

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Centro de Ciencias de Diseño y Construcción

Departamento de Ingeniería Civil

TRABAJO PRÁCTICO

Caracterización de piedra grasa (escoria de fundición metalúrgica) para su utilización como agregado pétreo en mezclas de concreto.

Presenta:

Monserrat de Guadalupe Magallanes Luna

Para optar por el grado de:

“Maestra en Ingeniería Civil”

Tutor:

Dr. Miguel Ángel Soto Zamora

Integrantes del comité tutorial:

Dr. Mario Alberto Arzate Cárdenas

Dra. Ahiza Martínez Romo

Aguascalientes, Ags., 14 de noviembre de 2025

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

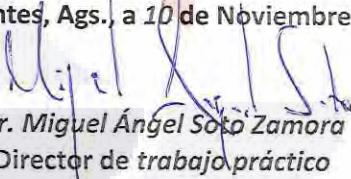
MTRA. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T E

Por medio del presente como *DIRECTOR* designado de la estudiante *MONSERRAT DE GUADALUPE MAGALLANES LUNA* con ID 129341 quien realizó el trabajo práctico titulado: *CARACTERIZACIÓN DE PIEDRA GRASA (ESCORIA DE FUNDICIÓN METALÚRGICA) PARA SU UTILIZACIÓN COMO AGREGADO PÉTREO EN MEZCLAS DE CONCRETO*, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“Se Lumen Proferre”
Aguascalientes, Ags., a 10 de Noviembre de 2025.


Dr. Miguel Ángel Soto Zamora
Director de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

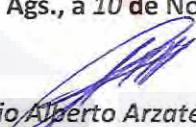
MTRA. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T E

Por medio del presente como *ASESOR* designado de la estudiante *MONSERRAT DE GUADALUPE MAGALLANES LUNA* con ID 129341 quien realizó el trabajo práctico titulado: *CARACTERIZACIÓN DE PIEDRA GRASA (ESCORIA DE FUNDICIÓN METALÚRGICA) PARA SU UTILIZACIÓN COMO AGREGADO PÉTREO EN MEZCLAS DE CONCRETO*, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
“Se Lumen Proferre”
Aguascalientes, Ags., a 10 de Noviembre de 2025.


Dr. Mario Alberto Arzate Cárdenas
Asesor de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

MTRA. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA
DECANA DEL CENTRO DE CIENCIAS DEL DISEÑO Y DE LA CONSTRUCCIÓN

P R E S E N T E

Por medio del presente como **ASESORA** designada de la estudiante **MONSERRAT DE GUADALUPE MAGALLANES LUNA** con ID 129341 quien realizó el trabajo práctico titulado: **CARACTERIZACIÓN DE PIEDRA GRASA (ESCORIA DE FUNDICIÓN METALÚRGICA) PARA SU UTILIZACIÓN COMO AGREGADO PÉTREO EN MEZCLAS DE CONCRETO**, un trabajo propio, innovador, relevante e inédito y con fundamento en la fracción IX del Artículo 43 del Reglamento General de Posgrados, doy mi consentimiento de que la versión final del documento ha sido revisada y las correcciones se han incorporado apropiadamente, por lo que me permito emitir el **VOTO APROBATORIO**, para que *ella* pueda continuar con el procedimiento administrativo para la obtención del grado.

Pongo lo anterior a su digna consideración y sin otro particular por el momento, me permito enviarle un cordial saludo.

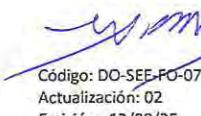
ATENTAMENTE
“Se Lumen Proferre”
Aguascalientes, Ags., a 10 de Noviembre de 2025.



Dra. Ahiza Martínez Romo
Asesora de trabajo práctico

c.c.p.- Interesado
c.c.p.- Coordinación del Programa de Posgrado

Elaborado por: Depto. Apoyo al Posgrado.
Revisado por: Depto. Control Escolar/Dept. Gestión Integral.
Aprobado por: Depto. Control Escolar/ Depto. Apoyo al Posgrado.



Código: DO-SEF-PO-07
Actualización: 02
Emisión: 13/08/25

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Fecha de dictaminación (dd/mm/aaaa): 10/11/2025

NOMBRE: Monserrat de Guadalupe Magallanes Luna ID 129341

PROGRAMA: Maestría en Ingeniería Civil LGAC (del posgrado): Estructuras y Construcción

MODALIDAD DEL PROYECTO DE GRADO: Tesis () *Tesis por artículos científicos () **Tesis por Patente () Trabajo Práctico (X)

TÍTULO: Caracterización de Piedra Grasa (escoria de fundición metalúrgica) para su utilización como agregado pétreo en mezclas de concreto.

El proyecto logra la caracterización de un material para su aprovechamiento en la fabricación del concreto lo que permitirá la remediación ambiental de una zona de relevancia en la ciudad de Aguascalientes, con lo cual se beneficiará una población importante que convive diariamente con estos materiales. Por otro lado permitirá el desarrollo de proyectos habitacionales y comerciales en una zona altamente tensionada de la mancha urbana de la ciudad.

IMPACTO SOCIAL (señalar el impacto logrado):

INDICAR SEGÚN CORRESPONDA: SI, NO, NA (No Aplica)

<i>Elementos para la revisión académica del trabajo de tesis o trabajo práctico:</i>	
SI	El trabajo es congruente con las LGAC del programa de posgrado
SI	La problemática fue abordada desde un enfoque multidisciplinario
SI	Existe coherencia, continuidad y orden lógico del tema central con cada apartado
SI	Los resultados del trabajo dan respuesta a las preguntas de investigación o a la problemática que aborda
SI	Los resultados presentados en el trabajo son de gran relevancia científica, tecnológica o profesional según el área
SI	El trabajo demuestra más de una aportación original al conocimiento de su área
SI	Las aportaciones responden a los problemas prioritarios del país
NO	Generó transferencia del conocimiento o tecnológica
SI	Cumple con la ética para la investigación (reporte de la herramienta antiplagio)
<i>El egresado cumple con lo siguiente:</i>	
SI	Cumple con lo señalado por el Reglamento General de Posgrados
SI	Cumple con los requisitos señalados en el plan de estudios (créditos curriculares, optativos, actividades complementarias, estancia, predoctoral, etc.)
SI	Cuenta con los votos aprobatorios del comité tutorial
NO	Cuenta con la carta de satisfacción del Usuario (En caso de que corresponda)
SI	Coincide con el título y objetivo registrado
SI	Tiene congruencia con cuerpos académicos
SI	Tiene el CVU de la SECIHTI actualizado
N/A	Tiene el o los artículos aceptados o publicados y cumple con los requisitos institucionales (en caso de que proceda)
<i>*En caso de Tesis por artículos científicos publicados (completar solo si la tesis fue por artículos)</i>	
N/A	Aceptación o Publicación de los artículos en revistas indexadas de alto impacto según el nivel del programa
N/A	El (la) estudiante es el primer autor(a)
N/A	El (la) autor(a) de correspondencia es el Director (a) del Núcleo Académico
N/A	En los artículos se ven reflejados los objetivos de la tesis, ya que son producto de este trabajo de investigación.
N/A	Los artículos integran los capítulos de la tesis y se presentan en el idioma en que fueron publicados
<i>**En caso de Tesis por Patente</i>	
N/A	Cuenta con la evidencia de solicitud de patente en el Departamento de Investigación (anexarla al presente formato)

Con base en estos criterios, se autoriza continuar con los trámites de titulación y programación del examen de grado:

Sí X

No _____

FIRMAS

Elaboró:

*NOMBRE Y FIRMA DEL(LA) CONSEJERO(A) SEGÚN LA LGAC DE ADSCRIPCIÓN:

*En caso de conflicto de intereses, firmará un revisor miembro del NA de la LGAC correspondiente distinto al director o miembro del comité tutorial, asignado por el Decano.

NOMBRE Y FIRMA DEL COORDINADOR DE POSGRADO:

DR. JOSE ANGEL ORTIZ LOZANO

Revisó:

NOMBRE Y FIRMA DEL SECRETARIO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO:

DR. MARIO EDUARDO ZERMENO DE LEÓN

Autorizó:

NOMBRE Y FIRMA DEL DECANO:

MTRA. EN ING. AMB. MA. GUADALUPE LIRA PERALTA

Nota: procede el trámite para el Depto. de Apoyo al Posgrado

En cumplimiento con el Art. 24 fracción V del Reglamento General de Posgrado, que a la letra señala entre las funciones del Consejo Académico: Proponer criterios y mecanismos de selección, permanencia, egreso y titulación de estudiantes para asegurar la eficiencia terminal y la titulación y el Art. 28 fracción IX, atender, asesorar y dar el seguimiento del estudiantado desde su ingreso hasta su titulación.

Agradecimientos

La realización de este trabajo no pudo haber sido posible sin el apoyo de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, máxima casa de estudios, que me otorgó un lugar en su programa de posgrado, y me brindó las herramientas académicas y las instalaciones necesarias, así como un ambiente propicio para la investigación. A la Secretaría de Obras Públicas de Gobierno del Estado de Aguascalientes por su colaboración durante el desarrollo de este trabajo. A MATRA Concretos, por abrirme las puertas de su empresa y facilitarme el uso de sus instalaciones, laboratorio y soporte técnico, así como el apoyo en la provisión de materiales y la disposición y aporte de conocimientos especializados de su personal durante la investigación. Finalmente, agradezco a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México por el impulso y respaldo institucional que facilitaron la realización de este trabajo.

Con profundo estima y reconocimiento expreso mi gratitud hacia mi tutor, el Dr. Miguel Ángel Soto Zamora, y a mis asesores el Dr. Mario Alberto Arzate y el Dr. José Ángel Ortiz Lozano, miembros de mi comité tutorial, ya que su dedicación, paciencia y guía fueron fundamentales durante la realización de este trabajo. Así mismo a mis asesores externos que con su experiencia y conocimiento en ciertas áreas especializadas desempeñaron un papel importante con sus aportaciones, al Dr. Rubén López Doncel, al Ing. Martín Molinero, y todos quienes directa o indirectamente me guiaron durante el desarrollo de este trabajo.

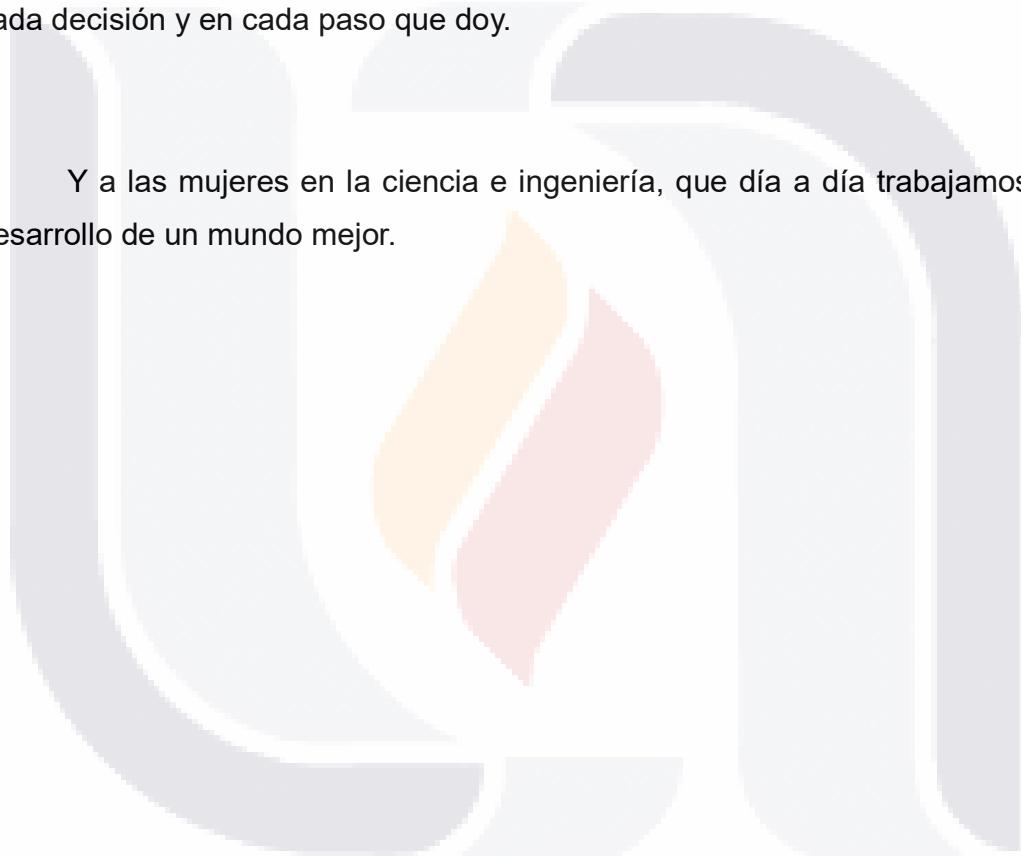
A mi familia, por exhortarme e impulsarme siempre a desarrollarme, plantearme metas y apoyarme incondicionalmente hasta conseguir hacerlas realidad. Son mi todo.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Dedicatorias

A mi hija, que está siempre presente en mis pensamientos y prioridades, en cada decisión y en cada paso que doy.

Y a las mujeres en la ciencia e ingeniería, que día a día trabajamos por el desarrollo de un mundo mejor.



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Contenido

Índice de Tablas	3
Índice de Gráficas o Figuras	5
Resumen.....	7
Abstract.....	8
Capítulo 1. Introducción	9
1.1 Prólogo.....	9
1.2 Objetivo General	10
1.3 Alcances	10
1.4 Narrativa por capítulos	11
Capítulo 2. Planteamiento del problema	13
2.1 Antecedentes.....	13
2.2 Diagnóstico.....	14
2.3 Justificación	15
2.4 Sector de la población afectado por la problemática	17
Capítulo 3. Objetivos de la intervención.....	19
3.1 Objetivo principal	19
3.2 Objetivos particulares	20
Capítulo 4. Fundamentación teórica	22
4.1 Propiedades de los agregados para el concreto	22
4.2 Propiedades del concreto	22
4.3 Diseño de mezclas	25
4.4 Estado del Arte	26
Capítulo 5. Diseño de la Intervención	33
5.1 Hipótesis.....	33
5.2 Metodología.....	33
5.3 Determinación del tamaño de la muestra	56
Capítulo 6. Resultados de la Intervención.....	57
6.1 Toxicología.....	57
6.2 Mineralogía.....	59

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

6.3 Características físicas y mecánicas del agregado (escoria de fundición).....	61
6.4 Concreto en estado fresco.....	71
6.5 Concreto en estado endurecido.....	72
Capítulo 7. Evaluación de la intervención	74
Capítulo 8. Conclusiones	76
8.1 Conclusión general.....	76
8.2 Conclusiones particulares	76
8.3 Nichos de Investigación.....	78
Bibliografía	79
Anexos	82

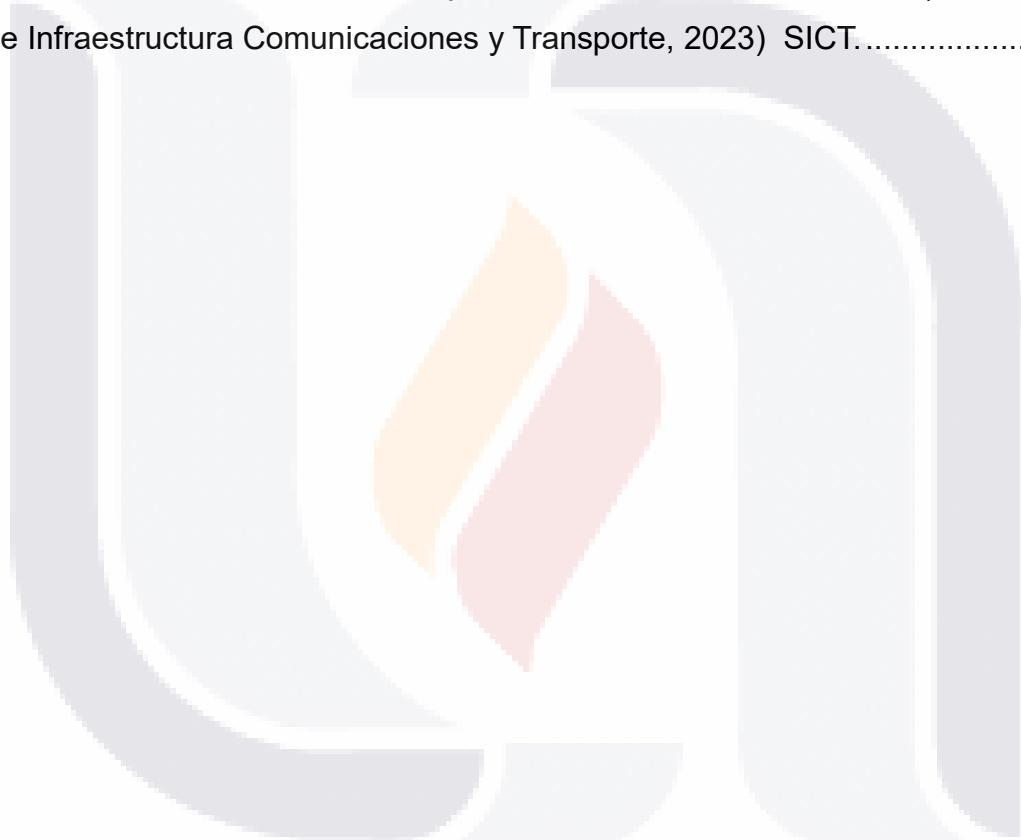


Índice de Tablas

Tabla 1 Límites granulométricos para agregados gruesos “N-CMT-2-02-002/19” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a). SICT	35
Tabla 2 Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso para concreto “N-CMT-2-02-002/19”(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a). SICT.....	37
Tabla 3 Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice. “N-CMT-2-02-002/19”.(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a) SICT.....	39
Tabla 4 Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato. “N-CMT-2-02-002/19”.(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a)	
SICT.....	40
Tabla 5 Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas "M-MMP-2-02-032/18"(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018e) SICT.....	42
Tabla 6 Composición de los cementos Portland (unidades en % en masa). “N-CMT-2-02-001/02” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002b) SICT	46
Tabla 7 Clases resistentes de los cementos Portland, unidades en MPa (Kg/cm ²). “N-CMT-2-02-001/02” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002b) SICT	47
Tabla 8 Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua (Valores en partes por millón (ppm).) “N-CMT-2-02-003/02” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002a)	
SICT.....	49
Tabla 9 Valor nominal y tolerancias para el revestimiento (Unidades en cm). “M-MMP-2-02-056”(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2006b) SICT	51
Tabla 10 Diámetro o lado mínimo de la placa superior de carga. “M-MMP-2-058” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023)	
SICT.....	52

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tabla 11 Resistencia a la compresión y espesor máximo del mortero de azufre. “M-MMP-2-02-058”.(Secretaria de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.....	52
Tabla 12 Tolerancias en el tiempo para probar los especímenes de concreto (en horas). “M-MMP-2-02-058” (Secretaria de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.....	53
Tabla 13 Velocidad de aplicación de carga. “M-MMP-2-02-058”. (Secretaria de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.....	53
Tabla 14 Factores de corrección por esbeltez. “M-MMP-2-02-058”.(Secretaria de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.....	54



Índice de Gráficas o Figuras

Ilustración 1 A: Gran Fundidora Central Mexicana. B: Horno de fundición en Aguascalientes a inicios del siglo XX. Del Archivo fotográfico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.....	14
Ilustración 2 Diagrama de fallas en cilindros sometidos a compresión. Del “M-MMP-2-02-058”.(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.....	55
Ilustración 3 Daphnia magna sometida a entornos con diferente porcentaje de lixiviados de escoria pulverizada. Imagen del Autor.....	57
Ilustración 4 Preparación de la muestra para lixiviado en agua. Foto del Autor	58
Ilustración 5 Índice de mortalidad con Lecane papuana. Imagen del Autor	59
Ilustración 6. Preparación de probeta para lámina delgada. Foto del Autor.	60
Ilustración 7 Imágenes de lámina delgada a 5x, 10x y 20x respectivamente. Los cristales azules son las fayalitas. Imagen del Autor	60
Ilustración 8 Cuarteo y homogenizado de la muestra de material para determinación de parámetros de calidad. Foto del Autor	61
Ilustración 9 Determinación de Peso Volumétrico Seco Suelto del Material. Foto del Autor	61
Ilustración 10 Determinación de Peso Volumétrico Seco Compacto del Material. Foto del Autor.....	62
Ilustración 11 A: Preparación de la muestra para determinación de densidad aparente. B: Peso de material seco. Foto del Autor	63
Ilustración 12 A: Volumen inicial de agua. B: Volumen desplazado del líquido para determinación de la densidad relativa del material.	63
Ilustración 13 A: Saturación del material. B: Material Saturado Superficialmente Seco.....	64
Ilustración 14 Secado del material para determinación de porcentaje de absorción mediante diferencia de pesos	64
Ilustración 15 Preparación de solución de Sulfato de Sodio para pruebas de intemperismo acelerado. Foto del Autor.....	65
Ilustración 16 A: Saturación de material en solución de sulfato. B: Ciclo de exposición del material para Intemperismo acelerado. Foto del Autor.	65

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Ilustración 17 A: Sales producidas en la solución de trabajo. B: Formación de cristales, primer ciclo de Intemperismo. C: Formación de cristales en el agregado al finalizar los ciclos de exposición del material. Foto del Autor.....	66
Ilustración 18 A: Cribado y preparación de la muestra. B: Exposición a ciclo de desgaste por abrasión. Foto del Autor.....	67
Ilustración 19 A: Material resultante al finalizar ciclo de abrasión. B: Material cribado por malla no. 12, para determinar porcentaje depérdida de masa por desgaste. Foto del Autor.	68
Ilustración 20 Preparación de material para determinación de granulometría del material. Foto del Autor	69
Ilustración 21 Retenidos para curva granulométrica del material. Foto del Autor	69
Ilustración 22 Resultados de estudio de calidad de grava (escoria de fundición). Figura del Autor.....	70
Ilustración 23 Revenimiento obtenido de 6 mezclas realizadas para la elaboración de 30 familias de muestras.....	71
Ilustración 24 temperaturas del concreto en estado fresco obtenidas de 6 mezclas realizadas para la elaboración de 30 familias de muestras.....	71
Ilustración 25 Gráfica de resistencia a la compresión obtenida a 3 dias por número de muestra respecto a porcentaje.....	72
Ilustración 26 Gráfica de resistencia a la compresión obtenida a 7 dias por número de muestra respecto a porcentaje.....	73
Ilustración 27 Gráfica de resistencia a la compresión promedio obtenida a 28 dias por número de muestra respecto a porcentaje.....	73

Resumen

Este estudio realiza la caracterización de la piedra grasa, específicamente la escoria de fundición metalúrgica al alto horno enfriada al aire, para evaluar su potencial como agregado pétreo en mezclas de concreto. Al estudiar y caracterizar el material individual se encontraron propiedades físicas y mecánicas que representan un mejor desempeño como agregado alternativo respecto a un agregado pétreo convencional, tales como una menor absorción, menor desgaste de las partículas por abrasión, mayor densidad aparente, mayor resistencia al intemperismo, y un tamaño y forma de la partícula más constante y equimorfo. Una vez caracterizado el material (escoria de fundición) como un agregado pétreo, se diseñó una mezcla de concreto de uso estructural considerando las características propias de la roca de estudio, y se fabricaron mezclas de concreto en las que se sustituyó totalmente el agregado grueso (grava) convencional de tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ " a 4.75mm, con el fin de analizar las propiedades del concreto en su estado tanto fresco como endurecido al modificar los componentes de la mezcla de concreto.

