo esto para anticiparse en casos inoportunos de carencia de materiales. Al obtener dichas dosificaciones de hormigón alternativas, cualquier profesional a cargo de una obra de pavimentación, tendría más opciones de dosificaciones de su hormigón si llegase a quedar escaso de materiales granulares, a su vez sabría los factores a variar si decide tomar esas otras opciones ya sea resistencia, docilidad y costos asociados.

Lo que se realizó para obtener el objetivo fue en primera instancia dosificar un hormigón patrón de pavimentos H – 35. Una vez obtenida la dosificación patrón, se dio paso a la modificación del porcentaje de áridos en tres variaciones distintas. De esta manera, se obtuvieron seis distintos hormigones que, al efectuarles mediciones de docilidad, densidad y resistencia, se desarrolló un análisis de resultados para realizar las conclusiones pertinentes que permitan determinar las variaciones más favorables para el estudio.

Finalmente se tiene que el estudio resulta de forma satisfactoria, ya que, de las seis modificaciones porcentuales llevadas a cabo, dos de ellas obtuvieron una resistencia mecánica por sobre la diseñada para el hormigón patrón. En vista de lo anterior, es posible considerar como dos nuevas dosificaciones alternativas para un hormigón de pavimentos H – 35 en base a la dosificación diseñada para este, pudiéndose estar previsto en caso de algún inconveniente de suministro de materiales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Pág.
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO	3
2.1. Historia del hormigón	3
2.1.1. Historia del hormigón en Chile.....	7
2.2. Historia de los pavimentos	8
2.2.1. Historia de los pavimentos de hormigón.....	9
2.3. El hormigón y sus componentes	11
2.3.1. Ventajas del hormigón.....	11
2.3.2. Desventajas del hormigón.....	11
2.3.3. Descripción de los componentes.....	12
2.3.3.1. Cemento	12
2.3.3.2. Agua.....	15
2.3.3.3. Áridos.....	16
2.3.3.4. Aditivos	19
2.4. Evolución de las exigencias de resistencia mecánica del hormigón de pavimentos en Chile	20
2.5. Métodos de dosificación según ICH	23
2.5.1. Método para dosificación de hormigón del ACI	23
2.5.2. Método de Faury para dosificación de hormigones	24
2.5.3. Dosificación de hormigones en base a proporciones fijas estimadas	24
CAPÍTULO 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	25

3.1. Metodología	25
3.2. Descripción de los materiales.....	26
3.2.1. Áridos.....	26
3.2.1.1. Extracción y preparación de muestras	26
3.2.1.2. Tamizado y determinación de la granulometría	27
3.2.1.3. Determinación de la densidad aparente	27
3.2.1.4. Determinación del material fino menor que 0,080 mm.....	28
3.2.1.5. Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua de las gravas ..	28
3.2.1.6. Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua de las arenas ..	29
3.2.2. Cemento	29
3.2.3. Agua	30
3.3. Dosificación del hormigón.....	30
3.3.1. Dosificación del hormigón patrón	30
3.3.1.1. Determinación de la resistencia media.....	30
3.3.1.2. Determinación de la cantidad de cemento por m ³ de hormigón	31
3.3.1.3. Razón Agua/Cemento.....	32
3.3.1.4. Agua de amasado.....	33
3.3.1.5. Determinación de la compactad (z) y las proporciones de la mezcla (%)	33
3.3.1.6. Determinación del agua de absorción	36
3.3.1.7. Resumen de la dosificación	36
3.4. Confección de los hormigones experimentales	37
3.4.1. Identificación de los hormigones efectuados	37
3.4.2. Corrección por humedad de la dosificación patrón.....	38
3.4.3. Dosificación por molde	40
3.4.3.1. Molde de probeta cúbica de 15 x 15 cm	40
3.4.3.2. Molde de probeta cúbica de 20 x 20 cm	41
3.4.3.3. Molde de probeta cilíndrica de 15 x 30 cm.....	41

3.4.4.	Dosificación por amasada.....	42
3.4.4.1.	Dosificación patrón H – 35.....	42
3.4.4.2.	Dosificación experimental N°1.....	43
3.4.4.3.	Dosificación experimental N°2.....	44
3.4.4.4.	Dosificación experimental N°3.....	44
3.4.4.5.	Dosificación experimental N°4.....	45
3.4.4.6.	Dosificación experimental N°5.....	45
3.4.4.7.	Dosificación experimental N°6.....	46
3.4.4.8.	Resumen de dosificaciones de amasadas	47
3.4.5.	Mezclado de los hormigones	47
3.4.6.	Transporte de los hormigones.....	49
3.4.7.	Confección y curado de probetas.....	50
3.4.7.1.	Moldeado de probetas.....	50
3.4.7.2.	Curado	53
CAPÍTULO 4: ENSAYOS Y RESULTADOS		55
4.1.	Ensayo de docilidad.....	55
4.1.1.	Aparatos	55
4.1.2.	Procedimiento.....	56
4.1.3.	Resultados	58
4.2.	Ensayo de compresión.....	59
4.2.1.	Refrentado de probetas	59
4.2.2.	Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas	60
4.2.2.1.	Aparatos	60
4.2.2.2.	Procedimiento.....	61
4.2.2.3.	Expresión de los resultados	62
4.2.2.4.	Resultados	64
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS		67

8.1. Análisis técnico	67
8.1.1. Docilidad	67
8.1.1.1. Asentamiento de cono de la primera franja.....	67
8.1.1.2. Asentamiento de cono de la segunda franja.....	68
8.1.1.3. Asentamiento de cono de la primera franja vs segunda franja	70
8.1.2. Resistencia a la compresión.....	71
8.1.2.1. Resistencia a la compresión de la primera franja	71
8.1.2.2. Resistencia a la compresión de la segunda franja	73
8.2. Análisis económico	75
8.2.1. Análisis de precios unitarios	75
8.2.2. Caso ejemplo	78
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
BIBLIOGRAFÍA	87
ANEXOS	90
Anexo A – Registro fotográfico de ensayos a los áridos	90
Anexo B – Ficha Técnica cemento Polpaico Especial.....	93
Anexo C – Método de dosificación Faury – Joisel (FJ)	94
Anexo D – Registro fotográfico de ensayo de docilidad	102
Anexo E – Registro fotográfico de refrentado	103
Anexo F – Determinación de dimensiones de probetas	104
Anexo G – Registro fotográfico de ensayos a compresión.....	105
Anexo H – Dimensiones de probetas	106
Anexo I – Factores de conversión para probetas de compresión	108
Anexo J – Plano proyecto ejemplo.....	110

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1: Obreros de la construcción en Tumba del faraón Rejmira.....	4
Ilustración 2: Panteón de Agripa, Roma.....	5
Ilustración 3: Calzadas romanas.....	8
Ilustración 4: Producción, materias primas.....	13
Ilustración 5: Elaboración de pastas.....	14
Ilustración 6: Fabricación de Clínquer.....	14
Ilustración 7: Molienda, ensacado y despacho.....	15
Ilustración 8: Grava.....	16
Ilustración 9: Gravilla.....	16
Ilustración 10: Arena.....	16
Ilustración 11: Distribución según masa del hormigón.....	18
Ilustración 12: Áridos empleados.....	26
Ilustración 13: Saco de cemento Polpaico Especial.....	30
Ilustración 14: Determinación de las proporciones de los áridos.....	35
Ilustración 15: Pesaje de grava.....	48
Ilustración 16: Tambor de betonera hidratado.....	48
Ilustración 17: Descarga de mezcla en carretilla.....	49
Ilustración 18: Carretilla hidratada.....	50
Ilustración 19: Cama de arena nivelada.....	50
Ilustración 20: Molde con desmoldante, y posteriormente llenado.....	51
Ilustración 21: Vibrado de hormigón.....	52
Ilustración 22: Alisado de superficie hormigón.....	53
Ilustración 23: Descimbre de probetas.....	54
Ilustración 24: Piscina de curado con agua saturada en cal.....	54
Ilustración 25: Llenado del cono en tres capas.....	56
Ilustración 26: Medición del asentamiento del hormigón.....	56
Ilustración 27: Extracción de muestra de grava.....	90
Ilustración 28: Extracción de muestra de arena.....	90
Ilustración 29: Cuarteo de grava.....	90
Ilustración 30: Cuarteo de arena.....	90
Ilustración 31: Secado de grava.....	90
Ilustración 32: Secado de arena.....	90
Ilustración 33: Lavado de grava.....	91
Ilustración 34: Tamizado de arena.....	91
Ilustración 35: Tamizado de grava.....	91
Ilustración 36: Pesaje de volumen de cilindro de grava.....	91
Ilustración 37: Pesaje de volumen de cilindro de arena.....	91
Ilustración 38: Volumen de grava.....	91
Ilustración 39: Volumen de arena.....	91
Ilustración 40: Grava saturada en agua.....	91
Ilustración 41: Arena saturada en agua.....	91

	Pág.
Ilustración 42: Grava superficialmente seca.....	92
Ilustración 43: Arena superficialmente seca.....	92
Ilustración 44: Masa seca arena.....	92
Ilustración 45: Matraz con agua.....	92
Ilustración 46: Matraz con agua y muestra.....	92
Ilustración 47: Humectación de base.....	102
Ilustración 48: Placa base y cono humectados.....	102
Ilustración 49: Apisonado de 1era capa.....	102
Ilustración 50: Apisonado de 2da capa.....	102
Ilustración 51: Mezcla de azufre con arena.....	103
Ilustración 52: Marmita.....	103
Ilustración 53: Probeta en aparato alineador.....	103
Ilustración 54: Probeta con refrentado.....	103
Ilustración 55: Pesaje de probeta.....	105
Ilustración 56: Medición de probeta.....	105
Ilustración 57: Probeta cúbica en prensa.....	105
Ilustración 58: Probeta cilíndrica en prensa.....	105
Ilustración 59: Fisuración de probeta cúbica.....	105

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Especificaciones generales del hormigón.....	20
Tabla 2: Especificaciones generales del hormigón.....	21
Tabla 3: Especificaciones para el hormigón de pavimentos.....	22
Tabla 4: Granulometría de los áridos.....	27
Tabla 5: Densidad aparente.....	28
Tabla 6: Material fino menor a 0,080 mm.....	28
Tabla 7: Densidad real y neta, y absorción de la grava.....	29
Tabla 8: Densidad real y neta, y absorción de la arena.....	29
Tabla 9: Resistencia media de dosificación (fd).....	31
Tabla 10: Coeficientes E.....	31
Tabla 11: Resistencia v/s Razón Agua/Cemento.....	32
Tabla 12: Interpolación lineal.....	32
Tabla 13: Contenido de aire según tamaño máximo nominal (l/m ³).....	33
Tabla 14: Valores de M.....	34
Tabla 15: Valores de N.....	34
Tabla 16: Resumen dosificación de hormigón patrón para 1 m ³	37
Tabla 17: Identificación de las probetas de hormigón.....	38
Tabla 18: Peso húmedo y seco de los áridos.....	39
Tabla 19: Humedad de los áridos.....	39
Tabla 20: Correcciones por humedad de los áridos.....	39
Tabla 21: Dosificación del hormigón patrón corregida por humedad.....	40
Tabla 22: Dosificación de hormigón patrón en probeta de 15 x 15 cm.....	40
Tabla 23: Dosificación de hormigón patrón en probeta de 20 x 20 cm.....	41
Tabla 24: Dosificación de hormigón patrón en probeta de 15 x 30 cm.....	41
Tabla 25: Medidas de probetas para cada dosificación.....	42
Tabla 26: Amasada dosificación hormigón patrón.....	42
Tabla 27: Amasada dosificación patrón molde 15 x15 cm.....	43
Tabla 28: Amasada dosificación experimental N°1.....	43
Tabla 29: Amasada dosificación experimental N°2.....	44
Tabla 30: Amasada dosificación patrón molde 15 x 30 cm.....	44
Tabla 31: Amasada dosificación experimental N°3.....	45
Tabla 32: Amasada dosificación experimental N°4.....	45
Tabla 33: Amasada dosificación patrón molde 20 x 20 cm.....	46
Tabla 34: Amasada dosificación experimental N°5.....	46
Tabla 35: Amasada dosificación experimental N°6.....	46
Tabla 36: Resumen de dosificaciones de amasadas.....	47
Tabla 37: Asentamientos de hormigones.....	58
Tabla 38: Resultados de las probetas ensayadas a los 7 días.....	64
Tabla 39: Resultados de las probetas ensayadas a los 14 días.....	65

	Pág.
Tabla 40: Resultados de las probetas ensayadas a los 28 días.	66
Tabla 41: Variación porcentual de los asentamientos de la primera franja.	68
Tabla 42: Variación porcentual de la segunda franja.	69
Tabla 43: Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días de la primera franja.	72
Tabla 44: Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días de la segunda franja.	74
Tabla 45: P.U. Hormigón de pavimentos H (35) patrón hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m ³ → 1 m ³	76
Tabla 46: P.U. Hormigón de pavimentos H (35) N°1 hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m ³ → 1 m ³	76
Tabla 47: P.U. Hormigón de pavimentos H (35) N°2 hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m ³ → 1 m ³	76
Tabla 48: Cuadro de obras de proyecto a evaluar.	78
Tabla 49: P.U. Pavimento hormigón H (35) patrón, e = 0,15 m.	79
Tabla 50: Presupuesto pavimento hormigón H (35) patrón, e = 0,15 m.	80
Tabla 51: P.U. Pavimento hormigón H (35) N°1, e = 0,15 m.	80
Tabla 52: Presupuesto pavimento hormigón H (35) N°1, e = 0,15 m.	81
Tabla 53: P.U. Pavimento hormigón H (35) N°2, e = 0,15 m.	82
Tabla 54: Presupuesto pavimento hormigón H (35) N°2, e = 0,15 m.	83

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1. Introducción

Si bien los pavimentos de hormigón no son los que mayormente se ejecutan en Chile, según estadísticas de la Dirección Nacional de Vialidad de fines del año 2015, hoy en día se está impulsando el uso de estas carpetas en pavimentos, debido a las múltiples ventajas en cuanto a costos de mantención y durabilidad que tienen los pavimentos de hormigón sobre los de asfalto. Por ello, es muy necesario estar al día y alerta con los posibles inconvenientes que se podrían generar al trabajar con hormigón.

Dentro de la gama de situaciones inoportunas que podrían surgir, se encuentran la mala planificación del proveedor quien podría no abastecer en un 100 % las obras de hormigón, o bien la mala cubicación por parte del comprador, lo que conlleva a múltiples consecuencias tanto para la obra en sí como para el constructor a cargo, quien debe velar por la correcta ejecución de las obras. Para evitar dichas consecuencias, es muy importante la oportuna reacción del constructor quien debe buscar una solución rápida y efectiva. Una posible solución es contactar a otro proveedor o preparar in situ el material, sin embargo, la solución debe ser rápida y la contratación de servicios requiere tiempo, por otro lado, tener que preparar en obra un hormigón con los insumos que se tiene es tarea difícil, ya que cada resistencia requiere de una dosificación base para su preparación, por lo que sería de gran utilidad la existencia de nuevas dosificaciones para una misma resistencia en el caso que no se tuviese el material necesario para la preparación de dicha dosificación, la cual serviría de gran ayuda para salir del paso al inconveniente que se podría presentar.

En esta memoria se estudiarán dosificaciones para hormigón de pavimentos H – 35, poniendo énfasis en la modificación de sus áridos. Es importante saber de cada uno de los componentes existentes en el hormigón tanto el cemento, el agua como los áridos, le confieren alguna característica o propiedad a la masa, por ello, hay que tener claro cuál de estos componentes tiene directamente participación con la resistencia. En primer lugar, está el cemento, no obstante, este componente en conjunto con el agua, siempre deben estar en una relación correcta para obtener una buena trabajabilidad de la mezcla, por ello es muy difícil la modificación de alguno de estos. En segundo lugar, se encuentran los áridos los que también tienen su grado de participación en la resistencia, ya que la resistencia final obtenida en el hormigón también dependerá en gran medida de la calidad y cantidad de los áridos. Por ello se analizarán posibles dosificaciones en base a las modificaciones de los áridos que la componen.

1.2. Objetivos

A continuación, se detallan el objetivo general y los objetivos específicos, los cuales se presentan como metas y procesos para obtener el fin último de esta memoria.

1.2.1. Objetivo general

Estudiar distintas dosificaciones para un hormigón de pavimentos H – 35, mediante la modificación de la base de los áridos que lo componen, con la finalidad de obtener una gama de dosificaciones que permita estar previstos en caso de algún inconveniente de suministro de materiales.

1.2.2. Objetivos específicos

- Estudiar una dosificación para un hormigón H – 35 que sirva de patrón para las distintas dosificaciones a experimentar.
- Determinar dosificaciones alternativas, mediante la modificación de los áridos de la dosificación patrón, que permitan obtener la misma resistencia.
- Analizar las propiedades del hormigón fresco de la dosificación patrón, y las alternativas.
- Analizar las resistencias mecánicas del hormigón endurecido de la dosificación patrón, y las alternativas.
- Analizar las variaciones de precios de las dosificaciones alternativas con respecto a la patrón.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

La base de esta memoria se formulará de acuerdo a la siguiente información histórica, de manera que sustente todos los experimentos y análisis desarrollados en ella.

2.1. Historia del hormigón

La palabra Hormigón parece ser que tiene su origen en Roma. En un estudio sobre el origen de los términos hormigón y concreto, M. Teresa Solesio, describe como Plinio habla de los "paries formaceus" de los que deriva la palabra "hormazo" significativa de molde o forma. Etimológicamente, M.Teresa Solesio, contempla varias hipótesis, algunas muy curiosas, como la que hace referencia a la relación existente entre "hormigón" y "hormigos" o plato de repostería hecho con almendras y avellanas tostadas unidas por miel. (Documento, Universidad de Oviedo, 2007)

La palabra concreto, deriva del inglés "concrete", procede del latín y significa "espeso", "condensado", empleándose, desde el año 1834, para designar al material de construcción que tratamos, mientras que la palabra "hormigón" aparece con anterioridad en el Diccionario de las Nobles Artes para Instrucción de Aficionados y uso de los Profesores de Diego Antonio Rejón de Silva, fechado en el año 1788 definiéndose como "Argamasa, compuesta de piedrecillas menudas, cal y betún, que dura infinito. También se hace sin betún". (Documento Universidad de Oviedo, 2007)

En el año 1852, el Diccionario de la Lengua Castellana, de la Academia Española avanza en la definición del hormigón del que dice ser "mezcla compuesta de piedras menudas, cal y betún, la cual es tan fuerte y sólida que dura siglos, y tan firme como la piedra". (Documento Universidad de Oviedo, 2007)

La historia de mezclar materiales es tan antigua como la del hombre prehistórico, que al abandonar las cuevas comenzaron a construir sus refugios, apoyándose del uso de lodo y barro comenzó a rellenar las fisuras entre las piedras para protegerse de las inclemencias del tiempo. Posteriormente los Asirios y Babilonios usaron barro mezclado con paja, donde la paja dio rigidez estructural al material de barro aglomerado a su alrededor y permitió que este fuese modelado. Los egipcios unieron cal y yeso, un material muy rico en sulfato de calcio, para crear un material que se endurecía aún más. Es posible que los egipcios usaran piedra caliza triturada para vaciar ciertas formas pequeñas, las cuales serían usadas en sus edificios y monumentos, como se muestra en la Ilustración 1 obreros

realizando trabajos de albañilería en la Tumba del Faraón Rejmira, sin embargo, ellos no descubrieron el hormigón que se conoce hoy en día, el cual es mucho más fuerte.

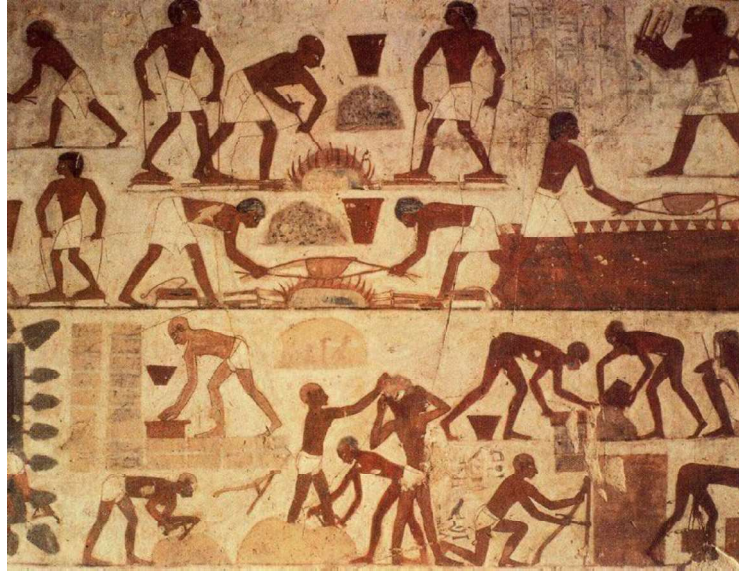


Ilustración 1: Obreros de la construcción en Tumba del faraón Rejmira.
Fuente: <http://jadonceld.blogspot.cl/2015/02/la-construccion-de-las-grandes.html>.

Hacia el año 500 a. C. los griegos mejoraron el producto, uniendo compuestos de caliza con agua y arena, y a su vez añadiendo piedra triturada, tejas rotas o ladrillos. Tiempo después, los romanos perfeccionaron un cemento que producía estructuras de extraordinaria durabilidad y fue gracias a las cenizas de los volcanes que se desarrolló el concreto u hormigón romano, esas cenizas volcánicas llegarían a ser conocidas como Puzolana, la cual es un polvillo muy fino que es bastante bueno para el hormigón, porque tiene mucha área de superficie. El resultado fue inesperado, ya que cuando mezclaron la puzolana y se disponían a usarla en las paredes de sus construcciones, se llevaron una gran sorpresa al observar como que este material se ponía duro bajo el agua. La Puzolana fue el ingrediente clave de lo que se conocería como concreto u hormigón romano, fue esencial en la construcción de monumentos históricos de la Antigua Roma, tales como el Panteón. El Panteón es un edificio con una planta circular de 30 metros de alto, tiene una cúpula que mide 43 metros de diámetro, construido hace más de dos mil años (ver Ilustración 2). La ingeniería romana se desarrolló mucho en cuanto a carreteras, transporte de agua y materiales, aprendieron específicamente a manejar el concreto u hormigón, mientras que los mejores ejemplos de arquitectura romana siguen en pie hoy en día, sus conocimientos de arquitectura se perdieron al desaparecer su Imperio Romano, se descuidó el control de calidad en la fabricación del hormigón, como consecuencia de esto, perdieron el patrón de cómo controlar la calidad de su producto.

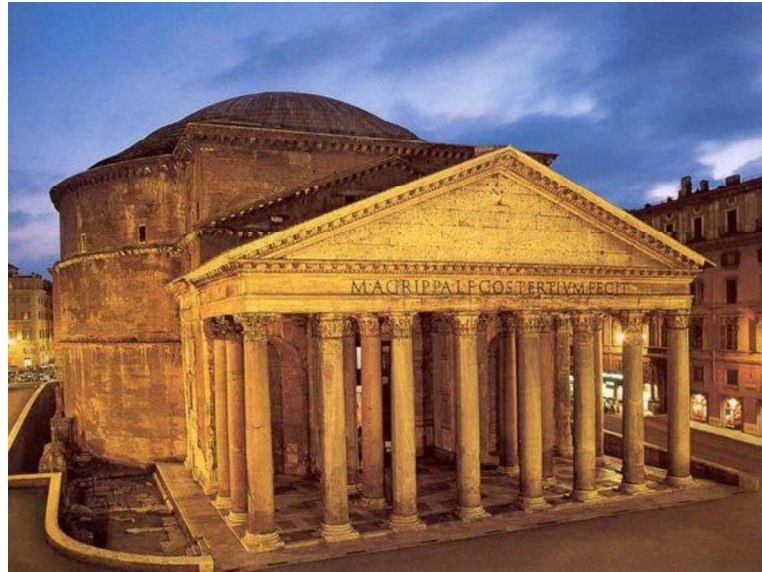


Ilustración 2: Panteón de Agripa, Roma.
Fuente: <https://es.pinterest.com/pin/324681454371058031/>.

Durante la Edad Media los arquitectos europeos se concentraron mayormente en la construcción de castillos y catedrales con enormes piedras en vez de hormigón, solo se produciría un verdadero descubrimiento el año 1800 después de la caída del Imperio Romano, cuando el químico Inglés John Smeaton llevó a cabo un experimento. En el año 1756, Smeaton se encargó de la reconstrucción del Faro de Eddystone que se encontraba en un estado de constante deterioro, Smeaton usó algunas fuentes reales y efectivas de arcilla y piedra caliza, tomaba estos materiales y los cocinaba o quemaba para hacer un material llamado Cal Hidráulica, utilizó este material para hacer los ladrillos de argamasa que necesitaba para el faro. No era un material extraordinario, pero podía utilizarse bajo el agua, marcando un momento determinante.

El mortero es la mezcla que mantiene juntas a las piedras, para crear un material que mantuviera homogénea las partes, muchos científicos experimentaron moliendo en conjunto piedra caliza con barro. En el año 1824 otro Inglés, Joseph Aspdin haría un gran descubrimiento, calcinó su mezcla de barro y piedra caliza en terrones moliéndolos después en un polvo fino, cuando lo mezcló con agua y arena produjo un fuerte mortero que se endurecía bajo el agua, Aspdin obtuvo una patente por su producto y lo llamo Cemento Portland, sin embargo, se dice que Aspdin se hizo famoso por patentar un proceso que la gente ya había estado usando durante 50 años. El cemento Portland definiría lo que después sería la industria del hormigón, en los siguientes 50 años se realizarían nuevos descubrimientos que cambiarían por siempre el uso del hormigón en el mundo. A comienzos del siglo

XIX, Estados Unidos vivía sus primeros años como nación independiente, pero rotas sus relaciones con Inglaterra, E.E.U.U. comenzó un periodo de rápida expansión basada en sus propios recursos naturales tales como carbón, minerales, madera y agua; el canal de ERIE fue el punto de partida. La construcción del Canal de ERIE comenzó en el Estado de Nueva York en el año 1817, fue diseñado como un vasto sistema de transporte que se extendía por más de 580 km, el curso del agua tendría más de 80 cambios de elevación llamados ascensores, aquellos elevadores requerían estructuras y estas no se podían armar sin cal hidráulica, de manera que había una fuerte demanda y resultó ser que encontraron un cemento natural que se podía calentar. El ingeniero Canvass White experimentó con diferentes tipos de rocas en el área, calentándolas primero y reduciéndolas a polvo grueso que después mezclaban con agua, los constructores pronto comenzarían a desarrollar sus propias versiones de la tosca fórmula de White para una variedad de estructuras, usaban piedras de cualquier clase, algunas veces hasta conchas de ostras, crearon así una pasta para mantener en pie una pared cuando ésta se secará.

En los últimos 200 años ha habido un rápido crecimiento, que comenzó en la década de los 40 con el acero, el vidrio, aluminio, cerámica, con las gomas y el concreto, de hecho, el mundo civilizado llegó al punto de no poder prescindir de estos materiales. Para la mitad del siglo XIX el uso del cemento Portland se había extendido ampliamente por Europa, fue allí donde tuvo lugar una innovación que cambiaría para siempre las construcciones de hormigón, por primera vez se usó el hierro para reforzar internamente el hormigón haciéndolo más resistente a la compresión y tracción, invención de Joseph Monier en el año 1867.

2.1.1. Historia del hormigón en Chile

En Chile la aparición del hormigón se remonta desde el año 3.000 antes de J.C., no con la constitución que lo conocemos hoy en día, sino como un hormigón rudimentario a base de huiro. Desde el año 3.000 antes de J.C. en que se encuentran en el norte de Chile las primeras muestras de un hormigón rudimentario en el que se emplea como conglomerante algas calcinadas (huiro) mezcladas con agua de mar, hasta nuestros días, este material ha tenido que vencer muchas etapas en las que siempre ha existido un elemento invariable en su composición (las rocas), pero el cemento que las unía entre sí ha ido cambiando de acuerdo con las circunstancias, no solo cronológicas sino también locales. La cal, las puzolanas, los cementos naturales, etc., han ido perfeccionando poco a poco a aquel hormigón en el que se empleaban algas calcinadas y cuyos morteros alcanzaban la resistencia a compresión, nada despreciable para aquellos tiempos, de 6 N/mm² (60 kgf/cm²). (Documento Universidad de Oviedo, 2007). El uso principal que se le dio a este conglomerante hidráulico en aquellos tiempos, fue la unión de las piedras para la construcción de las paredes de las chozas usadas por los indios.

Miles de años después, en el año 1856 se comienza a importar y dar uso del cemento, sin embargo, este método no fue muy masivo. Por lo que, en el año 1908, se abren las puertas de la primera Industria de Cementos Portland del país y de Sudamérica, la bien llamada Cementos Melón, aumentando ampliamente las construcciones diseñadas en hormigón, incrementando a su vez también el empleo de los hormigones a nivel nacional.

Más tarde en el año 1961 nace el hormigón premezclado, siendo su primera colocación en la Villa El Dorado, en la comuna de Vitacura. Esta industria ha ido creciendo, facilitando todo el proceso constructivo en comparación a la fabricación del hormigón hecho in situ.

El hormigón ha ido evolucionando desde las simples mezclas de barro y lodo de los prehistóricos, hasta los modernos hormigones bombeados con aditivos utilizados hoy en día, sin duda es un material que llegó para quedarse, mejorando tanto la calidad de las construcciones como la calidad de vida de las personas.

2.2. Historia de los pavimentos

La palabra pavimento deriva en su etimología del latín “pavimentum”, y en términos de construcción un pavimento, es el producto de conceder al suelo solidez y resistencia, dejándolo apropiado para que circulen las personas, animales y vehículos, para lo cual está compuesta de varias capas que le otorgan la capacidad de soportar peso, altas temperaturas y las inclemencias del tiempo. Estos pavimentos pueden estar revestidos de diversos materiales tales como piedras, asfaltos, betunes asfálticos u hormigón.

Se dice que los primeros caminos fueron fundados en la prehistoria a partir del paso de los animales, pero sin duda no es un hito que se pueda afirmar. En el año 500 A. C., fue Darío el Grande quien mandó a construir una carretera desde la capital de Lidia, en el oeste de la actual Turquía, hasta Susa, para facilitar el transporte del correo imperial a través de postas ecuestres, ya que se había expandido y separado sus dominios del imperio Aqueménida, los cuales estaban encabezados por miembros de la familia real, dando origen al primer camino de gran longitud.

Posteriormente se da lugar a los romanos, quienes fueron los autores de la primera red de carreteras eficiente (ver Ilustración 3), la cual teniendo como fin militar y político el de mantener un control efectivo de las zonas integradas al Imperio, sin planificar, terminaron siendo esenciales para la economía en ese entonces, ya que conectaba distintas regiones, facilitando el comercio y las comunicaciones. Este sistema de carreteras del Imperio Romano llegó a lograr unos 80.000 km, consistentes en 29 calzadas que iniciaban en la Ciudad de Roma, y una red que abarcaba la totalidad de las provincias conquistadas importantes.



Ilustración 3: Calzadas romanas.

Fuente: <http://www.laalcazaba.org/las-calzadas-romanas-por-luis-manuel-moll/>.

Luego en Francia el año 1607, se sancionó el primer código de carreteras, estableciendo métodos de construcción y mantenimiento de caminos, definiéndose como la “Legislación sobre caminos”. Fue Pierre-Marie Jérôme Trésaguet, quien estudió que el suelo de fundación, y no las capas de la calzada, era quien debía resistir las cargas y creó un sistema de construcción aumentando el soporte con una gran capa de piedras uniformes, recubriendo con dos capas más de partículas de menor tamaño y de pequeño espesor. Posteriormente Thomas Telford con ideas parecidas a las Trésaguet, mejoró la resistencia a través de la utilización de piedras cuidadosamente elegidas de gran tamaño, sobre las cuales situaba otras capas de partículas de tamaño menor. Años más tarde John Loudon McAdam, construyó caminos con una capa de partículas de piedra divididas de igual tamaño, revestida por partículas más diminutas, estabilizándose bajo tránsito, hasta lograr una capa de rodadura densa e impermeable.

En Inglaterra en el año 1848, fue cuando se dió inicio al primer camino con superficie pavimentada, dando uso al alquitrán. Finalmente fue el 29 de julio del año 1870 fue el químico Edmund J. DeSmedt quien colocó el primer verdadero pavimento asfáltico “Sheet Asphalt” en los Estados Unidos de América, en Broad Street, al frente del City Hall de Newark en New Jersey.

Años más tarde en Escocia, en el año 1865, aparece el primer pavimento de hormigón en el mundo específicamente en Inverness, Escocia, a orillas del Lago Ness. Posteriormente en el año 1891 se da lugar al primer pavimento de hormigón en América construido por George Bartholomew en Bellefontaine, Ohio.

2.2.1. Historia de los pavimentos de hormigón

El pavimento de hormigón tuvo sus comienzos a finales del siglo XIX con la materialización de la primera estructura moderna de este tipo en la ciudad de Inverness, Escocia, a orillas del Lago Ness, en el año 1865 como fue mencionado en el apartado anterior. En esa época el pavimento de hormigón no poseía las modificaciones debidas a la tecnología en cuanto a diseño y construcción que se tiene en la actualidad, sin embargo, fue el inicio de una serie de avances, desarrollos y aplicaciones. Desde entonces fueron surgiendo avances de gran relevancia en la tecnología de diseño y construcción, además de la gran masificación de su aplicación en todo el mundo.

En EE.UU., el inicio de los pavimentos de hormigón se dió en la ciudad de Bellefontaine, Ohio, en el año 1891, con más de 125 años de construida aún se encuentra vigente prestando servicios.

Según la revista "Concrete in highway transportation" de la Asociación del cemento Pórtland, en el año 1889, el estadounidense George Bartholomew, propuso el primer pavimento de hormigón en Ohio, Estados Unidos. Bartholomew tenía la certeza de que el cemento que estaba produciendo en su pequeño laboratorio podía ser utilizado para producir una superficie dura y duradera, por lo que convenció a los ciudadanos y funcionarios de Bellefontaine, Ohio, para construir el pavimento de hormigón en la calle principal de la plaza del Palacio de Justicia de esa localidad. El primer tramo de pavimento que construyó contaba con 2,44 metros de ancho y fue un éxito inmediato. Por lo anterior, los empresarios locales pidieron tener todas las calles alrededor de la plaza pavimentada con hormigón. Ya en el año 1893, casi todas las calles que se encontraban alrededor del Tribunal de Justicia, se encontraban pavimentadas, finalizando con la Avenida Colón el año 1894. Esta última fue construida por William Snyder, un constructor de carreteras y contratista, quien utilizaba caballos para acarrear el cemento, la grava y la arena, ya que en esos años aun no existían los automóviles.

Con la introducción de la primera producción masiva de automóviles del "Modelo T" de Ford, los estadounidenses comenzaron a salir a las carreteras en un número cada vez mayor. Los gobiernos locales respondieron a las demandas de los ciudadanos para la mejora de las carreteras, por lo que, en el año 1913, se construyeron 24 kilómetros de pavimento de 2,74 metros de ancho.

El pavimento de hormigón creado por Bartholomew se hizo popular y comenzó a emplearse a lo largo de Norteamérica, llegando a pavimentar alrededor de 2.350 kilómetros hasta fines del año 1914.

La introducción de vehículos motorizados en el año 1900 cambió la manera en que los pavimentos de hormigón fueron construidos, ya que en el año 1905 el primer camión fue fabricado. Los cementos y agregados fueron mezclados en seco y luego transportados al sitio a pavimentar por un camión mezclador.

No hubo avances extraordinarios en los procedimientos de construcción de pavimentos de hormigón, hasta que, a mediados del año 1940, se creó la extendidora 34E. En el año 1946, dos ingenieros de Iowa, James Johnson y Bert Myers, introdujeron una extendidora con encofrado deslizante. En el año 1955, se desarrolló una extendidora autopropulsada, montada sobre orugas y con encofrado deslizante.

Entre fines de la década de los 40 y principios de la década de los 50, se comenzaron a aserrar las juntas de hormigón.

2.3. El hormigón y sus componentes

A lo largo de la historia el hormigón ha sufrido múltiples cambios en su composición, pero hoy en día a este material se le conoce por estar constituido esencialmente por áridos, de tamaño acotado, que satisfagan ciertas exigencias respecto a sus características mecánicas, químicas y granulométricas, unidas por una mezcla constituida a base de un conglomerante llamado cemento y agua. A este material base y en el instante de su amasado, es posible agregarle otros tipos de componentes para desarrollar un hormigón con mejores características según se requiera, ejemplo de ello son los aditivos. El que al hormigón se le considere uno de los materiales indispensables en la construcción de estos últimos tiempos tiene sus motivos, y es debido a sus irrefutables ventajas.

2.3.1. Ventajas del hormigón

- Gracias a su plasticidad en estado fresco permite obtener piezas de múltiples formas, siempre y cuando el molde lo permita.
- Alta resistencia a la compresión, aunque presenta poca resistencia a la tracción, pudiendo suplirla al añadirle acero al hormigón obteniendo un hormigón armado.
- Posee gran versatilidad, lo que permite utilizarlo en una variedad de obras de construcción, tales como edificios, túneles, presas, pavimentos, puentes, viviendas entre otros.
- Es un material de gran durabilidad, lo que nos asegura construcciones de gran vida útil.
- Presenta una alta resistencia al fuego, pudiendo soportar hasta 400° C.
- Está constituido por materiales fáciles de conseguir.
- Tiene la capacidad de resguardar al acero de la corrosión y el fuego.
- Posee varios métodos constructivos.

2.3.2. Desventajas del hormigón

- A pesar de presentar una buena resistencia a la compresión, no es el mismo caso que la resistencia a la tracción, la cual es muy baja.
- Al ser sometido a cambios de temperatura y humedad pierde su forma y no es capaz de mantener sus dimensiones originales, por lo que presenta una baja estabilidad dimensional.
- Su fabricación in situ puede perjudicar la variabilidad del hormigón y estabilidad de sus propiedades.
- Es un material heterogéneo a todo nivel de observación.

- Es anisótropico cuando contiene armadura, esto quiere decir que presenta propiedades variables según la dirección que se le coloque.
- Sus propiedades dependen del tiempo.

2.3.3. Descripción de los componentes

2.3.3.1. Cemento

La palabra “cemento” deriva de *caementum*, que en latín significa “argamasa”, y procede a su vez del verbo *caedere* (precipitar).

Podemos definir al cemento como un material resultado de la unión entre caliza y arcilla, posteriormente dicha mezcla es sometida a calcinación y trituración transformándose en un polvillo fino, que tiene la cualidad de endurecerse al colocarlo en contacto con el agua. Este producto es utilizado como aglomerante en morteros y hormigones.

En una descripción más amplia del componente, podemos decir que a la vista de cualquier persona es un polvo finísimo de color gris, que al mezclarse con agua forma una pasta de cemento del mismo color. Esta pasta de cemento es utilizada para la confección del hormigón y es el componente activo de este. Dentro de las principales funciones que cumple podemos mencionar las siguientes:

- Llenar los huecos de los áridos.
- En estado fresco la pasta lubrica y da cohesión.
- En estado ya endurecida la pasta tapa los huecos del árido dando impermeabilidad.
- Provee resistencia y durabilidad al hormigón endurecido.

Además de cumplir las funciones anteriormente mencionadas, este componente debe satisfacer ciertos requisitos de calidad que serán mencionados y normados por la NCh148.Of1968 “*Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales*”.

Debido a la importancia de este componente en el hormigón, y debido a sus múltiples modificaciones a través de la historia, se considera fundamental mencionar su proceso obtención en la actualidad, por ello a continuación se muestra el diagrama de producción Planta Cerro Blanco de Cemento Polpaico (proceso húmedo), en la fabricación de cementos Portland.

- a) **Obtención y procesamiento de materia prima:** La caliza es la materia prima principal del cemento, la cual se extrae de yacimientos a tajo abierto próximos a la Planta Polpaico. Esta caliza es triturada en chancadores hasta formar un material de tamaño máximo no superior a 20 mm y posteriormente descargada y acopiada bajo una gran cúpula, con objeto de cuidar el medio ambiente y también contar con una reserva apropiada para la continuidad de la producción (Ver Ilustración 4).

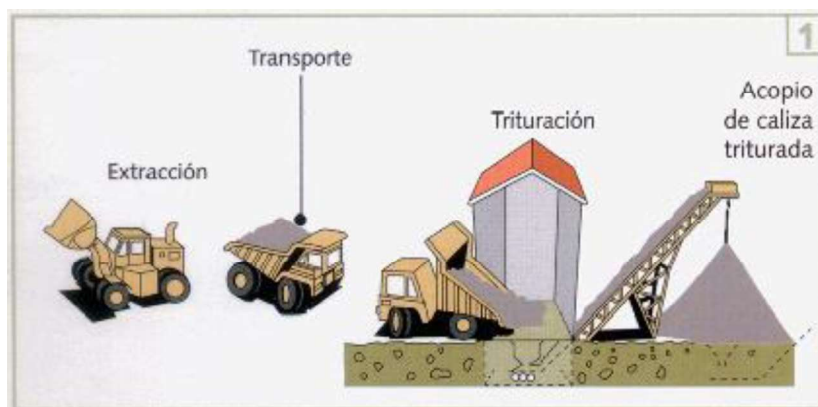


Ilustración 4: Producción, materias primas.

Fuente: <http://www.holcim.cl/productos-y-servicios/proceso-productivo-del-cemento/produccion-materias-primas.html>.

- b) **Elaboración de pastas:** El proceso prosigue con la etapa de molienda húmeda en la cual, la caliza triturada anteriormente, se continúa moliendo en forma húmeda hasta formar una "pasta de caliza". Luego, esta pasta es enviada a las celdas de flotación donde se concentra hasta alcanzar una ley de 82 % de carbonato de calcio. Con objeto de extraer el agua de esta pasta el proceso continúa en los espesadores, en los cuales se obtiene una pasta con aproximadamente un 55 % de sólidos. Por último, esta pasta caliza es bombeada a los silos de mezcla, donde se le adiciona óxido de aluminio y de hierro, de tal forma de obtener una pasta mezclada cuya composición química sea la requerida para producir el Clínquer (ver Ilustración 5).

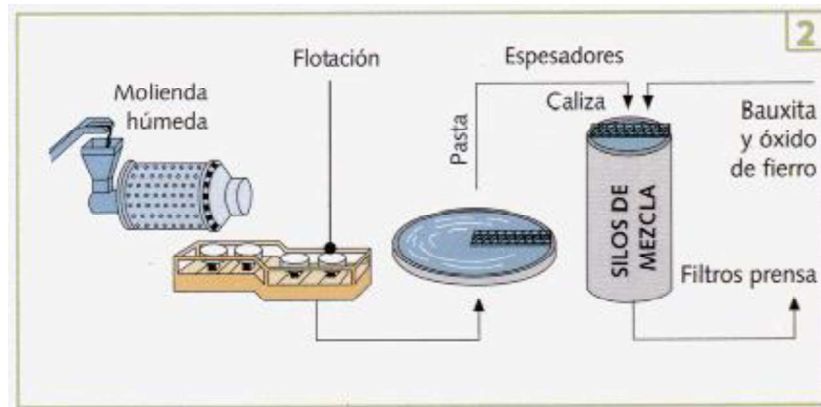


Ilustración 5: Elaboración de pastas.

Fuente: <http://www.holcim.cl/editorials/elaboracion-de-pastas.html>.

- c) **Fabricación de Clínquer:** La pasta mezclada presenta un exceso de humedad para ingresar al horno, por lo cual es necesario pasarla por filtros prensa, en donde el agua disminuye de 45 % a 16 %, y luego por un proceso de secado hasta obtener una "harina cruda" con sólo 0,5 % de humedad, denominada "Crudo". Este Crudo es alimentado a través de una torre de ciclones precalentándose hasta unos 850° C, previo a su ingreso al horno, en donde a temperaturas de alrededor de 1.450° C, ocurrirán las reacciones químicas que lo transformarán en "Clínquer". Por último, este Clínquer se enfría y almacena en silo o en canchas (ver Ilustración 6).

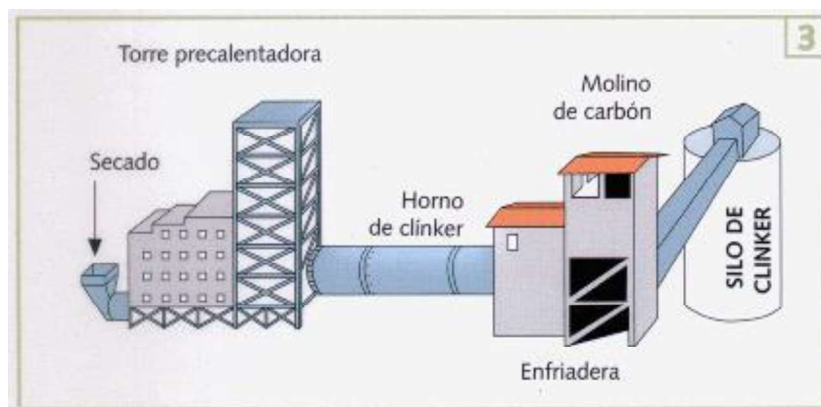


Ilustración 6: Fabricación de Clínquer.

Fuente: <http://www.holcim.cl/editorials/fabricacion-de-clinquer.html>.

- d) **Molienda, ensacado y despacho:** Finalmente para la obtención del cemento es necesario moler en forma conjunta cantidades perfectamente dosificadas de Clinker, yeso y puzolana (ceniza volcánica) hasta llegar a la finura requerida para cada tipo de cemento. El cemento es almacenado en silos para su posterior despacho, el cual puede ser realizado en sacos de papel de 42,5 kg (individuales o paletizados) o a granel en camiones graneleros propios, en ferrocarril o en "big – bags" de hasta 2 toneladas (ver Ilustración 7).

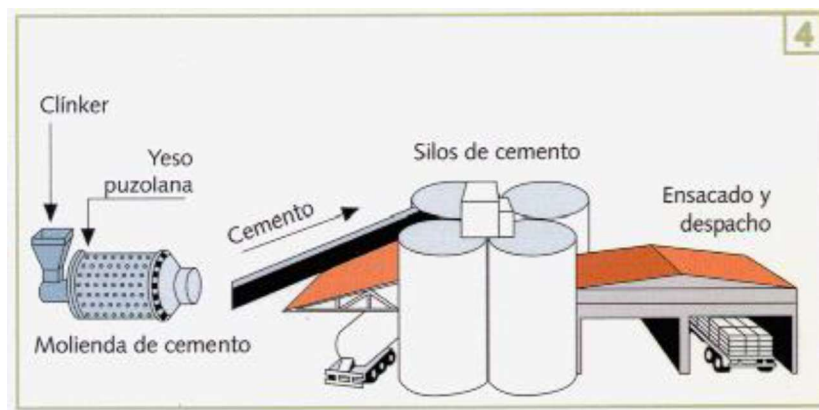


Ilustración 7: Molienda, ensacado y despacho.

Fuente: <http://www.holcim.cl/editorials/molienda-ensacado-y-despacho.html>.

2.3.3.2. Agua

El agua es uno de los componentes que hay que tener cierto cuidado en el hormigón, ya que presenta doble participación en él, en primera instancia como agua de amasado y en segundo lugar como agua de curado.

Agua de amasado

Como agua de amasado desempeña dos funciones de gran relevancia en el hormigón, por un lado, participa en el proceso de hidratación del cemento, y por otro otorga al hormigón el grado de trabajabilidad necesaria para una adecuada puesta en obra. La dosis de agua de amasado debe acotarse al mínimo estrictamente necesario para conferirle a la mezcla la trabajabilidad solicitada, según los requisitos en obra y la dosificación tomada, debido a que el agua en demasía se evapora y forma una red de poros capilares que reduce su resistencia.

El agua de amasado representa aproximadamente entre un 10 % - 25 % del volumen del hormigón fresco, según sea el tamaño máximo del agregado que se utilice y la docilidad que se desee. El uso

del agua en hormigones debe cumplir con ciertos requisitos mínimos que están señalados en la NCh1498.Of2012 “*Hormigón – Agua de amasado*”, relacionados con ph, sólidos disueltos, sólidos en suspensión, materia orgánica, cloruros, sulfatos y azúcar. A grandes rasgos, las aguas aptas para ser utilizadas son el agua potable, la cual no necesita la verificación de su calidad, aguas de origen desconocido con análisis químico, agua de mar sólo para hormigones (sin armar) de resistencia menor e igual a un H – 15.

Agua de curado

El agua de curado tiene participación primordial en la fase de fraguado y las primeras edades de endurecimiento. Tiene como objetivo evitar la desecación proporcionando la humedad necesaria en el primer endurecimiento, mejorar la hidratación del cemento aumentando a su vez la resistencia mecánica y prevenir la retracción prematura.

En cuando a los requisitos que debe cumplir para esta función de curado, se acoge a la misma norma utilizada anteriormente NCh1498.Of 2012 “*Hormigón – Agua de amasado*”, en donde se deben cumplir con las condiciones señaladas en dicha norma.

2.3.3.3. Áridos

Los áridos, también llamados agregados, son materiales granulares de naturaleza orgánica, habitualmente inertes, provenientes de la desintegración natural y desgaste de las rocas o bien se consiguen a través de la trituración de ellas, de escorias siderúrgicas o de otras materias primas que sean elevadamente duras que logren alcanzar partículas de forma y tamaño estables. Estos materiales pétreos generalmente se descomponen en tres fracciones: grava, gravilla y arena (ver Ilustración 8, 9 y 10).



Ilustración 8: Grava.

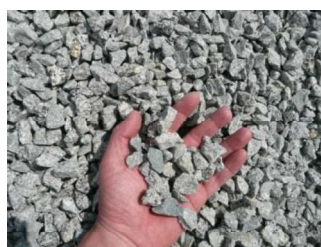


Ilustración 9: Gravilla.



Ilustración 10: Arena.

Fuente: <http://www.aridsgarcia.com/es/productos/otras-gravas>.

Clasificación de los áridos

La gran diversidad de materiales pétreos que se agrega en el hormigón hace que sea muy engorrosa la caracterización de cada uno. Por ello a continuación se dan a conocer las distintas clasificaciones que se les dan, ya sea según su tamaño del grano, procedencia, granulometría y su forma.

Según tamaño del grano

- Grava: Agregado cuyas partículas tienen tamaños comprendidos entre 20 y 40 mm, clasificándose como árido grueso, ya que su tamaño es mayor a 5 mm.
- Gravilla: Agregado cuyas partículas tienen tamaños comprendidos entre 5 y 20 mm, clasificándose como árido grueso ya que su tamaño es mayor a 5 mm.
- Arena: Agregado cuyas partículas tienen tamaños comprendidos entre 0,16 y 5 mm, clasificándose como árido fino ya que su tamaño es menor o igual a 5 mm.

Según su procedencia

Dentro de esta clasificación podemos encontrar el origen de los áridos en modo:

- Natural: Los cuales provienen de yacimientos pétreos y no es sometido a tratamiento (ríos, pozos o canteras).
- Artificial: Extraídos de escorias.

Según su granulometría

- Continua: Se refiere a un árido que, desde las partículas más gruesas hasta las más finas, están uniformemente graduadas.
- Discontinua: Corresponde a un árido que carece de partículas de tamaños intermedios.
- Irregular: No se cumple la uniformidad desde los áridos más gruesos hasta los más finos.

Según su forma

- Chancados: Son áridos tratados, resultado de un proceso industrial. Generalmente chancado o triturado, seleccionados por tamaños y lavado. Sus partículas tienen apariencia rugosa y de forma irregular, pero muy parecidas a una forma cúbica.
- Rodados: Son áridos naturales, resultado de ríos o empréstitos naturales. Su proceso de producción consiste generalmente en la separación por tamaños y el lavado. Sus partículas tienen apariencia lisa y suave, y son de forma redondeada.

Función de los áridos en el hormigón

Este material pétreo pasa a formar un tipo de estructura inerte del hormigón, interviniendo como uno de los componentes de este. Aunque no participa en el fraguado y endurecimiento del hormigón, los áridos cumplen un rol muy importante en las características de este material. De hecho, aproximadamente el 79 % del volumen del hormigón está conformado por áridos siendo el volumen restante la pasta de cemento que rellena los espacios formados entre ellos (ver Ilustración 11).

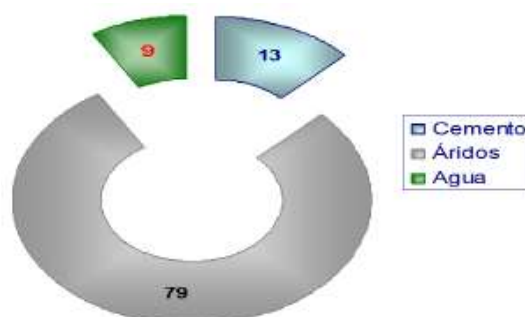


Ilustración 11: Distribución según masa del hormigón.

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

Para la elección y control de los áridos se debe ser muy cuidadoso, como ya se mencionó anteriormente cumplen un papel de suma importancia en las características del hormigón, las cuales interfieren en la:

- Disminución de la medida de cemento, teniendo en cuenta no perjudicar la resistencia del hormigón, esto se puede conseguir con una buena granulometría del árido grueso.
- Docilidad del hormigón fresco.
- Durabilidad de las estructuras (pavimentos, viviendas, puentes, losas, etc.).
- Economía en las mezclas.
- Formar un esqueleto rígido, disminuyendo variaciones de volumen. Lo correcto sería un esqueleto bien graduado, con buenas proporciones de áridos.
- Resistencia del hormigón endurecido.

Dada la importancia de los áridos en el hormigón, se debe tener cierto cuidado en la elección de estos y por ello se debe cumplir con ciertas condiciones que son exigidas en la norma NCh163.Of1979 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales”, requisitos que se resumen en los siguientes puntos:

-
- Alta resistencia propia de las partículas.
 - Baja porosidad propia de las partículas.
 - Forma de las partículas lo más esféricas o cúbicas posibles.
 - Libres de compuestos químicos.
 - Mínimo contenido de granos de tamaño menor a 0,08 mm.
 - Resistencias a los cambios de temperaturas y humedad.
 - Variedad en los tamaños de los granos y en partes proporcionales.