Los resultados demostraron que el uso de escoria de fundición no solo es viable, sino que además mejora las propiedades mecánicas del concreto, destacando principalmente un incremento en la densidad del concreto, lo que supone su uso para elementos estructurales de alta resistencia, también se obtuvieron mejores resultados del parámetro de resistencia a la compresión respecto a la mezcla patrón de control, así como buena consistencia y trabajabilidad de la mezcla en estado fresco. Por lo tanto, en base al análisis de resultados obtenidos se concluye la viabilidad del uso de escoria, ya que si puede ser empleada como un agregado pétreo en mezclas de concreto, contribuyendo a una mayor resistencia y desempeño del concreto, con un enfoque de sostenibilidad en la construcción.

Palabras clave: piedra grasa, escoria de fundición, agregado pétreo, concreto, resistencia mecánica.

Abstract

This study characterizes slag stone, specifically air-cooled blast furnace slag, to evaluate its potential as a stone aggregate in concrete mixtures. By studying and characterizing the individual material, physical and mechanical properties were found that represent a better performance as an alternative aggregate compared to a conventional stone aggregate, such as lower absorption, less wear of the particles by abrasion, higher apparent density, greater resistance to weathering, and a more constant and equimorphic particle size and shape. Once the material (foundry slag) was characterized as a coarse aggregate, a concrete mixture for structural use was designed considering the characteristics of the study stone. Concrete mixtures were manufactured in which the conventional coarse aggregate (gravel) of nominal size of $\frac{3}{4}$ " to 4.75mm was completely replaced, in order to analyze the properties of the concrete in its fresh and hardened state by modifying the components of the concrete mix.

The results demonstrated that the use of foundry slag is not only viable, but also improves the mechanical properties of concrete, primarily highlighting an increase in concrete density, which implies its use for structural high-strength elements. Better compressive strength results were also obtained compared to the control concrete mix, as well as good consistency and workability of the fresh mix. Therefore, based on the analysis of the results obtained, the feasibility of using slag is concluded, since it can be used as a stone aggregate in concrete mixtures, contributing to greater strength and performance of the concrete, with a focus on sustainability in construction.

Keywords: slag stone, foundry slag, coarse aggregate, concrete, mechanical strength.

Capítulo 1. Introducción

1.1 Prólogo

Los desechos industriales, así como los de construcción pueden tener múltiples aplicaciones, y pensar en darles un uso o aplicación posterior a su ciclo es importante porque reducir los residuos generados en procesos industriales o constructivos representa un impacto principalmente ambiental, además de económico, social y urbano. Disminuir los residuos generados ayuda también a disminuir la cantidad de material que termina en vertederos, cuerpos de agua, o depósitos de almacenamiento y acumulación de materiales del tipo escombro, que, a su vez, alteran los ecosistemas, contaminan el entorno e inhabilitan el uso del suelo que los contiene.

En el mundo diariamente se producen residuos industriales y/o de la construcción de diferente origen, principalmente concreto, asfalto, mampostería (ladrillos, block, tabique, etc.), vidrio, madera, plástico, metal, entre otros, de los cuales todos o la mayoría de ellos podrían ser aprovechados.

Es importante determinar un uso o aprovechamiento para cada tipo de material, y posteriormente determinar un método, tratamiento o procedimiento correspondiente para poder emplearlos en algo específico.

De manera general, la mayoría de los residuos previamente mencionados podrían ser triturados y reciclados, para posteriormente utilizarlos en la elaboración de concretos, bases hidráulicas, caminos, veredas, andadores, cimentación de nuevas construcciones, recubrimientos, rellenos o renivelaciones, y otras aplicaciones en obras de infraestructura vial, urbanización o edificación.

Para gestionar adecuadamente dichos residuos es necesario planificar el manejo y uso del material, identificar el tipo de residuo generado, definir un uso, establecer metas de reducción y reciclaje, así como los alcances del propósito o destino y determinar el proceso mediante el cual se prepara el material para su reciclaje y uso.

1.2 Objetivo General

Caracterizar la piedra grasa, (escoria de fundición) producto de la fundición de metales extraídos de las minas de la zona norte del Estado de Aguascalientes a finales del siglo XIX, para evaluar la viabilidad de utilizarla en mezclas de concreto de alta densidad.

1.3 Alcances

Se evaluará material de escoria de fundición metalúrgica almacenado en El Cerro de la Grasa, en el municipio de Aguascalientes, Ags., México, procedente de la Gran Fundición Mexicana.

Análisis de la toxicidad por lixiviados del material en el agua, mediante la Norma Mexicana NMX-AA-087-SCFI-2010.

Estudio de mineralogía y estudio petrográfico del material mediante la polarización de luz en láminas delgadas.

Evaluación del agregado pétreo mediante pruebas para determinar las características físicas y mecánicas del material evaluado como agregado pétreo grueso, con tamaño de partículas mayores a 4.75 mm y menores a 254mm conforme a normativa vigente aplicable (N.CMT.2.02.002/19 Calidad de agregados pétreos para concreto hidráulico), para determinar Peso Volumétrico Seco Máximo, densidad aparente, porcentaje de absorción, humedad natural, Intemperismo acelerado en sulfato de sodio, coeficiente volumétrico, desgaste de los ángeles y tamaño y forma de las partículas.

Diseño de mezcla de concreto en base al manual 211.1 del American Concrete Institute, considerando los parámetros obtenidos del análisis del material individual.

Elaboración de mezcla de concreto, y especímenes de ensaye, para realizar pruebas básicas y convencionales del concreto en estado fresco como lo son la temperatura, revenimiento, masa unitaria (o densidad) y contenido de aire, y ensayos del concreto en estado endurecido, como resistencia mecánica a flexión y a compresión, módulo elástico, absorción de agua por capilaridad, retracción por secado y densidad.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Con el fin de estandarizar las características esperadas del concreto, solamente se utilizará cemento CPC40 para las mezclas correspondientes.

Solo se consideran concretos de resistencia nominal normal a 28 días, así mismo, no se realizarán ensayos de durabilidad en el concreto, debido a los tiempos requeridos para dichos ensayos.

1.4 Narrativa por capítulos

Capítulo 1. En el primer capítulo se presenta la introducción y la importancia del desarrollo de la presente investigación, así como el objetivo y los alcances de la misma.

Capítulo 2. En el capítulo 2 se presenta el planteamiento del problema desde el surgimiento del mismo, por lo que contiene información de los antecedentes históricos, el origen y las consecuencias derivadas de la Gran Fundidora Central de Aguascalientes, el diagnóstico generado en base a las consideraciones ambientales, económicas, sociales y urbanas, así como el impacto que tendría el uso y aprovechamiento de dicho material.

Capítulo 3. En este capítulo se describen los objetivos generales y particulares de la investigación.

Capítulo 4. En el capítulo 4 se desarrolla la fundamentación teórica de la investigación, así como la referencia del estado del arte, la teoría correspondiente al diseño de mezclas de concreto bajo diferentes metodologías, y las propiedades del concreto.

Capítulo 5. Este capítulo es el más extenso, ya que describe el diseño de la intervención, metodología y fundamento de dicha metodología, cuadro de operacionalización de variables, hipótesis y determinación del tamaño de la muestra.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Capítulo 6. En el capítulo 6 se presentan los resultados de la intervención, desglosándolos en cada una de las etapas planteadas de la investigación, que comprenden resultados de los análisis físicos, químicos, toxicológicos, mineralógicos, y mecánicos de la piedra, y los resultados del concreto evaluado comparativamente respecto a un concreto convencional. Entiéndase por concreto convencional, un concreto cuyos agregados pétreos son de origen mineral natural.

Capítulo 7. En este capítulo se analizan, interpretan y comparan resultados obtenidos de la investigación respecto al comportamiento o los resultados de desempeño de un concreto convencional, entendiéndose por concreto convencional aquel en el que se utilizan agregados pétreos de origen natural.

Capítulo 8. En este capítulo finalmente se presentan las conclusiones obtenidas después del análisis y discusión de resultados, pasando de una conclusión general a las conclusiones particulares que de la misma se deriven, así mismo se determinan los nichos de investigación para futuras intervenciones.

Capítulo 2. Planteamiento del problema

2.1 Antecedentes

A inicios del siglo XIX, se instaló en la ciudad La Gran Fundición Central de Aguascalientes, que operó durante alrededor de 40 años, dejando un gran volumen de escoria de fundición, que es producto residual de los procesos que se realizaban con arsénico para separar los metales que se explotaban en las minas de Asientos y Tepezalá, (cobre y plomo) mediante la fundición de los mismos, (Gómez Serrano & Rodríguez Varela, 1982) en hornos a altas temperaturas, generando gran volumen de material tipo escoria, con alto contenido de sílice, plomo, y diversos residuos de metales, el cual es muy denso, resistente a esfuerzos compresivos y frágil ante esfuerzos cortantes.

Dicho material se acumuló en una zona a orillas de lo que en aquel entonces era la planta de la fundición, dentro de un área de 350 hectáreas que el gobierno donó del aquel entonces “rancho del sillero” en Aguascalientes, (Gómez Serrano & Rodríguez Varela, 1982) sin representar en ese momento mayor problema, ya que el terreno estaba en la periferia de la zona urbana, y dicho depósito de material funcionó incluso para llenar los desniveles del terreno donde se acumulaba la escoria, y al mismo tiempo se almacenaba en un solo lugar el material residual de la fundidora, lo cual era práctico y funcional dadas las necesidades de aquella época.

Sin embargo, el depósito de material en la actualidad se encuentra en una de las zonas de mayor plusvalía de Aguascalientes, siendo un inconveniente para el sector público y privado, ya que la presencia de este material es un impedimento para planificar desarrollos urbanos, habitacionales, comerciales, o de cualquier índole, ya que la presencia de este material imposibilita a constructores y gobierno, el uso del suelo en esta zona, razón por la cual se propone darle uso a la piedra grasa de tal manera que se pueda emplear en algo para que el material ya no sea considerado escoria, sino materia prima como agregado pétreo para mezclas de concreto, y que a su vez no resulte dañino a la población, ya que el material por su alto contenido en arsénico, plomo y sílice,

no es apto para usar como mampostería o recubrimiento en los acabados de construcción, por lo que se propone la presente investigación para determinar en qué proporción es seguro utilizar esta piedra de tal manera que se cumplan los parámetros físicos y mecánicos de los agregados pétreos (materiales individuales) del concreto, establecidos en la normativa vigente para la república Mexicana, que corresponde al Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE), y de la Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte (SICT). O en su defecto una vez caracterizado el material producto de escoria de fundición, objeto del estudio, determinar posibles usos alternativos para el aprovechamiento del material.



Ilustración 1 A: Gran Fundidora Central Mexicana. B: Horno de fundición en Aguascalientes a inicios del siglo XX. Del Archivo fotográfico del Instituto Nacional de Antropología e Historia.

2.2 Diagnóstico

El presente estudio se enfoca en la caracterización de la piedra grasa, también conocida como escoria de fundición, con el propósito de evaluar su incorporación como agregado pétreo en mezclas de concreto. Actualmente, este material es considerado un residuo sin un uso específico o aplicación industrial, lo que representa un problema tanto ambiental como económico, debido a la acumulación de desechos y en contraparte al uso intensivo de recursos naturales para la obtención de agregados pétreos convencionales, para satisfacer la demanda en sus aplicaciones y usos en el sector de la construcción, en el que existe la necesidad de explorar alternativas sostenibles que permitan reutilizar residuos industriales y así disminuir la extracción de bancos de materiales.

naturales. Para ello, se analizan las características físicas y mecánicas de la piedra grasa de manera individual, para posteriormente evaluar su desempeño cuando se incorpora como parte del agregado en mezclas de concreto, esto con el fin de evaluar y determinar su viabilidad técnica, económica y ambiental.

Este trabajo se limita al análisis de la piedra grasa proveniente de escoria de fundición al alto horno, sin incluir otros tipos de residuos o agregados, y se enfoca en las propiedades del material, así como su comportamiento y desempeño en mezclas de concreto, evaluado bajo condiciones de laboratorio.

2.3 Justificación

A inicio del siglo XIX el sector de la minería fue la principal industria de Aguascalientes, la explotación de minas para la extracción de metales, y la exportación de los mismos impulsa el desarrollo del ferrocarril para el transporte del material, y adicionalmente surge la necesidad de procesos más industrializados para poder separar y comercializar los metales que se extraían, por lo que se instala la Gran Fundidora Central Mexicana que operó en Aguascalientes durante alrededor de 30 años, periodo durante el cual dejó un gran volumen de material producto de escoria de fundición. Actualmente el depósito de material es de vasta extensión, gran dimensión y gran volumen, por lo que la misma existencia y acumulación de este material afecta al desarrollo urbano de la ciudad.

Se busca darle un uso a la escoria de fundición existente en la actualidad, mediante el estudio y la caracterización de este material que nos permitirá determinar la viabilidad de su uso como agregado pétreo de concreto.

La investigación y desarrollo de este trabajo se justifica desde diferentes perspectivas generales, comenzando desde el punto de vista económico se pueden mencionar dos argumentos importantes; el posible aprovechamiento del material como insumo en la producción de concreto representa un ahorro de gran impacto económico ya que al utilizar estos residuos que existen acumulados en el Cerro de la Grasa se evita tener que invertir en la adquisición de agregado pétreo como insumo. Por otra parte, el depósito de material en cuestión se

encuentra actualmente en una zona de buena plusvalía, mismo que podría ser utilizado para diversos usos, ya sea comercial, habitacional o de servicios, actualmente se han planteado diversos proyectos, sin embargo, hasta el momento no ha prosperado ninguno, en tanto no se remueva el material existente en el depósito, o se reubique, sin embargo la reubicación no es económicamente viable, ya que los gastos derogados de carga, acarreo, y disposición final implicarían únicamente mover el problema a otro lado, sin dar una solución real. El uso de un material local impacta y reduce los costos de explotación y transporte, aunque por otro lado no se considera seguro utilizar el material debido a que se desconoce si libera sustancias o gases nocivos, ya que del proceso de la fundición se sabe que se realizaba a altas temperaturas, y se utilizaba arsénico para la separación de componentes, así mismo los metales extraídos eran principalmente plomo, cobre, estaño y un poco de plata y oro, es necesario primeramente evaluar el material, retirar el gran volumen de material que se encuentra almacenado en el sitio, y posteriormente realizar un proceso de bio-remediación de la zona.

Lo anterior nos lleva a la justificación desde el punto de vista ambiental, una de gran impacto, ya que de ser posible la utilización de la escoria de fundición como agregado pétreo, tendría un impacto positivo dado que la utilización de dicho material representa a su vez evitar extraer el mismo volumen de roca de los bancos de material que actualmente son explotados en la región, por lo que reduciría la dependencia existente de explotación de bancos de material, lo que promueve una práctica hacia la sustentabilidad y responsabilidad ambiental y económica.

Adicionalmente, desde un punto de vista conjunto ambiental/social, el uso y aprovechamiento del material representaría la atención a un posible riesgo sanitario asociado, ya que al utilizar estos residuos se revaloriza la importancia de no sobre explotación de recursos naturales, a la vez que se disminuye la problemática de ocupación del terreno, asociado a la disposición final del residuo, que conlleva a la posible contaminación del suelo y agua, todo mientras se fomenta una economía circular y se reduce la explotación y extracción innecesaria de recursos naturales para producción de agregados pétreos, y posteriormente la producción del concreto.

Hablando del potencial riesgo sanitario por lixiviación de agentes contaminantes, y los metales pesados que puede contener la escoria de fundición, como cromo, plomo, arsénico o zinc, cuya concentración se desconoce y por ende representa un riesgo para la salud de las personas y especies que habitan en la zona, principalmente si se encuentran en contacto directo, o por inhalación de polvos, contacto con la piel o exposición prolongada en su entorno, no se sabe si esta exposición pueda estar asociada a patologías respiratorias, dermatológicas o sistémicas hablando de posibles consecuencias a largo plazo, por la acumulación de partículas nocivas en el organismo, posiblemente teniendo efectos adversos en el sistema inmunológico de las personas.

Todo lo anterior nos lleva a la necesidad de estudiar y caracterizar el material, primeramente, para conocer sus componentes y posibles efectos adversos en el ámbito antrópico, y en base a eso determinar una metodología para su manejo y utilización, cuidando los criterios ambientales y sustentables, así como la protección social y seguridad de tal manera que no genere efectos adversos o perjudiciales a largo plazo tanto para la población como para el medio ambiente.

2.4 Sector de la población afectado por la problemática

El sector poblacional afectado por la problemática previamente planteada abarca igualmente aspectos sociales, económicos y urbanos.

Desde el punto de vista social, los pobladores de la zona del depósito de material, se ven afectados al estar constantemente expuestos al material, con el riesgo sanitario que implica, lo que afecta a su vez su bienestar, calidad de vida y seguridad, debido a la posible liberación de sustancias nocivas para los seres vivos.

Desde el punto de vista económico, la existencia y acumulación de escoria de fundición afecta porque limita el desarrollo urbano y económico de la región, ya que la imposibilidad de implementar nuevos desarrollos o proyectos habitacionales, comerciales y / o de servicios, puede contribuir incluso a la aparición de espacios marginales, en una zona que actualmente tiene alta

plusvalía, afectando a su vez, el valor de la propiedad en zonas aledañas, mientras que si se demuestra seguro el uso de escoria de fundición como agregado pétreo en mezclas de concreto, o en alguna otra posible aplicación, se abre una brecha de oportunidad de aprovechamiento de un recurso local, reduciendo los costos de producción del concreto y evitando la explotación de bancos de material, lo que representa una economía más competitiva y sostenible.

Desde el punto de vista urbano, la simple existencia de este depósito de material afecta directamente la planeación, desarrollo y crecimiento de la ciudad, y la concentración de este material tipo escoria resta espacio para el desarrollo y expansión urbana, limitando la construcción de zonas habitacionales y comerciales, dejando un espacio sin poder utilizar, lo que a su vez puede generar problemas de conectividad, infraestructura y movilidad en esa zona, eso sin mencionar que una vez despejada la zona, es necesario pensar en la remediación del sitio, antes de poder implementar cualquier tipo de proyecto que se tenga ideado para el crecimiento y desarrollo ordenado de la ciudad.