2.3.3.4. Aditivos

Como bien se sabe, el hormigón tradicional está compuesto por cemento, áridos y agua, pero hoy en día el uso de nuevos productos llamados “aditivos” ha dado solución a distintas solicitudes surgidas en obras, tales como incrementar la trabajabilidad, incrementar la resistencia, acelerar la ganancia de resistencia temprana, disminuir la permeabilidad, entre otros.

Los aditivos son productos diseñados para diluirse en agua, que se agregan en la etapa de mezclado en porcentajes de hasta un 5 % de la pasta de cemento, con el fin de lograr un cambio en el comportamiento del hormigón en su estado fresco y/o condiciones de trabajo.

Dentro de los tipos de aditivos que podemos encontrar en el mercado, se encuentran los aditivos plastificantes, retardadores, aceleradores, plastificantes y retardadores, plastificantes y aceleradores, superplastificantes, superplastificantes y retardadores e incorporadores de aire.

En la actualidad el uso de aditivos se hace efectivo sólo si es necesario modificar alguna propiedad en el hormigón, además de tener en cuenta los siguientes puntos que son condicionantes en su uso.

- Se debe ejecutar un análisis de costos que respalde su aplicación.
- Corroborar que el producto no tenga consecuencias dañinas en otras propiedades del hormigón.
- Alcanzar el resultado esperado sin necesidad de modificar la dosificación base.

Además de las anteriores condicionantes se debe respetar ciertos requisitos que son normados por la NCh2182.Of1995 – “*Hormigón y mortero – Aditivos – Clasificación y requisitos*”, los cuales deben ser respetados al pie de la letra para no alterar de forma negativa la composición o finalidad del hormigón.

2.4. Evolución de las exigencias de resistencia mecánica del hormigón de pavimentos en Chile

Los requisitos en cuanto a especificaciones generales del hormigón en pavimentos han tenido su evolución a través de la historia, dándose inicio con la primera edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación publicada en el año 1982 en Chile. El propósito en esta primera publicación era poder disponer de un texto convenientemente ordenado que unificara la normativa técnica para el diseño, construcción y conservación de pavimentos urbanos, sirviendo al mismo tiempo como un medio de consulta de carácter general dentro del campo de su aplicación. (Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, 1982)

Más tarde en el año 1994, en vista que la primera edición cumplió el objetivo señalado, y que efectivamente ha sido de gran utilidad entre funcionarios técnicos del sector, como también entre los contratistas y constructores que se desempeñan en el campo de esta especialidad, se publicó una segunda edición editada incluyendo nuevas modificaciones, indispensables para estar actualizados debido a los avances que la técnica de pavimentos ha tenido a durante esos años. En esta segunda edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, en la sección 4 sobre “Pavimentos de calzadas de hormigón de cemento hidráulico”, específicamente en el Art. 4.3.2.1. Especificaciones generales, del Art. 4.3.2. Especificaciones del hormigón, se refiere a la resistencia mínima a compresión de proyecto a 28 días, señalando que en calzadas de hormigón esta debe ser $f_c = 30$ MPa o bien 300 Kg/cm², como se muestra en la tabla 1.

REQUISITOS	HORMIGÓN		
	CALZADAS	ACERAS	ARMADO
Resistencia mínima a compresión de proyecto a 28 días f_c (MPa)	30	25	(1)
Resistencia límite inferior a compresión a 28 días f_o (MPa) (2)	$f_c - K2$	$f_c - K2$	$f_c - K2$
Fracción defectuosa, %	20	20	10
Dosis mínima de cemento, (Kg/m ³) (3)	330	330	270
Tamaño máximo del árido (mm)	40	20	(4)
Asentamiento de cono (cm)	<4	3 a 6	5 a 9

Tabla 1: Especificaciones generales del hormigón.

Fuente: Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación año 1994.

- 1) Será definida en las Especificaciones Técnicas Especiales de la obra.
- 2) Véase valor “k2” en tabla 4.17. (Edición 1994 del Código).

- 3) La dosis mínima corresponde a cemento de resistencia corriente. Si se emplea cemento de alta resistencia, la dosis puede rebajarse hasta un 10 %, siempre que se obtenga la resistencia especificada. La dosis mínima se establece para fabricación “in – situ”.
- 4) Véase 4.3.3.3. (Edición 1994 del Código).

Desde el año 1994 hasta el año 2008, fue fundamental poner al día nuevamente las técnicas de diseño y construcción de pavimentos debido a las nuevas tecnologías y procedimientos que surgieron hasta el año 2008. Por ello, surgió la necesidad de publicar una tercera edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, consiguiendo que el diseño y construcción de obras de pavimentación, vayan de la mano con el Estado del Arte de la Ingeniería y Construcción de ese año. En esta tercera edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, en la sección 4 sobre “Pavimentos de hormigón”, específicamente en el Art. 4.3.2. Especificaciones del hormigón, del Art. 4.3. Dosificación del hormigón, se refiere a la mínima resistencia especificada a compresión a 28 días, señalando que en calzadas de hormigón esta debe ser $f_c = 35$ MPa o bien 350 Kg/cm², como se muestra en la tabla 2.

REQUISITOS	PAVIMENTOS DE HORMIGÓN	
	CALZADAS	ACERAS
Mínima resistencia especificada a compresión a 28 días f_c (MPa) (1)	35	25
Fración defectuosa (%)	20	20
Dosis mínima de cemento (kg/m³) (2)	320	280

Tabla 2: Especificaciones generales del hormigón.

Fuente: Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación año 2008.

- 1) Este valor, es un valor medio y está expresado sobre la base de probetas cúbicas de 20 cm, pero puede ser determinado en probetas cilíndricas o de otras formas geométricas, convirtiéndolo a continuación a cubos de 20 cm, acorde al Anexo A de la NCh. 170 Of.1985. La resistencia a compresión especificada del proyecto, se considera como la resistencia a la flexotracción de diseño del pavimento multiplicada por el valor 7,8.
- 2) El valor de la dosis mínima corresponde al uso de cemento de grado corriente. En caso de emplear un cemento con un grado alto de resistencia, la dosis puede reducirse hasta en un 10 %, cumpliendo necesariamente la resistencia a compresión especificada para el hormigón resultante.
El valor del tamaño máximo del árido, es el mayor posible que cumpla: $D_n \leq 1/3$ del espesor de la losa y que la profundidad del corte sea mayor al tamaño máximo del árido.

El asentamiento de cono del hormigón se determina sobre la base de las necesidades de los equipos y maquinarias que se utilizarán en la construcción del pavimento y que asegure una buena calidad de terminación. De ser requerido, se puede utilizar aditivos incorporadores de aire, sobre todo para equipos con molde deslizando.

Actualmente se encuentra vigente la cuarta edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación publicada el año 2016. En esta edición se han incluido algunas mejoras y rectificaciones a la edición anterior, por ello esta versión del Código no forma una actualización debidamente, sino que se ha enfocado en el perfeccionamiento a la versión 2008. En esta cuarta edición del Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación, en la sección 4 sobre “Pavimentos de hormigón”, específicamente en el Art. 4.3.2.1. Resistencia a compresión del hormigón, del Art. 4.3.2. Especificaciones del hormigón, se refiere al grado especificado a compresión cilíndrica según el tipo de vía es G30 ($f_c = 30$ MPa), como se muestra en la tabla 3.

Tipo de Vía	Resistencia media a la Flexotracción de diseño (MPa) R_{mf}	Grado especificado a compresión cilíndrica, para f_c Fracción defectuosa 20%
Expresa, Troncal y Colectora	5,0	G30
Servicio, Local y Pasajes**	5,0	G30

Tabla 3: Especificaciones para el hormigón de pavimentos.

Fuente: Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación año 2016.

(*) Los valores de f_c han sido obtenidos desde los valores de f_m presentados en la Tabla 4-1, considerando un coeficiente de variación del 10 % y un factor t de student de 0,842, que se usa para más de 30 resultados de ensayos (NCh1998). Para otros valores de f_m y/o cantidad de ensayos a evaluar utilice la expresión $f_c = f_m (1 - t * 0,1)$, donde t es el coeficiente de student. (Edición 2016 del Código).

(**) Para este tipo de vías se permitirá considerar una Resistencia Media a la Flexotracción de Diseño menor a la indicada en la tabla 4-1 pero en ningún caso menor a 4,0 MPa (G25). Se hace presente que los espesores de las cartillas de Diseño (Sección 14) para este tipo de pavimentos, son válidos para los valores ilustrados en la tabla 4-1 por lo tanto el uso de resistencias menores, implicarán justificar los espesores adoptados usando metodologías mecanicistas. (Edición 2016 del Código).

Los valores obtenidos para f_c del hormigón especificado para el proyecto, serán controlados según las indicaciones dadas en 4.8.3.4. (Edición 2016 del Código).

2.5. Métodos de dosificación según ICH

Cuando se habla de dosificaciones de hormigones existen diversos métodos para obtenerla, si bien algunos son mejores que otros, esto dependerá de cierta manera de las condiciones que deba reunir el hormigón deseado, en donde posteriormente el profesional proyectista será el encargado de seleccionar el método de dosificación más adecuado entre los existentes.

Dentro de las fuentes confiables existentes en Chile en cuanto a diseño de hormigón se trate, se encuentra el Instituto del Cemento y Hormigón de Chile (ICH), dicha corporación en apoyo a los profesionales del área ha emitido diversos manuales que promueven el adecuado uso del hormigón en sus distintas aplicaciones. Entre los manuales de interés extraído del ICH y presente en esta memoria se encuentra el “Manual Básico de Construcción en Hormigón”, el cual nos facilita algunos métodos para la determinación de dosificación de hormigón. A continuación, se realiza una breve introducción a los distintos métodos propuestos por el ICH.

2.5.1. Método para dosificación de hormigón del ACI

El método para dosificación de hormigones del American Concrete Institute considera la determinación de las cantidades de los componentes del hormigón mediante tablas empíricas.

La versión que se incluye en el manual, además de las tablas originales del método, introduce dos que constituyen criterios particulares para la determinación del asentamiento del cono y tamaño máximo del árido grueso, por lo que pueden ser variadas de acuerdo a la experiencia propia de quien utilice el método.

Debe señalarse que el método está concebido para dosificar utilizando solamente dos áridos, uno de granulometría fina o arena y otro de granulometría gruesa o grava. (Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, 1997, Manual básico de construcción en hormigón)

En resumen, como se menciona anteriormente este método se caracteriza principalmente por basarse en investigaciones experimentales, por lo que es posible realizar modificaciones de acuerdo a la experiencia del ejecutor a las tablas indicadas anteriormente.

2.5.2. Método de Faury para dosificación de hormigones

El método de Faury para dosificación de hormigones es de tipo granulométrico, es decir determina las proporciones de los áridos en base al mejor ajuste a una curva granulométrica de referencia o ideal, la cual considera la influencia del cemento como un árido más.

La curva de referencia puede ser determinada de acuerdo a las características particulares del elemento en el cual se utiliza el hormigón, para lo cual se utilizan parámetros tabulados. (Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, 1997, Manual básico de construcción en hormigón)

En conclusión, este método se basa en principios granulométricos para estipular las cantidades de los componentes, de manera que el hormigón adquiera las características previas consideradas.

2.5.3. Dosificación de hormigones en base a proporciones fijas estimadas

El método que se describe en las líneas que siguen constituye una simplificación del método del American Concrete Institute en base a valores medios de las características de los cementos y áridos nacionales.

Por este motivo su empleo debe limitarse a obras en que sus características no se aparten sensiblemente de las características medias y preferentemente sean de pequeño volumen de hormigón, no superior a 500 m³, y en las cuales no existan hormigones de calidad superior a H – 20, sin o con débil armadura.

Por las mismas razones anteriores, la aplicación del procedimiento aquí presentado se limita a hormigones que contengan sólo dos áridos, uno fino o arena y un grueso o grava, y a dos tamaños máximos para este último, 1 ½” y ¾”. (Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, 1997, Manual básico de construcción en hormigón)

En resumen, este método simplifica el método utilizado por el ACI adaptándolos a los valores que existen como tendencias en cuando a los cementos y áridos utilizados generalmente en Chile, además se debe tener en consideración que para este tipo de obra es posible la utilización de este método.

CAPÍTULO 3: DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Metodología

Este experimento tiene como propósito realizar un estudio sobre el comportamiento de la resistencia a la compresión de un hormigón de pavimento H – 35, a causa de la modificación de los porcentajes de los áridos que lo componen. La finalidad que tiene este análisis es que alguna de las variaciones realizadas afecte de forma satisfactoria a los requerimientos de resistencia del hormigón, de ser así, se considerará una nueva dosificación para una misma resistencia.

El trabajo que se desempeñó para que este estudio fuese posible fue en primera instancia dosificar un hormigón patrón de pavimentos H – 35. Una vez obtenida la dosificación patrón se dio paso a la modificación del porcentaje de áridos en tres variaciones distintas. De esta manera, se obtenían diversos hormigones que, al efectuarles mediciones de docilidad, densidad y resistencia, se desarrollaba un análisis comparativo para realizar las conclusiones pertinentes que permitan determinar las variaciones más favorables para el estudio.

La metodología que se empleó para realizar el estudio experimental es el que se describe a continuación. En primera instancia se elaboró un hormigón de pavimentos patrón de acuerdo a la NCh170.Of2009 y según la dosificación Faury – Joisel considerando un cemento grado corriente y sin añadir ningún tipo de aditivo a la mezcla. Luego de confeccionada la mezcla patrón, se utilizó esta dosificación como base para la modificación de los áridos tanto de la grava como de la arena respecto de su peso inicial, sus variaciones fueron divididas en franjas y realizadas de la siguiente forma:

Primera franja:

- ✓ 1era dosis experimental : Se disminuyó 5 % de grava, y se aumentó 5 % de arena.
- ✓ 3era dosis experimental : Se disminuyó 10 % de grava, y se aumentó 10 % de arena.
- ✓ 5ta dosis experimental : Se disminuyó 15 % de grava, y se aumentó 15 % de arena.

Segunda franja:

- ✓ 2da dosis experimental : Se aumentó 5 % de grava, y se disminuyó 5 % de arena.
- ✓ 4ta dosis experimental : Se aumentó 10 % de grava, y se disminuyó 10 % de arena.
- ✓ 6ta dosis experimental : Se aumentó 15 % de grava, y se disminuyó 15 % de arena.

Para cada una de estas mezclas incluyendo la patrón se confeccionaron cuatro probetas cúbicas o cilíndricas, de las cuales una era ensayada a los 7 días, una a los 14 días y dos a los 28 días. De esta manera resultaron un total de 28 probetas de hormigón. Importante mencionar que la variación en cuanto a la forma de los moldes a utilizar, fue definida de acuerdo a la disponibilidad de éstos en el laboratorio de la universidad.

3.2. Descripción de los materiales

3.2.1. Áridos

El tipo de árido empleado para la elaboración del hormigón fue arena rodada, y grava chancada (ver ilustración 12).

Los requerimientos normativos, y los ensayos exigidos son los señalados en la NCh163.Of1979. Además, los procedimientos de cada uno de los ensayos llevados a cabo se realizaron de acuerdo a la normativa vigente de cada uno de estos, los cuales se describen y cuantifican a continuación.

Adicionalmente se adjuntan en el anexo A un registro fotográfico de algunos de los procedimientos efectuados en los ensayos.



*Ilustración 12: Áridos empleados.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2.1.1. Extracción y preparación de muestras

Para obtener valores representativos en los ensayos de los áridos a emplear, se determinaron los parámetros según la NCh164.Of2009, la cual nos indica los procedimientos para extraer y preparar muestras representativas para ensayos de los agregados finos y gruesos, naturales o manufacturados de densidad real normal.

Según lo señalado en la norma, se ejecutaron los procedimientos en conjunto con los conocimientos proporcionados por el laboratorista a cargo de la Escuela de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Talca.

3.2.1.2. Tamizado y determinación de la granulometría

La granulometría a pesar de ser uno de los análisis más comunes en los áridos, es el más relevante llevado a cabo. La medición y graduación realizada a los agregados a emplear está en directa relación con las propiedades de manejabilidad del hormigón fresco, los requerimientos de agua, la compactación y la resistencia mecánica del hormigón endurecido.

Para la determinación de una correcta granulometría, se dio paso a los procedimientos establecidos por la NCh165.Of2009, la cual da a conocer los procesos que se deben realizar para el tamizado y la definición de la granulometría de los áridos de densidad real normal. Una vez realizado el ensayo de granulometría, los resultados conseguidos fueron los siguientes (ver tabla 4):

TAMIZ		GRANULOMETRÍA	
mm	US	Grava	Arena
40	1 1/2"	100,00	
25	1"	39,09	
20	3/4"	8,20	
12,5	1/2"	0,39	100,00
10	3/8"	0,34	96,48
5	N°4	0,27	91,31
2,5	N°8		87,85
1,25	N°16		82,59
0,63	N°30		54,46
0,315	N°50		12,15
0,16	N°100		2,23
0,08	N°200		0,05

Tabla 4: Granulometría de los áridos.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.3. Determinación de la densidad aparente

La obtención de la densidad aparente permitirá realizar la conversión de peso a volumen o viceversa del árido a utilizar. Asociada con la densidad real es posible saber el grado de compactación o huecos que dispone el árido.

Para determinar la densidad aparente se desarrollaron los procedimientos establecidos en la NCh1116.Of2008. Los resultados obtenidos una vez realizados los ensayos fueron los siguientes (ver tabla 5):

Árido	Densidad aparente suelta, pas (kg/m ³)
Grava	1520
Arena	1580

*Tabla 5: Densidad aparente.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2.1.4. Determinación del material fino menor que 0,080 mm

Dentro de las variadas razones que perjudican la resistencia mecánica del hormigón se encuentra la arcilla, la cual se sitúa en la superficie de los granos de áridos dificultando la unión entre estos y la pasta de cemento.

Para la determinación del material fino menor que 0,080 mm también conocido como arcilla, se realizaron los procedimientos fijados en la NCh1223.Of1977. Los resultados obtenidos fueron los presentados a continuación (ver tabla 6).

Árido	Material fino menor a 0,080 mm (%)
Arena	2,5

*Tabla 6: Material fino menor a 0,080 mm.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2.1.5. Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua de las gravas

Para dosificar un hormigón es necesario conocer la densidad real y neta, la cual nos permite conseguir los volúmenes compactos del árido. Asociada con la densidad aparente es posible obtener la compacidad del árido. Por otro lado, la absorción presente en los áridos está íntimamente vinculada con la porosidad interna de las partículas de estos, y con la permeabilidad del hormigón.

Para la determinación de las densidades reales y neta se efectuaron los procedimientos fijados en la NCh1117.Of2010. Los resultados conseguidos una vez realizados los ensayos son los siguientes (ver tabla 7):

Determinación de:	Grava
Densidad real saturada superficialmente seca, Dr sss (kg/m ³)	2722
Densidad real seca, Dr s (kg/m ³)	2696
Densidad neta, DN (kg/m ³)	2767
Absorción, α (%)	0,95

Tabla 7: Densidad real y neta, y absorción de la grava.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.6. Determinación de las densidades real y neta, y la absorción de agua de las arenas

Al igual que en el caso de las gravas las densidades real y neta de la arena son necesarias para dosificar un hormigón, y a través de ellas se obtienen las mismas cualidades descritas en el punto anterior.

En caso de las arenas se desarrollaron los procedimientos establecidos en la NCh1239.Of77, la cual nos permite conseguir las densidades reales y neta de ellas. Los resultados arrojados una vez realizados los ensayos son los siguientes (ver tabla 8):

Determinación de:	Arena
Densidad real saturada superficialmente seca, Dr sss (kg/m ³)	2632
Densidad real seca, Dr s (kg/m ³)	2570
Densidad neta, DN (kg/m ³)	2739
Absorción, α (%)	2,40

Tabla 8: Densidad real y neta, y absorción de la arena.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Cemento

El tipo de cemento empleado en la confección de los hormigones fue “Polpaico Especial”, el cual corresponde a la categoría de “Puzolánico, grado corriente” (ver ilustración 13). Las características propias de este cemento se describen en la ficha técnica adjuntada en el anexo B.



*Ilustración 13: Saco de cemento Polpaico Especial.
Fuente: Elaboración propia.*

3.2.3. Agua

El agua utilizada tanto para el amasado como para curado de los hormigones fue agua potable de la red de pozo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Talca. La norma empleada para cumplir con los requisitos reglamentarios del agua, fue la NCh1498.Of2012.

3.3. Dosificación del hormigón

3.3.1. Dosificación del hormigón patrón

Para la obtención de la dosificación patrón de un hormigón H – 35, se ha determinado utilizar un método granulométrico, en este caso se llevará a cabo una dosificación por el método de Faury – Joisel (FJ). Los procedimientos a seguir para este método serán los indicados por el Laboratorio Nacional de Vialidad (LNV), los cuales se adjuntan en el anexo C.

A continuación, se describe la memoria de cálculo realizada para el diseño de un hormigón H – 35.

3.3.1.1. Determinación de la resistencia media

Para la obtención de la resistencia media se debe comenzar de la siguiente forma:

- a. Resistencia de diseño: tenemos que la resistencia característica de proyecto a compresión corresponde a 350 (Kg/cm²) a 28 días.

- b. Para pavimentos, con los equipos utilizados hoy en día, se estima que la confección del hormigón es buena, por consiguiente, la resistencia media de dosificación, según tabla 9, será:

Confección del hormigón	Resistencia media de dosificación a 28 días
Muy buena	$f_p * 1,092$
Buena	$f_p * 1,144$
Regular	$f_p * 1,202$

Tabla 9: Resistencia media de dosificación (f_d).

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

$$f_d = f_p \cdot F_{corr}$$

$$f_d = 35 \cdot 1,144$$

$$f_d = 40,04 \text{ Mpa}$$

$$\text{Conversión: } 1 \text{ Kgf/cm}^2 = 98100 \text{ Pa} = 0,0981 \text{ Mpa}$$

$$f_d = 408,16 \text{ Kgf/cm}^2$$

3.3.1.2. Determinación de la cantidad de cemento por m^3 de hormigón

Se establece el uso de cemento corriente, la cantidad de éste se obtiene del producto de la resistencia de dosificación por el coeficiente empírico (E), el cual se consigue de la tabla 10, luego:

Cemento empleado	"E"
Corriente	1,05
Alta resistencia	0,95

Tabla 10: Coeficientes E.

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

$$C = f_d \cdot E$$

$$C = 408,16 \cdot 1,05$$

$$C = 428,56 \text{ kg/m}^3$$

3.3.1.3. Razón Agua/Cemento

Esta se obtiene directamente de la tabla 11.

Fd 28 días (Mpa)	Razón A/C
41	0,41
35	0,43
31	0,46
26	0,53
23	0,58
18	0,78
14	0,92
13	1,00
Otros valores interpolados	

Tabla 11: Resistencia v/s Razón Agua/Cemento.

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

En este caso para $f_d = 40,04$ Mpa, en primera instancia se procede a realizar la interpolación correspondiente al valor, realizando la siguiente operación (ver tabla 12).

Interpolación Lineal	
$X_0 = 41$	$Y_0 = 0,41$
$X = 40,04$	$Y = ?$
$X_1 = 35$	$Y_1 = 0,43$

Tabla 12: Interpolación lineal.

Fuente: Elaboración propia.

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0)$$

$$y = 0,41 + \frac{0,43 - 0,41}{35 - 41}(40,04 - 41)$$

$$y = 0,4132$$

3.3.1.4. Agua de amasado

Una vez obtenida la razón agua/cemento y la cantidad de cemento se procede a obtener la dosis de agua de amasado de la siguiente manera:

$$R(a/c) = \frac{A}{C}$$

$$0,4132 = \frac{A}{428,56}$$

$$A = 177,08 \text{ (l/m}^3\text{)}$$

3.3.1.5. Determinación de la compacidad (z) y las proporciones de la mezcla (%)

De la tabla 13 se consigue la cantidad de aire ocluido (ha), en función del tamaño máximo nominal del árido (Dn), que en este caso es 40 mm (1 1/2"), lo que resulta un ha = 10 lt. La cantidad de agua, ya calculada anteriormente, es 177,08 lt.

Dn	mm	10	12.5	20	25	40	50	60
	u.s	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Hormigón sin aire incorporado		30	25	20	15	10	5	3
Hormigón con aire incorporado		80	70	60	50	45	40	35

Tabla 13: Contenido de aire según tamaño máximo nominal (l/m³).

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

Luego:

$$Z = 1 - (ha + A)$$

$$Z = 1 - (0,010 + 0,17708)$$

$$Z = 0,813 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el volumen ocupado de los áridos más el cemento, se da lugar al cálculo del porcentaje de cemento considerando 428,56 Kg de cemento:

$$c = \frac{C}{z \cdot psc}$$

$$c = \frac{428,56}{0,813 \cdot 3100} \cdot 100$$

$$c = 17,01\%$$

Por lo tanto, ahora queda por determinar el porcentaje, en volumen absoluto, de la grava (g) y arena (f), para lo cual hacemos uso del gráfico, determinando la curva ideal L definida por:

$$Z = D_n = 40 \text{ mm (1 1/2")}$$

$$Y(D_n/2) = M + N$$

Considerando una consistencia plástica del hormigón, de las tablas 14 y 15 se obtiene:

Consistencia	Compactación	Tipos de partículas		
		Arena rodada	Arena rodada	Arena chancada
		Grava rodada	Grava chancada	Grava chancada
Muy fluida	Nula	32 o más	34 o más	38 o más
Fluida	Débil	30 – 32	32 – 34	36 – 38
Blanda	Medio	28 – 30	30 – 32	34 – 36
Plástica	Cuidadosa	24 – 26	26 – 28	28 – 30
Muy firme de tierra	Potente	24 – 26	25 – 27	26 – 28
Húmedo	Muy potente	22 – 24	24 – 26	26 – 29

Tabla 14: Valores de M.

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

Tamiz		Raíces Quinta	N
mm	Us		
80	3"	2,38	42,36
63	2 1/2"	2,29	40,76
50	2"	2,19	38,98
40	1 1/2"	2,07	36,85
25	1"	1,91	34,00
20	3/4"	1,80	32,04
12,5	1/2"	1,66	29,55
10	3/8"	1,57	27,95

Tabla 15: Valores de N.

Fuente: Laboratorio Nacional de Vialidad.