De esta manera, se concluye que la problemática impacta en la salud, economía local, y desarrollo urbano, por lo que se requiere abordar la situación con una propuesta viable para la utilización y disposición final del material, con un enfoque integral, cuidando los aspectos mencionados para garantizar seguridad, desarrollo económico y mejoramiento del entorno urbano para los habitantes de la zona de afectación por el depósito de escoria de fundición.

Capítulo 3. Objetivos de la intervención

3.1 Objetivo principal

Se estudiará el material existente acumulado y almacenado en el Cerro de la Grasa, ubicado en el municipio de Aguascalientes, delimitado al oriente por av. Aguascalientes poniente, al norte por Calle Genaro Covarrubias, al poniente por el Rio san pedro, y al sur por la planta tratadora de aguas residuales “Los sauces”, las muestras de material serán extraídas del depósito principal, que se encuentra al centro del predio antes mencionado.

El objetivo de la caracterización de este material es conocer diversos parámetros físicos, químicos, mecánicos, y de origen mineralógico de la roca triturada a diferentes granulometrías, clasificadas en materiales mayores a 4.75 mm (gravas), y materiales entre 2 y 4.75mm (arena), y evaluando sus características individuales, para efecto de este estudio se caracterizará únicamente el agregado grueso (grava) para su incorporación a sustitución parcial y total en mezclas de concreto, por lo que se evaluará el material en base a normativa vigente aplicable, para lo cual requiere conocer los siguientes parámetros:

- Análisis granulométrico del agregado
- Densidad relativa
- Porcentaje de Absorción
- Intemperismo acelerado
- Masa volumétrica
- Resistencia al desgaste (desgaste de los ángeles)

Adicionalmente se realizarán estudios para conocer si existe toxicidad en el material mediante ensayos de contenido toxicológico, y posteriormente conocer el contenido y origen petrográfico mediante un ensayo de lámina delgada.

Una vez conocidas las características del material, se elaborará un diseño de mezclas de concreto con especificaciones por definir, considerando las características de los materiales individuales (estudio de calidad de grava, estudio de calidad de arena de río de banco estándar, resistencia y especificación del cemento a utilizar y resistencia de diseño a falla cortante).

Una vez que se tenga el diseño propuesto de mezcla de concreto se realizarán las mezclas con las dosificaciones de diseño, sustituyendo el agregado grueso (grava con tamaño de partícula mayor a 4.75 milímetros) por la piedra grasa (escoria de fundición metalúrgica) a diferentes proporcionamientos, y se procederá a la elaboración de especímenes o probetas cilíndricas de concreto, que serán ensayados a compresión simple, para conocer el comportamiento y desempeño mecánico del concreto con dichos agregados, evaluar los resultados y hacer las adecuaciones correspondientes en la dosificación del material, todo con la finalidad de darle uso a la escoria de fundición de tal manera que se produzca un concreto con menor impacto medio ambiental, que sea económico y resistente, con características similares o mejores que las de un concreto convencional pero mediante el uso y aprovechamiento de escoria acumulada en el cerro de la grasa, y sin tener que continuar explotando los bancos de materiales pétreos de la región.

3.2 Objetivos particulares

Partiendo del objetivo principal de la investigación, y de la justificación del mismo, se derivan los siguientes objetivos específicos o particulares:

- a) Caracterizar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la piedra, para determinar si se puede utilizar como agregado grueso en su totalidad o en cierta proporción en mezclas de concreto.
- b) Realizar un diseño de mezcla en base a los lineamientos del método de diseño establecido por el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, en el manual 211.1: "Diseño de mezclas de concreto" (Comité ACI 211, 1985),

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

considerando las características presentadas en los materiales individuales; grava (escoria de fundición), arena, cemento y agua.

- c) Elaborar probetas para realizar ensayos correspondientes del concreto en su estado fresco y posteriormente en su estado endurecido.
- d) Analizar y comparar resultados obtenidos respecto a un agregado pétreo y un concreto convencional.



Capítulo 4. Fundamentación teórica

4.1 Propiedades de los agregados para el concreto

De los principios de Diseño y control en Mezclas de concreto, del manual PCA (Portland Cement Association, 2004b) se define que los agregados para el concreto ocupan un volumen cercano del 60% al 75 del volumen total de la mezcla de concreto, por lo que las propiedades, características y calidad de los mismos no se pueden ni deben subestimar, ya que la calidad de los mismos influye fuertemente en las propiedades obtenidas del producto final del concreto en su estado fresco inicial, y posteriormente en su estado endurecido, así como en las proporciones requeridas de las mezclas y finalmente impactando en el precio del concreto.

Así mismo, los agregados también deben cumplir con ciertas características y propiedades para que su uso en las mezclas de concreto sea adecuado, dichos parámetros se encuentran normados en cada país o región dependiendo del tipo de material pétreo con el que se cuenta. (Portland Cement Association, 2004b) “Los agregados pétreos deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, ni revestimientos de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia con la pasta de cemento.”. Así mismo, las partículas de agregados que son disagregables, deleznables o quebradizas son indeseables para su uso en el concreto, también se deben evitar agregados con poca resistencia al Intemperismo, erosión, o con tendencia reactiva a los álcalis del cemento.

4.2 Propiedades del concreto

Los componentes básicos que conforman el concreto se resume en dos elementos principales, que son agregados pétreos y pasta cementante. La pasta se compone a su vez por agua y cemento portland, y su función dentro de la mezcla es aglutinar y unir los agregados pétreos, que son fundamentalmente arena y grava. Una vez mezclados todos los elementos, el concreto inicia un

proceso de endurecimiento, mediante el fraguado (pérdida del agua por reacción química con el cemento y evaporación) y alcanza ciertas resistencias esperadas. Los agregados necesarios a utilizar a su vez se dividen principalmente en dos grupos; agregados finos (arenas o partículas con un tamaño mayor a la malla 200 y menor a 4.75 milímetros) y agregados gruesos (gravas con tamaño de partícula mayor a 4.75 milímetros y menor a 1 pulgada), la mezcla en conjunto se va a componer entonces por cemento, agua, aire, agregado fino y agregado grueso, adicionalmente se pueden incorporar aditivos químicos, que son otro tipo de materiales o sustancias que alteren alguna propiedad específica del concreto, generalmente se incorporan a la mezcla al momento de la dosificación, mismos que comúnmente se emplean para modificar el tiempo real de fraguado del concreto, reducir la demanda requerida de agua de la mezcla, aumentar la trabajabilidad de la mezcla, inclusión intencional de aire, o para justar alguna otra propiedad del concreto fresco o endurecido.

De manera general, la pasta compuesta por los materiales cementantes o aglutinantes, el agua y el aire atrapado, constituye un volumen aproximado del 25% al 40% del total de la mezcla del concreto. (Portland Cement Association, 2004a). En parámetros normales, el volumen estándar del cemento requerido por metro cúbico representa del 7% al 15% dependiendo de la relación agua cemento de diseño, el volumen de agua del 14% al 21%, y el contenido de aire incluido (aunque éste podría variar dependiendo de las necesidades o diseño) va del 1 % al 4% siempre y cuando no se le incorpore aire adicional, hablando de un diseño de concreto especial, en cuyo caso el contenido de aire podría ser hasta del 8%. Dicho esto, como resultante los agregados en si constituyen entre el 60% y 75% del total de volumen en una mezcla de concreto, por lo que la selección de los mismos es considerablemente importante, ya que deben contener agregados o partículas (pétreos) con una resistencia mecánica probada que resulte adecuada para su utilización, así como la resistencia esperada bajo las condiciones de desempeño y exposición a las que se van a someter, así mismo se busca que los agregados no contengan partículas contaminadas que pudieran afectar e impactar en el pronto deterioro del concreto o reacciones químicas. De esta manera, la calidad resultante o esperada del concreto dependerá en gran medida de la calidad y las características de la pasta

cimentante y de los agregados, ya que esto afecta a su vez la correcta adherencia entre ambos componentes, por lo que un concreto fabricado adecuadamente, debe cubrir en su totalidad cada partícula de los agregados con la pasta cementante, y los espacios generados entre los agregados deben llenarse con pasta.

La calidad y resistencia del concreto en su estado endurecido, así como el desempeño del mismo es altamente influenciada y afectada por la cantidad de agua utilizada respecto a la cantidad de cemento, la conocida relación agua – cemento (rac), cuando al momento de diseñar o mezclar grandes cantidades de agua se incorporan de forma innecesaria al concreto, esta diluye la pasta del cemento, presentando alteraciones en el concreto endurecido como el aumento del volumen y por lo tanto la reducción de la masa volumétrica (densidad) y disminución en la resistencia. Por otro lado. Mantener las cantidades de agua en el mínimo necesario al momento de diseñar y elaborar el concreto presenta las siguientes ventajas:

- Aumento en la resistencia resultante a la compresión y a la flexión.
- Disminución significativa de permeabilidad, por ende, disminución en la capacidad de absorción y aumento en la hermeticidad.
- Aumento de la resistencia a exposición de intemperie.
- Mejor adherencia entre la mezcla de concreto y el acero de refuerzo, en caso de que exista.
- Reducción de la contracción y fisuramiento.
- Menos variabilidad de volumen causado por contracciones de humedecimiento y secado.

Después del diseño para determinar los proporcionamientos, el proceso de dosificación, manejo, colocación, consolidación, acabado y curado del concreto, teniendo en cuenta el cuidado de los factores correspondientes en cada parte del proceso, el concreto adquiere diversas propiedades como lo es el endurecimiento paulatino, lo que significa que tras el proceso de evolución y maduración del concreto eventualmente se obtendrá un material durable, inflamable, impermeable, resistente a la abrasión, y de bajo mantenimiento o conservación. Además, su propiedad plástica al momento de elaborarlo representa una amplia versatilidad en su uso y propósito en la construcción, se

puede moldear a la forma, figura y sección requerida, se le puede incorporar color y/o textura, lo que lo convierte en el material de mayor demanda y consumo en la industria global de la construcción.

4.3 Diseño de mezclas

Es el proceso de cálculo, análisis y determinación de parámetros requeridos del concreto, fundamentado en su uso y aplicación, dentro del diseño se puede incluir principalmente las propiedades mecánicas (resistencia) del concreto en estado endurecido y las propiedades esperadas del concreto en estado fresco (trabajabilidad), adicionalmente la inclusión, exclusión o limitantes de ciertos componentes o aditivos específicos. El diseño de la mezcla de concreto lleva a cabo el análisis, desarrollo y planteamiento de las especificaciones técnicas del concreto.

El proporcionamiento o dosificación de la mezcla se refiere a la determinación específica de las cantidades necesarias de cada componente del concreto para lograr obtener las características deseadas, (Portland Cement Association, 2004c) pero siempre debe cumplir con las siguientes condiciones:

- Trabajabilidad y manejabilidad en estado fresco.
- Durabilidad, resistencia mecánica y apariencia homogénea en estado endurecido.
- Economía.
- Optimización de recursos y uso de materiales de la región.

Antes de poder determinar las proporciones de dosificación de la mezcla es necesario definir las características deseadas, considerando el propósito y disposición del concreto, así como las condiciones de desempeño y exposición, la forma y el tamaño de los elementos que se van a fabricar y las propiedades físicas requeridas del concreto, principalmente la resistencia. Después de definir las características se diseña a partir de datos de campo o de laboratorio (parámetros de los materiales).

De manera general, la mayor parte de las especificaciones de diseño, propiedades y características del concreto en estado endurecido van en función íntima de la calidad de la pasta cementante.

El diseño y las mezclas de concreto, como principio básico debe mantener un proporcionamiento lo más sencillo posible, dado que un número excesivo de componentes o ingredientes quizá innecesarios, dificulta el control de los procesos de dosificación del concreto, y el control de calidad en la producción del mismo.

4.4 Estado del Arte

La escoria de fundición, y de otros procesos siderúrgicos se ha estudiado en diversas investigaciones, debido a su potencial uso como subproducto o insumo para la construcción. A continuación, se mencionan los avances y aplicaciones de los estudios, desde su composición y caracterización para determinar su composición química y sus propiedades físicas como dureza, resistencia al desgaste o a la abrasión, su estabilidad térmica y la compatibilidad con otros materiales. También las posibles aplicaciones en la industria de la construcción como agregado pétreo, y sus posibles mejoras en parámetros como la resistencia mecánica, durabilidad y resistencia ante agentes agresivos, sin perder de vista la peligrosidad que podría representar por los contenidos de metales pesados, como plomo, arsénico, cobre u otros contaminantes que pongan en duda su compatibilidad ambiental, por la posible lixiviación del material.

Según (Sharma et al., 2016) en su publicación “Utilization of Waste Foundry Slag and Alccofine for Developing High Strength Concrete” donde evalúa el desarrollo de resistencia de concreto utilizando Escoria de Fundición y Alcofina, mediante el modelado y elaboración de muestras de concreto con una relación agua-cemento de 0.239, en el que se realizaron las muestras con porcentajes variables de Escoria de Fundición como reemplazo parcial para agregados finos convencionales y un porcentaje óptimo de Alcofina como reemplazo parcial del cemento se evaluó la resistencia del concreto mediante

pruebas como resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, y resistencia a la flexión, a diferentes edades (7, 14, 28, 56 y 90 días). El estudio también investigó el efecto de reemplazar agregados finos con escoria de fundición sobre las propiedades de resistencia del concreto, encontrando que las muestras de concreto con hasta 45% de reemplazo de agregados finos con escoria de fundición mostraron un aumento en la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y resistencia a la tracción en todas las edades evaluadas.

La inclusión de alcofina como reemplazo parcial del cemento también contribuyó al desarrollo de resistencia del concreto.

De acuerdo con la investigación de (Jose & Hossiney, 2016) "Characteristics of concrete containing waste foundry sand and slag sand" donde se estudia la potencial reutilización de arena de fundición como reemplazo parcial en la producción de concreto de cemento, y se evalúan las propiedades del concreto que contiene arena residual de fundición, mediante la sustitución parcial de arena de escoria por arena de fundición, se encontró que el concreto con 30% de reemplazo arena de escoria de fundición tiene una resistencia similar a la mezcla de control (concreto normal), aunque dicha investigación es limitada respecto a la reutilización de arena de fundición en concreto.

Así mismo, (Saxena et al., 2021) en su estudio "Experimental study on use of various proportions of foundry slag and alccofine in cement concrete" señala que el concreto de alta resistencia que contiene escoria de fundición y alcofina presenta un aumento de la resistencia a la compresión, a la tracción, a la flexión y al impacto. En el estudio se utilizó una mezcla de concreto de alta resistencia con porcentajes variables de escoria y alcofina como reemplazos para agregados finos y cemento, respectivamente. Se prepararon muestras de concreto de grado M80 (es decir, que alcanza una resistencia a la compresión de 80 Megapascales tras 28 días de curado) con una relación constante agua/cemento de 0.238. En las muestras se analizaron resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y resistencia a la flexión a edades de 7, 28 y 56 días. Se evaluó el efecto de diferentes porcentajes de escoria y alcofina sobre las propiedades de resistencia del concreto. El contenido óptimo de

alcofina (15%) y reemplazo de escoria (hasta 50%) se determinó con base en la proporción de mezcla.

Por su parte (Sahare & Dudhe, 2019) en su estudio “Experimental study on waste foundry sand and steel slag concrete” utiliza arena residual de fundición y escoria de acero como materiales alternativos para concreto, planteando la reducción de problemas ambientales mediante el uso de materiales de desecho, encontrando que el uso de arena de fundición de residuos y escoria en concreto ayuda a lograr la resistencia requerida de diseño a bajo costo, evaluando la resistencia media a la tracción del concreto M25 (resistencia de 25 Megapascales tras 28 días de curado) con reemplazo de arena de fundición después de 7 días de curado.

(Vamshi et al., n.d.) Argumenta en su publicación “Utilization of Foundry Slag as a Partial Replacement for Fine Aggregate to Attain Sustainability in Construction” la viabilidad económica y reducción en el uso de arena para concreto mediante la comparación de resistencia a la compresión entre concreto normal y concreto con uso de escoria como reemplazo parcial de agregados finos en la mezcla.

Los hallazgos de (Udayasree & Kumar, 2023) en el estudio “Properties of self-compacting concrete modified with m-sand and spent foundry slag” en el cual exploran el uso de concreto autocompactante modificado con escorias y arena de fundición, indican que el concreto con sustitución del 20% arena de arena convencional por arena de fundición mostró mejores propiedades mecánicas y de durabilidad, así como un módulo de ruptura mejorado. El estudio utilizó diversos métodos de prueba, incluido el método de prueba estándar ASTM C496 para la división de la resistencia a la tracción de especímenes cilíndricos de concreto, y los métodos de prueba estándar IS:2386-1963 para agregados para concreto.

Por su parte (Thaarrini & Ramasamy, 2016) en la publicación “Properties of foundry sand, ground granulated blast furnace slag and bottom ash based

geopolymers under ambient conditions" argumentan que el concreto con geopolímeros es una alternativa eficaz a los aglutinantes de cemento, y que el uso de geopolímeros pueden limitar las emisiones de gases de efecto invernadero. Los trabajos de investigación discuten la síntesis y las propiedades de los geopolímeros basados en diferentes materiales como cenizas volantes, cenizas de fondo y escorias. En los trabajos se menciona la preparación de concreto geopolímero utilizando soluciones activadoras y el uso de relaciones específicas de silicato de sodio a hidróxido de sodio.

En el estudio de (Sharma, Sharma, & Goyal, n.d.) "Prediction of High Compressive Strength of Concrete using Waste Foundry Slag and Alccofine by Non Destructive Test", se correlacionan ensayos no destructivos con resistencia a la compresión del concreto de alta resistencia mediante métodos de ensayos no destructivos, como velocidad del pulso ultrasónico (UPV) y número de rebote de Schmidt (RN), correlacionando los valores obtenidos con resultados de ensayos a la compresión simple (CS), y desarrollando ecuaciones lineales entre compresión simple y velocidad del pulso ultrasónico y compresión simple y número de rebote de Schmidt.

Mientras que (Sowmya & Kumar, 2015) "Mixing of waste foundry sand in concrete" demostró un aumento de la resistencia a la compresión y tracción dividida en probetas de concreto con sustitución de arena de fundición mediante la evaluación de la resistencia a la compresión del concreto utilizando arena de fundición usada con diferentes aditivos, así como la investigación del efecto de la arena de fundición como reemplazo parcial del agregado fino sobre la resistencia del concreto. Donde también se evalúa la resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y resistencia a la tracción dividida del concreto utilizando tres tipos de arena de fundición usada como reemplazo parcial del agregado fino, y tiene como objetivo determinar el porcentaje óptimo de reemplazo parcial y evaluar la resistencia del concreto a los sulfatos.

Así mismo, en otro estudio (Sharma et al., 2016a) "Comparative Studies on Mechanical Properties of High Strength Concrete Using Foundry Slag and Alccofine" realiza un estudio comparativo sobre propiedades mecánicas de concreto de alta resistencia utilizando escoria de fundición y Alcofina como reemplazos parciales para agregados convencionales y cemento, y realiza el análisis comparativo de propiedades de concreto de alta resistencia mediante uso de escoria de fundición y alcofina como reemplazos. Se encontró que la resistencia a la flexión a los 28 días era mayor que los valores correspondientes pronosticados en el código de práctica de concreto simple y reforzado de la India (Documento IS4562000) (Bureau of Indian Standards, 2000), lo que indica que éste concreto tiene mejor resistencia a la flexión que el concreto de resistencia normal. El uso de alcofina como material cementoso suplementario con alta reactividad y finura, junto con la escoria de fundición como reemplazo parcial de agregados finos, dio como resultado propiedades mecánicas mejoradas del concreto modificado.

En consonancia con (Sharma, Sharma, Goyal, et al., n.d 2017.) en su estudio realizado "Experimental Investigation on Effect of Industrial Waste Slag and Alccofine on Durability Properties of High Strength Concrete" donde trata la Reducción en la absorción de agua del concreto de alta resistencia y la disminución de la permeabilidad con mayor contenido de escoria, mediante el uso de subproductos puzolánicos en concreto y sustitución de agregado fino natural por escoria, encontrando que el uso de materiales de desecho industriales en el concreto reduce la absorción de agua y aumenta la durabilidad, y que la adición de escoria y alcofina reduce significativamente la absorción de agua y la permeabilidad del concreto de alta resistencia.

La evidencia de (Sravan Kumar & Ajitha, 2023)en su estudio experimental "Experimental study on strength of concrete using slag and partial cement with alccofine" sugiere que existe un mejoramiento de propiedades del concreto con alcofina y arena de escoria de fundición. El trabajo utiliza una combinación de

métodos experimentales y analíticos para estudiar las propiedades y desempeño de la alcofina en el concreto. Se realizaron pruebas preliminares sobre cemento, agregados gruesos y alcofina para recabar datos sobre sus propiedades. El trabajo también incluye una revisión de estudios previos sobre alcofina como material cementoso suplementario. Los autores realizaron experimentos para determinar la proporción óptima de mezcla reemplazando parcialmente cemento con alcofina y escoria en diferentes porcentajes. Se realizaron pruebas para evaluar la resistencia a la compresión, la resistencia a la tracción dividida y la resistencia a la flexión de las muestras de concreto en diferentes períodos de curado. La mezcla con 15% de sustitución de residuos (alcofina) y 100% de escoria logró la mayor resistencia a la compresión. Mientras que la alcofina, un material cementoso suplementario, ofrece menos consumo de agua y satisface las demandas de rendimiento del concreto.

El estudio (Ahmad et al., 2022) "Waste foundry sand in concrete production instead of natural river sand: A Review" evalúa el uso de arena de fundición residual en concreto con dosis de sustitución óptima y los efectos sobre las propiedades y resistencia del concreto, propiedades químicas del agregado y propiedades frescas del concreto, así como propiedades de compactación y resistencia a la compresión, tracción dividida y flexión. En este estudio cada autor de la publicación realiza sus propios especímenes con diferentes proporcionamientos y reportan resultados obtenidos, encontrando resultados similares respecto a los especímenes de control.

Por otra parte (Sithole et al., 2022) en su estudio "Alternative cleaner production of sustainable concrete from waste foundry sand and slag" postula aplicar el concepto de economía circular para reducir el impacto ambiental de los residuos de fundición de metales y lograr cero residuos, desarrollar muestras de concreto utilizando arena de fundición, piedras trituradas y agregados activados por álcali, mediante el análisis para composición química, análisis microestructural, análisis para la absorción, análisis para la identificación de fases, pruebas para propiedades mecánicas y pruebas de durabilidad con ciclos de secado húmedo. El estudio optimizó diversas condiciones para obtener

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

muestras de concreto con alta resistencia y baja lixiviación metálica. La composición de las muestras se analizó mediante diversas técnicas y se probó la durabilidad de las muestras curadas a través de 10 ciclos de secado húmedo, proporcionando información sobre las características mecánicas, de lixiviación y microestructurales de las muestras de concreto.

Del análisis del estado del arte, se concluye que la escoria de fundición al alto horno enfriada al aire, y otros tipos de escoria como la arena de fundición, la alcofina y otros polímeros representan un gran potencial como recurso o insumo en la industria de la construcción, siempre y cuando se realice una caracterización y análisis adecuado, y se controlen los aspectos ambientales, para mantener un enfoque sostenible de uso y disposición del material. La tendencia consiste en integrar el material mediante procesos de caracterización, estabilización y tratamientos previos para optimizar el desempeño del material y minimizar riesgos, contribuyendo a una economía circular y protección ambiental.

Capítulo 5. Diseño de la Intervención

5.1 Hipótesis

Es posible utilizar el material tipo escoria, producto de la fundición de metalúrgica, como agregado pétreo, e incorporarlo en mezclas de concreto hidráulico, mediante la caracterización de sus propiedades físico-mecánicas, y el estudio de las posibles reacciones químicas que puedan existir con los componentes del cemento.

El material producto de escoria de fundición cumple con las características de desempeño mecánico para ser utilizado como agregado grueso (grava) en mezclas de concreto de uso estructural.

La utilización de dicho material puede ser en diferentes proporcionamientos o porcentajes de sustitución.

5.2 Metodología

La metodología se compone de dos partes fundamentales; el análisis individual de la escoria de fundición como agregado pétreo grueso, y el análisis del comportamiento del concreto utilizando dicho material en las mezclas de concreto hidráulico.

Primeramente, se van a realizar pruebas de análisis de material individual en base a normativa vigente aplicable de la Secretaría de Comunicaciones Infraestructura y Transporte (SCIT), y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT); del libro CMT “Características de los Materiales”, Parte 2. “Materiales para Estructuras” Título 02. “Materiales para Concreto Hidráulico”, Capítulo 002. “Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico”. N-CMT-2-02-002/19. (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a) Donde se especifican las características físicas, y calidad de los agregados pétreos a utilizar en la fabricación y producción de concreto cuyo diseño se basa en el sometimiento de los especímenes a pruebas destructivas. Clasificando los agregados pétreos como materiales sometidos a procedimientos de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

disgregación, cribado, trituración o lavado, así como materiales producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente, que posteriormente se mezclan con cemento portland y agua, (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a) en el proceso establecido para conformar la mezcla de concreto hidráulico.

De esta misma normativa se deriva la clasificación del agregado como arena o grava, teniendo como punto de partida el tamaño de las partículas, donde se clasifica como arena el agregado que después de la trituración y el cribado, tenga tamaño de partículas mayores a 75 micrómetros (Malla N°200) y menores a 4.75 milímetros (Malla N°4), dicho agregado puede contener en su composición granulométrica finos de menor tamaño, siempre y cuando los mismos estén dentro de los parámetros establecidos en la norma. Y, por otra parte, para el agregado grueso se considera grava natural obtenida mediante extracción de banco, trituración y cribado, o en este caso, escoria de alto horno enfriada al aire libre, con partículas comprendidas en una granulometría de entre 19 mm (3/4") como tamaño máximo y 75mm (3"), aunque también puede incluir fragmentos de roca y/o arena, también siempre y cuando se encuentren dentro de las tolerancias establecidas en la norma. En este caso se determina la evaluación de un material de Tamaño Máximo del Agregado (TMA) de 1", y Tamaño Nominal (TN) de $\frac{3}{4}$ ". Es importante mencionar que esta normativa mexicana, tiene como referencia la norma ASTM C1105 – 08a (2016) "*Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction*", publicada por ASTM Internacional, en EUA en el año 2016.

De esta norma se desprenden los requisitos de calidad requerida del agregado fino (arena) y los requisitos de calidad del agregado grueso (grava). Se evalúan las siguientes variables:

1. Granulometría. Los límites granulométricos para agregados gruesos, deben cumplir con los porcentajes de material retenido que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1 Límites granulométricos para agregados gruesos “N-CMT-2-02-002/19” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a). SICT

Malla mm (designación)	Tamaño nominal mm												
	90 a 40	64 a 40	50 a 25	50 a 5	40 a 20	40 a 5	25 a 13	25 a 10	25 a 5	20 a 10	20 a 5	13 a 5	10 a 2,5
	Porcentaje retenido acumulado												
101 (4 in)	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
89 (3½ in)	0 - 10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
75 (3 in)	--	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
63 (2½ in)	75 - 40	0 - 10	0	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--
50 (2 in)	--	30 - 65	0 - 10	0 - 5	0	0	--	--	--	--	--	--	--
37,5 (1½ in)	85 - 100	85 - 100	30 - 65	--	0 - 10	0 - 5	0	0	0	--	--	--	--
25 (1 in)	--	--	85 - 100	30 - 65	45 - 80	--	0 - 10	0 - 10	0 - 5	0	0	--	--
19 (¾ in)	95 - 100	95 - 100	--	--	85 - 100	30 - 65	45 - 60	15 - 60	--	0 - 10	0 - 10	0	--
12,5 (½ in)	--	--	95 - 100	70 - 90	--	--	90 - 100	60 - 90	40 - 75	45 - 60	--	0 - 10	0
9,5 (⅓ in)	--	--	--	--	95 - 100	70 - 90	95 - 100	85 - 100	--	85 - 100	45 - 80	30 - 60	0 - 15
4,75 (N°4)	--	--	--	95 - 100	--	95 - 100	--	95 - 100	90 - 100	95 - 100	90 - 100	85 - 100	70 - 90
2,36 (N°8)	--	--	--	--	--	--	--	--	95 - 100	--	95 - 100	95 - 100	90 - 100
1,18 (N°16)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	95 - 100

De este parámetro (granulometría) se determina si el material evaluado se encuentra dentro de los rangos permitidos para su uso en mezclas de concreto hidráulico, y en caso contrario deberán hacerse los ajustes correspondientes ya sea de la trituración, o de los proporcionamientos del concreto hidráulico para compensar dichas deficiencias. Lo anterior se determina en apego al manual de procedimientos de la SCT M-MMP-2-02-020, “*Granulometría de los Agregados Pétreos*”. (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018a)

2. Material que pasa de la malla N°200. Se determina el porcentaje de material que pasa de la malla N°200 (0.075mm de abertura o tamaño de las partículas), mismo que no debe exceder el 2%. Se determina con el manual de procedimientos de la SCT M-MMP-0-02-030 “*Partículas más Finas que la Malla N°200 (0.075 mm) en los Agregados*”. (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018d)
3. Contenido de sustancias perjudiciales. Se determina con los métodos descritos en los manuales M-MMP-2-02-028 “*Sanidad de los agregados*

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

mediante Sulfato de sodio o de Magnesio”, (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018c) M-MMP-2-02-032 “Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de los Ángeles” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018e), y M-MMP-2-02-060 “Resistencia del Concreto a Congelación y Deshielo” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2004c). Y se tiene que dar cumplimiento a los porcentajes descritos en la siguiente tabla:



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tabla 2 Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso para concreto "N-CMT-2-02-002/19"(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a). SICT

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznables <ul style="list-style-type: none"> • En concreto no expuesto a la intemperie • En concreto expuesto a la intemperie • En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad o a tráfico abrasivo ^[1] • En concreto arquitectónico 	10 5 4 2
Partículas de roca de sílice alterada, con densidad relativa del material seco, menor de 2,4 ^[2] <ul style="list-style-type: none"> • En concreto expuesto a la intemperie ^[1] • En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad • En concreto arquitectónico 	6 5 3
Suma de los contenidos de terrones de arcilla, partículas deleznables y de roca de sílice alterada <ul style="list-style-type: none"> • En concreto expuesto a la intemperie • En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad • En concreto arquitectónico ^[1] 	8 6 4
Carbón y lignito: <ul style="list-style-type: none"> • En concreto no expuesto a la intemperie • En concreto expuesto a la intemperie 	1 0,5

[1] Para concreto hidráulico en regiones cuya altitud sea mayor de 3 000 m sobre el nivel del mar, este requisito se reducirá en 1%.

[2] Este requisito es aplicable a materiales que contengan roca de sílice alterada como impureza. La limitación del uso de agregados gruesos que sean predominantemente de roca de sílice, se basará en antecedentes de servicio en la región donde se empleen. La densidad relativa del material seco se determina mediante el procedimiento de prueba contenido en el Manual M-MMP-4-04-003, *Densidades Relativas y Absorción de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS
4. Reactividad con los álcalis del cemento. Se determina con lo indicado en el manual de procedimientos M-MMP-2-02-037 “*Examen petrográfico de los Agregados*” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2020). Si del examen petrográfico resultante se identifican partículas de sílice o carbonato reactivo, y si el concreto estará sujeto a exposición prolongada en una atmósfera húmeda, o bien que se encuentren en contacto con suelos húmedos o en presencia de agua, se evalúa el posible uso del agregado en mezclas de concreto hidráulico, entre otras cosas, en base a la siguiente tabla:



TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tabla 3 Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-sílice. “N-CMT-2-02-002/19”.(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a) SICT

Paso	Acción	Resultado	Conclusión
1	Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: • No contienen sílice reactivo	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto
		Agregados potencialmente deletéreos: • Contienen sílice reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3
3	Prueba química a los agregados	Agregados inocuos: • No existe reacción álcali-sílice	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		Agregados deletéreos o potencialmente deletéreos	Dato no concluyente, seguir el paso 4
4	Prueba de expansión en mortero a seis meses	Expansión $\leq 0,05\%$: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto
		0,05% < Expansión < 0,1%: • Agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: • Uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis (< 0,6%) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción
		Expansión $\geq 0,1\%$: • Agregados reactivos	Dato concluyente: • Uso muy restringido de los agregados, sólo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis (< 0,4%), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera

Tabla 4 Criterios de decisión para la utilización o no de agregados cuando presentan reactividad potencial álcali-carbonato. “N-CMT-2-02-002/19”.(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019a) SICT.

Paso	Acción	Resultado	Conclusión	
1		Propuesta de suministro (banco)		
2	Examen petrográfico de los agregados	Agregados inocuos: • No contienen carbonato reactivo	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin límites por este concepto	
		Agregados potencialmente deletéreos: • Contienen carbonato reactivo	Dato no concluyente, seguir el paso 3	
3	Prueba de expansión en cilindros de roca, a tres meses	Expansión < 0,1%: • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto	
		Expansión ≥ 0,1%: • Agregados potencialmente reactivos	Dato no concluyente, seguir el paso 4	
4	Prueba de expansión en concreto a seis meses	Expansión ≤ 0,015% • Agregados no reactivos	Dato concluyente: • Uso permitido de los agregados, sin limitaciones por este concepto	
		0,015% < Expansión < 0,025%: • Agregados ligeramente reactivos	Dato dudoso: • Uso restringido de los agregados para concreto en condición seca o con cemento bajo en álcalis (< 0,6%) o puzolana eficaz para inhibir esta reacción	
		Expansión ≥ 0,025%: • Agregados reactivos	Dato concluyente: • Uso muy restringido de los agregados, sólo con medidas preventivas, cemento muy bajo en álcalis (< 0,4%), o puzolana eficaz, o explotación selectiva del banco o cantera	

5. Masa volumétrica. El agregado debe cumplir con una masa volumétrica varillada mayor de 1120 kilogramos por metro cúbico. Se determina con el manual M-MMP-2-02-023 “Masa Volumétrica de los Agregados Pétreos” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018b).

- TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS**
6. Coeficiente Volumétrico. Para este tipo de material se requiere un coeficiente mayor a 0.15, y se determina conforme al método de prueba descrito en el manual M-MMP-2-02-022 “*Coeficiente Volumétrica de los Agregados Pétreos Gruesos*” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2019b).
 7. Intemperismo acelerado. Se determina con los métodos descritos en los manuales M-MMP-2-02-028 “*Sanidad de los agregados mediante Sulfato de sodio o de Magnesio*” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018c). El agregado que se pretenda utilizar en concretos expuestos a la intemperie, el Intemperismo tendrá como parámetro de evaluación una pérdida máxima del 12% de su masa, realizando la prueba, en este caso con sulfato de sodio en una muestra homogenizada y trabajada de tal manera que cumpla con los requisitos de granulometría de esta norma.
 8. Resistencia al desgaste. Se determina mediante el procedimiento indicado en el manual M-MMP-2-02-032 “*Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de los Ángeles*” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018e), y los agregados probados y evaluados ante el desgaste se espera una pérdida de masa no mayor al 50%, en función al tamaño de la muestra y la carga abrasiva en base a las especificaciones del manual de procedimiento.

Tabla 5 Composición de la muestra de prueba y cargas abrasivas "M-MMP-2-02-032/18"(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018e) SICT

Tipo de composición de la muestra de prueba	Rango de tamaños		Masa de la fracción g	Carga abrasiva	
	mm	Designación		Número de esferas	Masa total g
A	25 - 37,5	1 - 1½ in	1 250 ± 25	12	5 000 ± 25
	— 19 - 25	¾ in - 1 in	1 250 ± 25		
	12,5 - 19	½ in - ¾ in	1 250 ± 10		
	9,5 - 12,5	⅜ in - ½ in	1 250 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
B	12,5 - 19	½ in - ¾ in	2 500 ± 10	11	4 584 ± 25
	9,5 - 12,5	⅜ in - ½ in	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
C	6,3 - 9,5	¼ in - ⅜ in	2 500 ± 10	8	3 330 ± 20
	4,75 - 6,3	Nº4 - ¼ in	2 500 ± 10		
	Masa total de la muestra de prueba		5 000 ± 10		
D	2,36 - 4,75	Nº8 - Nº4	5 000 ± 10	6	2 500 ± 15
E	63 - 75	2½ in - 3 in	2 500 ± 25	12	5 000 ± 25
	50 - 63	2 in - 2½ in	2 500 ± 25		
	37,5 - 50	1½ in - 2 in	5 000 ± 25		
	Masa total de la muestra de prueba		10 000 ± 10		
F	37,5 - 50	1½ in - 2 in	5 000 ± 25	12	5 000 ± 25
	25 - 37,5	1 in - 1½ in	5 000 ± 25		
	Masa total de la muestra de prueba		10 000 ± 10		
G	25 - 37,5	1 in - 1½ in	5 000 ± 25	12	5 000 ± 25
	19 - 25	¾ in - 1 in	5 000 ± 25		
	Masa total de la muestra de prueba		10 000 ± 50		

Para evitar errores en la determinación de los parámetros mencionados se requiere que las pruebas se realicen bajo un ambiente controlado, cuidando los factores o agentes externos que pudieran alterar los resultados, idealmente realizar los ensayos en un lugar cerrado, cuya ventilación sea indirecta, que el sitio de trabajo esté limpio, libre de corrientes directas de aire que pudieran llegar a impactar de forma negativa al provocar cualquier tipo de contaminación en la muestra, que el equipo que se utilice para la realización se las pruebas se encuentre limpio, calibrado y funcional, y que las muestras para los ensayos sean

determinadas en base a cada uno de los manuales de procedimiento mencionados.

Paralelamente, a la roca se le realizan ensayos de lámina delgada, para conocer la composición mineralógica del material, para lo que es necesario primeramente seleccionar una muestra representativa del material, limpiar su superficie para eliminación de impurezas y suciedad, y cortar una probeta pequeña, en este caso un cubo de 5 cm por lado, para posteriormente proceder al corte de una lámina delgada, he aquí la definición del nombre del ensayo, donde con la ayuda de una sierra de diamante se obtiene una lámina de aproximadamente 30 micrómetros, que a continuación se pule con ayuda de elementos abrasivos finos para limpiar la probeta y obtener una superficie uniforme y lisa, ya que de esta manera se permite la transmisión de la luz (polarización) a través de la muestra. A continuación, se coloca la muestra en un porta objetos y se fija adecuadamente para poder observarla a través del microscopio, y en caso de estar buscando valores específicos para identificar minerales, es necesario agregar ciertos reactivos, por ejemplo, ácido clorhídrico para detectar carbonatos por medio de la reacción efervescente del material. Se utiliza un microscopio petrográfico, o lupa binocular con alta iluminación para examinar la probeta en diferentes campos de vista para identificar propiedades como el color, la relación de formas cristalinas en la muestra, y propiedades de luz doble, para identificar componentes mineralógicos mediante la comparativa de lo observado en la muestra, respecto a tablas y guías mineralógicas, de esta observación e interpretación se registran los minerales encontrados así como la cantidad relativa de los mismos, se reportan los componentes identificados, sus características, y fotografías a diferente nivel de acercamiento para ver los detalles de la muestra.

Adicionalmente se realizan pruebas para determinar si existe lixiviación de componentes nocivos de la roca, para lo que se utiliza material en su estado natural (escoria de fundición) y material como compuesto en su medio de análisis (cubos de mortero cemento-arena) para posteriormente analizar los residuos tóxicos que se puedan filtrar ya sea al suelo o al agua, mediante pruebas de

toxicidad basadas en la norma NMX-AA-087SCFI-2010 "Análisis del agua. Evaluación de toxicidad aguda con Daphnia Magna, Straus (Crustacea – Cladóceros) Método de prueba, de donde se busca o se espera que las especies sobrevivan a la exposición de un entorno con diferentes proporcionamientos de lixiviados de escoria de fundición metalúrgica pulverizada, o de residuos generados y filtrados de cubos de concreto elaborado con la escoria. Para lo que se requiere la elaboración y preparación de las muestras, que constan de 4 bloques de concreto de dimensiones 5cm x 5cm x 5 cm, elaborados con una mezcla de cemento portland compuesto, arena de fundición (material cribado por la malla del número 4 (4.75mm de abertura) y retenido en malla 200) y agua, posteriormente dejar fraguar y curar durante 28 días, previo al inicio de las pruebas, una vez se tengan elaboradas y preparadas las muestras, se colocan los bloques en recipientes con capacidad volumétrica de 4 litros, y se sumergen en 3 litros de agua corriente, libre de cloro, por un periodo de dos meses, durante los cuales cada semana se toman muestras de agua para realizar las pruebas de toxicidad por lixiviación del material.

Se realiza prueba de toxicidad aguda con el rotífero *Lecane papuana*, que consiste en lo siguiente:

En placas de Petri se colocan 50 rotíferos (hembras partenogenéticas) alimentadas ad libitum con el alga verde *Chlorella vulgaris*. Se mantienen a $25 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en cámara bioclimática, con un fotoperiodo de 16 horas de luz por 8 horas de oscuridad. El medio empleado es agua medianamente dura reconstituida (U.S.EPA, 2002). El cambio total del medio se realiza tres veces por semana. Con ayuda de un microscopio estereoscópico, diariamente se remueven los huevos partenogenéticos, se transfieren a una caja de Petri con medio EPA sin alimento y se conservan hasta su eclosión. Los neonatos son transferidos a las placas de prueba.