Luego:

$$Y(20 \text{ mm}) = 28 + 36,85$$

$$Y = 64,85\%$$

Analizando el gráfico de acuerdo al caso C se obtiene (ver ilustración 14):

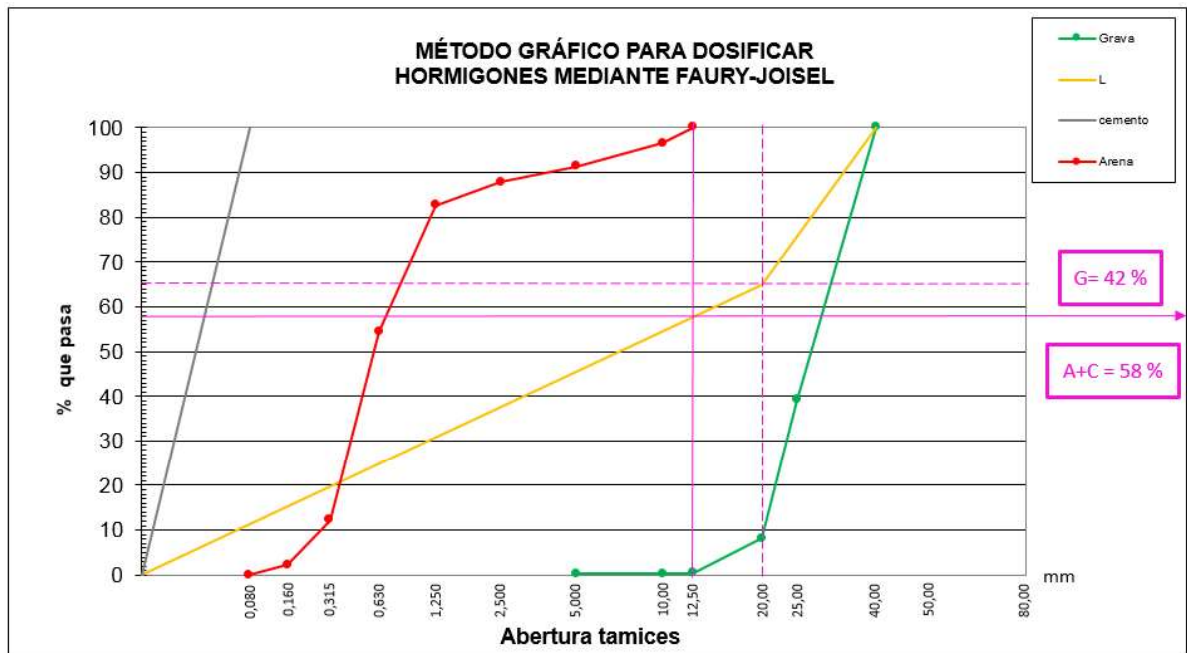


Ilustración 14: Determinación de las proporciones de los áridos.

Fuente: Elaboración propia.

- ✓ Grava (g) = 0,42.
- ✓ Arena + cemento (f + c) = 0,58.

Como sabemos que $c = 0,1701$, se tiene que:

$$f = 0,58 - 0,1701 = 0,41$$

En resumen:

- ✓ grava (g) = 0,42.
- ✓ arena (f) = 0,41.
- ✓ cemento (c) = 0,1701.

Con esto se puede determinar las cantidades en Kg de G, F y C.

$$G = g \cdot z \cdot \rho_{RS} g$$

$$F = f \cdot z \cdot \rho_{RS} f$$

$$C = c \cdot z \cdot \rho_{RS} c$$

Obtenemos:

$$G = 0,42 \cdot 0,813 \cdot 2696 = 920,5 \text{ Kg/m}^3$$

$$F = 0,41 \cdot 0,813 \cdot 2570 = 856,5 \text{ Kg/m}^3$$

$$C = 0,1701 \cdot 0,813 \cdot 3100 = 428,56 \text{ Kg/m}^3$$

3.3.1.6. Determinación del agua de absorción

De acuerdo a los porcentajes de absorción (α) definidos para cada uno de los áridos, se tiene:

$$w_a = G \cdot \alpha_g + F \cdot \alpha_f$$

$$w_a = 920,5 \cdot 0,0095 + 856,5 \cdot 0,024$$

$$w_a = 29,28 \text{ lts}$$

Luego Agua Total = Agua de amasado + agua absorbida (w_a)

$$\text{Agua Total} = 177,08 + 29,28 = 206,36 \text{ lts.}$$

3.3.1.7. Resumen de la dosificación

Ya realizados los cálculos pertinentes para la determinación de las proporciones de los componentes del hormigón establecido, los resultados para 1 m³ de hormigón fueron los adjuntados en la tabla 16.

	Unidad	Cantidad
Razón A/C	-	0,4132
Grava	kg	920,5
Arena	kg	856,5
Cemento	kg	428,6
Agua total	lt	206,36

Tabla 16: Resumen dosificación de hormigón patrón para 1 m³.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante mencionar que la presente dosificación considera áridos en estado seco, por lo que debemos tener presente que los áridos utilizados aportaran cierta humedad a la mezcla dependiendo del acopio y las condiciones en las que son almacenados, por ello antes de iniciar la elaboración del hormigón es pertinente realizar las correcciones correspondientes por humedad de los áridos.

3.4. Confección de los hormigones experimentales

Para una correcta elaboración de las muestras de hormigón, se siguieron los procedimientos establecidos en la norma NCh1018.EOf1977.

Como se mencionó anteriormente, se efectuaron 7 tipos de mezclas diferentes de hormigón, siendo una la dosificación patrón y las otras 6 las dosificaciones experimentales, de las cuales de cada tipo de mezcla se confeccionaron 4 probetas, las que eran ensayadas una a los 7, otra a los 14 y las últimas dos a los 28 días, concluyendo con un total de 28 probetas de hormigón.

3.4.1. Identificación de los hormigones efectuados

Los hormigones elaborados fueron hechos con un tipo de cemento en este caso “Cemento Especial Polpaico”, y con diferentes cantidades de proporciones en cuanto a los áridos considerados. Las dosis tanto de la grava como de la arena aumentaban o disminuían variando entre un 5 % y 15 % respecto de la dosificación patrón establecida de cada uno de estos áridos.

Para el reconocimiento de las probetas de cada uno de los 7 tipos de hormigones realizados, se estableció nombrarlas por las iniciales de la autora de la presente memoria, y por el número de dosificación a la que correspondía. Por lo tanto, la identificación de las probetas fue la siguiente (ver tabla 17):

Dosificación N°	Código de identificación	Variación de dosis de áridos (Ref. al peso de la dosificación patrón)	
		Grava	Arena
Patrón H - 35	KR 35	No rige	No rige
1	KR 1	(-) 5 %	(+) 5 %
2	KR 2	(+) 5 %	(-) 5 %
3	KR 3	(-) 10 %	(+) 10 %
4	KR 4	(+) 10 %	(-) 10 %
5	KR 5	(-) 15 %	(+) 15 %
6	KR 6	(+) 15 %	(-) 15 %

Tabla 17: Identificación de las probetas de hormigón.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Corrección por humedad de la dosificación patrón

Como se mencionó anteriormente los áridos en la dosificación patrón se presentan en estado seco, no representando las condiciones reales de acopio de los materiales las cuales presentan cierta humedad. Por ello antes de iniciar la confección de los hormigones se determinó la humedad presente en ellos. El método empleado para la corrección por humedad de las dosificaciones es el sugerido por el manual básico de construcción en hormigón del ICH, que consistió en lo siguiente:

- ✓ Antes de extraer el material a ensayar se revolvió una zona aproximada de los áridos a utilizar, debido a que estos fueron acopiados en el exterior y la humedad superficial sería distinta a la que está más al interior, de manera que mezclando el material se obtendría una humedad promedio.
- ✓ Una vez mezclada la zona a utilizar se procedió a extraer una muestra de arena y grava (P1), pesándolas inmediatamente.
- ✓ Posteriormente en una paila metálica se colocó a secar a fuego lento tanto la arena como la grava, removiendo el material de manera constante.
- ✓ Se secó el material hasta tener peso constante (P2), previniendo no perder material. El método empleado para saber cuándo retirar el material del fuego fue mediante la utilización de un pequeño vidrio, situando este sobre el material al empañarse se estimaba que aún estaba húmeda la muestra.

El método señalado anteriormente fue realizado solo una vez, debido a que las probetas fueron confeccionadas en un solo día. Una vez desarrollados los procedimientos, los resultados fueron los siguientes (ver tabla 18):

	Unidad	Arena	Grava
Peso húmedo (P1)	gr	1.324,4	4125,3
Peso seco (P2)	gr	1.273,2	4120,0

Tabla 18: Peso húmedo y seco de los áridos.

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la humedad de ambos áridos se utilizó la siguiente expresión:

$$\text{Humedad} = \frac{(P1)\text{Peso Húmedo} - (P2)\text{Peso seco}}{(P2)\text{Peso seco}} \cdot 100$$

Luego obtenemos que (ver tabla 19):

	Humedad (%)
Arena	4,0
Grava	0,1

Tabla 19: Humedad de los áridos.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez determinados los porcentajes de humedad se da paso a realizar las correcciones correspondientes por humedad de los áridos a la dosificación patrón por 1 m³ de hormigón. A continuación, se muestra en la tabla 20 las correcciones por humedad, y en la tabla 21 la dosificación final obtenida tras correcciones.

Material	Humedad de los áridos (%)	Dosificación en peso seco (kg)	Reajuste por humedad de áridos (± kg)	Dosificación en peso corregida por humedad (kg)
Cemento	-	428,56	-	428,56
Agua	-	177,08	-6,35	170,73
Grava	0,1	920,53	0,92	921,45
Arena	4,0	856,55	34,44	890,99

Tabla 20: Correcciones por humedad de los áridos.

Fuente: Elaboración propia.

Material	Unidad	Dosificación corregida por humedad
Cemento	kg	428,56
Agua	lt	170,73
Grava	kg	921,45
Arena	kg	890,99

Tabla 21: Dosificación del hormigón patrón corregida por humedad.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Dosificación por molde

Para determinar de forma eficiente las dosificaciones por amasada de los hormigones, en primera instancia se calcularon las dosificaciones por probeta debido a la variedad de moldes utilizados. Por ello una vez determinada la dosificación patrón corregida de 1 m³ de hormigón, se estiman las dosificaciones por probeta según el volumen de cada molde.

3.4.3.1. Molde de probeta cúbica de 15 x 15 cm

Se considera una probeta cúbica de 15 x 15 cm, por lo tanto, se obtiene un volumen de 0,003375 m³. Determinando la siguiente dosificación (ver tabla 22):

Material	Unidad	Dosificación por probeta
Cemento	kg	1,45
Agua	lt	0,58
Grava	kg	3,11
Arena	kg	3,01

Tabla 22: Dosificación de hormigón patrón en probeta de 15 x 15 cm.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2. Molde de probeta cúbica de 20 x 20 cm

Se considera una probeta cúbica de 20 x 20 cm, por lo tanto, se obtiene un volumen de 0,008 m³. Determinando la siguiente dosificación (ver tabla 23):

Material	Unidad	Dosificación por probeta
Cemento	kg	3,43
Agua	lt	1,37
Grava	kg	7,37
Arena	kg	7,13

Tabla 23: Dosificación de hormigón patrón en probeta de 20 x 20 cm.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.3. Molde de probeta cilíndrica de 15 x 30 cm

Se considera una probeta cilíndrica de 15 x 30 cm, por lo tanto, se obtiene un volumen aproximado de 0,0053 m³. Determinando la siguiente dosificación (ver tabla 24):

Material	Unidad	Dosificación por probeta
Cemento	kg	2,27
Agua	lt	0,91
Grava	kg	4,89
Arena	kg	4,72

Tabla 24: Dosificación de hormigón patrón en probeta de 15 x 30 cm.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Dosificación por amasada

Una vez cuantificada la dosificación de cada probeta según el tipo de molde el siguiente paso efectuado fue tener en consideración el número de probetas a confeccionar, el tipo de molde a utilizar para cada hormigón (ver tabla 25), y cantidad considerada como pérdida de cada amasada. Luego se procedió a estimar la dosificación por amasada.

Dosificación N°	Medidas probetas			
	7 días	14 días	28 días	
Patrón	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)
1	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)
2	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (15x15x15 cm)
3	Cúbica (15x15x15 cm)	Cilíndrica (15x30 cm)	Cilíndrica (15x30 cm)	Cilíndrica (15x30 cm)
4	Cúbica (15x15x15 cm)	Cilíndrica (15x30 cm)	Cilíndrica (15x30 cm)	Cilíndrica (15x30 cm)
5	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (20x20x20 cm)	Cúbica (20x20x20 cm)	Cúbica (20x20x20 cm)
6	Cúbica (15x15x15 cm)	Cúbica (20x20x20 cm)	Cúbica (20x20x20 cm)	Cúbica (20x20x20 cm)

Tabla 25: Medidas de probetas para cada dosificación.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.1. Dosificación patrón H – 35

Para la dosificación patrón H – 35 se consideró la confección de 4 probetas cúbicas de 15 x 15 cm, además se estimó 1 probeta extra como pérdida por la amasada. En resumen, se determinan 5 probetas cúbicas de 15 x 15 cm por amasada. Obteniendo la siguiente tabla 26:

Material	Unidad	Dosificación por probeta	Porcentaje considerado (%)	Dosificación teórica de amasada
Cemento	kg	1,45	100	7,23
Agua	lt	0,58	100	2,88
Grava	kg	3,11	100	15,55
Arena	kg	3,01	100	15,04

Tabla 26: Amasada dosificación hormigón patrón.

Fuente: Elaboración propia.

En base a la dosificación teórica por amasada estimada se procedió a confeccionar la mezcla del hormigón patrón, observando in situ que la amasada presentaba una apariencia muy seca, por lo que se determinó ajustar el agua de amasado agregando 220 ml (ver tabla 27). Por consiguiente, se reajustaron todas las dosificaciones de los hormigones experimentales de acuerdo al porcentaje agregado extra en la dosificación patrón.

Material	Unidad	Dosificación por probeta	Porcentaje considerado (%)	Dosificación teórica de amasada	Reajuste in situ de humedad	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	1,45	100	7,23	-	7,23
Agua	lt	0,58	100	2,88	0,22	3,10
Grava	kg	3,11	100	15,55	-	15,55
Arena	kg	3,01	100	15,04	-	15,04

Tabla 27: Amasada dosificación patrón molde 15 x15 cm.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.2. Dosificación experimental N°1

De la amasada de la dosificación patrón (ver tabla 27) se determinó la dosificación experimental N°1. De igual forma se aplicaron las mismas las condiciones de la dosificación patrón en cuanto a probetas a confeccionar, probetas consideradas por amasada y el reajuste de agua hecho in situ, obteniendo la dosificación experimental N°1 que se muestra a continuación (ver tabla 28).

Material	Unidad	Dosificación base por amasada	Porcentaje considerado (%)	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	7,23	100	7,23
Agua	lt	3,10	100	3,10
Grava	kg	15,55	95	14,77
Arena	kg	15,04	105	15,79

Tabla 28: Amasada dosificación experimental N°1.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.3. Dosificación experimental N°2

De la amasada de la dosificación patrón (ver tabla 27) se determinó la dosificación experimental N°2. De igual forma se aplicaron las mismas las condiciones de la dosificación patrón en cuanto a probetas a confeccionar, probetas consideradas por amasada y el reajuste de agua hecho in situ, obteniendo la dosificación experimental N°2 que se muestra a continuación (ver tabla 29).

Material	Unidad	Dosificación base por amasada	Porcentaje considerado (%)	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	7,23	100	7,23
Agua	lt	3,10	100	3,10
Grava	kg	15,55	105	16,33
Arena	kg	15,04	95	14,28

Tabla 29: Amasada dosificación experimental N°2.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.4. Dosificación experimental N°3

Para la dosificación experimental N°3 se estimó en primera instancia la dosificación patrón H – 35 considerando la confección de 4 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm, además se estimó 1 probeta extra como pérdida por la amasada. En resumen, se determinan 5 probetas cilíndricas de 15 x 30 cm por amasada, obteniendo los siguientes resultados (ver tabla 30):

Material	Unidad	Dosificación por probeta	Porcentaje considerado (%)	Dosificación teórica de amasada	Reajuste in situ de humedad	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	2,27	100	11,36	-	11,36
Agua	lt	0,91	100	4,53	0,344	4,87
Grava	kg	4,89	100	24,43	-	24,43
Arena	kg	4,72	100	23,62	-	23,62

Tabla 30: Amasada dosificación patrón molde 15 x 30 cm.

Fuente: Elaboración propia.

De la amasada de la dosificación patrón (ver tabla 30) se determinó la dosificación experimental N°3. De igual forma se aplicaron las mismas las condiciones de la dosificación patrón en cuanto a probetas a confeccionar, probetas consideradas por amasada y el reajuste de agua hecho in situ, consiguiendo la dosificación experimental N°3 que se muestra a continuación (ver tabla 31).

Material	Unidad	Dosificación base por amasada	Porcentaje considerado (%)	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	11,36	100	11,36
Agua	lt	4,87	100	4,87
Grava	kg	24,43	90	21,98
Arena	kg	23,62	110	25,98

Tabla 31: Amasada dosificación experimental N°3.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.5. Dosificación experimental N°4

De la amasada de la dosificación patrón (ver tabla 30) se determinó la dosificación experimental N°4. De igual forma se aplicaron las mismas las condiciones de la dosificación patrón en cuanto a probetas a confeccionar, probetas consideradas por amasada y el reajuste de agua hecho in situ, logrando la dosificación experimental N°4 que se muestra a continuación (ver tabla 32).

Material	Unidad	Dosificación base por amasada	Porcentaje considerado (%)	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	11,36	100	11,36
Agua	lt	4,87	100	4,87
Grava	kg	24,43	110	26,87
Arena	kg	23,62	90	21,26

Tabla 32: Amasada dosificación experimental N°4.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.6. Dosificación experimental N°5

Para la dosificación experimental N°5 se estimó en primera instancia la dosificación patrón H – 35 considerando la confección de 4 probetas cúbicas de 20 x 20 cm, además se estimó 1 probeta extra como pérdida por la amasada. En resumen, se determinan 5 probetas cúbicas de 20 x 20 cm por amasada, obteniendo los siguientes resultados (ver tabla 33):

Material	Unidad	Dosificación por probeta	Porcentaje considerado (%)	Dosificación teórica de amasada	Reajuste in situ de humedad	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	3,43	100	17,14	-	17,14
Agua	lt	1,37	100	6,83	0,52	7,35
Grava	kg	7,37	100	36,86	-	36,86
Arena	kg	7,13	100	35,64	-	35,64

Tabla 33: Amasada dosificación patrón molde 20 x 20 cm.

Fuente: Elaboración propia.

De la amasada de la dosificación patrón (ver tabla 33) se determinó la dosificación experimental N°5. De igual forma se aplicaron las mismas condiciones de la dosificación patrón en cuanto a probetas a confeccionar, probetas consideradas por amasada y el reajuste de agua hecho in situ, consiguiendo la dosificación experimental N°5 que se muestra a continuación (ver tabla 34).

Material	Unidad	Dosificación base por amasada	Porcentaje considerado (%)	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	17,14	100	17,14
Agua	lt	7,35	100	7,35
Grava	kg	36,86	85	31,33
Arena	kg	35,64	115	40,99

Tabla 34: Amasada dosificación experimental N°5.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.7. Dosificación experimental N°6

De la amasada de la dosificación patrón (ver tabla 33) se determinó la dosificación experimental N°6. De igual forma se aplicaron las mismas las condiciones de la dosificación patrón en cuanto a probetas a confeccionar, probetas consideradas por amasada y el reajuste de agua hecho in situ, obteniendo la dosificación experimental N°6 que se muestra a continuación (ver tabla 35).

Material	Unidad	Dosificación base por amasada	Porcentaje considerado (%)	Dosificación final de amasada
Cemento	kg	17,14	100	17,14
Agua	lt	7,35	100	7,35
Grava	kg	36,86	115	42,39
Arena	kg	35,64	85	30,29

Tabla 35: Amasada dosificación experimental N°6.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4.8. Resumen de dosificaciones de amasadas

En resumen, las dosificaciones de amasadas finales corregidas tanto por humedad como por ajuste in situ de los hormigones, son las que se muestran en la tabla 36.

Dosificación N°	Proporciones de los componentes			
	Cemento	Agua	Áridos	
	(kg)	(lt)	Grava (kg)	Arena (kg)
Patrón (15x15)	7,23	3,10	15,55	15,04
1	7,23	3,10	14,77	15,79
2	7,23	3,10	16,33	14,28
Patrón (15x30)	11,36	4,87	24,43	23,62
3	11,36	4,87	21,98	25,98
4	11,36	4,87	26,87	21,26
Patrón (20X20)	17,14	7,35	36,86	35,64
5	17,14	7,35	31,33	40,99
6	17,14	7,35	42,39	30,29

Tabla 36: Resumen de dosificaciones de amasadas.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.5. Mezclado de los hormigones

Para los procedimientos de mezclado se siguieron los indicados en la NCh170.Of2009, por ende, se consideró un mezclado mecánico utilizando una betonera tipo trompo de eje diagonal y de capacidad efectiva de 100 lts.

Para dar a conocer en detalle los procedimientos efectuados en el mezclado de los hormigones, a continuación, se definen los pasos ejecutados:

- a. Como se muestra en la ilustración 15, en primer lugar, se realizó el pesaje pertinente de cada uno de los componentes a utilizar teniendo en consideración las tolerancias indicadas en la norma.



Ilustración 15: Pesaje de grava.

Fuente: Elaboración propia.

- b. Una vez pesados los materiales, se da inicio a la hidratación (ver ilustración 16) del tambor de la betonera, evitando que este absorba tanto la humedad de los materiales como el agua de amasado del hormigón.



Ilustración 16: Tambor de betonera hidratado.

Fuente: Elaboración propia.

- c. Luego se da comienzo con la incorporación de los componentes en primer lugar se agregó $\frac{3}{4}$ partes del agua de amasado, posteriormente la grava, la arena, el cemento, y finalmente el agua que resta. Una vez incorporados todos los materiales a la betonera, se inicia el tiempo

de mezclado considerando aproximadamente 5 minutos, visualizando una mezcla homogénea como se muestra en la ilustración 17.



*Ilustración 17: Descarga de mezcla en carretilla.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.6. Transporte de los hormigones

Tal como se menciona en la NCh170.Of2009 se considera la utilización de una carretilla de aproximadamente 90 litros, que cumple con la normativa ya que es un equipo estanco, metálico, resistente, no absorbente y químicamente inerte con los componentes del hormigón.

Para el transporte de la mezcla como primer paso, se humedeció la carretilla (ver ilustración 18) evitando la absorción de la humedad del hormigón descargado en ella. Luego se estimó un tiempo de transporte de aproximadamente 7 minutos hasta la colocación en los moldes.



*Ilustración 18: Carretilla hidratada.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.7. Confección y curado de probetas

Para seguir un correcto procedimiento en la confección y curado en obra de las probetas de hormigón en fresco se emplearon las indicaciones establecidas en la NCh1017.Of2009, las cuales son dirigidas a ensayos a compresión.

3.4.7.1. Moldeado de probetas

✓ Preparación del lugar de moldeado

Antes del moldeado se preparó una base de apoyo con material fino “arena”, se tuvo cuidado que este lugar quedase perfectamente nivelado y protegido (ver ilustración 19). Además de utilizar este lugar para el moldeado de las probetas, también sirvió para el curado inicial de estas.



*Ilustración 19: Cama de arena nivelada.
Fuente: Elaboración propia.*

✓ Colocación del hormigón en los moldes

Previo al llenado de los moldes se realizó la correcta preparación de estos, rectificando los siguientes puntos:

- Que las dimensiones interiores de los moldes cumplieren con lo normado.
- Que las superficies de los moldes en contacto con el hormigón estuviesen totalmente limpias.
- Posterior a la limpieza, que las caras interiores contaran con desmoldante suficiente para evitar la adherencia del hormigón en las paredes (ver ilustración 20).

Una vez corroborada la correcta preparación de los moldes se procedió al llenado de estos, vaciando cuidadosamente el hormigón teniendo precaución que no se produjera segregación (ver ilustración 20). Además, es importante mencionar que, para el llenado de los moldes, se consideró una capa para los moldes cúbicos, y dos capas de igual espesor en el caso de los cilíndricos según lo establecido en la norma, considerando vibrado interno.



Ilustración 20: Molde con desmoldante, y posteriormente llenado.

Fuente: Elaboración propia.

✓ Compactación

Como se menciona anteriormente, se estableció una compactación por vibrado interno, dado que las mezclas de hormigón en fresco resultaban con un asentamiento del cono menor a 5 cm debiéndose efectuar un procedimiento de compactación por vibrado.

Iniciado el proceso de compactación, se realizó la penetración o inserción del vibrador en la zona central de los moldes, cuidando que sea introducido de manera vertical (ver ilustración 21). Para los moldes que fueron llenados en una sola capa se debía tener precaución que el vibrado fuese

introducido hasta aproximadamente 2 cm del fondo, y para el caso de los moldes que fueron llenados en dos capas, la primera de ellas se realizó el mismo procedimiento descrito en el caso anterior, pero para la segunda capa la inserción debía sobrepasar aproximadamente 2 cm la capa inferior. En general se tuvo cuidado que el vibrador no tocara las paredes ni el fondo del molde.

El retiro del vibrador se realiza lo más lento posible hasta que se observe que una delgada capa de lechada cubra la superficie.



Ilustración 21: Vibrado de hormigón.

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Terminación superficial de las probetas**

Finalizada la compactación de las probetas con la ayuda de una varilla – pisón sobre la superficie del hormigón se realizaron movimientos de aserrado obteniendo el enrase, dicho movimiento se ejecutó de manera cuidadosa evitando la separación del mortero con la grava. Posterior al enrase se dio alisado superficial con una llana (ver ilustración 22), para finalmente marcar las probetas con una leyenda identificatoria.



*Ilustración 22: Alisado de superficie hormigón.
Fuente: Elaboración propia.*

3.4.7.2. Curado

✓ Curado inicial

Para dar el curado inicial del hormigón, se procedió a cubrir la superficie de este con láminas de material impermeable. En este caso se usó polietileno, se protegieron los moldes y probetas por todos sus alrededores con material de desecho de otras probetas ensayadas hasta el día de descimbre de estas. El curado inicial se realizó desde el instante mismo del moldeado previniendo así la evaporación del agua, y logrando que se mantuviera una temperatura óptima para las probetas, la que era aproximadamente entre 16 °C y 27 °C.

✓ Desmolde de las probetas

Para el descimbre de las probetas, tal como se menciona en la norma, se respetaron los tiempos mínimos recomendados, y que las condiciones de endurecimiento del hormigón permitan el desmolde sin que se cause daño a las probetas (ver ilustración 23). Teniendo en consideración lo anterior, se dio inicio al desmolde de probetas aproximadamente 4 días o 96 horas después.



Ilustración 23: Descimbre de probetas.

Fuente: Elaboración propia.

✓ Curado final de probetas

Ya desmoldadas las probetas, fueron trasladadas inmediatamente a la piscina de curado donde se mantuvieron sumergidas en agua saturada en cal, y con una temperatura de aproximadamente entre 17 °C y 23 °C (ver ilustración 24).



Ilustración 24: Piscina de curado con agua saturada en cal.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4: ENSAYOS Y RESULTADOS

4.1. Ensayo de docilidad

Cuando se habla de docilidad nos referimos a la facilidad del hormigón fresco para ser transportado, colocado y compactado sin que se produzca segregación, por ello la obtención de dicha docilidad nos permitirá determinar el método de compactación más apropiado para el hormigón confeccionado, además de su comportamiento. Los procedimientos realizados para desarrollar este ensayo de docilidad fueron los señalados en la NCh1019.Of2009, cuyo método empleado fue el asentamiento del cono de Abrams.

4.1.1. Aparatos

Los aparatos utilizados en el desarrollo de este ensayo fueron los proporcionados por la Escuela de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Talca, a los cuales se les hizo la rectificación correspondiente si cumplían con las condiciones exigidas en la NCh1019.Of2009. A continuación, se hace una breve descripción de los aparatos utilizados.