En una microplaca de poliestireno de 24 pozos se colocan 10 neonatos por pozo. Se contabilizan con controles negativos de toxicidad (medio EPA). En los demás pozos se coloca un mililitro del efluente (en este caso el resultado de la exposición del bloque de concreto en agua, con un total de 4 bloques analizados). El efluente se emplea sin dilución. En caso de presentarse

mortalidad superior al 10% se procede a hacer diluciones del efluente. La prueba consta de un periodo de exposición de 24 horas, a 25 ± 1 °C, con el mismo fotoperiodo que en el cultivo.

Para la piedra grasa, el material se pulveriza en mortero. Posteriormente se transfiere a un frasco con medio EPA en una proporción de 100 gramos de material por 100 mL de agua. Se homogeneiza la mezcla y se permite sedimentar por 24 horas. Después, el líquido resultante se diluye para obtener las siguientes proporciones: 100, 80, 60, 40, y 20 % del homogeneizado. Las condiciones de prueba son las mismas que se realizan para los bloques de concreto, pero analizando únicamente la escoria de fundición pulverizada.

Prueba de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia pulex*. La prueba se inicia con la separación de hembras que presentan huevos, al día siguiente de la elección y separación de hembras se colectan los neonatos de menos de 24 horas para realizar las pruebas toxicológicas. La prueba se realiza con algunas modificaciones al protocolo de la NMX-AA-087-2010. En vasos de precipitado de 50 mL se colocan 30 mL de agua (del lixiviado de los bloques de concreto o del homogeneizado del material pulverizado). En cada recipiente se colocan 10 neonatos del cladócero, y cada dilución se analiza por triplicado. El tiempo de incubación de la prueba es de 48 h, sin suministro de alimento, y un fotoperíodo de 16 h de luz por 8 h de oscuridad. Se analizan al menos cinco diluciones diferentes de cada una de las muestras del material pulverizado y un testigo negativo (agua dura reconstituida).

Al finalizar los ensayos previamente descritos, y una vez caracterizado el material como agregado pétreo, previo a proceder al diseño y elaboración de mezclas de concreto se requiere evaluar los componentes restantes del concreto, cemento y agua.

Primeramente, se van a realizar pruebas al cemento Portland que se utilizará, en este caso, la investigación se acota a mezclas específicamente con Cemento Portland Compuesto CPC40, cuyos componentes son la molienda de Clinker, puzolanas, caliza, escoria de alto horno y sulfato de calcio, el cual debe

cumplir con una resistencia normal mínima de 40 MPa (408 Kg/cm²) a una edad de curado de 28 días, y una resistencia mínima inicial de 30 MPa (306 Kg/cm²) a edad temprana de 3 días, en base a normativa vigente aplicable de la Secretaría de Comunicaciones Infraestructura y Transporte (SCIT), y el Instituto Mexicano del Transporte (IMT); del libro CMT “Características de los Materiales”, Parte 2. “Materiales para Estructuras” Título 02. “Materiales para Concreto Hidráulico”, Capítulo 001. “Calidad del Cemento Pórtland”. N-CMT-2-02-001/02 (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002b). Donde se especifican los requisitos de calidad de los cementos a utilizar en la mezcla y producción de concreto hidráulico, su clasificación según su composición, características especiales y según su resistencia mecánica a la compresión, estableciendo parámetros mínimos requeridos (ver tabla 6 y 7).

Tabla 6 Composición de los cementos Portland (unidades en % en masa). “N-CMT-2-02-001/02” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002b) SICT.

Tipo	Denominación	Clinker Pórtland + sulfato de calcio	Componentes principales				Componentes minoritarios [2]
			Puzolanas [1]	Escoria granulada de alto horno	Humo de sílice	Caliza	
CPO	Cemento Pórtland ordinario	95 - 100	--	--	--	--	0 - 5
CPP	Cemento Pórtland puzolánico	50 - 94	6 - 50	--	--	--	0 - 5
CPEG	Cemento Pórtland con escoria granulada de alto horno	40 - 94	--	6 - 60	--	--	0 - 5
CPC [3]	Cemento Pórtland compuesto	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5
CPS	Cemento Pórtland con humo de sílice	90 - 99	--	--	1 - 10	--	0 - 5
CEG	Cemento con escoria granulada de alto horno	20 - 39	--	61 - 80	--	--	0 - 5

[1] Las puzolanas pueden ser naturales, artificiales y cenizas volantes.

[2] Los componentes minoritarios pueden ser uno o más de los componentes principales, salvo que estén incluidos ya como tales en el cemento.

[3] El cemento Pórtland compuesto contendrá dos componentes principales como mínimo, excepto cuando se trate de caliza, la que puede ser el único componente principal.

Tabla 7 Clases resistentes de los cementos Portland, unidades en MPa (Kg/cm²). "N-CMT-2-02-001/02"
 (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002b) SICT.

Clase resistente	Resistencia a la compresión		
	A 3 días ^[1]	A 28 días ^[2]	
	mínimo	mínimo	máximo
20	-	20 (204)	40 (408)
30	-	30 (306)	50 (510)
30R	20 (204)	30 (306)	50 (510)
40	-	40 (408)	-
40R	30 (306)	40 (408)	-

[1] Corresponde a la resistencia inicial del cemento

[2] Corresponde a la resistencia normal del cemento

Adicionalmente, el cemento establecido en esta metodología debe cumplir con diversos requisitos físicos, como la resistencia a la compresión simple, evaluada a edad temprana y edad de diseño o nominal, determinada en base al procedimiento descrito en el Manual M-MMP-2-02-004 “Resistencia a la Compresión del Cemento” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2004b). Otro requisito es el tiempo de fraguado, que para cualquier tipo de cemento portland y todas las clases resistentes, los tiempos de fraguado inicial debe ser de al menos 45 minutos, y para el fraguado final al menos de 600 minutos, de acuerdo a lo descrito en el procedimiento M-MMP-2-02-006 “Tiempo de Fraguado del Cemento por el Método de Vicat” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2004d). También se verifica la estabilidad de volumen, es decir, que no existan variaciones por expansión y contracción del cemento, los parámetros establecidos son como máximo 0.8% de expansión y 0.2% de contracción, determinados de acuerdo con el procedimiento descrito en el manual M-MMP-2-02-009 “Sanidad del Cemento”. En cuanto a la actividad puzolánica, se evalúa el índice de actividad con el procedimiento descrito en el manual M-MMP-2-02-010 “Actividad Puzolánica del Cemento”. También, para cementos con clasificación por características especiales se determina la

expansión por ataque de sulfatos, calor de hidratación, expansión por reacción álcali-agregado, y blancura.

Posteriormente se determinan las características de calidad y propiedades del agua que se utilizará para la producción de las mezclas de concreto hidráulico con cemento portland, en cumplimiento y apego a la normativa N-CMT-2-02-003/02 “Calidad del Agua para Concreto Hidráulico” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002a) de la cual se desprenden métodos de prueba para evaluar parámetros como “impurezas orgánicas en agregados finos, aceite, grasa y sólidos en suspensión en el agua, carbonatos y bicarbonatos alcalinos en el agua, sulfatos, cloruros, materia orgánica, magnesio y bióxido de carbono disuelto en el agua, potencial de hidrógeno (pH) del agua, impurezas en solución en el agua, y álcalis en el agua,” (Comité ACI 318, 2005; Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002a) cuidando el cumplimiento de los parámetros establecidos en dicha norma.

Tabla 8 Valores característicos y límites máximos tolerables de sales e impurezas en el agua (Valores en partes por millón (ppm).) "N-CMT-2-02-003/02" (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2002a) SICT.

Impurezas	Tipo de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistente a los sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo	2 000	2 000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas ^[1] : (finos de cemento y de agregados), máximo	50 000	35 000
Cloruros como Cl ^[2] :		
• Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes ^[3] , máximo	400	600
• Para concretos reforzados que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares ^[3] , máximo	700	1 000
Sulfato como SO ₄ = ^[2] , máximo	3 000	3 500
Magnesio como Mg++ ^[2] , máximo	100	150
Carbonatos como CO ₃ =, máximo	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO ₂ , máx	5	3
Álcalis totales como Na+, máximo	300	450
Total de impurezas en solución, máximo	3 500	4 000
Grasas o aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido) ^[4] , máximo	150	150
Potencial de hidrógeno (pH), mínimo	6	6,5

[1] Se considera como agua reciclada, la que se usó en el lavado de unidades revolvedoras de concreto, que después de un proceso incompleto de sedimentación se emplea en la fabricación del concreto hidráulico y que contiene en suspensión un alto porcentaje de finos del cemento y de los agregados, sales solubles del cemento y aditivos.

[2] El agua que excede los límites listados para cloruros, sulfatos y magnesio, podrá emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados, no excede dichos límites.

[3] Cuando se utilice cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, se tomará en cuenta la cantidad de éste para no exceder el límite de cloruros indicado en esta Tabla.

[4] El agua que no cumpla con el contenido máximo indicado se podrá usar siempre y cuando el agregado fino que se emplee en el concreto, probada conforme al procedimiento indicado en el Manual M-MMP-2-02-026, *Impurezas Orgánicas en Aarenados Finos*, no produzca un líquido más oscuro que la solución normalizada N°3.

Se continua con la determinación de propiedades y características de calidad del concreto hidráulico, su clasificación y definición en base a su uso y características de diseño propuestas, determinado por la normativa de

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte (SICT) del libro “Características de los Materiales” Parte 2: Materiales para estructuras, Título 02: Materiales para Concreto Hidráulico, Capítulo 005: Calidad del Concreto Hidráulico, N-CMT-2-02-005 (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2004a) de donde se obtiene una clasificación en base a su función, que se determina por la masa volumétrica, y las características mínimas de resistencia a la compresión ($f'c$) al alcanzar el fraguado final.

Para garantizar que se cumplan cada uno de los requisitos de calidad descritos en la norma anterior, el muestreo se realiza bajo los estándares establecidos en el manual M-MMP-2-02-055 “Muestreo de Concreto Hidráulico” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2006a) Cuidando obtener una porción suficientemente significativa de la mezcla de concreto al momento de su fabricación es decir, en estado fresco, para realizar los ensayos de revenimiento, temperatura, masa volumétrica, y llenado de moldes para muestras, en este caso se determinan probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

Para la evaluación de parámetros del concreto en estado fresco se considera el revenimiento como la primera prueba a realizar en el concreto en estado fresco, de acuerdo con lo establecido en el manual M-MMP-2-02-056 “Revenimiento del Concreto Fresco” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2006b) tomando en cuenta una tolerancia en el parámetro en base a la consistencia del concreto.

Tabla 9 Valor nominal y tolerancias para el revenimiento (Unidades en cm). "M-MMP-2-02-056"(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2006b) SICT.

Revenimiento	Tolerancia	Consistencia
Menor de 5 ^[1]	$\pm 1,5$	Baja
Entre 5 y 10 ^[2]	$\pm 2,5$	Media
Mayor de 10 ^[3]	$\pm 3,5$	Alta

- [1] Para elementos colados en planta bajo vibración pesada. Pavimentos de calles, carreteras y aeropuertos; secciones macizas grandes.
- [2] Para pavimentos, losas para construcciones, cajones de cimentación, cimentaciones, losas estructurales, muros de subestructuras, columnas reforzadas normales, trabes, concreto para bombeo reforzadas.
- [3] Para secciones especialmente difíciles y congestionadas, en las cuales no puede emplearse la vibración. Revenimiento mayor de 18 cm no se recomienda para uso alguno, excepto cuando se utilicen aditivos.

Posteriormente se mide la temperatura del concreto, cuyo parámetro va en función de la temperatura ambiente, y que bajo ningún caso debe exceder los 32 grados Celsius al momento de la dosificación, producción y colocación del concreto.

Una vez elaboradas realizadas las pruebas anteriores se procede a la elaboración de las probetas de ensaye, y transcurrido el tiempo de curado específico de 28 días, se evalúa la resistencia a la compresión simple mediante el manual M-MMP-2-02-058 "Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto" (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) preparando las muestras desde el proceso de curado, y cabeceo de especímenes con azufre previo a someter las probetas a una carga axial hasta la falla. Cuidando las siguientes especificaciones de ensaye:

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tabla 10 Diámetro o lado mínimo de la placa superior de carga. "M-MMP-2-02-058" (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.

Diámetros de los especímenes de prueba cm	Diámetro o lado mínimo de la placa superior de carga cm
5	5,15
7,5	7,73
10	10,3
15	15,45
20	20,6

Tabla 11 Resistencia a la compresión y espesor máximo del mortero de azufre. "M-MMP-2-02-058".(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.

Resistencia esperada del concreto, MPa (kg/cm ²)	Resistencia mínima del mortero de azufre, MPa (kg/cm ²)	Espesor promedio de la capa de cabeceo, mm	Espesor máximo de la capa de cabeceo, mm
3,5 a 50 (35 a 500)	35 (350) o la del concreto, cualquiera que sea mayor	6	8
Más de 50 (más de 500)	No menor que la resistencia del concreto	3	5

Se requiere conocer la evolución de la resistencia en las probetas, por lo que adicional a los cilindros de ensaye a la edad de referencia (28 días), se obtienen dos cilindros más para monitorear el desarrollo mecánico del concreto, siendo en total 4 cilindros por muestra, para ensayar uno a 7, uno a 14 y dos 28 días. Respetando la tolerancia de ensaye que existe para cada edad de las probetas.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Tabla 12 Tolerancias en el tiempo para probar los especímenes de concreto (en horas). "M-MMP-2-02-058" (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.

Edad de la prueba, días	Tolerancia, h
1	$\pm 0,5$
3	± 2
7	± 6
14	± 12
28	± 20
90	± 48

Así mismo, se regula la velocidad de carga en base a las dimensiones de las probetas.

Tabla 13 Velocidad de aplicación de carga. "M-MMP-2-02-058". (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.

Espécimen	Diámetro de los especímenes, cm	Área nominal, cm²	Velocidad de aplicación de la carga, kN/s (kg/s)
Cilindros	5,00	19,64	0,4 (41) – 0,6 (62)
	7,50	44,18	0,9 (92) – 1,3 (133)
	10,00	78,54	1,6 (163) – 2,4 (245)
	15,00	176,72	3,5 (357) – 5,3 (540)

Y en caso de que las dimensiones de los especímenes varíen respecto a lo establecido (cilindros de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura) es necesario realizar una corrección por esbeltez, dicha corrección va en función a la variación que pueda existir en la relación altura-diámetro de los especímenes.

Tabla 14 Factores de corrección por esbeltez. "M-MMP-2-02-058".(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.

Relación altura-diámetro del espécimen	Factor de corrección a la resistencia, Cr
1,80 a 1,69	0,99
1,68 a 1,57	0,98
1,56 a 1,46	0,97
1,45 a 1,38	0,96
1,37 a 1,30	0,95
1,29 a 1,21	0,94
1,20 a 1,13	0,93
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES 1,12 a 1,05	0,92
1,04 a 1,00	0,91

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

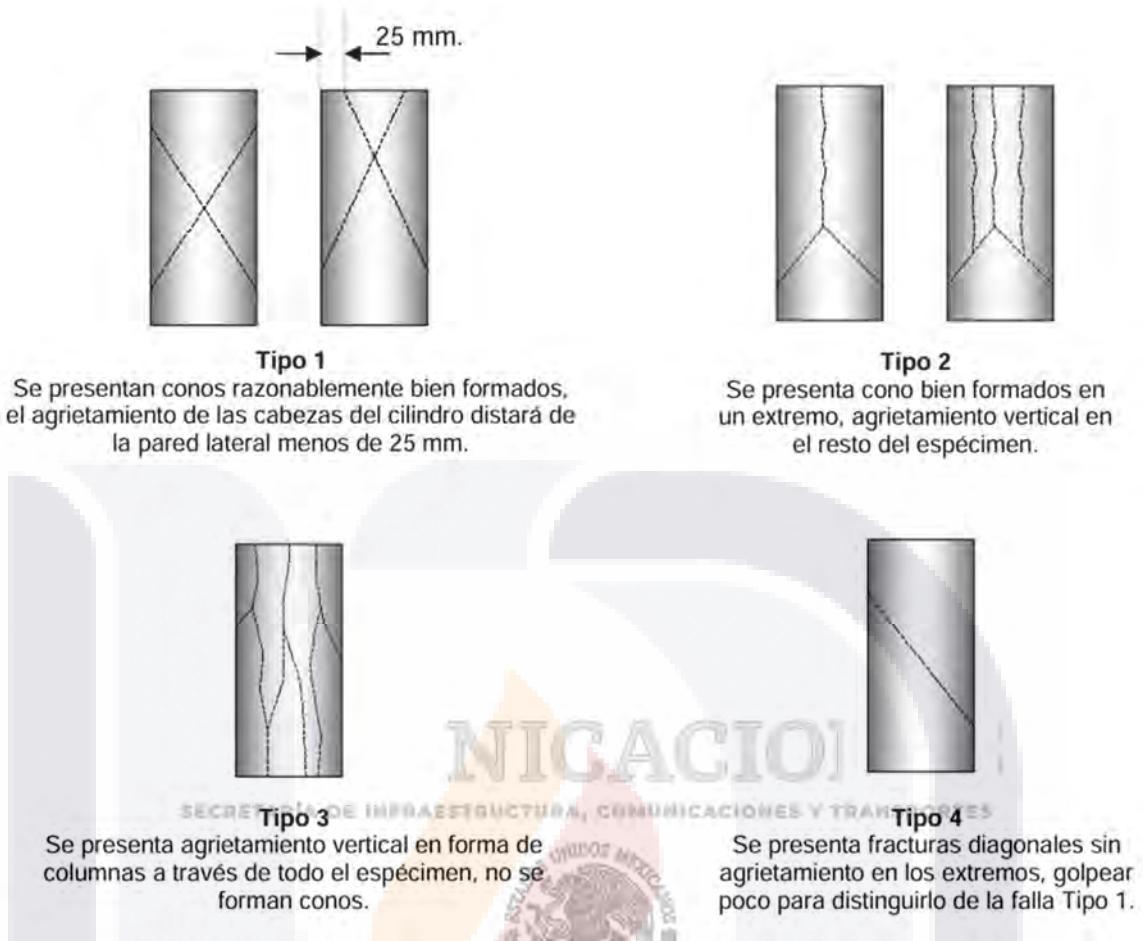


Ilustración 2 Diagrama de fallas en cilindros sometidos a compresión. Del “M-MMP-2-02-058”.(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2023) SICT.

Una vez realizadas las pruebas destructivas, y obtenidos los resultados de los ensayos a compresión, para cada familia de muestras, se presenta un informe para reportar los resultados, incluyendo datos como la edad de los especímenes, datos dimensionales como el diámetro y la altura con aproximación a 1 milímetro, el área de la sección transversal en centímetros cuadrados con aproximación de un décimo, la masa obtenida del espécimen en kilogramos, la carga de ruptura en kilo newtons, resistencia a la compresión simple en mega pascales, descripción del tipo de falla, fecha de elaboración de las muestras y fecha de ensaye, así como cualquier observación adicional pertinente.

5.3 Determinación del tamaño de la muestra

Se define el tamaño de la muestra en base al manual ACI318S-05 del American Concrete Institute: “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural” (Comité ACI 318, 2005) donde se especifica el cumplimiento de las siguientes condiciones:

1. *“Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a las esperadas, y las variaciones en los materiales y en las proporciones dentro de la muestra no deben haber sido más restrictivas que las de la obra propuesta.”*
2. *“Representar un concreto producido para que cumpla con una resistencia o resistencias especificadas, dentro de 7MPa de f’c.”*
3. *“Consistir al menos de 30 ensayos consecutivos, o de dos grupos de ensayos consecutivos totalizando al menos 30 ensayos obteniendo la resistencia de dos cilindros a la edad de 28 días.”* (Comité ACI 318, 2005).

Lo anterior define la cantidad de probetas que se van a elaborar (30 familias de muestras) para realizar los ensayos a compresión, siempre evaluando simultáneamente una probeta de control, elaborada con agregados convencionales y una dosificación conocida en la práctica, con la finalidad de obtener resultados comparativos de las mismas y determinar la desviación estándar de los resultados.

Capítulo 6. Resultados de la Intervención

De los ensayos realizados a la escoria de fundición de manera individual, se obtuvieron los siguientes resultados:

6.1 Toxicología

Prueba de toxicidad aguda con el cladócero *Daphnia pulex*:

Sin toxicidad aguda, determinada bajo la norma NMX-AA-087SCFI-2010 “Análisis del agua. Evaluación de toxicidad aguda con *Daphnia Magna*, Straus (Crustacea – Cladócero) Método de prueba, (Norma Mexicana, 2010) las especies sobrevivieron a la exposición de un entorno con diferentes proporcionamientos de lixiviados de escoria de fundición metalúrgica pulverizada.

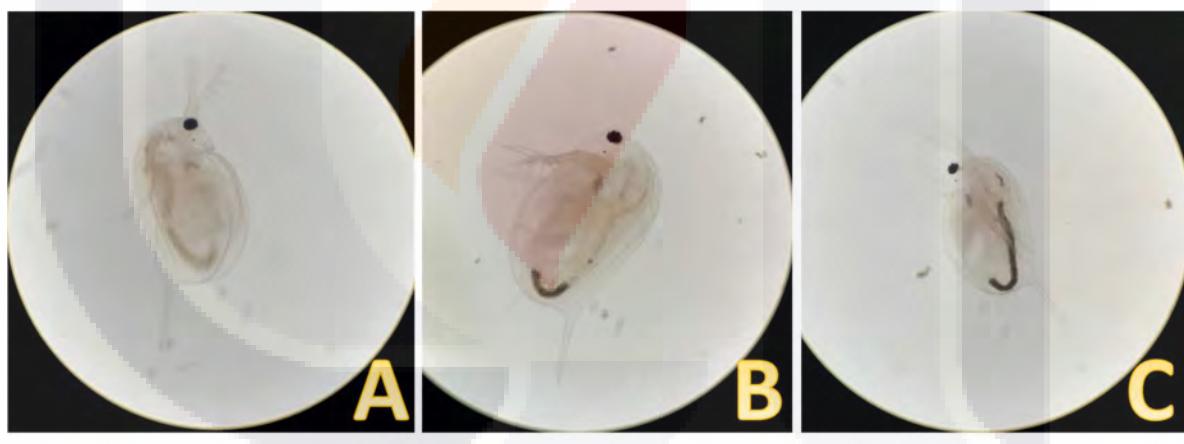


Ilustración 3 *Daphnia magna* sometida a entornos con diferente porcentaje de lixiviados de escoria pulverizada. Imagen del Autor

En el caso del lixiviado no se analizaron muestras con diluciones al no presentarse mortalidad mayor al 10% en controles y muestras. El criterio de calidad de la prueba fue la supervivencia de más del 90% de los individuos en los controles.

Prueba de toxicidad aguda con el rotífero Lecane papuana:
Así mismo, con Lecane papuana se presenta un índice de mortalidad
inferior al 10% con las muestras de lixiviado de la piedra.

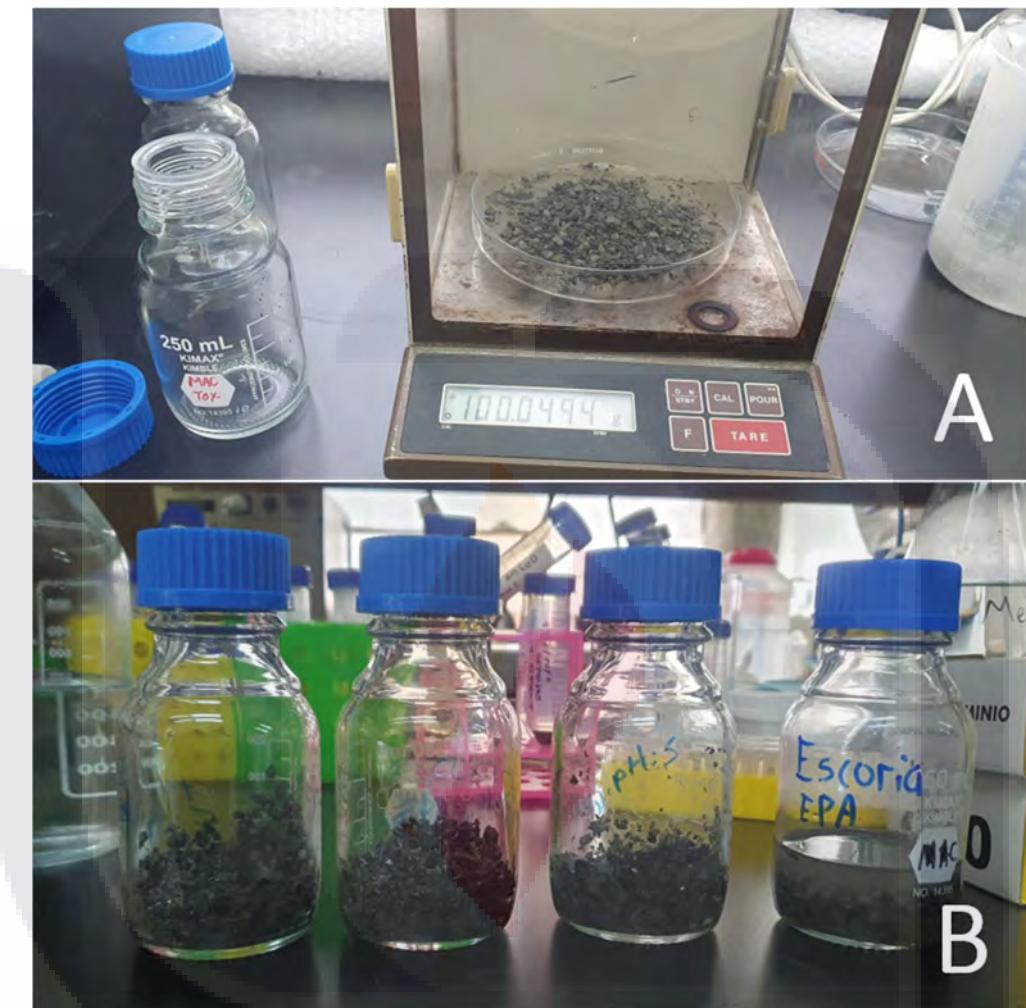


Ilustración 4 Preparación de la muestra para lixiviado en agua. Foto del Autor

Cabe hacer mención que este procedimiento no está normado, sin embargo, es un buen referente para determinar niveles de toxicidad en el agua.

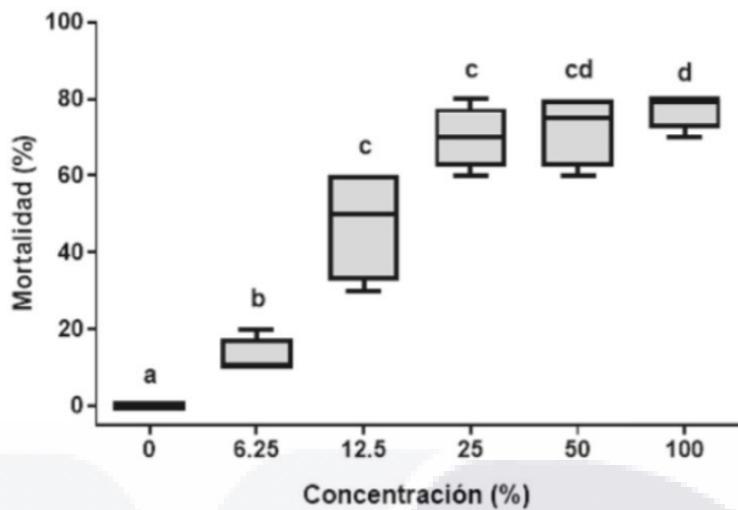


Ilustración 5 Índice de mortalidad con *Lecane papuana*. Imagen del Autor

El control de calidad de la prueba sugiere una mortalidad menor al 10% en los controles. Cada muestra se analizó por cuadruplicado.

6.2 Mineralogía

Se preparó la muestra en base a metodología descrita, para poder realizar ensaye de lámina delgada, obteniendo los siguientes resultados:

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Ilustración 6. Preparación de probeta para lámina delgada. Foto del Autor.

Del ensaye de lámina delgada se observan arreglos semirradiales que representan una especie de microlitos o cristalitos, algunos de los cuales polarizan y entre ellos se observan fayalitas, es muy común encontrarlas en minerales que se han fabricado artificialmente en las escorias de minerales y metales que se producen en procesos de siderurgia. En gran parte es materia vítreo con principios de cristalización.



Ilustración 7 Imágenes de lámina delgada a 5x, 10x y 20x respectivamente. Los cristales azules son las fayalitas. Imagen del Autor

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

6.3 Características físicas y mecánicas del agregado (escoria de fundición).

Las pruebas y ensayos en este apartado se realizaron bajo la normativa vigente de la SCT, evaluando una grava de tamaño máximo del agregado de 1" y tamaño nominal $\frac{3}{4}$ ", de la que se obtuvieron los siguientes resultados:



Ilustración 8 Cuarteo y homogenizado de la muestra de material para determinación de parámetros de calidad. Foto del Autor



Ilustración 9 Determinación de Peso Volumétrico Seco Suelto del Material. Foto del Autor

Se realizó el ensayo en base a especificaciones descritas en la metodología, obteniendo un Peso Volumétrico Seco Suelto de 1778 kg/m³.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

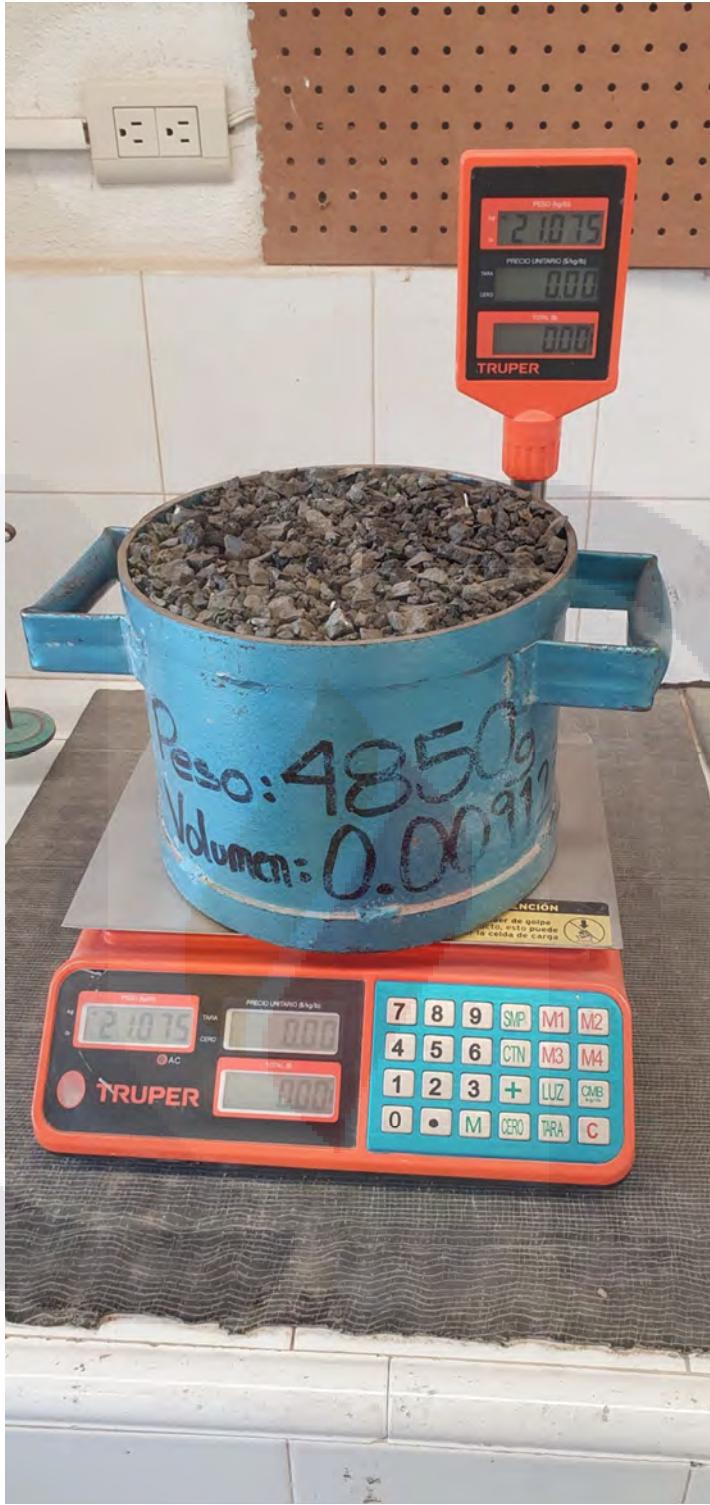


Ilustración 10 Determinación de Peso Volumétrico Seco Compacto del Material. Foto del Autor

Se determinó el Peso Volumétrico Seco Compacto conforme a lo establecido en el manual de procedimiento M-MMP-2-02-023 “Masa Volumétrica de los Agregados Pétreos” (Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Transporte, 2018b) descrito en la metodología, obteniendo un valor para este parámetro de 1854 kg/m³, superior a los 1120 kg/m³ requeridos.



Ilustración 11 A: Preparación de la muestra para determinación de densidad aparente. B: Peso de material seco. Foto del Autor



Ilustración 12 A: Volumen inicial de agua. B: Volumen desplazado del líquido para determinación de la densidad relativa del material.

Del ensaye para determinación de la densidad relativa del agregado se obtuvo un valor (adimensional) de 3.2.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Ilustración 13 A: Saturación del material. B: Material Saturado Superficialmente Seco



Ilustración 14 Secado del material para determinación de porcentaje de absorción mediante diferencia de pesos

Se determinó el porcentaje de absorción del material mediante diferencia o pérdida de masa por secado, obteniendo un valor de absorción de 1.02%.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Ilustración 15 Preparación de solución de Sulfato de Sodio para pruebas de intemperismo acelerado. Foto del Autor



Ilustración 16 A: Saturación de material en solución de sulfato. B: Ciclo de exposición del material para Intemperismo acelerado. Foto del Autor.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Ilustración 17 A: Sales producidas en la solución de trabajo. B: Formación de cristales, primer ciclo de Intemperismo. C: Formación de cristales en el agregado al finalizar los ciclos de exposición del material. Foto del Autor.

Se determinó Intemperismo Acelerado en Sulfato de Sodio, con los métodos descritos en los manuales M-MMP-2-02-028 “Sanidad de los agregados mediante Sulfato de sodio o de Magnesio”(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018c), sin presentar pérdida de masa en la muestra, lo que representa 0% de degradación por Intemperismo acelerado en las partículas.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Ilustración 18 A: Cribado y preparación de la muestra. B: Exposición a ciclo de desgaste por abrasión. Foto del Autor.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

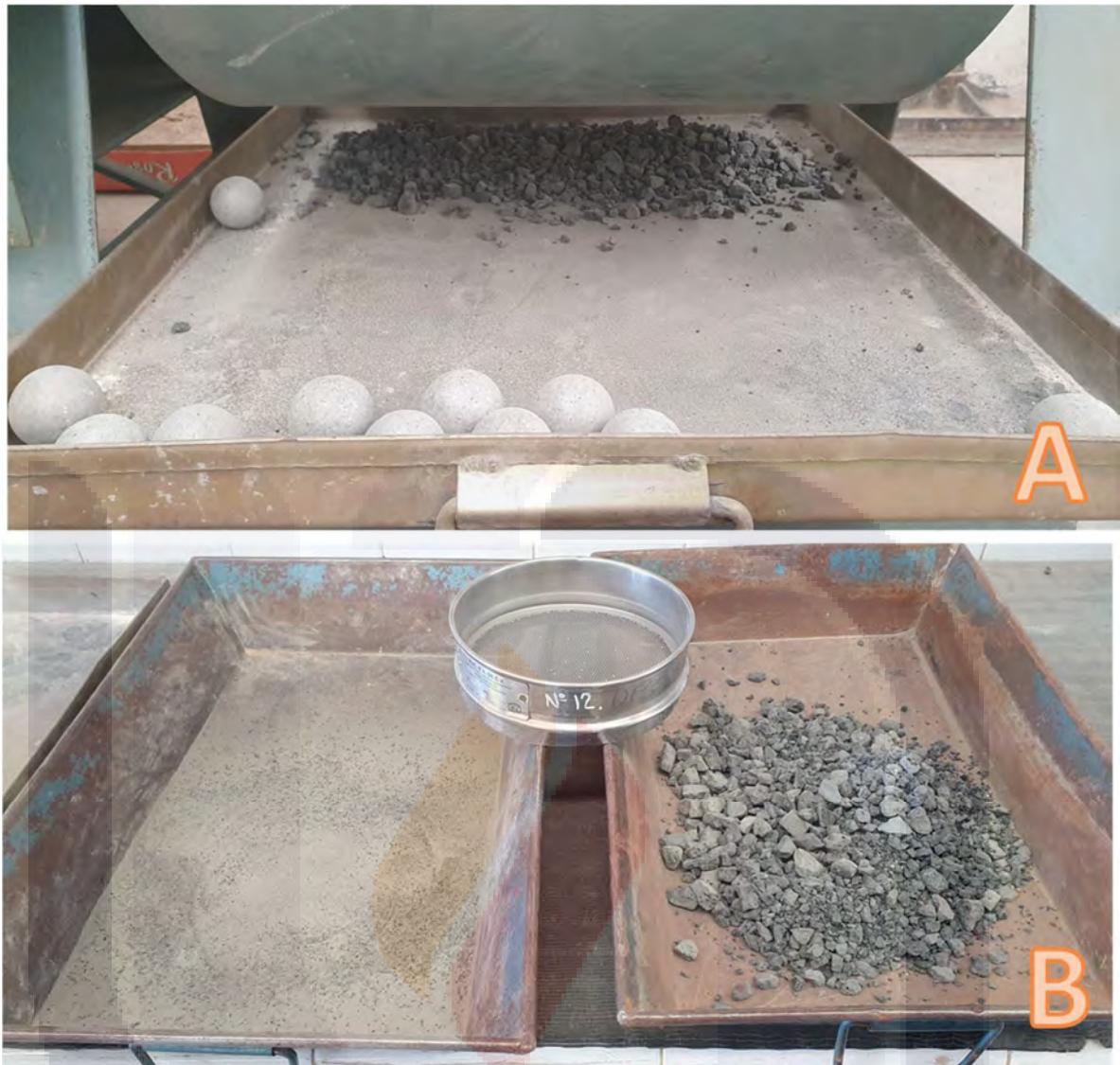


Ilustración 19 A: Material resultante al finalizar ciclo de abrasión. B: Material cribado por malla no. 12, para determinar porcentaje de pérdida de masa por desgaste. Foto del Autor.

Se determina el porcentaje de Desgaste de los Ángeles, mediante el registro de masa del material antes y después de ser sometido al ciclo de desgaste, conforme a lo establecido en el M-MMP-2-02-032 “Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de los Ángeles”(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018e), del cual se obtuvo un 13.1% de desgaste del agregado (escoria).

Partículas alargadas y lajeadas: 25%

La granulometría se determinó conforme a los lineamientos del manual de procedimientos de la SCT M-MMP-2-02-020, “Granulometría de los Agregados

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Pétreos"(Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte, 2018a), dentro de los límites establecidos en la tabla 1.