✓ **Molde**

El molde o cono de Abrams consiste en un tronco cónico metálico, con ambas extremidades abiertas siendo la base más ancha que la parte superior, además presenta una superficie interior lisa libre de reborde y abolladuras. Sus medidas internas son las siguientes: su diámetro de la parte superior y base son 100 mm y 200 mm respectivamente, altura de 300 mm y se aprueban tolerancias de $\pm 3,0$ mm en sus dimensiones. El cono incluye dos pisaderas en su parte inferior y dos asas en el tercio superior de su altura.

✓ **Varilla – pisón**

Es una vara de acero de forma cilíndrica, recta y lisa, con extremidades semiesféricas. Y sus medidas tanto de longitud como de diámetro son 600 mm y 16 mm respectivamente.

✓ **Placa base**

Consiste en una placa de forma rectangular y se caracteriza por ser plana, lisa, rígida y la materialidad que está conformada no debe ser absorbente. Sus medidas mínimas son 400 mm x 600 mm.

✓ **Poruña de llenado**

Es una herramienta manual metálica, en la cual su sección como sus dimensiones permiten el vaciado de su contenido en el molde.

✓ **Regla o huincha metálica**

Es una herramienta manual que consiste en una cinta graduada en milímetros (mm), en donde en uno de sus extremos debe comenzar con el punto 0, y el otro extremo debe finalizar con un punto mínimo de 300 mm, lo que corresponde a la longitud de la cinta.

4.1.2. Procedimiento

A grandes rasgos, podemos mencionar que este método consiste en extraer una muestra de cierto tamaño de hormigón fresco, posteriormente es depositada y compactada en tres capas en un molde normado con forma de tronco cónico también llamado “cono de Abrams” (ver imagen 25). El cono es elevado cuidadosamente permitiendo que el hormigón se asiente para luego medir el asentamiento el cual corresponde a la distancia vertical entre la altura del cono y la posición de la muestra asentada (ver imagen 26).



Ilustración 25: Llenado del cono en tres capas.

Fuente: <http://hormigonessistemasconstructivosuce.blogspot.com/2014/12/ensayo-cono-abrams.html>

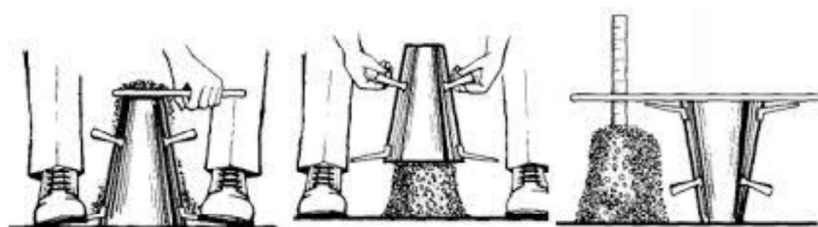


Ilustración 26: Medición del asentamiento del hormigón.

Fuente: <http://hormigonessistemasconstructivosuce.blogspot.com/2014/12/ensayo-cono-abrams.html>

Ya finalizado el proceso de amasado de la mezcla se da inicio a la descarga del material en la carretilla para posteriormente realizar el cono de Abrams al hormigón fresco.

El tamaño de la muestra de hormigón fresco a extraer como se menciona en la NCh171.Of1975 fue mayor a una y media vez el volumen necesario para efectuar el ensayo, en este caso la muestra sacada fue del total de la amasada.

Los procedimientos descritos a continuación, quedaron respaldados con un registro fotográfico adjuntado en el anexo D sobre el ensayo de docilidad.

✓ **Condiciones previas**

Previo a la instalación de los instrumentos, se procedió a la limpieza y humectación con agua tanto de la placa base como del molde cónico. Luego se realizó la instalación de la plancha de apoyo en una superficie nivelada y libre de vibraciones. Posteriormente, se situó el molde cónico sobre esta.

✓ **Afianzamiento y llenado de molde**

Listas las condiciones previas el memorista se posicionó sobre las pisaderas del molde de manera estable evitando el movimiento. Luego se dio comienzo al ensayo iniciando con el llenado del molde en tres capas de aproximadamente igual volumen, siendo la primera y segunda capa aproximadamente de 6 cm y 15 cm respectivamente desde la base.

✓ **Apisonado de capas**

En el apisonado de las capas, cada una de ellas recibió un total de 25 golpes aplicados con la varilla – pisón. La capa inferior en primera instancia recibió la mitad de los golpes por el perímetro interior con la varilla levemente inclinada, y los golpes restantes fueron efectuados con la varilla vertical de manera espiral aproximándose al centro. Para el apisonado de la capa media se dieron los golpes de manera que la varilla penetre la capa inferior. Finalmente, para la capa superior se proporcionaron los golpes indicados siempre manteniendo un exceso de hormigón sobre el borde superior del molde.

✓ **Enrase de la superficie**

Una vez finalizado el apisonado de las capas se dio inicio al enrase de la superficie. Con la ayuda de la varilla – pisón se realizaron movimientos de aserrado y rotación en el borde superior del molde.

Luego del enrase, se limpió los excesos de hormigón situados cerca del molde, de modo de dejar toda el área libre para el asentamiento del hormigón.

✓ **Levantamiento del molde**

Terminado el enrase se colocó las manos de manera firme sobre las asas del molde para su posterior levantamiento. Se procedió a levantar suavemente el molde en un tiempo aproximado de 5 segundos cuidando que el levantamiento fuese vertical y no topase el hormigón para no alterar resultados.

✓ **Medición de asentamiento**

Extraído el molde se colocó de forma invertida cerca del hormigón asentado, y se posicionó en el eje central del molde la varilla – pisón. Luego se dio inicio a la medición del asentamiento siendo la disminución de hormigón, o bien la distancia que existe entre la altura del cono y la posición de la muestra asentada.

4.1.3. Resultados

Una vez medidos los asentamientos estos fueron registrados, los cuales se dan a conocer en la siguiente tabla 37:

Dosificación N°	Asentamiento (cm)
Patrón	2,00
1	2,00
2	3,00
3	2,00
4	4,00
5	3,00
6	6,00

Tabla 37: Asentamientos de hormigones.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Ensayo de compresión

Previo al ensayo de compresión, es necesario rectificar que las caras de las probetas en contacto con la máquina de ensayo cumplan con las condiciones de planeidad y/o paralelismo, para realizar un ensayo con resultados efectivos. En el caso que las probetas no cumplan con dichas condiciones se debe proceder a realizar el refrentado.

En cuanto a las probetas cúbicas elaboradas no hubo problemas de planeidad y/o paralelismo, en el caso de los cilindros confeccionados al estar la cara de llenado en contacto con la máquina de ensayo, y por ser la cara más desfavorable se le realizó el refrentado correspondiente.

4.2.1. Refrentado de probetas

Los procedimientos efectuados para el refrentado son los señalados en la NCh1172.Of2010, cuyas indicaciones fueron realizadas para probetas desmoldadas, y con la utilización de pasta de azufre como material de refrentado. A continuación, se describen los pasos realizados en el refrentado de las probetas cilíndricas.

Además, en el anexo E se incluye un registro fotográfico de los procedimientos realizados al momento del refrentado de las probetas cilíndricas.

✓ Preparación de las probetas

Se dio inicio al limpiado de la cara de llenado retirando todo el material que sea perjudicial para la adherencia del refrentado. Posteriormente se realizaron las mediciones correspondientes para rectificar que la diferencia entre el punto más alto y el más bajo de la superficie de la cara de llenado no fuese mayor a 3 mm.

✓ Preparación del mortero de azufre

Se procedió a elaborar la pasta de azufre mediante la incorporación de azufre y arena a la marmita azufrera, manteniendo una temperatura de aproximadamente 130 °C hasta lograr una mezcla homogénea.

✓ **Procedimiento de colocación del mortero de azufre**

Se dio inicio al refrentado con la limpieza y aplicación de desmoldante sobre la placa base para evitar la adherencia del mortero de azufre en el instrumento. Previo al llenado de la placa con el material se revolvió la mezcla para obtener la homogeneidad correspondiente. Posteriormente al mezclado se aplicó con un cucharón una cantidad de mortero de azufre suficiente para cubrir los extremos de la probeta en la superficie de la placa base, y de forma inmediata se situó la probeta sobre esta de manera que quedase alineada con la ayuda de las guías del aparato alineador vertical y el operador.

Una vez endurecido el mortero de azufre, la probeta fue retirada de la placa base para su posterior inspección de la capa. La inspección consistió en lo siguiente, con el mango de una espátula se dieron golpes a la capa de refrentado verificando la adherencia a la probeta, se rectificó que la diferencia entre el punto más alto y el más bajo de la superficie de la cara de llenado no fuese mayor a 3 mm, además de comprobó que la capa de refrentado fuese menor a 5 mm.

4.2.2. Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas

Los procedimientos realizados para el desarrollo de este ensayo fueron los señalados en la NCh1037.Of2009, los cuales son ejecutados para efectuar el ensayo a rotura por compresión de probetas tanto cúbicas como cilíndricas de hormigón endurecido.

4.2.2.1. Aparatos

✓ **Prensa de ensayo**

La prensa a utilizar fue la proporcionada por la Escuela de Ingeniería en Construcción de la Universidad de Talca, la cual debió reunir ciertas condiciones mencionadas en la norma anteriormente nombrada, y que consisten en los siguiente:

- Cumplir con la rigidez necesaria para soportar los esfuerzos aplicados a los ensayos, teniendo en cuenta que las tensiones sean empleadas de forma uniforme en la probeta.
- Poseer un sistema de rótula en donde quedar alineados el eje de la probeta con la resultante de la carga empleada.
- Siempre verificar que las caras de las placas que quedan en contacto con la probeta al ser aplicada la carga, se presenten lisas y planas, aceptando una desviación máxima de 0,015 mm en 100 mm de planitud desde cualquier dirección.

- La distancia del diámetro de la placa de carga siempre debe ser superior o igual que la arista o diámetro de la probeta.
- Exige una sensibilidad de la prensa tal que la menor división de la escala de lectura sea inferior o igual que 1 % de la carga máxima.
- Debe poseer una exactitud con rangos de aceptación de error de ± 1 % de la carga.
- Se debe verificar si la prensa cuenta con la calibración vigente correspondiente.
- Posee un sistema de regulación de la velocidad de aplicación de carga.

✓ **Pie de metro**

Verificar su graduación en milímetros (mm), y que su longitud de medición sea suficiente para medir de una sola vez la probeta.

✓ **Balanza**

Rectificar si su capacidad es superior o igual que 25 kg, y una tolerancia de precisión mayor o igual que 0,1 % de la masada.

4.2.2.2. Procedimiento

El primer paso ejecutado fue retirar cuidadosamente las probetas de la piscina de curado, protegiéndolas de cualquier golpe y de la pérdida de humedad, ya que son ensayadas en estado húmedo. Posteriormente se realizó una limpieza superficial retirando agua y cualquier otro factor que modificará la planeidad de la probeta.

Luego se procedió a realizar las mediciones correspondientes tanto la masa como las dimensiones de las probetas. En el caso de las probetas cúbicas se registraron sus cuatro anchos (a_1 , a_2 , b_1 y b_2) en eje horizontal de estas, y sus cuatro alturas (h_1 , h_2 , h_3 y h_4) en el eje vertical (ver anexo F). En las probetas cilíndricas se registraron dos diámetros perpendiculares entre sí (d_1 y d_2) a la mitad de la altura de la probeta, y luego se midieron dos alturas en dos generatrices opuestas (h_1 y h_2) (ver anexo F). Para el pesaje de las probetas estas fueron colocadas sobre la balanza, y luego se registró sus masas.

Ya registrados los datos necesarios se verificó la limpieza de la superficie de las placas, para luego situar las probetas sobre la placa inferior y alineando el eje central de estas con el centro de la placa. En el caso de las probetas cúbicas al momento de ubicarlas en la placa se preocupó que la cara de

llenado de las probetas quedase perpendicular a la placa inferior, por otro lado, en las probetas cilíndricas la cara de llenado ya refrentada queda en contacto con cualquier de las dos placas.

Posteriormente, se asentó lentamente la placa superior sobre la probeta dejándola uniformemente apoyada. El siguiente paso fue ingresar a la prensa los datos correspondientes tales como dimensiones, masa, velocidad deseada de 0,20 MPa/s y edad de la probeta para luego dar inicio al proceso. Finalmente se espera hasta alcanzar la rotura de la probeta, y registrar la carga máxima aplicada.

Adicionalmente se adjunta en el anexo G un registro fotográfico de los procedimientos realizados al momento de efectuar los ensayos a compresión.

4.2.2.3. Expresión de los resultados

✓ Resistencia a la compresión

Una vez obtenidos los datos de las cargas máximas aplicadas por probetas se da inicio a la determinación de la resistencia a la compresión. Los cálculos realizados fueron efectuados de acuerdo a lo señalado en la NCh1017.Of2009, obteniendo la resistencia a la compresión (R), expresada en MPa, con la siguiente expresión:

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

Siendo:

R = Tensión de rotura, expresada en megapascales (MPa);

P = Carga máxima aplicada por la máquina de ensayo, expresada en Newton (N);

S = Sección de ensayo, expresada en milímetros cuadrados (mm²).

Cálculo de “S”

Para determinar la sección de ensayo (S), se ocuparon las siguientes expresiones:

Para probetas cúbicas (ver anexo F):

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

Para probetas cilíndricas (ver anexo F):

$$S = 0,196(d_1 + d_2)^2$$

✓ Densidad aparente

Para la determinación de la densidad aparente se empleó la siguiente expresión:

$$\text{Densidad aparente} = \frac{m}{V}$$

Siendo:

m = Masa de la probeta, cúbica o cilíndrica, inmediatamente antes del ensayo o refrentada, expresada en kilogramos (kg);

V = Volumen de la probeta, cúbica o cilíndrica, expresada en metros cúbicos (m³).

Cálculo de “V”

Para obtener el volumen (V) de la probeta se utilizó la siguiente ecuación:

$$V = S \cdot h$$

Siendo:

S = Sección de ensayo, expresada en milímetros cuadrados (mm²);

h = Altura promedio, expresada en milímetros (mm).

4.2.2.4. Resultados

Las dimensiones de las probetas cúbicas ($a_1, a_2, b_1, b_2, h_1, h_2, h_3$ y h_4), y cilíndricas (d_1, d_2, h_1 y h_2) se adjuntan en el anexo H. En dicho anexo se determinaron los promedios de los anchos, diámetros, largos y alturas de las probetas según sea el caso. Teniendo las dimensiones, masa y carga máxima aplicada a cada probeta se procedió a determinar la sección, volumen, densidad aparente y resistencia a la compresión esta última dependerá en parte de las dimensiones de las probetas, ya que se les aplicará un factor de corrección para realizar la conversión pertinente a probetas cúbicas de 20 x 20 cm (ver anexo I). A continuación, en las tablas 38, 39 y 40 se muestran los resultados obtenidos.

Dosificación N°	Porcentajes	Probeta N°	Masa (gr)	\bar{x} Anchos (mm)	\bar{x} Largos (mm)	\bar{x} Alturas (mm)	Sección (mm ²)	Volumen (mm ³)	Carga máxima aplicada		Densidad aparente (kg/m ³)	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Factor de corrección	Resistencia corregida (N/mm ²)
									KN	N				
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	1	8150	151	153	150	23027,5	3459881,9	551,6	551600	2355,57	23,95	0,95	22,76
1	95 % Grava 105 % Arena	1	8070	150	151	151	22650	3414487,5	560,6	560600	2363,46	24,75	0,95	23,51
2	105 % Grava 95 % Arena	1	8180	151	152	151	22952	3465752	521,2	521200	2360,24	22,71	0,95	21,57
3	90 % Grava 110 % Arena	1	8000	151	151	150	22725,5	3408825	382,5	382500	2346,85	16,83	0,95	15,99
4	110 % Grava 90 % Arena	1	8100	151	151	151	22725,5	3425869,1	416,5	416500	2364,36	18,33	0,95	17,41
5	85 % Grava 115 % Arena	1	7800	151	151	151	22725,5	3431550,5	351,8	351800	2273,02	15,48	0,95	14,71
6	115 % Grava 85 % Arena	1	8150	150	151	149	22650	3374850	402,4	402400	2414,92	17,77	0,95	16,88

Tabla 38: Resultados de las probetas ensayadas a los 7 días.

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación N°	Porcentajes	Probeta N°	Masa (gr)	\bar{x} Anchos o diámetros (mm)	\bar{x} Largos (mm)	\bar{x} Alturas (mm)	Sección (mm ²)	Volumen (mm ³)	Carga máxima aplicada		Densidad aparente (kg/m ³)	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Factor de corrección	Resistencia corregida (N/mm ²)
									KN	N				
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	1	8050	151	152	150	22876	3419962	665,2	665200	2353,83	29,08	0,95	27,6
1	95 % Grava 105 % Arena	1	8200	151	152	151	22952	3465752	731,3	731300	2366,01	31,86	0,95	30,3
2	105 % Grava 95 % Arena	1	8300	152	153	150	23256	3494214	796,6	796600	2375,36	34,25	0,95	32,5
3	90 % Grava 110 % Arena	1	12650	150	-	301	17671,5	5319109,1	293,2	293200	2378,22	16,59	1,25	20,7
4	110 % Grava 90 % Arena	1	12650	150	-	301	17671,5	5319109,1	442,1	442100	2378,22	25,02	1,20	30,0
5	85 % Grava 115 % Arena	1	18300	202	201	201	40400,8	8120550,8	792,1	792100	2253,54	19,61	1	19,6
6	115 % Grava 85 % Arena	1	19262	201	200	201	40200	8080200	1048,6	1048600	2383,85	26,08	1	26,1

Tabla 39: Resultados de las probetas ensayadas a los 14 días.

Fuente: Elaboración propia.

Dosificación Nº	Porcentajes	Probeta Nº	Masa (gr)	\bar{x} Anchos o diámetros (mm)	\bar{x} Largos (mm)	\bar{x} Alturas (mm)	Sección (mm ²)	Volumen (mm ³)	Carga máxima aplicada		Densidad aparente (kg/m ³)	Resistencia a compresión (N/mm ²)	Factor de corrección	Resistencia corregida (N/mm ²)	\bar{x} Densidad aparente (kg/m ³)	\bar{x} Resistencia a compresión (N/mm ²)
									KN	N						
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	1	8200	151	152	150	22876	3431400	950,7	950700	2389,70	41,56	0,95	39,48	2383,10	39,69
		2	8250	152	152	151	23028	3471471	967,3	967300	2376,51	42,01	0,95	39,91		
1	95 % Grava 105 % Arena	1	8100	150	152	150	22800	3420000	905,5	905500	2368,42	39,71	0,95	37,73	2368,36	35,97
		2	8100	151	151	151	22725,5	3420187,8	818,5	818500	2368,29	36,02	0,95	34,22		
2	105 % Grava 95 % Arena	1	8200	150	152	150	22800	3420000	910,4	910400	2397,66	39,93	0,95	37,93	2401,75	36,49
		2	8200	149	153	150	22722,5	3408375	838,4	838400	2405,84	36,90	0,95	35,05		
3	90 % Grava 110 % Arena	1	12700	150	-	301	17553,8	5283707,4	354,9	354900	2403,62	20,22	1,229	24,84	2418,50	24,94
		2	12900	150	-	302	17553,8	5301261,3	357,9	357900	2433,38	20,39	1,228	25,03		
4	110 % Grava 90 % Arena	1	12600	150	-	301	17553,8	5274930,5	507,7	507700	2388,66	28,92	1,176	34,03	2392,26	34,56
		2	13000	152	-	301	18026,7	5426023,2	540,5	540500	2395,86	29,98	1,170	35,08		
5	85 % Grava 115 % Arena	1	18800	200	200	202	40000	8060000	935,3	935300	2332,51	23,38	1	23,38	2305,58	23,05
		2	18550	201	202	201	40501,5	8140801,5	920,2	920200	2278,65	22,72	1	22,72		
6	115 % Grava 85 % Arena	1	19600	202	202	201	40602,3	8161052,3	1332,7	1332700	2401,65	32,82	1	32,82	2395,10	32,72
		2	19300	201	201	201	40200,3	8080250,3	1310,8	1310800	2388,54	32,61	1	32,61		

Tabla 40: Resultados de las probetas ensayadas a los 28 días.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Para los análisis de los resultados se estudiarán en dos franjas siendo la primera de ellas cuando se disminuye porcentualmente el contenido de grava y se aumenta la arena, y en segundo lugar cuando se aumenta porcentualmente el contenido de arena y se disminuye la grava.

En primera instancia se realizará un análisis técnico considerando tanto la docilidad como la densidad aparente y resistencia a la compresión de las muestras, como fueron sus comportamientos de acuerdo a las modificaciones que se realizaron y cuáles fueron las dosificaciones que lograron alcanzar la resistencia patrón. Posteriormente se llevará a cabo un análisis económico presupuestando las dosificaciones que cumplen con las exigencias en cuanto a las resistencias.

5.1. Análisis técnico

5.1.1. Docilidad

5.1.1.1. Asentamiento de cono de la primera franja

En el gráfico 1 se evidencia los asentamientos de cono de los hormigones cuando se les varía los porcentajes de los áridos según la primera franja.

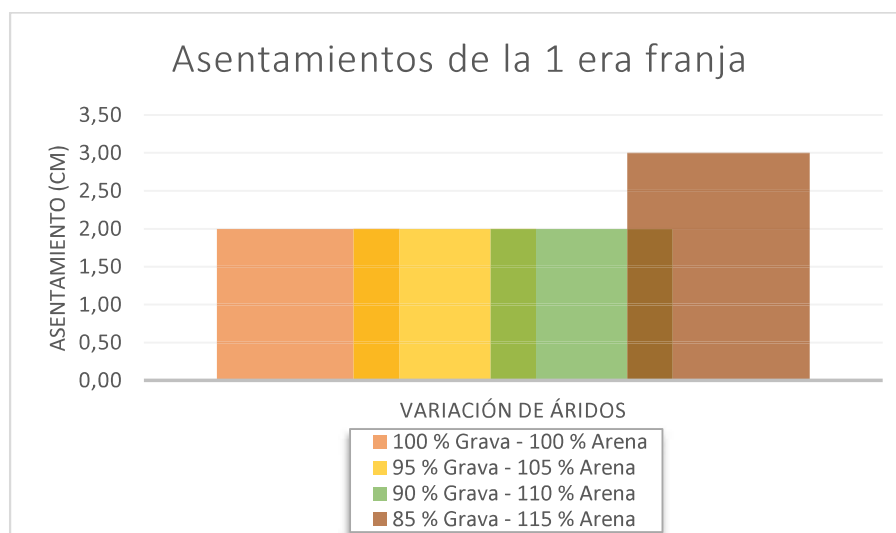


Gráfico 1: Asentamientos de la primera franja.

Evidentemente se aprecia que la variación de los áridos en este caso disminución de grava y aumento de arena, presenta consecuencias en la docilidad de los hormigones siendo está muy mínima. A mayor arena y menor grava el asentamiento del cono aumentaba de manera muy paulatina.

Dosificación N°	Porcentajes	Asentamiento (cm)	Aumento (cm)		Variación (%)
			Parcial	Acumulado	
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	2,00	0,00	0,00	0,00
1	95 % Grava 105 % Arena	2,00	0,00	0,00	0,00
3	90 % Grava 110 % Arena	2,00	0,00	0,00	0,00
5	85 % Grava 115 % Arena	3,00	1,00	1,00	50,00

Tabla 41: Variación porcentual de los asentamientos de la primera franja.

Acudiendo a los resultados obtenidos (ver tabla 41) para las docilidades en esta primera franja podemos mencionar en general que el hormigón patrón sin ninguna modificación en la dosis de sus áridos presentó una docilidad baja que correspondía a 2,00 cm de cono. Posteriormente al variar en un 5 % y un 10 % la dosis de áridos, el asentamiento de cono no presenta ninguna variación, siendo este el mismo del hormigón patrón. Distinto es el caso cuando se modifica en un 15 % la dosis de los áridos, el hormigón muestra un asentamiento de 3,00 cm de cono, incrementando su docilidad en 1,00 cm que corresponde a un 50 % de aumento.

5.1.1.2. Asentamiento de cono de la segunda franja

En el gráfico 2 se evidencia los asentamientos de cono de los hormigones cuando se les varía los porcentajes de los áridos según la segunda franja.

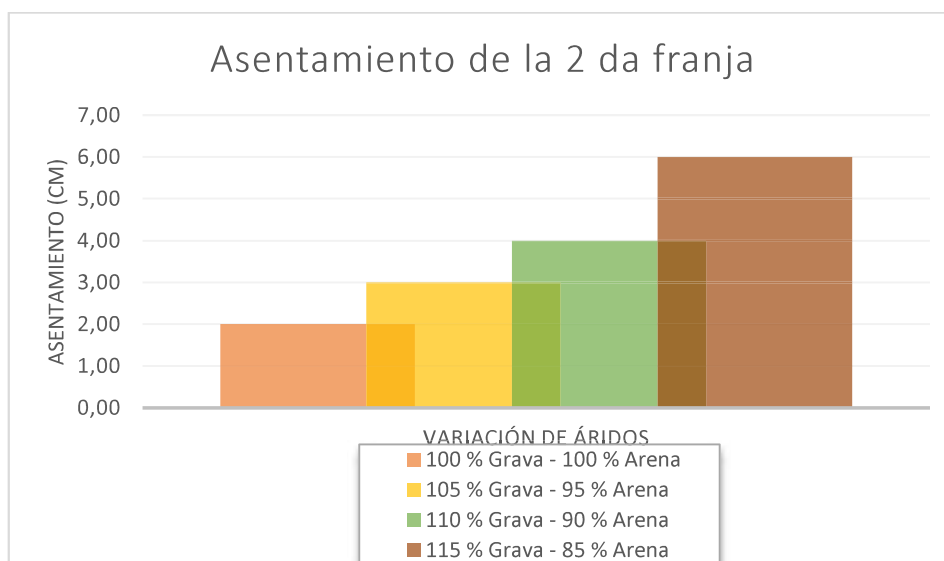


Gráfico 2: Asentamientos de la segunda franja.

Claramente se observa que la variación de los áridos en este caso aumento de grava y disminución de arena, presenta consecuencias en la docilidad de los hormigones siendo ésta muy notoria. A mayor grava y menor arena el asentamiento del cono aumentaba de manera muy progresiva.

Dosificación N°	Porcentajes	Asentamiento (cm)	Aumento (cm)		Variación (%)
			Parcial	Acumulado	
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	2,00	0,00	0,00	0,00
2	105 % Grava 95 % Arena	3,00	1,00	1,00	50,00
4	110 % Grava 90 % Arena	4,00	1,00	2,00	100,00
6	115 % Grava 85 % Arena	6,00	2,00	4,00	200,00

Tabla 42: Variación porcentual de la segunda franja.