Ilustración 20 Preparación de material para determinación de granulometría del material. Foto del Autor



Ilustración 21 Retenidos para curva granulométrica del material. Foto del Autor

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

INFORME DE CALIDAD DE GRAVA																																																																																																																	
DATOS DE LA OBRA.																																																																																																																	
Obra:																																																																																																																	
Municipio:			Localidad:																																																																																																														
No. Obra:	---																																																																																																																
			Dir. Gral.																																																																																																														
DATOS DE MUESTREO.																																																																																																																	
Registro	045	Muestra	1	Laboratorista	---																																																																																																												
Descripción	Piedra grasa			Supervisor																																																																																																													
Localización	---			F. muestreo	---																																																																																																												
Procedencia	Cerro de la Grasa			F. reporte	---																																																																																																												
Normas de referencia.																																																																																																																	
N-CMT-2-02-002-19 (E) ASTM C 33																																																																																																																	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MATERIAL.																																																																																																																	
Origen y tratamiento previo.																																																																																																																	
Tamaño maximo.	mm																																																																																																																
Peso volumétrico seco suelto.	Kg/m ³																																																																																																																
Peso volumétrico seco compacto.	Kg/m ³																																																																																																																
Densidad aparente.	Adm.																																																																																																																
Absorción.	%																																																																																																																
Humedad natural.	%																																																																																																																
CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS.																																																																																																																	
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Malla</th> <th>Abertura</th> <th>Mínimo</th> <th>Máximo</th> <th>Muestra</th> <th>Cumple</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>4"</td><td>100.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3 1/2"</td><td>90.00</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3"</td><td>76.20</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>2 1/2"</td><td>63.50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>2"</td><td>50.80</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>1 1/2"</td><td>37.50</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>1"</td><td>25.40</td><td>0</td><td>10</td><td>1</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3/4"</td><td>19.00</td><td>45</td><td>60</td><td>18</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>1/2"</td><td>13.00</td><td>90</td><td>100</td><td>47</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>3/8"</td><td>9.500</td><td>95</td><td>100</td><td>63</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 4</td><td>4.750</td><td>100</td><td>100</td><td>88</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 8</td><td>2.000</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 16</td><td>0.850</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 30</td><td>0.425</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 50</td><td>0.250</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 100</td><td>0.150</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> <tr><td>No. 200</td><td>0.075</td><td>100</td><td>100</td><td>100</td><td><input checked="" type="checkbox"/></td></tr> </tbody> </table>						Malla	Abertura	Mínimo	Máximo	Muestra	Cumple	4"	100.00	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	3 1/2"	90.00	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	3"	76.20	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	2 1/2"	63.50	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	2"	50.80	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1 1/2"	37.50	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>	1"	25.40	0	10	1	<input checked="" type="checkbox"/>	3/4"	19.00	45	60	18	<input checked="" type="checkbox"/>	1/2"	13.00	90	100	47	<input checked="" type="checkbox"/>	3/8"	9.500	95	100	63	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 4	4.750	100	100	88	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 8	2.000	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 16	0.850	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 30	0.425	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 50	0.250	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 100	0.150	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>	No. 200	0.075	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>
Malla	Abertura	Mínimo	Máximo	Muestra	Cumple																																																																																																												
4"	100.00	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
3 1/2"	90.00	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
3"	76.20	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
2 1/2"	63.50	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
2"	50.80	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
1 1/2"	37.50	0	0	0	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
1"	25.40	0	10	1	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
3/4"	19.00	45	60	18	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
1/2"	13.00	90	100	47	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
3/8"	9.500	95	100	63	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 4	4.750	100	100	88	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 8	2.000	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 16	0.850	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 30	0.425	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 50	0.250	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 100	0.150	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
No. 200	0.075	100	100	100	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
Trituración total																																																																																																																	
TNom =	---	Minimo	Máximo	25.0	<input type="checkbox"/>																																																																																																												
PVSS =	---			1778.0	<input type="checkbox"/>																																																																																																												
PVSC =	---			1854.0	<input type="checkbox"/>																																																																																																												
Da =	---			2.92	<input checked="" type="checkbox"/>																																																																																																												
Ab =	---			1.02	<input type="checkbox"/>																																																																																																												
Wnat =	---			pnf	<input type="checkbox"/>																																																																																																												
Porcentajes retenidos acumulados																																																																																																																	
Unidad	%																																																																																																																
	---	---	0.0																																																																																																														
	---	---	---																																																																																																														
	---	---	pnf																																																																																																														
	---	---	pnf																																																																																																														
	---	---	pnf																																																																																																														
OBSERVACIONES.																																																																																																																	
El material requiere de algunos ajustes para cubrir las especificaciones de referencia.																																																																																																																	

Ilustración 22 Resultados de estudio de calidad de grava (escoria de fundición). Figura del Autor.

6.4 Concreto en estado fresco.

De la evaluación de parámetros del concreto en estado fresco se obtuvo lo siguiente:



Ilustración 23 Revenimiento obtenido de 6 mezclas realizadas para la elaboración de 30 familias de muestras.

En cuanto a la temperatura al momento de la elaboración de especímenes cilíndricos, se obtuvo lo siguiente:

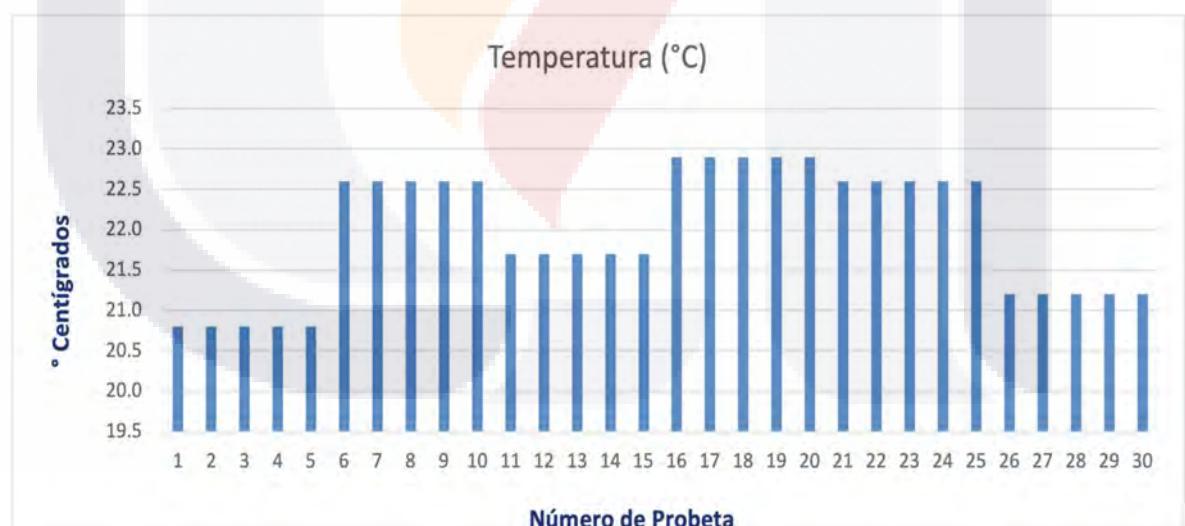


Ilustración 24 temperaturas del concreto en estado fresco obtenidas de 6 mezclas realizadas para la elaboración de 30 familias de muestras.

6.5 Concreto en estado endurecido.

De la evaluación de resistencia a la compresión simple se realizaron ensayos a 3, 7 y 28 días, de un total de 30 familias de muestras, mismas que se componen de 4 especímenes cilíndricos, de los cuales se ensayaron de la siguiente manera:

- 1 probeta a la edad de 3 días de curado.
- 1 probeta a la edad de 7 días de curado.
- 2 probetas a la edad de 28 días de curado, obteniendo como resultado definitivo el promedio de los dos especímenes ensayados a la edad de referencia del diseño, en base a la normativa vigente.

A continuación se muestran las gráficas resumen de los resultados obtenidos:



Ilustración 25 Gráfica de resistencia a la compresión obtenida a 3 días por número de muestra respecto a porcentaje.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS



Ilustración 26 Gráfica de resistencia a la compresión obtenida a 7 días por número de muestra respecto a porcentaje.



Ilustración 27 Gráfica de resistencia a la compresión promedio obtenida a 28 días por número de muestra respecto a porcentaje.

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

Capítulo 7. Evaluación de la intervención

El material individual presentó mejores resultados que cualquier material similar equivalente en calidad, (Basaltos de la región centro y bajío del país) resaltando su resistencia al desgaste por abrasión, cuyo porcentaje en una roca convencional de origen riolítico puede tener hasta el 40% de desgaste, mientras que una roca de origen basáltico puede tener entre el 20% y 25% de desgaste, en comparación con la escoria, cuyo desgaste fue únicamente del 13%.

Así mismo la densidad aparente del material, en comparación con los agregados pétreos convencionales también representa un impacto directo en la densidad esperada del concreto, y este parámetro resulta importante ya que al incrementar la densidad del material se espera también un incremento proporcional en las características estructurales y desempeño del concreto.

En cuanto al porcentaje de absorción, el hecho de presentar un parámetro ligeramente menor al de su equivalente de agregado pétreo de origen natural, representa una menor corrección por humedad y absorción en el diseño de mezclas, lo que impacta en una producción más estable y con menor porcentaje de fallas en parámetros como el revestimiento y la masa unitaria del concreto.

La densidad del concreto en estado endurecido incrementó en función al porcentaje de sustitución del agregado grueso, cosa que beneficia el uso de este tipo de concreto en elementos estructurales de características especiales, como represas, celdas de confinamiento, contrafuertes, muelles o rompeolas, uso en elementos aislantes o de blindaje contra radiación en hospitales, laboratorios, clínicas, salas de rayos X, o cualquier elemento diseñado para funciones especiales cuyos requerimientos de peso extra sean necesarios.

Así mismo, la roca presentó una alta resistencia al intemperismo acelerado por exposición a sulfato de sodio, lo que representa una mayor durabilidad ante ambientes agresivos, como estructuras marítimas, puentes, o estructuras para zonas con temperaturas extremas.

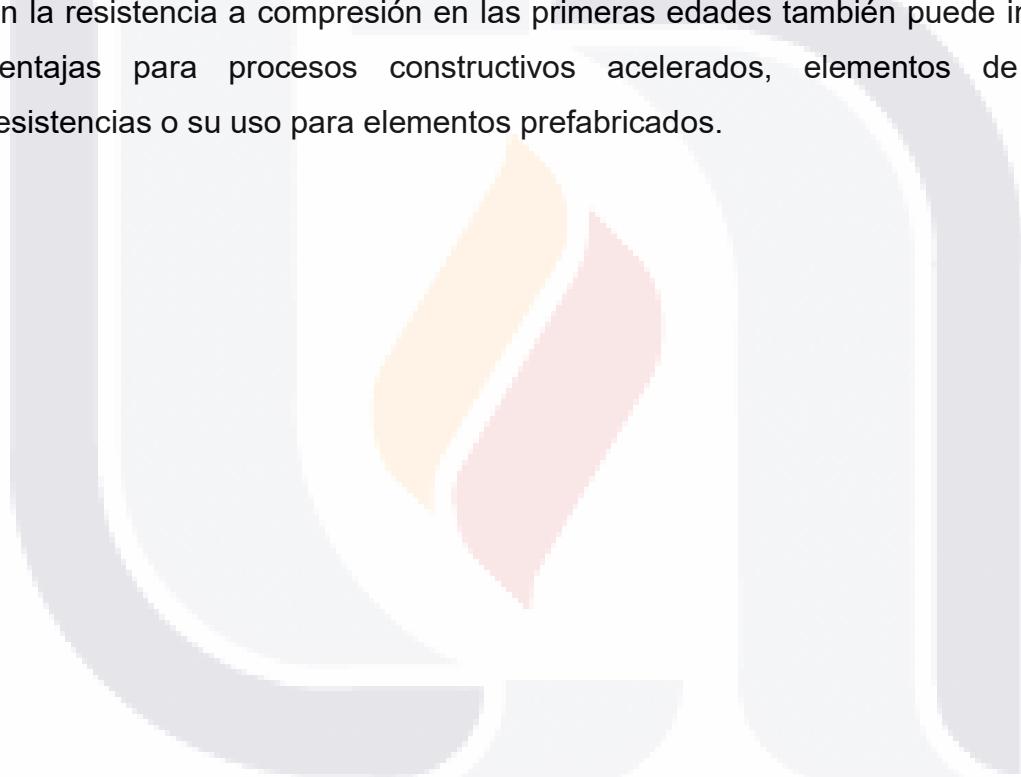
Los resultados muestran un incremento significativo en la resistencia a compresión a edades tempranas (3 y 7 días) al incorporar escoria de fundición

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

como sustituto del agregado grueso, alcanzando incluso el 100% de la resistencia esperada a 7 días.

Los resultados de las mezclas con sustitución al 100% de agregado pétreo por escoria de fundición a la edad de referencia del concreto (28 días) presentan un incremento en la resistencia a la compresión simple del 32.6% respecto a la especificación de diseño.

En términos generales, las mezclas con escoria produjeron concretos de mayor densidad, lo que representa beneficios estructurales mejor desempeño y mayor durabilidad del concreto, respecto a una mezcla convencional. La mejora en la resistencia a compresión en las primeras edades también puede implicar ventajas para procesos constructivos acelerados, elementos de altas resistencias o su uso para elementos prefabricados.



Capítulo 8. Conclusiones

8.1 Conclusión general.

Del análisis e interpretación de resultados se concluye la confirmación de la hipótesis planteada y cumplimiento de los parámetros toxicológicos y mineralógicos, así como las características y propiedades físicas, químicas y mecánicas de la escoria de fundición para su utilización como agregado grueso en mezclas de concreto, lo que representa no solo la viabilidad del uso de escorias de fundición como agregado pétreo en mezclas de concreto, sino una propuesta sustentable de reutilización de residuos con alto impacto en el sector ambiental, resultando en un proceso de producción de concreto más económico, con propiedades mecánicas superiores a las de un concreto convencional.

8.2 Conclusiones particulares

Recordando los objetivos particulares de la intervención, se concluye lo siguiente:

- a) *Caracterizar las propiedades físicas, mecánicas y químicas de la piedra, para determinar si se puede utilizar como agregado grueso en su totalidad o en cierta proporción en mezclas de concreto.*

De la caracterización del material se obtuvieron parámetros físicos similares a los de un agregado pétreo convencional. En cuanto a los parámetros mecánicos, se tiene un mejor desempeño del material sobre todo ante efectos abrasivos, y resistencia del material, por lo que se concluye la viabilidad del uso del material.

En cuanto a los ensayos de toxicidad del material, al no encontrarse efectos nocivos o residuos perjudiciales en el material se concluye su uso seguro para elementos de concreto, donde además la roca se encuentra en un medio confinado, garantizando la seguridad sanitaria ante el uso de este material. Así mismo, las propiedades químicas del material representan una mayor resistencia

TESIS TESIS TESIS TESIS TESIS

a ambientes o exposición a sulfatos y a cloruros, así como una mayor resistencia a efectos de carbonatación, por lo que se concluye la viabilidad del uso del material.

- b) Realizar un diseño de mezcla en base a los lineamientos del método de diseño establecido por el AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, en el manual 211.1: "Diseño de mezclas de concreto" (Comité ACI 211, 1985), considerando las características presentadas en los materiales individuales; grava (escoria de fundición), arena, cemento y agua.*

Respecto al diseño de mezclas, es necesario realizar ajustes al momento de diseñar, ya que la utilización de este material representa menos uso de agua, y mayor masa unitaria de la mezcla, sin representar grandes cambios al momento de diseñar.

- c) Elaborar probetas para realizar ensayes correspondientes del concreto en su estado fresco y posteriormente en su estado endurecido.*

Por otra parte, las características del concreto en estado fresco no representan un cambio considerable respecto a las de una mezcla de concreto convencional, en cuanto a consistencia y trabajabilidad, así mismo los parámetros como revenimiento y temperatura no se ven afectados por el uso de este material en las mezclas de concreto.

En cuanto a las características del concreto en estado endurecido, se presenta un desempeño de resistencia mecánica a la compresión simple superior al de diseño, por lo que en base a todo lo anterior expuesto, se concluye que el uso de escoria representa la mejora de propiedades físicas, químicas y mecánicas del concreto.

- d) Analizar y comparar resultados obtenidos respecto a un agregado pétreo y un concreto convencional.*

Se concluye que la escoria presenta características físicas y mecánicas superiores a lo esperado, en comparación con un agregado pétreo de características similares, lo que representa un mejor desempeño como material individual, y posteriormente como componente dentro de una mezcla de concreto.

De manera general, se concluye la viabilidad del uso de escoria como sustitución de agregado pétreo grueso en mezclas de concreto.

8.3 Nichos de Investigación

En base a los resultados obtenidos, y derivado de los alcances y objetivo propuestos en esta investigación, se plantean como nichos de investigación el estudio de la resistencia a medios agresivos, mediante ensayos de durabilidad ante ataque por cloruros y/o sulfatos, carbonatación acelerada y efectos en el acero de refuerzo, y capacidad de optimizar la vida útil del concreto en ambientes marinos o industriales por exposición a sales, gases y otros contaminantes. Así mismo, se plantea el estudio y análisis del comportamiento del material ante ciclos físicos específicos de deterioro, como erosión, intemperismo, abrasión, hielo/deshielo, y resistencia al fuego o a altas temperaturas. Y en cuanto a propiedades mecánicas a largo plazo (durabilidad y vida útil del concreto) se plantea el análisis de desempeño por tracción indirecta y flexión a edades avanzadas, así como el estudio de deformaciones diferidas por fatiga, y resistencia al impacto focalizado.

Bibliografía

- Ahmad, J., Zhou, Z., Martínez-García, R., Vatin, N. I., De-Prado-gil, J., & El-Shorbagy, M. A. (2022). Waste Foundry Sand in Concrete Production Instead of Natural River Sand: A Review. *Materials*, 15(7). <https://doi.org/10.3390/ma15072365>
- Bureau of Indian Standards. (2000). *IS 456 (2000): Plain and Reinforced Concrete - Code of Practice*.
- Comité ACI 211. (1985). *Diseño de Mezclas de Concreto ACI 211*.
- Comité ACI 318. (2005). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)*.
- Gómez Serrano, J., & Rodriguez Varela, E. (1982). *Aguascalientes, Imperio de los Guggenheim: estudio sobre la minería y metalurgia en Aguascalientes 1890-1930: el caso Guggenheim-ASARCO* (Secretaría de Educación Pública & Fondo de Cultura Económica, Eds.). Secretaría de Educación Pública.
- Jose, J., & Hossiney, N. (2016). *Characteristics of Concrete Containing Waste Foundry Sand and Slag Sand*. www.cafetinnova.org
- Portland Cement Association. (2004a). *Diseño y control de mezclas de concreto. Capítulo 1. Fundamentos del Concreto*.
- Portland Cement Association. (2004b). *Diseño y control de mezclas de concreto. Capítulo 5. Agregados para Concreto*.
- Portland Cement Association. (2004c). *Diseño y control de mezclas de concreto. Capítulo 9. Diseño y Proporcionamiento de Mezclas de Concreto Normal*.
- Sahare, C. D., & Dudhe, S. R. (2019). ISSN: 2454-132X Impact factor: 4.295 Experimental study on waste foundry sand and steel slag concrete. In *International Journal of Advance Research*. www.IJARIIT.com
- Saxena, R., Dhiman, S., Singh, A., & Singh, V. (2021). *EXPERIMENTAL STUDY ON USE OF VARIOUS PROPORTIONS OF FOUNDRY SLAG AND ALCCOFINE IN CEMENT CONCRETE* (Vol. 7). www.ijariie.com
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2002a). *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. Calidad del Agua para Concreto Hidráulico*.
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2002b). *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. Calidad del Cemento Portland*.
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2004a). *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. Calidad del Concreto Hidráulico*.
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2004b). *MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Resistencia a la Compresión del Cemento Portland*.
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2004c). *MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Resistencia del Concreto a Congelación y Deshielo*.
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2004d). *MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Tiempo de Fraguado del Cemento por el Método de Vicat*.

- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2006a). *M-MMP-2-02-055/06 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Muestreo de Concreto Hidráulico.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2006b). *M-MMP-2-02-056/06 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Revenimiento del Concreto Fresco.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2018a). *M-MMP-2-02-020/18 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Granulometría de los Agregados Pétreos.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2018b). *M-MMP-2-02-023/18 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Masa Volumétrica de los Agregados Pétreos.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2018c). *M-MMP-2-02-028/18 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2018d). *M-MMP-2-02-030/18 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Partículas mas Finas que la Malla No. 200 en los Agregados.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2018e). *M-MMP-2-02-032/18 LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso mediante la Máquina de Los Ángeles.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2019a). *CMT. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES. Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2019b). *LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Coeficiente Volumétrico de los Agregados Pétreos Gruesos.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2020). *MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES. Examen Petrográfico de los Agregados.*
- Secretaría de Infraestructura Comunicaciones y Transporte. (2023). *LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES PARTE: 2. MATERIALES PARA ESTRUCTURAS TÍTULO: 02. Materiales para Concreto Hidráulico CAPÍTULO: 058. Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto.*
- Sharma, D., Sharma, S., & Goyal, A. (n.d.). *Prediction of High Compressive Strength of Concrete using Waste Foundry Slag and Alccofine by NDT.* <http://www.ijert.org>
- Sharma, D., Sharma, S., & Goyal, A. (2016a). Comparative Studies on Mechanical Properties of High Strength Concrete Using Foundry Slag and Alccofine. In *Concrete Research Letters* (Vol. 7, Issue 1). www.crl.issres.net
- Sharma, D., Sharma, S., & Goyal, A. (2016b). Utilization of waste foundry slag and alccofine for developing high strength concrete. *International Journal of Electrochemical Science*, 11(4), 3190–3205. <https://doi.org/10.20964/110403190>

- Sharma, D., Sharma, S., Goyal, A., & Kapoor, A. (n.d.). *Experimental Investigation on Effect of Industrial Waste Slag and Alccofine on Durability Properties of High Strength Concrete*.
<https://doi.org/10.17758/ERPUB.A1217007>
- Sithole, N. T., Tsotetsi, N. T., Mashifana, T., & Sillanpää, M. (2022). Alternative cleaner production of sustainable concrete from waste foundry sand and slag. *Journal of Cleaner Production*, 336.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.130399>
- Sowmya, M., & Kumar, J. D. C. (2015). MIXING OF WASTE FOUNDRY SAND IN CONCRETE. In *Int. J. Engg. Res. & Sci. & Tech* (Vol. 4, Issue 4).
<http://www.ijerst.com/currentissue.php>
- Sravan Kumar, B., & Ajitha, B. (2023). EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTH OF CONCRETE USING SLAG SAND AND PARTIAL REPLACEMENT OF CEMENT WITH ALCCOFINE. *China Petroleum Processing and Petrochemical Technology Catalyst Research*, 23(2), 3075–3085. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7778371>
- Thaarrini, J., & Ramasamy, V. (2016). Properties of foundry sand, ground granulated blast furnace slag and bottom ash based geopolymers under ambient conditions. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(2), 159–168. <https://doi.org/10.3311/PPci.8014>
- Udayasree, B., & Kumar, G. S. (2023). Properties of self-compacting concrete modified with m-sand and spent foundry slag. *International Review of Applied Sciences and Engineering*.
<https://doi.org/10.1556/1848.2023.00648>
- Vamshi, P., Kumar Dharmapuri, A., & Pajuri, S. (n.d.). *JOURNAL OF CRITICAL REVIEWS Utilization of Foundry Slag as a Partial Replacement for Fine Aggregate to Attain Sustainability in Construction*.