Acudiendo a los resultados obtenidos (ver tabla 42) para las docilidades en esta segunda franja, podemos mencionar en general que el hormigón patrón sin ninguna modificación en la dosis de sus áridos presentó una docilidad baja que correspondía a 2,00 cm de cono. Al modificar la dosificación de esta franja en 5 % la dosis de los áridos, el asentamiento obtenido es de 3,00 cm de cono, aumentando su docilidad en 1,00 cm que corresponde a un incremento porcentual de 50 % respecto del cono patrón. Para la variación del 10 % de la dosis de los áridos, el asentamiento obtenido es de 4,00 cm de cono, aumentando su docilidad en 2,00 cm que corresponde a un incremento porcentual de 100 % respecto del cono patrón. Finalmente, al variar en 15 % la dosis de los áridos, el asentamiento conseguido fue de 6,00 cm de cono, aumentando su docilidad en 4,00 cm que corresponde a un incremento porcentual de 200 % respecto del cono patrón.

5.1.1.3. Asentamiento de cono de la primera franja vs segunda franja

A continuación, se adjunta el gráfico 3, el cual contiene la comparación de ambas franjas de acuerdo a la variación porcentual que se realizó.

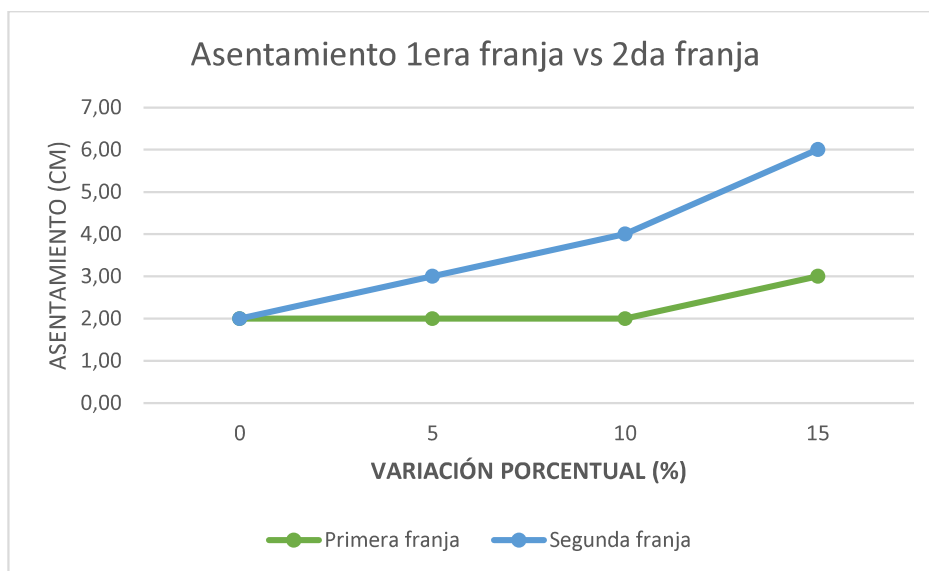


Gráfico 3: Variación de asentamientos de cono según franja.

Como se puede observar en el gráfico 3 al realizar una variación de 5 % en la primera franja el aumento del asentamiento es nulo, en cambio en la segunda franja su aumento es de tan solo 1,00 cm respecto de 0 % variación de los áridos. Para el caso de realizar una variación de 10 % en la primera franja el aumento del asentamiento es nulo nuevamente, por otra parte, en la segunda franja su aumento es 2,00 respecto de 0 % de variación de los áridos. Finalmente, cuando se varía un 15 % en la primera franja, el aumento del asentamiento es de 1,00 cm, en cambio en la segunda franja su aumento es de 4,00 cm respecto de 0% de variación de los áridos.

De acuerdo al gráfico analizado podemos apreciar que el aumento de asentamiento de cono es mucho mayor cuando se aumenta la cantidad de grava a utilizar, por otro lado, cuando se aumentó la arena la variación del cono no es tan significativa.

5.1.2. Resistencia a la compresión

5.1.2.1. Resistencia a la compresión de la primera franja

Como se mencionó en un principio la primera franja consiste en aumentar la cantidad de arena, y a su vez disminuir la grava. De acuerdo a esta franja se obtiene el siguiente gráfico 4 el cual contiene la progresión de la resistencia a la compresión del hormigón a través del tiempo.

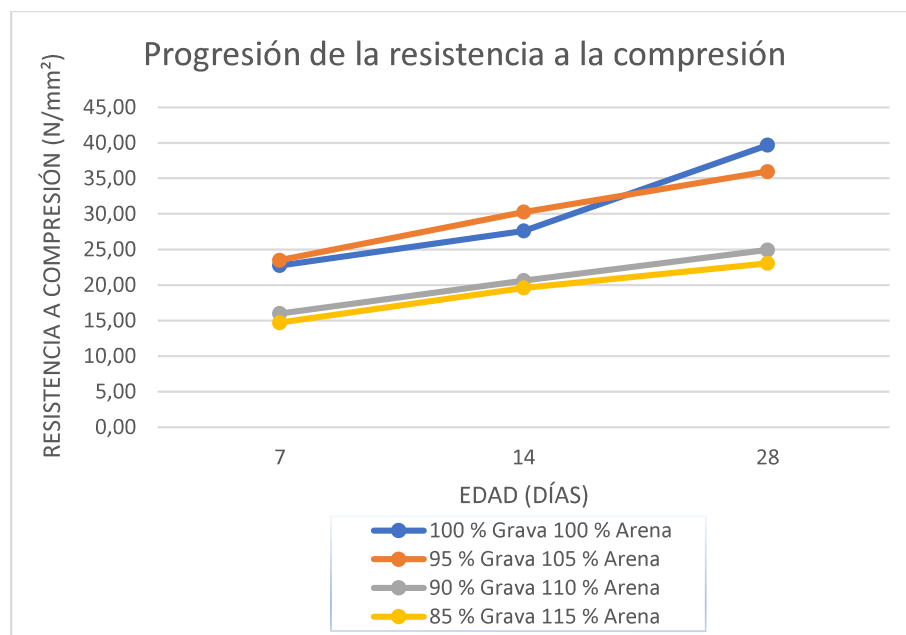


Gráfico 4: Progresión de la resistencia a la compresión en primera franja.

Como se aprecia en el gráfico 4, la resistencia a la compresión a los 7 días en el caso de la dosificación patrón (línea azul) alcanza alrededor de 22,76 N/mm². Analizando las dosificaciones restantes se puede observar que la dosificación n°1 (línea roja) alcanza una resistencia por sobre la patrón superándola aproximadamente 0,75 N/mm². Por otro lado, la dosificación n°3 (línea gris) se encuentra muy por debajo de la dosis patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 6,77 N/mm², y 7,52 N/mm² respecto la dosificación n°1. Finalmente, la dosificación n°5 (línea naranja) se encuentra de igual forma por debajo de la dosificación patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 8,05 N/mm², y 1,28 N/mm² respecto la dosificación n°3.

Analizando la resistencia a la compresión a los 14 días en el caso de la dosificación patrón (línea azul) alcanza alrededor de 27,62 N/mm², analizando las dosificaciones restantes podemos observar que la dosificación n°1 (línea roja) alcanza una resistencia por sobre la patrón superándola aproximadamente 2,65 N/mm². Por otro lado, la dosificación n°3 (línea gris) se encuentra muy por

debajo de la dosis patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 6,96 N/mm², y 9,61 N/mm² respecto la dosificación n°1. Finalmente, la dosificación n°5 (línea naranja) se encuentra de igual manera por debajo de la dosificación patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 8,01 N/mm², y 1,05 N/mm² respecto la dosificación n°3.

Finalmente estudiando la resistencia a la compresión a los 28 días podemos observar más detenidamente en la tabla 43 que la dosificación patrón alcanza una resistencia aproximada de 39,69 N/mm². Analizando las dosificaciones restantes se puede apreciar que la dosificación n°1 alcanza una resistencia por debajo de la patrón disminuyendo aproximadamente 3,73 N/mm² correspondiendo a una variación de -9,37 %. Por otro lado, la dosificación n°3 se encuentra muy por debajo de la dosis patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 14,75 N/mm², y 11,03 N/mm² respecto la dosificación n°1 correspondiente a una variación del -30,67 %. Finalmente, la dosificación n°5 encuentra de igual manera por debajo de la dosificación patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 16,64 N/mm², y 1,89 N/mm² respecto la dosificación n°3, equivalente a una variación del -7,58 %.

Dosificación N°	Porcentajes	Resistencia a compresión a los 28 días (N/mm ²)	Variación (kgf/cm ²)		Variación (%)
			Parcial	Acumulado	
Patrón	100 % Grava - 100 % Arena	39,69	0,00	0,00	0,00
1	95 % Grava - 105 % Arena	35,97	-3,72	-3,72	-9,37
3	90 % Grava - 110 % Arena	24,94	-11,03	-14,75	-30,67
5	85 % Grava - 115 % Arena	23,05	-1,89	-16,64	-7,58

Tabla 43: Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días de la primera franja.

5.1.2.2. Resistencia a la compresión de la segunda franja

Como se mencionó en un principio, la segunda franja consiste en aumentar la cantidad de grava, y a su vez disminuir la arena. De acuerdo a esta franja se obtiene el gráfico 5, el cual contiene la progresión de la resistencia a la compresión del hormigón a través del tiempo.

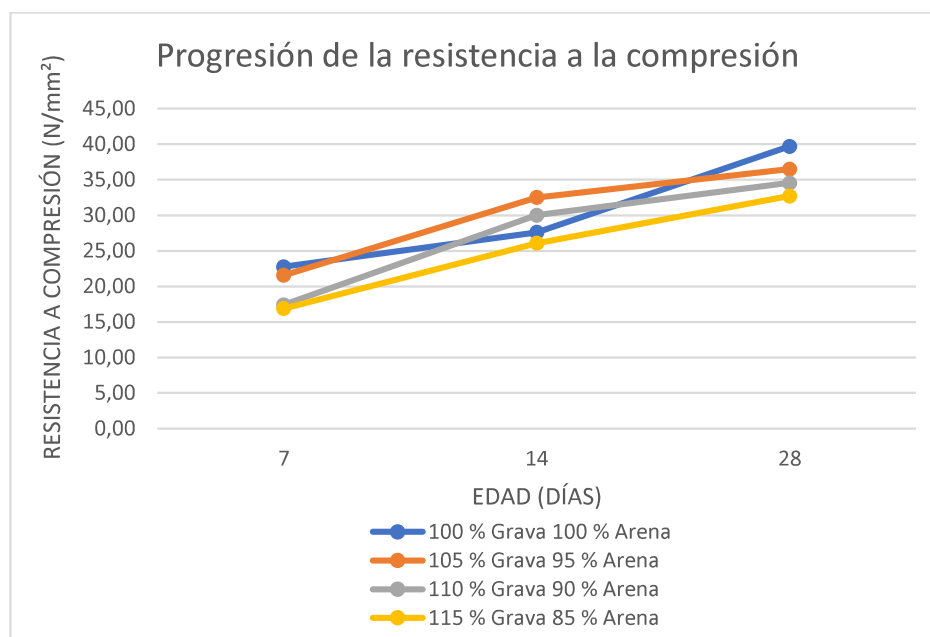


Gráfico 5: Progresión de la resistencia a la compresión de la segunda franja.

Como se aprecia en el gráfico 5, la resistencia a la compresión a los 7 días en el caso de la dosificación patrón (línea azul) alcanza alrededor de 22,76 N/mm², analizando las dosificaciones restantes podemos observar que la dosificación n°2 (línea roja) alcanza una resistencia por debajo de la patrón descendiendo en aproximadamente 1,19 N/mm². Por otro lado, la dosificación n°4 (línea gris) se encuentra de igual manera por debajo de la dosis patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 5,35 N/mm², y 4,16 N/mm² respecto la dosificación n°2. Finalmente, la dosificación n°6 (línea naranja) se halla de igual forma por debajo de la dosificación patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 5,88 N/mm², y 0,53 N/mm² respecto de la dosificación n°4.

Analizando la resistencia a la compresión a los 14 días en el caso de la dosificación patrón (línea azul) alcanza alrededor de 27,62 N/mm², analizando las dosificaciones restantes podemos observar que la dosificación n°2 (línea roja) alcanza una resistencia por encima de la patrón ascendiendo en

aproximadamente 4,92 N/mm². Por otro lado, la dosificación n°4 (línea gris) se encuentra de igual manera por encima de la dosis patrón aumentando su resistencia en aproximadamente 2,4 N/mm², y disminuyendo 2,52 N/mm² respecto la dosificación n°2. Finalmente, la dosificación n°6 (línea naranja) se halla por debajo de la dosificación patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 1,54 N/mm², y 3,94 N/mm² respecto la dosificación n°4.

Finalmente estudiando la resistencia a la compresión a los 28 días podemos observar más detenidamente en la tabla 44 que la dosificación patrón alcanza una resistencia aproximada de 39,69 N/mm². Analizando las dosificaciones restantes, se puede apreciar que la dosificación n°1 alcanza una resistencia por debajo de la patrón disminuyendo aproximadamente 3,73 N/mm² correspondiendo a una variación de -9,37%. Por otro lado, la dosificación n°3 se encuentra muy por debajo de la dosis patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 9,19 N/mm², y 5,47 N/mm² respecto la dosificación n°1 correspondiente a una variación del -15,21%. Finalmente, la dosificación n°5 encuentra de igual manera por debajo de la dosificación patrón disminuyendo su resistencia en aproximadamente 11,89 N/mm², y 2,70 N/mm² respecto la dosificación n°3 equivalente a una variación del -8,85%.

Dosificación N°	Porcentajes	Resistencia a compresión a los 28 días (N/mm ²)	Variación (kgf/cm ²)		Variación (%)
			Parcial	Acumulado	
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	39,69	0,00	0,00	0,00
2	105 % Grava 95 % Arena	36,49	-3,20	-3,20	-8,06
4	110 % Grava 90 % Arena	34,56	-1,94	-5,14	-5,31
6	115 % Grava 85 % Arena	32,72	-1,84	-6,98	-5,33

Tabla 44: Variación porcentual de la resistencia a la compresión a los 28 días de la segunda franja.

5.2. Análisis económico

Para el análisis económico en primera instancia se valorizarán los costos para confeccionar tanto el hormigón patrón como los hormigones alternativos estudiados. Posteriormente se dará un caso ejemplo utilizando los valores obtenidos de los hormigones reflejando en un caso real las variaciones de costos.

5.2.1. Análisis de precios unitarios

A continuación, se muestran los precios unitarios de la partida “Hormigón de pavimentos H – 35 hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m³” para un metro cúbico de hormigón. En primer lugar, se estudiarán los costos del hormigón patrón dosificado para luego analizar los valores de los hormigones alternativos que cumplieron con la resistencia mecánica.

Las condiciones a tener en cuenta para la elaboración de los precios unitarios fueron las siguientes:

- Mano de obra: Se estima las labores de un jornal para apoyo del camión autohormigonero. Su remuneración será de \$10.000 líquido por día, y su rendimiento está ligado al del camión. Además, se considera leyes sociales del 55 %.
- Materiales: Se considera el uso de cemento, áridos y agua potable en cantidades de acuerdo a lo dosificado, con una pérdida del 3 %. Los valores de los materiales son arena \$13.210, grava \$12.510 y saco de cemento (25 kg) \$3.008 todos los costos son netos y consideran fletes, en cuanto al agua potable su valor es de \$758 sin IVA. Además, se tuvo en consideración que los valores fuesen de proveedores cercanos a la obra del caso, ejemplo que se dará a conocer más adelante.
- Maquinaria y/o equipos: Se considera el arriendo de un camión autohormigonero de capacidad de 3,5 m³ con un rendimiento de 6 m³/hora. La tarifa de arriendo diario es de \$291.857 + IVA, la cual incluye operador, combustible y traslado.

Teniendo en consideración lo anterior, los costos por metro cúbico de hormigón H – 35 patrón como de hormigón alterativo fueron los que se dan a conocer a continuación:

Caso 1:

N°	Designación	Un.	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
1	Cemento especial polpaico 25 kg	saco	17,142	3.008	51.571
2	Grava c/flete	m³	0,606	12.510	7.584
3	Arena c/flete	m³	0,564	13.210	7.449
4	Agua ref. Aguas NuevoSur (Rauco)	m³	0,184	758	139
5	Pérdidas	%	3	66.744	2.002
6	Camión autohormigonero	día	0,167	291.857	48.643
7	Jornal	día	0,167	10.000	1.667
8	Leyes sociales	%	55	1.667	917
Sub-Total P.U.					119.972

Tabla 45: P.U. Hormigón de pavimentos H (35) patrón hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m³ → 1 m³

Caso 2:

N°	Designación	Un.	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
1	Cemento especial polpaico 25 kg	saco	17,142	3.008	51.571
2	Grava c/flete	m³	0,576	12.510	7.205
3	Arena c/flete	m³	0,592	13.210	7.822
4	Agua ref. Aguas NuevoSur (Rauco)	m³	0,184	758	139
5	Pérdidas	%	3	66.737	2.002
6	Camión autohormigonero	día	0,167	291.857	48.643
7	Jornal	día	0,167	10.000	1.667
8	Leyes sociales	%	55	1.667	917
Sub-Total P.U.					119.965

Tabla 46: P.U. Hormigón de pavimentos H (35) N°1 hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m³ → 1 m³

Caso 3:

N°	Designación	Un.	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
1	Cemento especial polpaico 25 kg	saco	17,142	3.008	51.571
2	Grava c/flete	m³	0,637	12.510	7.963
3	Arena c/flete	m³	0,536	13.210	7.077
4	Agua ref. Aguas NuevoSur (Rauco)	m³	0,184	758	139
5	Pérdidas	%	3	66.750	2.003
6	Camión autohormigonero	día	0,167	291.857	48.643
7	Jornal	día	0,167	10.000	1.667
8	Leyes sociales	%	55	1.667	917
Sub-Total P.U.					119.979

Tabla 47: P.U. Hormigón de pavimentos H (35) N°2 hecho en obra con autohormigonera de 3,5 m³ → 1 m³

Se puede apreciar que para el hormigón patrón (tabla 45) es necesario utilizar 0,606 m³ de grava y 0,564 m³ de arena para obtener un hormigón H – 35, para el caso 2 (tabla 46) se usó 95 % de los 0,606 m³ de grava y 105 % de los 0,564 m³ de arena, y finalmente en el caso 3 (tabla 47) se ocupó 105 % de los 0,606 m³ de grava y 95 % de los 0,564 m³ de arena.

En cuanto al costo por m³ de hormigón H – 35, se puede observar que en el caso 1 el valor total asciende a la suma de \$119.972, para los casos 2 y 3 los costos fueron de \$119.965 y \$119.979 respectivamente.

5.2.2. Caso ejemplo

Para cuantificar monetariamente los costos por hormigón en un proyecto existente de pavimentación, se ha determinado estudiar un caso real con los valores obtenidos anteriormente. Se evaluará el proyecto tanto con el hormigón patrón H – 35 como los hormigones alternativos que cumplieron con las resistencias a los 28 días.

El proyecto a evaluar consulta el diseño de las obras de pavimentación del proyecto denominado calle Bombero, en la comuna de Rauco, provincia de Curicó, séptima región.

El proyecto consta de la pavimentación de calles y pasajes según planos cuyas características se adjuntan en el anexo J. Las cantidades de obras son las que se muestran en la siguiente tabla 48, la cual establece un total de 367,00 m² de pavimento de hormigón H – 35 de espesor 0,15 m.

ITEM	DESIGNACIÓN	UNIDAD	CALLE BOMBERO	TOTALES
1.	Preparación de la faja			
1.1.	Roce, limpieza y despeje	m ²	367	367
1.2.	Despeje e = 0,10 m.	m ³	37	37
2.	Movimiento de tierras			
2.1.	Excavación en corte	m ³	34	34
2.2.	Excavación en relleno	m ³	1	1
3.	Bases y pavimentos			
3.1.	Base granular calzada			
3.1.1.	Base granular CBR >= 80 % e = 0,15 m	m ³	55	55
3.2.	Pavimento hormigón H – 35			
3.2.1.	Pavimento hormigón H – 35, e = 0,15 m	m ³	55	55
3.2.2.	Vereda e = 0,07 m	m ²	62	62
3.2.3.	Vereda reforzada e = 0,10 m	m ²	18	18
3.2.4.	Junta asfáltica	ml	300	300
3.2.5.	Solera curva tipo A	ml	15	15
3.2.6.	Solera tipo A	ml	76	76
4.	Otros			
4.1.	Descarga de agua lluvia canaleta 30 x 30	ml	14	14
4.2.	Barrera caminera	ml	10	10

Tabla 48: Cuadro de obras de proyecto a evaluar.

Para estudio del proyecto solo se estimó evaluar el precio unitario de “Pavimento hormigón H – 35, e = 0,15 m” realizando las modificaciones pertinentes según el hormigón a considerar. Importante mencionar que para este precio unitario se utilizó como referencias materiales, equipos, mano de

obra, rendimientos y precios el manual de costos ONDAC 2017, a excepción del hormigón que fue diseñado y valorizado por el autor de la memoria.

Una vez obtenido el precio unitario del pavimento se expone un presupuesto del proyecto según sea el caso de hormigón, del cual sólo se modificó el costo de la partida de “Pavimento hormigón H – 35, e = 0,15 m”, ya que los precios de las partidas restantes fueron tomados de un oferente real a esta propuesta.

Caso 1: Hormigón de pavimentos H (35) patrón

Nº	Designación	Un.	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
1	Hormigón H-35 hecho en obra con Carmix	m ³	1,0000	119.972	119.972
2	Cercha vibradora 3,5MT 5HP	mes	0,0100	52.500	525
3	Molde pavimentación 15x18 tira	día	0,0730	4.485	327
4	Manga PE ML incolora 0,20x1000 mm	ml	0,1650	5.286	872
5	Corte dilatación (5 cms.)	ml	2,9000	1.050	3.045
6	Sellante PRT Cave lastic gris 305 cc	unid.	0,6500	5.202	3.381
7	Membrana curado antisol 20 kg	unid.	0,0670	33.603	2.251
8	Instalación horm. Pavimento e=15 cm.	m ²	1,0000	7.500	7.500
9	Instalación mold. Pavimento h=15 cm. tira	unid.	2,0000	1.600	3.200
10	Instalación sello	m ³	1,0000	46.000	46.000
Sub-Total P.U.					187.074

Tabla 49: P.U. Pavimento hormigón H (35) patrón, e = 0,15 m.

PRESUPUESTO PROGRAMA MEJORAMIENTO URBANO, PMU 2016					
PROYECTO:	PAVIMENTACION CALLE LOS BOMBEROS, COMUNA RAUCO				
UBICACIÓN:	RAUCO				
ARQUITECTO:	KARINA VILCHES				
ING. COLABORADOR	JUAN ZAVALA ESPINOZA				
U. TÉCNICA:	SECPLAC				
MANDANTE:	ILUSTRE MUNICIPALIDAD DEL RAUCO				
Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	P/Unitario (\$)	P/Total (\$)
1	OBRAS PREVIAS				860.486
1.1	Instalación de faenas	gl	1	430.243	430.243
1.2	Letrero de obra	gl	1	430.243	430.243
2	PREPARACION DE LA FAJA				519.364
2.1	Roce, Limpieza y Despeje	m ²	367	717	263.139
2.2	Escarpe e=0,10 m	m ³	37	6.925	256.225

3	MOVIMIENTO DE TIERRA					242.375
3.1	Excavación en Corte	m ³	34	6.925	235.450	
3.2	Excavación en Relleno	m ³	1	6.925	6.925	
4	BASES Y PAVIMENTOS					12.008.327
4.1	Base Granular Calzada CBR \geq 80% e=0,15m	m ³	55	20.728	1.140.040	
4.2	Pavimento Hormigón H-35, e=0,15m	m³	55,05	187.074	10.298.424	
4.3	Junta Asfáltica	ml	300	1.979	593.700	
5	ACERAS DE HORMIGON					1.047.610
5.1	Vereda e=0,07m	m ²	62	12.536	777.232	
5.2	Vereda Reforzada e=0,10m	m ²	18	15.021	270.378	
6	SOLERAS DE HORMIGON					1.395.212
6.1	Solera Curva Tipo A	ml	15	15.332	229.980	
6.2	Solera Tipo A	ml	76	15.332	1.165.232	
7	OTROS					1.631.371
7.1	Canaleta de All	ml	13,5	77.446	1.045.521	
7.2	Barrera Caminera	ml	10	58.585	585.850	
8	ASEO FINAL Y ENTREGA DE LA OBRA					430.243
8.1	Limpieza y entrega	gl	1	430.243	430.243	
	Costo Directo				18.158.825	
	Gastos Generales			10 %	1.815.883	
	Utilidades			15 %	2.723.824	
	Costo Neto				22.698.531	
	IVA			19 %	4.312.721	
	Costo Total				27.011.252	

Tabla 50: Presupuesto pavimento hormigón H (35) patrón, e = 0,15 m.

Caso 2: Hormigón de pavimentos H (35) N°1

N°	Designación	Un.	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
1	Hormigón H-35 hecho en obra con Carmix	m ³	1,0000	119.965	119.965
2	Cercha vibradora 3,5MT 5HP	mes	0,0100	52.500	525
3	Molde pavimentación 15x18 tira	día	0,0730	4.485	327
4	Manga PE ML incolora 0,20x1000 mm	ml	0,1650	5.286	872
5	Corte dilatación (5 cms.)	ml	2,9000	1.050	3.045
6	Sellante PRT Cave lastic gris 305 cc	unid.	0,6500	5.202	3.381
7	Membrana curado antisol 20 kg	unid.	0,0670	33.603	2.251
8	Instalación horm. Pavimento e=15 cm.	m ³	1,0000	7.500	7.500
9	Instalación mold. Pavimento h=15 cm. tira	unid.	2,0000	1.600	3.200
10	Instalación sello	m ²	1,0000	46.000	46.000
	Sub-Total P.U.				187.068

Tabla 51: P.U. Pavimento hormigón H (35) N°1, e = 0,15 m.

PRESUPUESTO PROGRAMA MEJORAMIENTO URBANO, PMU 2016					
PROYECTO:	PAVIMENTACION CALLE LOS BOMBEROS, COMUNA RAUCO				
UBICACIÓN:	RAUCO				
ARQUITECTO:	KARINA VILCHES				
ING. COLABORADOR	JUAN ZAVALA ESPINOZA				
U. TÉCNICA:	SECPLAC				
MANDANTE:	ILUSTRE MUNICIPALIDAD DEL RAUCO				
Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	P/Unitario (\$)	P/Total (\$)
1	OBRAS PREVIAS				860.486
1.1	Instalación de faenas	gl	1	430.243	430.243
1.2	Letrero de obra	gl	1	430.243	430.243
2	PREPARACION DE LA FAJA				519.364
2.1	Roce, Limpieza y Despeje	m ²	367	717	263.139
2.2	Escarpe e=0,10 m	m ³	37	6.925	256.225
3	MOVIMIENTO DE TIERRA				242.375
3.1	Excavación en Corte	m ³	34	6.925	235.450
3.2	Excavación en Relleno	m ³	1	6.925	6.925
4	BASES Y PAVIMENTOS				12.007.942
4.1	Base Granular Calzada CBR \geq 80% e=0,15m	m ³	55	20.728	1.140.040
4.2	Pavimento Hormigón H-35, e=0,15m	m ³	55,05	187.068	10.298.093
4.3	Junta Asfáltica	ml	300	1.979	593.700
5	ACERAS DE HORMIGON				1.047.610
5.1	Vereda e=0,07m	m ²	62	12.536	777.232
5.2	Vereda Reforzada e=0,10m	m ²	18	15.021	270.378
6	SOLERAS DE HORMIGON				1.395.212
6.1	Solera Curva Tipo A	ml	15	15.332	229.980
6.2	Solera Tipo A	ml	76	15.332	1.165.232
7	OTROS				1.631.371
7.1	Canaleta de All	ml	13,5	77.446	1.045.521
7.2	Barrera Caminera	ml	10	58.585	585.850
8	ASEO FINAL Y ENTREGA DE LA OBRA				430.243
8.1	Limpieza y entrega	gl	1	430.243	430.243
				Costo Directo	18.158.494
				Gastos Generales	10 %
					1.815.849
				Utilidades	15 %
					2.723.774
				Costo Neto	22.698.118
				IVA	19 %
					4.312.642
				Costo Total	27.010.760

Tabla 52: Presupuesto pavimento hormigón H (35) N°1, e = 0,15 m.

Caso 3: Hormigón de pavimentos H (35) N°2

N°	Designación	Un.	Cantidad	P. unitario (\$)	P. total (\$)
1	Hormigón H-35 hecho en obra con Carmix	m³	1,0000	119.979	119.979
2	Cercha vibradora 3,5MT 5HP	mes	0,0100	52.500	525
3	Molde pavimentación 15x18 tira	día	0,0730	4.485	327
4	Manga PE ML incolora 0,20x1000 mm	ml	0,1650	5.286	872
5	Corte dilatación (5 cms.)	ml	2,9000	1.050	3.045
6	Sellante PRT Cave lastic gris 305 cc	unid.	0,6500	5.202	3.381
7	Membrana curado antisol 20 kg	unid.	0,0670	33.603	2.251
8	Instalación horm. Pavimento e=15 cm.	m³	1,0000	7.500	7.500
9	Instalación mold. Pavimento h=15 cm. tira	unid.	2,0000	1.600	3.200
10	Instalación sello	m²	1,0000	46.000	46.000
Sub-Total P.U.					187.081

Tabla 53: P.U. Pavimento hormigón H (35) N°2, e = 0,15 m.

PRESUPUESTO PROGRAMA MEJORAMIENTO URBANO, PMU 2016					
PROYECTO:	PAVIMENTACION CALLE LOS BOMBEROS, COMUNA RAUCO				
UBICACIÓN:	RAUCO				
ARQUITECTO:	KARINA VILCHES				
ING. COLABORADOR	JUAN ZAVALA ESPINOZA				
U. TÉCNICA:	SECPLAC				
MANDANTE :	ILUSTRE MUNICIPALIDAD DEL RAUCO				
Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	P/Unit. (\$)	P/Total (\$)
1	OBRAS PREVIAS				860.486
1.1	Instalación de faenas	gl	1	430.243	430.243
1.2	Letrero de obra	gl	1	430.243	430.243
2	PREPARACION DE LA FAJA				519.364
2.1	Roce, Limpieza y Despeje	m²	367	717	263.139
2.2	Escarpe e=0,10 m	m³	37	6.925	256.225
3	MOVIMIENTO DE TIERRA				242.375
3.1	Excavación en Corte	m³	34	6.925	235.450
3.2	Excavación en Relleno	m³	1	6.925	6.925
4	BASES Y PAVIMENTOS				12.008.712
4.1	Base Granular Calzada CBR ≥ 80% e=0,15m	m³	55	20.728	1.140.040
4.2	Pavimento Hormigón H-35, e=0,15m	m³	55,05	187.081	10.298.809
4.3	Junta Asfáltica	ml	300	1.979	593.700
5	ACERAS DE HORMIGON				1.047.610
5.1	Vereda e=0,07m	m²	62	12.536	777.232
5.2	Vereda Reforzada e=0,10m	m²	18	15.021	270.378

6	SOLERAS DE HORMIGON					1.395.212
6.1	Solera Curva Tipo A	ml	15	15.332		229.980
6.2	Solera Tipo A	ml	76	15.332		1.165.232
7	OTROS					1.631.371
7.1	Canaleta de All	ml	13,5	77.446		1.045.521
7.2	Barrera Caminera	ml	10	58.585		585.850
8	ASEO FINAL Y ENTREGA DE LA OBRA					430.243
8.1	Limpieza y entrega	gl	1	430.243		430.243
				Costo Directo		18.159.210
				Gastos Generales	10 %	1.815.921
				Utilidades	15 %	2.723.882
				Costo Neto		22.669.013
				IVA	19 %	4.312.812
				Costo Total		27.011.825

Tabla 54: Presupuesto pavimento hormigón H (35) N°2, e = 0,15 m.

Se observa en el caso 1 asociado al hormigón H (35) patrón (ver tabla 49), que se obtiene un precio unitario de \$187.074 pesos chilenos para la confección de un metro cúbico de pavimento rígido de H (35) patrón, y a su vez se tiene un monto de \$10.298.424 pesos chilenos por la totalidad de la partida, finalmente se obtiene un costo total de \$27.011.252 pesos chilenos por concepto de proyecto (ver tabla 50).

En el caso 2 ligado al hormigón H (35) N°1 (ver tabla 51), que se obtiene un precio unitario de \$187.068 pesos chilenos para la confección de un metro cúbico de pavimento rígido H (35) N°1, y a su vez se tiene un monto de \$10.298.093 pesos chilenos por la totalidad de la partida. Finalmente se obtiene un costo total de \$27.010.760 pesos chilenos por concepto de proyecto (ver tabla 52).

Finalmente, en el caso 3 asociado al hormigón H (35) N°2 (ver tabla 53), que se obtiene un precio unitario de \$187.081 pesos chilenos para la confección de un metro cúbico de pavimento rígido H (35) N°2, y a su vez se tiene un monto de \$10.298.809 pesos chilenos por la totalidad de la partida. Finalmente se obtiene un costo total de \$27.011.825 pesos chilenos por concepto de proyecto (ver tabla 54).

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis de las diversas variaciones realizadas a las cantidades de áridos en base a la dosificación patrón H – 35 resultó de manera muy satisfactoria, dado que, de las seis modificaciones porcentuales llevadas a cabo, dos de ellas obtuvieron una resistencia mecánica por sobre la diseñada para el hormigón patrón. En vista de lo anterior es posible considerar como dos nuevas dosificaciones alternativas para un hormigón de pavimentos H – 35 en base a la dosificación diseñada para éste, pudiéndose así estar previsto en caso de algún inconveniente en obra en la partida de hormigón como por ejemplo no contar con la cantidad suficiente de uno de los materiales granulares.

Se determinó una dosificación para un hormigón H – 35 para el estudio en base al método de Faury – Joisel debido a su gran precisión, ya que se diseñó de acuerdo a la curva granulométrica obtenida de los áridos a utilizados, dando fe de esto se pudo observar que el hormigón confeccionado con la dosificación obtenida a través de este método obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días de 39,69 N/mm² cumpliendo de manera favorable con la resistencia esperada a esa edad.

De las tres variaciones porcentuales de áridos establecidas (5 %, 10 % y 15 %) se obtuvieron seis dosificaciones distintas propuestas, de las cuales fueron dos las dosificaciones que cumplieron con los requisitos de resistencia a la compresión a los 28 días de edad, pudiéndose así nombrar la dosificación N°1 y N°2; la primera de ellas se aumentó 5 % de arena y se disminuyó 5 % de grava, por otra parte, la segunda se aumentó 5 % de grava y se disminuyó 5 % de arena; ambas variaciones respecto el peso de la dosificación patrón determinada.

De acuerdo a los análisis realizados tanto al hormigón patrón como a los alternativos podemos mencionar que en primera instancia el hormigón patrón en fresco presenta con una consistencia seca cumplimiento con los asentamientos generalmente utilizados en pavimentos que son menores a 5 cm, esta mezcla se caracteriza por presentar menor facilidad para deformarse siendo a su vez muy poco dócil (poco trabajable), por lo que se deben utilizar equipos mecánicos de alta potencia (vibrador externo, pisón mecánico) para poder asegurar su buena calidad de terminación. Por otro lado, se tiene la resistencia a la compresión a los 28 días de edad obteniéndose un total 39,69 N/mm², demostrando que se cumplió con la resistencia para la cual fue diseñado el hormigón. Finalmente se estima un costo por elaboración de \$119.972 pesos chilenos por un m³ de hormigón H – 35 patrón hecho in situ, y asociado a la confección de un m³ de pavimento de hormigón se tiene un valor de \$187.074 pesos chilenos, y de la mano a un proyecto de 55,05 m³ de hormigón de pavimentos se obtiene un total de 10.298.424 pesos chilenos.

En el caso de las dosificaciones alternativas que cumplieron con la resistencia mecánica del hormigón H – 35 patrón, se puede mencionar en primer lugar de la dosificación N°1 que obtuvo las mismas características del hormigón en fresco del patrón. Por otro lado, su resistencia a la compresión disminuyó un 9,37 % (aproximadamente 3,73 N/mm²) respecto del patrón, cumpliendo nuevamente con la resistencia esperada a los 28 días de edad, la cual era 35,00 N/mm². Por otra parte, se considera un costo por elaboración de \$119.965 pesos chilenos por un m³ de hormigón H – 35 N°1 hecho in situ, y asociado a la confección de un m³ de pavimento de hormigón se tiene un valor de \$187.068 pesos chilenos, y de la mano a un proyecto de 55,05 m³ de hormigón de pavimentos se obtiene un total de 10.298.093 pesos chilenos. En resumen se puede decir que si se aumenta 5 % de arena y se disminuye 5 % de grava de acuerdo a la dosificación de hormigón diseñada, las propiedades del hormigón en fresco no se ven afectadas debido a que su asentamiento sigue constante, la resistencia a la compresión disminuye un 9,37 % aproximadamente respecto de la patrón (39,69 N/mm²), y finalmente sus costos disminuyen \$6 pesos chilenos por m³ de hormigón y reflejado en un proyecto de pavimentación de 55,05 m³ disminuye \$331 pesos chilenos, pudiéndose concluir que los costos por la variación realizada son bajos pero a su vez se da cumpliendo a los requisitos de resistencia a la compresión.

En el caso de la dosificación N°2 que obtuvo un hormigón en fresco presenta de consistencia plástica cumplimiento igualmente con los asentamientos generalmente utilizados en pavimentos que son menor a 5 cm, esta mezcla se caracteriza por presentar menor facilidad para deformarse siendo a su vez poco dócil (poco trabajable), por lo que se pueden utilizar equipos mecánicos corrientes (vibrador de inmersión, vibrador superficial) para poder asegurar su buena calidad de terminación. Por otro lado, su resistencia a la compresión disminuyó un 8,06 % (aproximadamente 3,20 N/mm²) respecto del patrón, cumpliendo de igual forma con la resistencia esperada a los 28 días de edad, la cual era 35,00 N/mm². Por otra parte, se considera un costo por elaboración de \$119.979 pesos chilenos por un m³ de hormigón H – 35 N°2 hecho in situ, y asociado a la confección de un m³ de pavimento de hormigón se tiene un valor de \$187.081 pesos chilenos, y de la mano a un proyecto de 55,05 m³ de hormigón de pavimentos se obtiene un total de 10.298.809 pesos chilenos.

En resumen se puede decir que, si se aumenta 5 % de grava y se disminuye 5 % de arena de acuerdo a la dosificación de hormigón diseñada las propiedades del hormigón en fresco se ven afectadas de forma positiva ya que presenta mejor trabajabilidad que la patrón, la resistencia a la compresión disminuye un 8,06 % aproximadamente respecto de la patrón (39,69 N/mm²) y finalmente sus costos

aumentan \$7 pesos chilenos por m³ de hormigón y reflejado en un proyecto de pavimentación de 55,05 m³ aumentan \$385 pesos chilenos, pudiéndose concluir que los costos por la variación realizada son un poco más altos pero de igual forma cumplen con los requisitos de resistencia a la compresión y mejora su docilidad.

De acuerdo al estudio realizado, se pudo apreciar que las docilidades eran muy bajas, por lo que es recomendable ajustar el agua de amasado teniendo cuidado de no afectar la resistencia mecánica de los hormigones. Por otro lado, como se pudo observar las variaciones realizadas a los áridos siempre fueron a dos componentes, tanto a la grava como a la arena, por lo sería una buena propuesta para realizar un nuevo estudio en los casos que se variara porcentualmente en un caso la grava, y en otro la arena para de este modo obtener nuevas dosificaciones de hormigón alternativas para una misma resistencia.

Finalmente dejar en claro que los resultados obtenidos de las resistencias a compresión de acuerdo a la NCh170.Of2009, pudieron verse afectados por la utilización de los distintos factores de corrección recomendados por la NCh1037.Of2009 según la forma de la probeta, ya que para este estudio fue necesario el uso de los distintos moldes disponibles en el laboratorio de la universidad. Por lo tanto, si se desea realizar nuevamente un estudio experimental similar, es recomendable la utilización de una sola línea de moldes evitando así posibles variaciones en los resultados.

BIBLIOGRAFÍA

Libros:

“Código de normas y especificaciones técnicas generales para obras de pavimentación en hormigón”. MINVU (2016). Santiago, Chile.

“Especificaciones técnicas generales para obras de pavimentación en hormigón”. Capítulo II.B. SERVIU (2003).

Manual de carreteras volumen 5 (2016). “Especificaciones técnicas generales de construcción”. Dirección de vialidad, Chile.

Manual de carreteras volumen 8 (2016). “Especificaciones y métodos de muestreo, ensayo y control”. Dirección de vialidad, Chile.

Curso laboratorista vial volumen VI. “Hormigón y sus componentes”. Laboratorio nacional de vialidad, Chile

Manual básico de construcción en hormigón (1997). Instituto del cemento y hormigón de Chile.

Manual de costos de materiales y actividades para la construcción (2017). ONDAC

Normas chilenas:

Norma Chilena 148.Of1968 “Cemento – Terminología, clasificación y especificaciones generales”.

Norma Chilena 163.Of1979 “Áridos para morteros y hormigones – Requisitos generales”.

Norma Chilena 164.Of2009 – “Áridos para morteros y hormigones – Extracción y preparación de muestras”.

Norma Chilena 165.Of2009 – “Áridos para morteros y hormigones – Tamizado y determinación de la granulometría”.

Norma Chilena 170.Of2009 – “Hormigón – Requisitos generales”.

Norma Chilena 171.Of1975– “Hormigón – Extracción de muestras de hormigón”.

Norma Chilena 1017.Of2009– “Hormigón – Confección y curado en obra de probetas para ensayos de compresión y tracción”.

Norma Chilena 1018.EOf77 – “Hormigón - Preparación de mezclas para ensayos en laboratorio”.

Norma Chilena 1019.Of2009 – “Hormigón – Determinación de la docilidad – Método del asentamiento del cono de Abrams”.

Norma Chilena 1037.Of2009 – “Hormigón – Ensayo de compresión de probetas cúbicas y cilíndricas”.

Norma Chilena 1116.Of2008 – “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de la densidad aparente”.

Norma Chilena 1117.Of2010 – “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las gravas”.

Norma Chilena 1172.Of2010 – “Hormigón – Refrentado de probetas”.

Norma Chilena 1223.Of1977 – “Áridos para morteros y hormigones – Determinación del material fino menor que 0,080 mm”.

Norma Chilena 1239.Of77 – “Áridos para morteros y hormigones – Determinación de las densidades reales y neta y de la absorción de agua de las arenas”.

Norma Chilena 1498.Of2012 “Hormigón – Agua de amasado”.

Norma Chilena 2182 Of. 1995 – “Hormigón y mortero – Aditivos – Clasificación y requisitos”.

Páginas de Internet:

Anónimo (2014). Dosificaciones de hormigones. Dosificaciones de hormigón. Recuperado de <https://es.slideshare.net/mateoibandamianvega/dosificaciones-dehormigon-61507105>

History Channel [Ricardo Scotto]. (2014, enero 23). Historia de los pavimentos [Archivo de video]. Recuperado de https://www.youtube.com/playlist?list=PLdADfZTPw06cZ4caLjeIJrgrTgOm_bZyM

Quiroz, M. y Salamanca, L. (2014). Apoyo didáctico para enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del hormigón”. Libro básico sobre tecnología del concreto. Recuperado de <https://es.slideshare.net/lizbethsolo/libro-bsico-sobre-tecnologa-del-concreto>

Comuna Rauco, Curicó (2017). Licitación ID 3875 – 26 – LE17. Pavimentación calle Los Bomberos. Recuperado de <http://www.mercadopublico.cl/Procurement/Modules/RFB/DetailsAcquisition.aspx?qs=ix3VVg1FmBRGWyPiVNmSBfjAKBgdd3/8PU78ik7/cC1koO4gJX+2+31aAjc9ONV>

ANEXOS

Anexo A – Registro fotográfico de ensayos a los áridos



Ilustración 27: Extracción de muestra de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 28: Extracción de muestra de arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 29: Cuarteo de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 30: Cuarteo de arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 31: Secado de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 32: Secado de arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 33: Lavado de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 34: Tamizado de arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 35: Tamizado de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 36: Pesaje de volumen de cilindro de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 37: Pesaje de volumen de cilindro de arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 38: Volumen de grava.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 39: Volumen de arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 40: Grava saturada en agua.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 41: Arena saturada en agua.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 42: Grava superficialmente seca.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 43: Arena superficialmente seca.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 44: Masa seca arena.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 45: Matraz con agua.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2



Ilustración 46: Matraz con agua y muestra.

Fuente: Memoristas de hormigón año 2017-2

Anexo B – Ficha Técnica cemento Polpaico Especial



APLICACIONES

- Construcción general con hormigones y morteros.
- Obras con grandes masas de hormigón y resistencias mecánicas moderadas.
- Morteros de albañilerías corrientes o armadas.
- Morteros pre-dosificados.
- Prefabricados como bloques, tubos, baldosas, adoquines, soleras, otros.
- Estructuras impermeables y subterráneas.
- Colocación de enchapes y baldosas cerámicas.
- Pavimentos de resistencias mecánicas moderadas.



VENTAJAS

- Permite obtener hormigones con mayor trabajabilidad facilitando las labores de terminación y acabado.
- Por su composición minimiza la aparición de eflorescencias en distintas mezclas confeccionadas con este cemento.
- Alta compatibilidad con el uso de aditivos de uso general y aplicaciones especiales.



RECOMENDACIONES DE USO

- Use primero los sacos más antiguos y luego los más nuevos, lo que le ayudará al consumo del cemento siempre fresco.
- Evite el movimiento excesivo de los sacos y cuide el traslado de los pallets sobre grúa, para así disminuir las roturas.
- Tome en consideración las condiciones ambientales en que se trabajará (temperatura y humedad).
- En la confección de hormigones y morteros, use la cantidad requerida de cemento Polpaico mediante el uso de sacos completos o medios sacos.
- Los áridos deben estar limpios y tener un tamaño adecuado a la aplicación. Acópielos sobre una base compactada, separando los distintos tipos.
- Use agua potable y ajuste la cantidad de esta, hasta obtener un hormigón o mortero con la consistencia definida.
- Según la resistencia especificada y la dosificación definida, mida los materiales, preferentemente en peso o usando volúmenes conocidos como carretillas dosificadoras o baldes calibrados.
- Mezcle en betonera hasta obtener un mortero u hormigón homogéneo con la consistencia definida, sin que se separen los materiales.
- Compacte la mezcla para llenar completamente los moldes y lograr mejores terminaciones.
- Preferentemente use vibradores de inmersión.
- Humedezca el hormigón o mortero por lo menos 7 días.

RECOMENDACIONES DE MANIPULACIÓN Y SEGURIDAD

- Se recomienda manipular el cemento en ambientes ventilados, evitando la inhalación prolongado del producto.
- Al utilizarlo cubra su cuerpo con guantes y ropa de trabajo, evitando el contacto reiterado y prolongado con el cemento humedecido. En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón. Si se produce contacto accidental de cemento con los ojos, lavar con abundante agua limpia



¡ IMPORTANTE:
Fecha emisión: Agosto 2017. Esta versión reemplaza y anula las versiones anteriores.

POLPAICOESPECIAL



TABLAS TÉCNICAS

Además de un riguroso autocontrol de producción, el cemento Polpaico Especial es muestreado y controlado en cada Planta por un laboratorio oficial acreditado. En la tabla se muestra las especificaciones de la norma NCh 148.Of68 y los resultados límites del control realizado por el Laboratorio Oficial en un año.

REQUISITOS NCh148.Of68	CEMENTO POLPAICO ESPECIAL			
	Puzolánico	Agregado	Puzolánico	Agregado
Clase	tipo A	tipo A	tipo A	tipo A
Grado	Corriente	Corriente	Corriente	Corriente

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS				
Expansión en auto-lavado, % máx.	1,00	1,00	0,10	0,06
Pérdida por calcinación, % máx.	5,00	9,00	4,9	8,2
Residuo insoluble, % máx.	50,0	35,0	42,7	31,9
Contenido de SO ₃ , % máx.	4,00	4,00	3,39	2,11

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y FÍSICAS				
Tiempos de fraguado (VICAT)				
Inicial, mín.	01:00	01:00	01:30	01:50
Final, máx.	12:00	12:00	05:50	04:00

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS				
Resistencia a la Compresión 7 días, kg/cm ² , mín.	180	180	187	195
28 días, kg/cm ² , mín.	250	250	275	284
Resistencia a la Flexión 7 días, kg/cm ² , mín.	35	35	37	38
28 días, kg/cm ² , mín.	45	45	51	51

Para mayor detalle, solicite la atención de Asesoría Técnica.

☎ 600 620 6200



Polpaico

@ www.polpaico.cl

f Síguenos en Facebook

Anexo C – Método de dosificación Faury – Joisel (FJ)

Manual de carreteras volumen 5 (2016). “Especificaciones técnicas generales de construcción”.
Dirección de vialidad, Chile.

Capítulo II

- Tener presente las especificaciones de la obra y efectuar todos los ensayos que sean necesarios aunque no se especifiquen y estén contemplados en el diseño, y comparar sus resultados con las especificaciones de la obra o con otras semejantes que hayan tenido buenos resultados.
- Previo al cálculo se deben efectuar los siguientes ensayos (Anexo):
 - a. Granulometría 8.202.3 MC - V8 (LNV 65)
 - b. Desgaste Los Ángeles 8.202.11 MC- V8 (LNV 75)
 - c. Determinación de la materia orgánica 8.202.15 MC- V8 (LNV 66)
 - d. Determinación de sales solubles 8.202.18 MC- V8 (LNV 76)
 - e. Determinación de densidades y absorción 8.202.20 MC-V8 (LNV 68) y 8.202.21 MC-V8 (LNV 69)
 - f. Material fino menor que 0.08 mm 8.202.4 MC- V8 (LNV 70)
 - g. Cubicidad de las partículas 8.202.6 MC- V8 (LNV-3)
 - h. Módulo de finura NCh 165
 - i. Índice de trituración 8.202.8 MC- V8 (LNV 7)
 - j. Análisis del agua a usar en obra 8.402.2 MC- V8 (LNV 101)
 - k. En climas helados (alta cordillera y zona austral) determinar resistencia a la desintegración por el método de los sulfatos 8.202.17 MC- V8 (LNV 74).
 - l. Determinar partículas blandas (IRAM 1644), desmenuzables 8.202.16 MC- V8 (LNV73), carbón y lignito (ASTM C123).
- Efectuar varias mezclas de prueba para establecer la mejor proporción.
- Verificación del rendimiento y correcciones si son necesarias.
- Análisis de la cantidad total de material fino (arena + cemento) bajo tamiz 0.315mm, según el empleo del hormigón. Para pavimento se debe considerar un árido de tamaño máximo nominal 40 mm y un mínimo de 300 Kg/m³.
- Si debido a las condiciones de obra se sospecha el empleo de aditivos, éstos deben estudiarse e incluirse en el diseño de la mezcla; por ningún motivo se deben incorporar aditivos sin ser estudiados en la dosificación, como así también hacer cambios en la cantidad y tipo de cemento.
- El hormigón de prueba debe contemplar un estudio del tipo de membrana a usar en el curado y correlaciones de edad v/s resistencia, compresión v/s flexotracción y forma v/s resistencia, acorde con el equipo y programa de autocontrol.
- Antes de comenzar el hormigonado de la obra, con el equipo de fabricación y colocación disponibles, se debe ratificar con pruebas en terreno, especialmente en pavimento, los parámetros empleados en el diseño de la mezcla para hacer los ajustes correspondientes. Este ajuste debe contemplar todo el equipo a usar definitivamente en la faena y se debe entregar la fórmula de trabajo con hormigón de prueba.
- No se debe experimentar a medida que se construya la obra.

3. DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

3.1 Método de dosificación Faury - Joisel (FJ)

El LNV para dosificar hormigones emplea el método Faury-Joisel (FJ), al cual se le han introducido ciertas modificaciones con el fin de adaptarlo en mejor forma a los usos más corrientes de Vialidad.

Está basado en principios granulométricos. Se trata de obtener una curva granulométrica de referencia o mezcla ideal (L), combinando el cemento con los áridos disponibles, la cual está

definida por el tamaño máximo nominal del árido grueso (D_n) y la resistencia del hormigón que se desea obtener, llamada resistencia de diseño (f_d), a 28 días.

La curva ideal L se representa colocando en el eje de las ordenadas el porcentaje en volumen absoluto de los materiales sólidos, a escala lineal, y en el eje de las abscisas las raíces quintas de la abertura de los tamices, en mm. (Figura 26).

Se establece en forma simplificada la curva de referencia ideal como una mezcla, en proporciones variables, de dos clases de granos:

- i) Un conjunto de granos finos y medianos, de 0 a $D_n/2$ (curva O Y).
- ii) Un conjunto de granos gruesos, de $D_n/2$ a D_n (curva Y Z).

El punto O es fijo, y corresponde al menor tamaño de los granos de cemento.

Nota :

El menor tamaño de los granos de cemento corresponde al tamiz de 0,005 mm, valor que sirve para fijar el O en el eje de las abscisas.

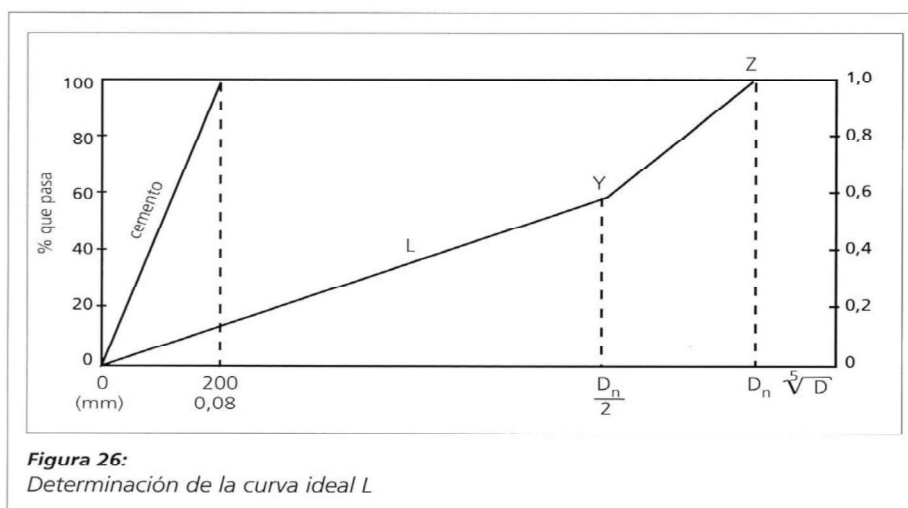


Figura 26:
Determinación de la curva ideal L

El punto Z es variable de acuerdo a la elección del tamaño máximo nominal de la grava. El punto Y, ordenada de $D_n/2$, es también función de D_n , a través de la expresión:

$$Y(D_n/2) = M + N$$

$$Y(D_n/2) = M + 17.8 \sqrt[5]{D_n} \text{ (\%)}$$

Donde :

M = Coeficiente que depende del tipo de partículas de los áridos, del grado de compactación a exigir y de la consistencia del hormigón (Tabla 21).

N = Coeficiente que depende del tamaño máximo nominal del árido a emplear (Tabla 22).

Tabla 21: Valores de M

Consistencia	Compactación	TIPO DE PARTICULAS		
		Arenaro Rodada Grava Rodada	Arena Rodada Grava Chancada	Arena Chancada Grava Chancada
Muy Fluida	Nula	32 ó Más	34 ó Más	38 ó Más
Fluida	Débil	30 – 32	32 – 34	36 – 38
Blanda	Media	28 – 30	30 – 32	34 – 36
Plástica ¹	Cuidadosa	24 – 26	26 – 28	28 – 30
Muy firme ¹	Potente	24 – 26	25 – 27	26 – 28
De tierra Húmeda	Muy potente	22 - 24	24 - 26	26 – 29

¹Estas consistencias son las que normalmente requiere un hormigón para pavimento.

Tabla 22: Valores de N

(mm)	Tamiz	Raíces quintas	N
	US		
80	3"	2,38	42,36
63	2 1/2"	2,29	40,76
50	2"	2,19	38,98
40	1 1/2"	2,07	36,85
25	1"	1,91	34,00
20	3/4"	1,80	32,04
12,5	1/2"	1,66	29,55
10	3/8"	1,57	27,95

3.1.1 Determinación de los sólidos

Se trata de determinar en que proporciones debemos mezclar los materiales para acercarnos lo más posible al hormigón ideal, basado en que la suma de los volúmenes absolutos del cemento (c), árido fino (f) y árido grueso (g) debe ser igual a la unidad:

$$\text{Esto es : } c + f + g = 1$$

3.1.2 Determinación del cemento

Recordemos que el parámetro fundamental en la resistencia mecánica del hormigón es la cantidad de cemento. Por consiguiente, para determinar ésta, debemos basarnos en la resistencia exigida para el proyecto f_p , que a lo menos debe ser igual a la resistencia característica. (f_c).

Debemos dosificar el hormigón de forma tal, que en obra se obtenga una resistencia media igual o superior a la resistencia media de dosificación, f_d , que satisfaga la resistencia de proyecto, f_p , considerando las condiciones de la obra. (Tabla 23).

Tabla 23: Resistencia Media de Dosificación (f_d)

Confección del hormigón	Resistencia media de dosificación a 28 días (f_d)
Muy buena	$f_p * 1,092$
Buena	$f_p * 1,144$
Regular	$f_p * 1,202$

Así, la cantidad de cemento (C) expresada en Kg/m³ se determina de acuerdo a la expresión.

$$C = f_d * E$$

donde el coeficiente E representa un valor que se ha establecido a través de la práctica, y que varía dependiendo del tipo de cemento a usar. Como estimación se indican los promedios para los cementos tipo corriente y alta resistencia (Tabla 24).

Tabla 24: Coeficientes E

Cemento empleado	"E"
Corriente	1,05
Alta resistencia	0,95

Nota:

Estos valores de E corresponden a los promedios de los cementos más empleados.

Por otra parte, la cantidad de agua de amasado (l/m³) está dada por la expresión:

$$A = C * (A/C)$$

En que (A/C) = razón agua/cemento. (Tabla 25).

Tabla 25: Resistencia v/s Razón Agua/Cemento

fd 28 días (MPa)	Razón A/C
41	0,41
35	0,43
31	0,46
26	0,53
23	0,58
18	0,78
14	0,92
13	1,00
Otros Valores Interpolares	

Nota:

Se deben considerar los áridos secos, por lo que la cantidad de agua de amasado a emplear debe ser corregida de acuerdo al grado de absorción de los áridos determinados de acuerdo a 8.202.20 MC-V8 (LNV 68) y 8.202.21 MC-V8 (LNV 69) según el caso.

Si definimos la compactidad (z), como aquel volumen de hormigón que está disponible para ser ocupado por los áridos y el cemento, queda dada por la expresión:

$$z = 1 - h \text{ (m}^3\text{)}$$

$$h = h_a + A_a$$

Capítulo II

en que h es el volumen que ocupa el agua de amasado (Aa) y el aire ocluido (ha), obtenido en función del tamaño máximo nominal (Tabla 26).

Tabla 26: Contenido de Aire según Tamaño Máximo Nominal ($1/m^3$)

Dn	mm US	10 3/8"	12,5 1/2"	20 3/4"	25 1"	40 1 1/2"	50 2"	80 3"
Hormigón sin aire incorporado		30	25	20	15	10	5	3
Hormigón con aire incorporado		80	70	60	50	45	40	35

El porcentaje en volumen correspondiente a la cantidad de cemento determinada (C) queda dado por la expresión:

$$C = \frac{C}{Z * \rho_{sc}}$$

en que ρ_{sc} es la densidad de las partículas sólidas del cemento; para efectos prácticos se adopta un valor de $3.100 \text{ Kg}/m^3$.

3.1.3 Método gráfico para determinar proporción de áridos (Joisel)

El método gráfico desarrollado por Joisel nos permite determinar un punto x en la curva ideal L , tal que la ordenada en ese punto representa, en porcentaje, las proporciones de cemento más arena.

Es decir: $x = c + f$

Como c es conocido, entonces: $f = x - c$, y obviamente: $g = 1 - (c + f) = 1 - x$

Para determinar en forma gráfica las proporciones de f y g , se debe primeramente dibujar las curvas, porcentaje que pasa del árido fino (F) y grueso (G), en el mismo gráfico que se ha trazado la curva ideal de referencia (L). Se pueden presentar los siguientes casos:

Caso A : Granulometría continua: El tamaño máximo del árido fino coincide con el tamaño mínimo del árido grueso.

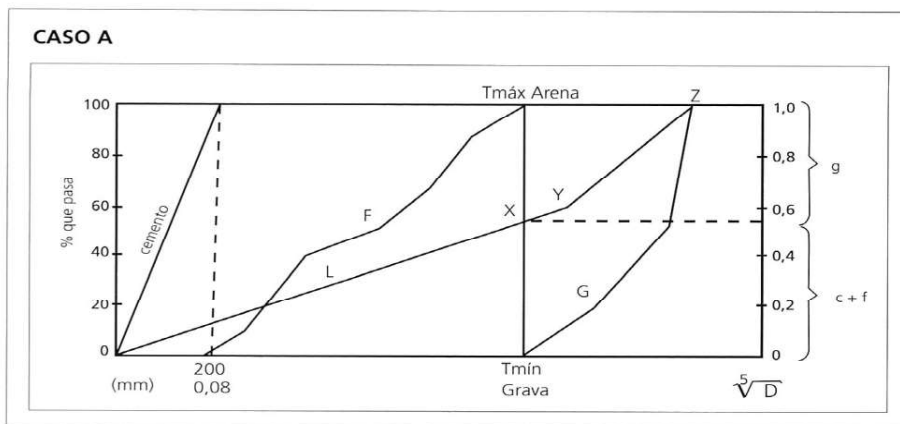
Caso B : Granulometría discontinua: No existen granos de ciertos tamaños.

Caso C : Ambas curvas granulométricas (F y G) presentan tamaños comunes.

Caso D : Empleo de dos o más áridos.

A continuación se describirá el procedimiento para determinar, en cada caso, el punto x sobre la curva ideal L .

Caso A : El punto x corresponde a la intersección de la curva ideal L, con la vertical que une el tamaño máximo de F (arena), con el tamaño mínimo de G (grava)

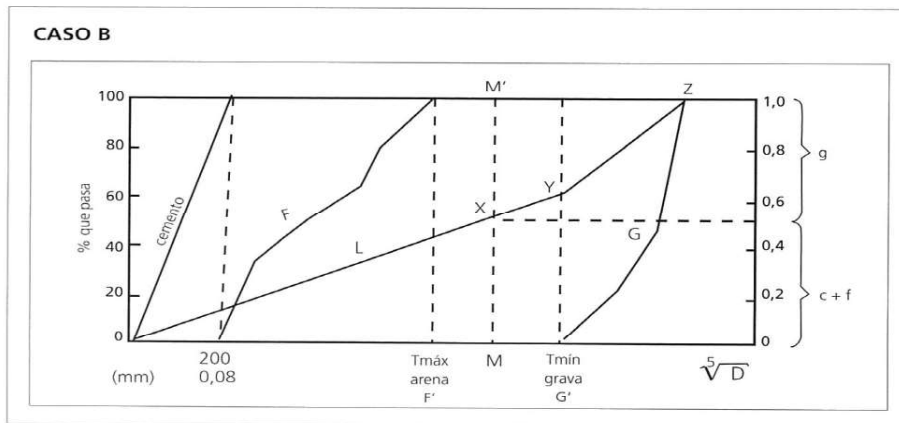


Caso B : El punto x corresponde a la intersección de la curva ideal L con la vertical MM', tal que el trazo OM corresponde a la media proporcional de OG' y OF' ; es decir:

$$OM = \sqrt{OF' * OG'} \text{ (mm)}$$

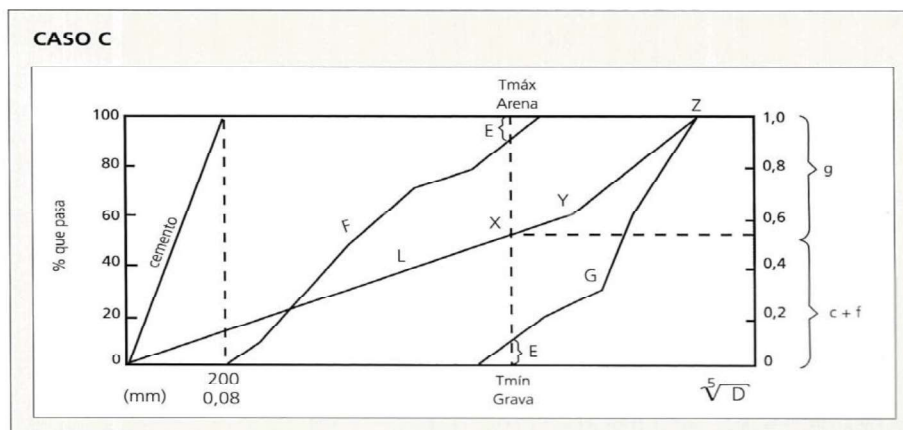
F' = Tamaño máximo de F (arena)

G' = Tamaño mínimo de G (grava)



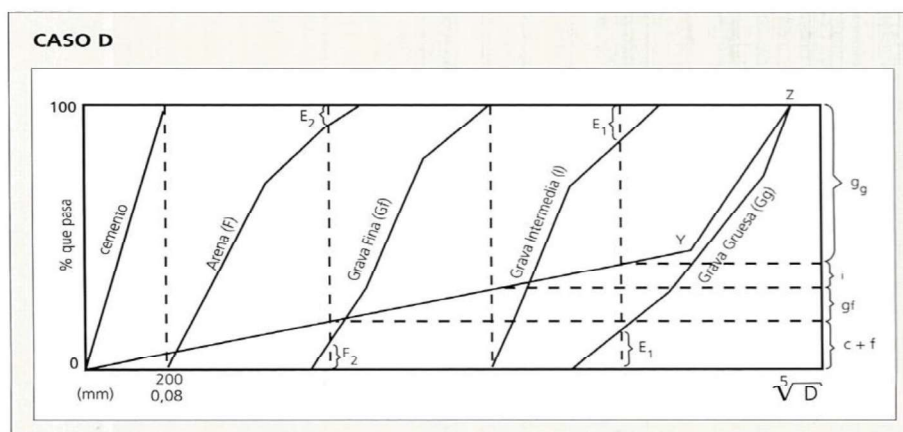
Capítulo II

Caso C : El punto x corresponde a la intersección de la curva ideal L, con aquella vertical que cumpla con la condición que las distancias "E" sean iguales.



Caso D : Se procede tal como en los casos anteriormente descritos, considerando las curvas de los áridos de dos en dos, y aplicando el procedimiento que corresponda. Es decir, para obtener los distintos porcentajes de la mezcla, se procede de la siguiente manera:

1. De la curva grava gruesa y grava intermedia que corresponde al caso C, se obtienen el porcentaje de grava gruesa.
 2. Se toman las curvas de grava intermedia y grava fina (caso A) y se obtiene el porcentaje de grava intermedia.
 3. Se procede sucesivamente del mismo modo hasta obtener todos los porcentajes.
- Este caso es el que se presenta con más frecuencia, debido a que generalmente el hormigón para pavimento se confecciona empleando tres áridos.



Una vez obtenidas las proporciones f y g , podemos fácilmente determinar las cantidades de árido grueso G (grava) y árido fino F (arena) a través de la expresión:

$$F = f * z * \rho_{rsf} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

$$G = g * z * \rho_{rsg} \text{ (Kg/m}^3\text{)}$$

En que :

ρ_{rsf} = Densidad real de la arena seca de acuerdo a 8.202.21 MC- V8 (LNV 69)
 ρ_{rsg} = Densidad real de la grava seca de acuerdo a 8.202.20 MC- V8 (LNV 68)

3.1.4 Ejemplo de dosificación

Se desea diseñar una mezcla de hormigón para pavimento con una confección buena y para ello se dispone de los áridos grava y grava intermedia chancadas y arena rodada, cuyas características son:

Tamiz		Granulometrías		
mm	US	Grava	Grava intermedia	Arena
80	3"			
63	2 1/2"			
50	2"	100		
40	1 1/2"	95		
25	1"	35	100	
20	3/4"	12	93	
12,5	1/2"	-	-	
10	3/8"	1	36	
5	4		1	100
2,5	8			83
1,25	16			61
0,63	30			38
0,315	50			18
0,16	100			13
0,08	200			2
Densidad Real seca (rRS)		2.670	2.690	2.680
Densidad aparente suelta (r as)		1.540	1.410	1.660
Densidad aparente compactada (r ac)		1.690	1.590	1.860
Huecos % (H)		43	41	30
Absorción % (a)		0.9	1.1	2.1

Empleando el método FJ, se tiene:

- Determinación de la resistencia media

Para la determinación de la resistencia media se debe proceder de la siguiente manera:

- Resistencia de diseño: si se supone que la resistencia característica de proyecto a flexotracción es de 4,5 MPa (45,9 kgf/cm²) a 90 días. Como la resistencia de diseño se debe considerar a 28 días, y considerando que los cementos chilenos otorgan un aumento de resistencia de 28 a 90 días de un 18,3% como promedio, tenemos que:

$$f_p = 4,5 / 1,183 = 3,8 \text{ MPa (38,7 Kg/cm}^2\text{) a 28 días.}$$

El 18,3% de aumento de f_{28} a f_{90} tiene el carácter de recomendación, pudiendo variar de acuerdo al tipo de cemento.

Anexo D – Registro fotográfico de ensayo de docilidad



*Ilustración 47: Humectación de base.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 48: Placa base y cono humectados.
Fuente: Elaboración propia.*

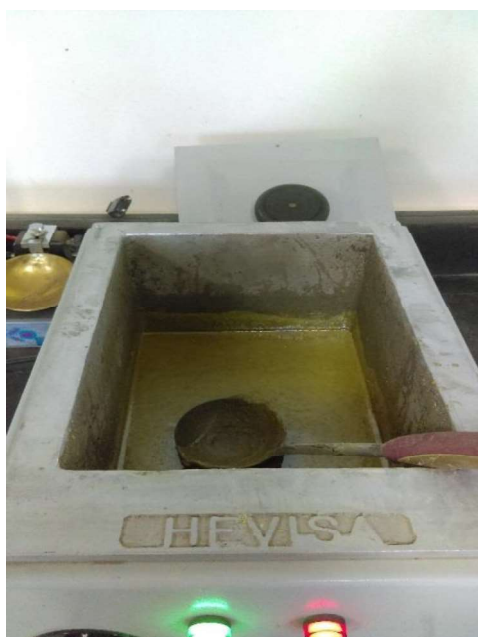


*Ilustración 49: Apisonado de 1era capa.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 50: Apisonado de 2da capa.
Fuente: Elaboración propia.*

Anexo E – Registro fotográfico de refrentado



*Ilustración 51: Mezcla de azufre con arena.
Fuente: Elaboración propia.*



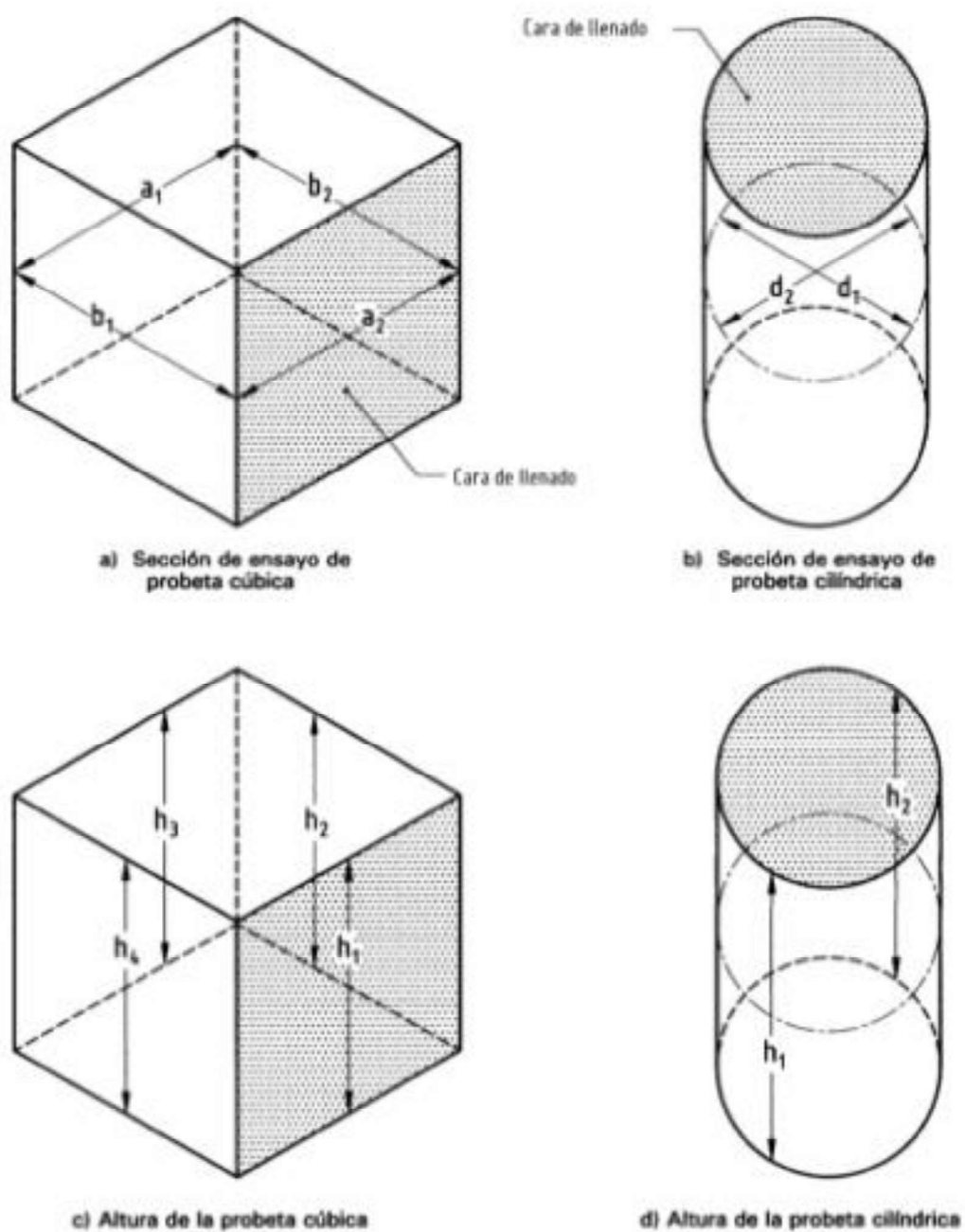
*Ilustración 52: Marmita.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 53: Probeta en aparato alineador.
Fuente: Elaboración propia.*



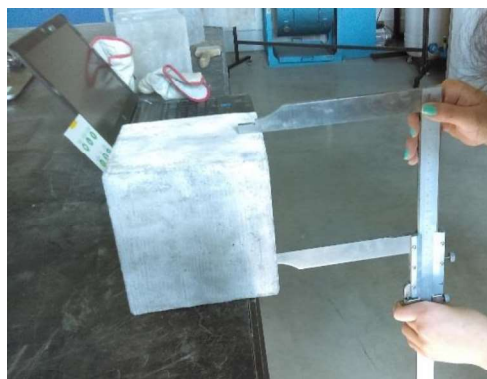
*Ilustración 54: Probeta con refrentado.
Fuente: Elaboración propia.*

Anexo F – Determinación de dimensiones de probetas**Figura 1 - Determinación de dimensiones de probetas**

Anexo G – Registro fotográfico de ensayos a compresión



*Ilustración 55: Pesaje de probeta.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 56: Medición de probeta.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 57: Probeta cúbica en prensa.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 58: Probeta cilíndrica en prensa.
Fuente: Elaboración propia.*



*Ilustración 59: Fisuración de probeta cúbica.
Fuente: Elaboración propia.*

Anexo H – Dimensiones de probetas

A los 7 días

Dosificación N°	Porcentajes	Probeta N°	Dimensiones (mm)								\bar{x} Anchos (mm)	\bar{x} Largos (mm)	\bar{x} Alturas (mm)
			a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4			
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	1	151	151	153	152	150	150	150	151	151	153	150
1	95 % Grava 105 % Arena	1	150	150	151	151	151	151	151	150	150	151	151
2	105 % Grava 95 % Arena	1	151	151	152	152	152	151	151	150	151	152	151
3	90 % Grava 110 % Arena	1	151	150	151	151	150	150	150	150	151	151	150
4	110 % Grava 90 % Arena	1	151	151	150	151	150	151	151	151	151	151	151
5	85 % Grava 115 % Arena	1	151	151	150	151	151	151	151	151	151	151	151
6	115 % Grava 85 % Arena	1	150	150	151	151	149	149	149	149	150	151	149

A los 14 días

Dosificación N°	Porcentajes	Probeta N°	Dimensiones cubos (mm)								Dimensiones cilindros				\bar{x} Anchos o diámetros (mm)	\bar{x} Largos (mm)	\bar{x} Alturas (mm)
											Diámetros perpendiculares (mm)		Alturas (mm)				
			a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4	d1	d2	h1	h2			
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	1	150	151	152	152	150	149	149	150	-	-	-	-	151	152	150
1	95 % Grava 105 % Arena	1	151	151	152	152	152	150	152	150	-	-	-	-	151	152	151
2	105 % Grava 95 % Arena	1	153	151	153	153	151	150	150	150	-	-	-	-	152	153	150
3	90 % Grava 110 % Arena	1	-	-	-	-	-	-	-	-	150	150	301	301	150	-	301
4	110 % Grava 90 % Arena	1	-	-	-	-	-	-	-	-	149	151	301	301	150	-	301
5	85 % Grava 115 % Arena	1	202	201	201	200	201	201	201	201	-	-	-	-	202	201	201
6	115 % Grava 85 % Arena	1	201	201	200	200	201	201	201	201	-	-	-	-	201	200	201

A los 28 días

Dosificación N°	Porcentajes	Probeta N°	Dimensiones cubos (mm)								Dimensiones cilindros				\bar{x} Anchos o diámetros (mm)	\bar{x} Largos (mm)	\bar{x} Alturas (mm)
											Diámetros perpendiculares (mm)		Alturas (mm)				
			a1	a2	b1	b2	h1	h2	h3	h4	d1	d2	h1	h2			
Patrón	100 % Grava 100 % Arena	1	151	150	152	152	150	150	150	150	-	-	-	-	151	152	150
		2	152	151	152	152	151	150	151	151	-	-	-	-	152	152	151
1	95 % Grava 105 % Arena	1	150	150	152	152	150	150	150	150	-	-	-	-	150	152	150
		2	150	151	151	151	150	151	150	151	-	-	-	-	151	151	151
2	105 % Grava 95 % Arena	1	150	150	152	152	150	150	150	150	-	-	-	-	150	152	150
		2	149	149	152	153	151	150	149	150	-	-	-	-	149	153	150
3	90 % Grava 110 % Arena	1	-	-	-	-	-	-	-	-	149	150	301	301	150	-	301
		2	-	-	-	-	-	-	-	-	149	150	302	302	150	-	302
4	110 % Grava 90 % Arena	1	-	-	-	-	-	-	-	-	150	149	300	301	150	-	301
		2	-	-	-	-	-	-	-	-	152	151	301	301	152	-	301
5	85 % Grava 115 % Arena	1	200	200	200	200	201	201	202	202	-	-	-	-	200	200	202
		2	201	201	202	201	201	201	201	201	-	-	-	-	201	202	201
6	115 % Grava 85 % Arena	1	201	202	202	201	201	201	201	201	-	-	-	-	202	202	201
		2	201	200	200	201	201	201	201	201	-	-	-	-	201	201	201

Anexo I – Factores de conversión para probetas de compresión

Probetas cúbicas

Las tensiones de rotura por compresión de probetas cúbicas de diferentes dimensiones pueden relacionarse según la siguiente expresión:

$$f_{200} = k_1 f_n$$

en que:

f_{200} = tensión de rotura del cubo de 200 mm;

f_n = tensión de rotura del cubo de n mm;

k_1 = coeficiente indicado en la tabla 17.

Tabla 17 - Factor de conversión para probetas cúbicas de diferentes dimensiones

N mm	100	150	200	250	300
k_1	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10

Probetas cúbicas y probetas cilíndricas

Los valores de resistencia a la compresión de cubos de 200 mm y cilindros de 150 mm pueden relacionarse según la fórmula:

$$f_c = k_3 f_{cil}$$

en que:

f_c = resistencia sobre probetas cúbicas;

f_{cil} = resistencia sobre probetas cilíndricas;

k_3 = coeficiente indicado en la tabla 19.

Tabla 19 - Factor de conversión para las probetas preferidas en formas cúbicas y cilíndricas

f_c kgf/cm ²	f_c MPa	k_3	f_{cl} kgf/cm ²	f_{cl} MPa
50	5	1,25	40	4
100	10	1,25	80	8
150	15	1,25	120	12
200	20	1,25	160	16
250	25	1,25	200	20
300	30	1,20	250	25
350	35	1,17	300	30
400	40	1,14	350	35
450	45	1,13	400	40
500	50	1,11	450	45
550	55	1,10	500	50
600	60	1,09	550	55

- a) Se interpolan linealmente los valores de la tabla 19.
- b) De acuerdo con NCh31/3 - ISO 31/3, $1 \text{ kgf} = 9,806 \text{ 65 N}$. Para los efectos de esta norma se ha considerado:

$$1 \text{ kgf} = 10 \text{ N}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,1 \text{ MPa}$$