Anexos



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	001	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 02-jun-25 F. reporte 01-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		Unidad	DATOS DEL CONCRETO.		NORMAL
	Resistencia	250 kg/cm ²		Tipo de concreto	Tipo de cemento	
Resistencia.	24.52 MPa	MPa	kg/cm ²	Marca de cemento	Aditivo / Marca	CPC 40
Revenimiento.	12.0 cm	cm	kg/cm ²	Dosificación	Planta dosificadora	MOCTEZUMA
Tolerancia.	± 2.5 cm	cm	kg/cm ²	Número de Remisión	Equipo de mezclado	Plastificante / MAPEI
			kg/cm ²	Eq. de compactación		De diseño
			kg/cm ²			MATRA CONCRETOS
			kg/cm ²			N/A
			kg/cm ²			REVOLVEDORA MOVIL
			kg/cm ²			VARILLADO MANUAL

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	20.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0001	3	15.0	177.66	13.21	2479	05-jun-25	372.5	20.97	65	85.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0002	7	15.1	177.89	13.34	2499	09-jun-25	443.4	24.92	80	101.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0003	28	14.9	174.83	13.15	2507	30-jun-25	562.6	32.18	100	131.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0004	28	15.0	176.71	13.27	2503	30-jun-25	565.0	31.97	100	130.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

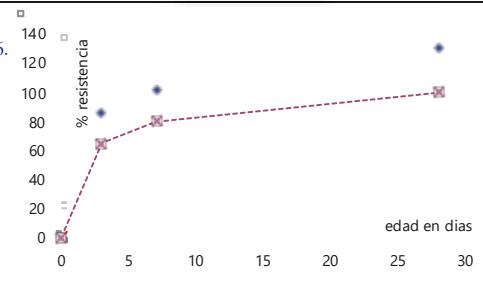
32.07

100

130.8

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	002	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 02-jun-25 F. reporte 01-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	12	<input checked="" type="checkbox"/>
			9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
				32	20.8	<input checked="" type="checkbox"/>

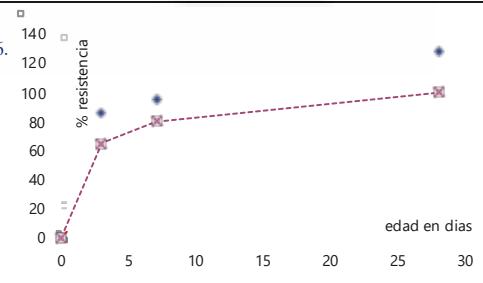
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0005	3	15.1	178.84	13.29	2476	05-jun-25	374.1	20.92	65	85.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0006	7	15.3	183.37	13.28	2413	09-jun-25	429.7	23.43	80	95.6	<input checked="" type="checkbox"/>
0007	28	14.9	174.37	13.16	2515	30-jun-25	551.3	31.62	100	129.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0008	28	14.9	174.37	13.11	2507	30-jun-25	549.1	31.49	100	128.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

31.55	100	128.7	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	003	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 02-jun-25 F. reporte 01-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	20.8	<input checked="" type="checkbox"/>

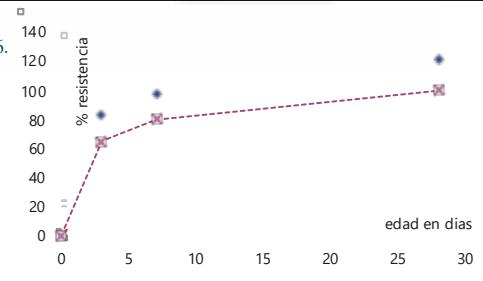
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0009	3	15.1	178.37	13.15	2458	05-jun-25	361.7	20.28	65	82.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0010	7	15.0	177.42	13.17	2473	09-jun-25	427.4	24.09	80	98.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0011	28	15.1	178.84	13.15	2451	30-jun-25	525.1	29.36	100	119.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0012	28	15.1	177.89	13.12	2458	30-jun-25	535.1	30.08	100	122.7	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

29.72	100	121.2	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.
 Prueba de revenimiento.
 Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.
 M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.
 M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23
 N-CMT-2-02-005/04
 M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	004	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 02-jun-25 F. reporte 01-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

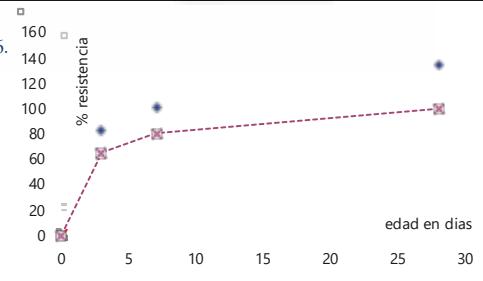
Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	20.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0013	3	15.0	176.71	13.16	2482	05-jun-25	361.6	20.47	65	83.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0014	7	15.0	176.71	13.20	2490	09-jun-25	436.6	24.71	80	100.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0015	28	15.0	177.19	13.18	2480	30-jun-25	580.7	32.77	100	133.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0016	28	15.0	175.77	13.02	2469	30-jun-25	581.6	33.09	100	135.0	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia 32.93 100 134.3

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.
 Prueba de revenimiento.
 Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.
 M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.
 M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23
 N-CMT-2-02-005/04
 M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	005	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 02-jun-25 F. reporte 01-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		Unidad	DATOS DEL CONCRETO.		NORMAL
	Resistencia	250 kg/cm ²		Tipo de concreto	Tipo de cemento	
Resistencia.	24.52 MPa	MPa	kg/cm ²	Marca de cemento	Aditivo / Marca	CPC 40
Revenimiento.	12.0 cm	cm	kg/cm ²	Dosificación	Planta dosificadora	MOCTEZUMA
Tolerancia.	± 2.5 cm	cm	kg/cm ²	Número de Remisión	Equipo de mezclado	Plastificante / MAPEI
			kg/cm ²	Eq. de compactación		De diseño
			kg/cm ²			MATRA CONCRETOS
			kg/cm ²			N/A
			kg/cm ²			REVOLVEDORA MOVI
			kg/cm ²			VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	20.8	<input checked="" type="checkbox"/>

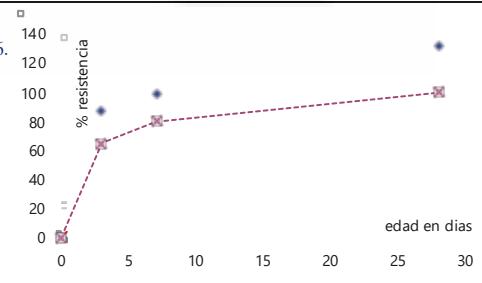
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0017	3	15.0	176.24	13.16	2489	05-jun-25	377.9	21.44	65	87.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0018	7	15.0	177.42	13.10	2460	09-jun-25	432.8	24.39	80	99.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0019	28	15.0	176.71	13.14	2479	30-jun-25	575.0	32.54	100	132.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0020	28	15.0	176.71	13.15	2481	30-jun-25	573.3	32.44	100	132.3	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

32.49	100	132.5	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	006	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 05-jun-25
			F. reporte 04-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	cm
		cm	9.5	14.5	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

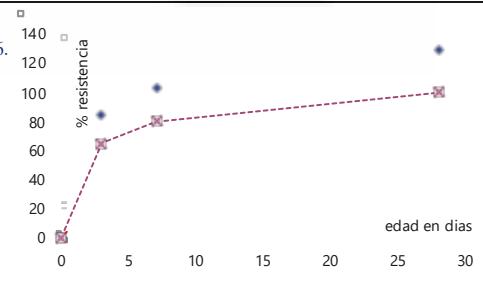
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0021	3	15.0	176.95	13.20	2487	08-jun-25	368.2	20.81	65	84.9	<input checked="" type="checkbox"/>
0022	7	15.0	176.71	13.16	2483	12-jun-25	445.1	25.19	80	102.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0023	28	15.0	176.24	13.20	2496	03-jul-25	561.1	31.84	100	129.9	<input checked="" type="checkbox"/>
0024	28	15.0	176.01	13.15	2491	03-jul-25	558.0	31.70	100	129.3	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

31.77	100	129.6	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	007	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 05-jun-25
			F. reporte 04-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm		32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0025	3	15.0	176.71	13.17	2483	08-jun-25	362.7	20.53	65	83.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0026	7	15.0	176.71	13.20	2490	12-jun-25	421.6	23.86	80	97.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0027	28	15.0	177.19	13.17	2477	03-jul-25	529.9	29.90	100	122.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0028	28	15.0	175.77	13.17	2497	03-jul-25	517.5	29.44	100	120.1	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

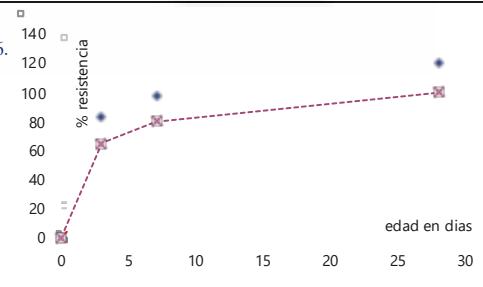
29.67

100

121.0

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	008	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 05-jun-25
			F. reporte 04-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm		32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0029	3	15.0	177.19	13.14	2471	08-jun-25	374.8	21.15	65	86.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0030	7	15.0	176.71	13.17	2483	12-jun-25	441.5	24.98	80	101.9	<input checked="" type="checkbox"/>
0031	28	15.0	176.95	13.20	2486	03-jul-25	535.1	30.24	100	123.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0032	28	15.0	176.95	13.16	2479	03-jul-25	531.4	30.03	100	122.5	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

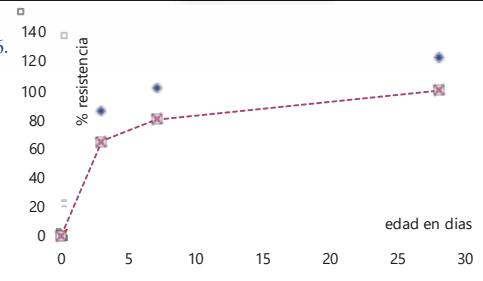
30.13

100

122.9

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	009	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 05-jun-25
			F. reporte 04-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	°C	14.5	<input checked="" type="checkbox"/>
			9.5	32	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>
					22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0033	3	15.0	177.42	13.16	2472	08-jun-25	381.9	21.53	65	87.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0034	7	15.0	176.95	13.15	2477	12-jun-25	457.5	25.85	80	105.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0035	28	15.1	177.89	13.13	2459	03-jul-25	546.2	30.70	100	125.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0036	28	15.0	177.66	13.17	2470	03-jul-25	550.4	30.98	100	126.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

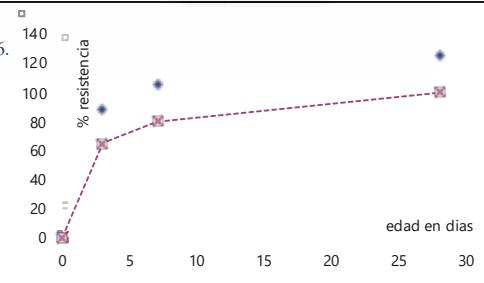
30.84

100

125.8

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	010	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 05-jun-25 F. reporte 04-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	°C	14.5	12.5
			9.5	32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

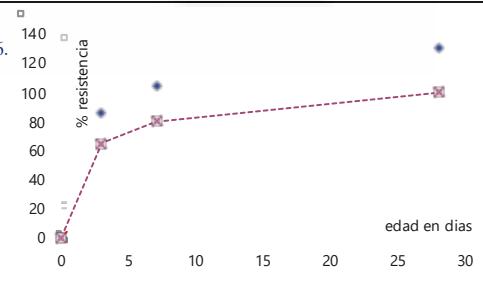
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0037	3	15.0	176.71	13.17	2483	08-jun-25	369.9	20.93	65	85.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0038	7	15.0	176.71	13.15	2480	12-jun-25	451.2	25.53	80	104.1	<input checked="" type="checkbox"/>
0039	28	15.0	177.19	13.14	2471	03-jul-25	568.9	32.11	100	131.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0040	28	15.0	176.95	13.15	2478	03-jul-25	567.0	32.04	100	130.7	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

32.08	100	130.8	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	011	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 09-jun-25 F. reporte 08-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		Unidad	DATOS DEL CONCRETO.		NORMAL
	Resistencia	250 kg/cm ²		Tipo de concreto	Tipo de cemento	
Resistencia.	24.52 MPa	MPa	kg/cm ²	Marca de cemento	Aditivo / Marca	CPC 40
Revenimiento.	12.0 cm	cm	kg/cm ²	Dosificación	Planta dosificadora	MOCTEZUMA
Tolerancia.	± 2.5 cm	cm	kg/cm ²	Número de Remisión	Equipo de mezclado	Plastificante / MAPEI
			kg/cm ²	Eq. de compactación		De diseño
			kg/cm ²			MATRA CONCRETOS
			kg/cm ²			N/A
			kg/cm ²			REVOLVEDORA MOVI
			kg/cm ²			VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

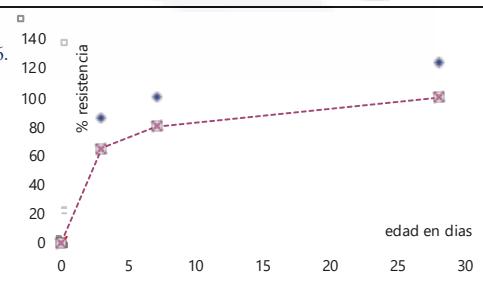
Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	11	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	21.7	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0041	3	15.0	177.66	13.13	2463	12-jun-25	374.2	21.06	65	85.9	<input checked="" type="checkbox"/>
0042	7	15.0	175.77	13.15	2495	16-jun-25	431.6	24.55	80	100.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0043	28	15.0	176.24	13.15	2487	07-jul-25	542.4	30.78	100	125.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0044	28	15.0	176.71	13.18	2486	07-jul-25	536.2	30.34	100	123.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia 30.56 100 124.6

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	012	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 09-jun-25 F. reporte 08-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	11	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	21.7	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0045	3	15.0	176.71	13.19	2487	12-jun-25	382.1	21.62	65	88.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0046	7	15.0	176.71	13.17	2484	16-jun-25	448.0	25.35	80	103.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0047	28	15.0	176.71	13.21	2491	07-jul-25	551.2	31.19	100	127.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0048	28	15.0	177.19	13.17	2477	07-jul-25	548.2	30.94	100	126.2	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

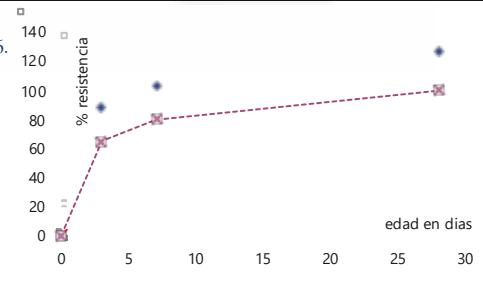
31.07

100

126.7

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	013	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 09-jun-25 F. reporte 08-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		Unidad	DATOS DEL CONCRETO.		NORMAL
	Resistencia	250 kg/cm ²		Tipo de concreto	Tipo de cemento	
Resistencia.	24.52 MPa	MPa		Marca de cemento		CPC 40
Revenimiento.	12.0 cm	cm		Aditivo / Marca		MOCTEZUMA
Tolerancia.	± 2.5 cm	cm		Dosificación		Plastificante / MAPEI
				Planta dosificadora		De diseño
				Número de Remisión		MATRA CONCRETOS
				Equipo de mezclado		N/A
				Eq. de compactación		REVOLVEDORA MOVIL
						VARILLADO MANUAL

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple	
			cm	°C	11	<input checked="" type="checkbox"/>	
					32	21.7	<input checked="" type="checkbox"/>

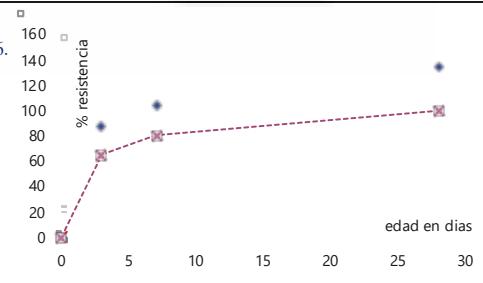
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0049	3	15.0	177.66	13.13	2463	12-jun-25	382.6	21.54	65	87.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0050	7	15.1	177.89	13.16	2465	16-jun-25	453.5	25.49	80	104.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0051	28	14.9	174.83	13.10	2498	07-jul-25	578.7	33.10	100	135.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0052	28	15.0	176.71	13.09	2469	07-jul-25	576.5	32.62	100	133.1	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

32.86	100	134.0	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	014	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 09-jun-25 F. reporte 08-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	11	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm			32	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C			21.7	

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0053	3	15.1	178.84	13.10	2441	12-jun-25	392.9	21.97	65	89.6	<input checked="" type="checkbox"/>
0054	7	15.1	178.13	13.13	2456	16-jun-25	454.3	25.50	80	104.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0055	28	14.9	174.37	13.07	2498	07-jul-25	575.6	33.01	100	134.6	<input checked="" type="checkbox"/>
0056	28	14.9	174.37	13.04	2493	07-jul-25	571.9	32.80	100	133.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

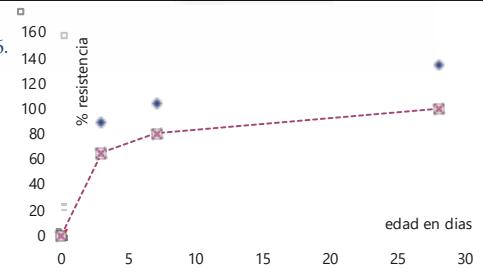
32.90

100

134.2

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	015	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
			F. muestreo 09-jun-25 F. reporte 08-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)		NORMAL	
Resistencia	250 kg/cm ²		CPC 40	
		MOCTEZUMA		
		Plastificante / MAPEI		
		De diseño		
Resistencia.	24.52 MPa		MATRA CONCRETOS	
Revenimiento.	12.0 cm		N/A	
Tolerancia.	± 2.5 cm		REVOLVEDORA MOVI	
		VARILLADO MANUA		

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	
		cm	9.5	14.5	11	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	21.7	<input checked="" type="checkbox"/>

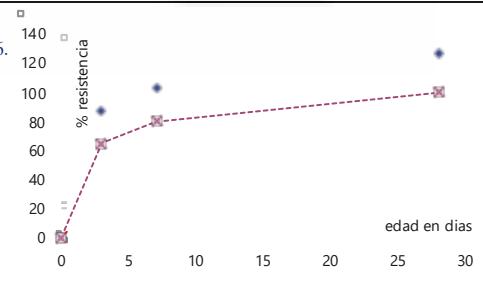
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0057	3	15.1	178.37	13.11	2449	12-jun-25	382.1	21.42	65	87.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0058	7	15.0	177.42	13.13	2466	16-jun-25	448.0	25.25	80	103.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0059	28	15.1	178.84	13.11	2444	07-jul-25	558.7	31.24	100	127.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0060	28	15.1	177.89	13.11	2457	07-jul-25	551.2	30.99	100	126.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

31.11	100	126.9	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	016	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			11-jun-25
F. reporte			10-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

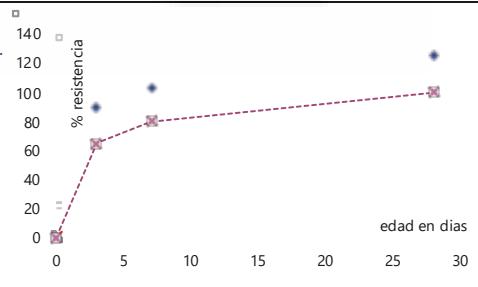
Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C		32	22.9	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0061	3	15.0	176.71	13.14	2478	14-jun-25	390.9	22.12	65	90.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0062	7	15.0	176.71	13.12	2476	18-jun-25	445.0	25.18	80	102.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0063	28	15.0	177.19	13.12	2468	09-jul-25	548.2	30.94	100	126.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0064	28	15.0	175.77	13.12	2488	09-jul-25	541.1	30.79	100	125.6	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia 30.86 100 125.9

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	017	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			11-jun-25
F. reporte			10-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

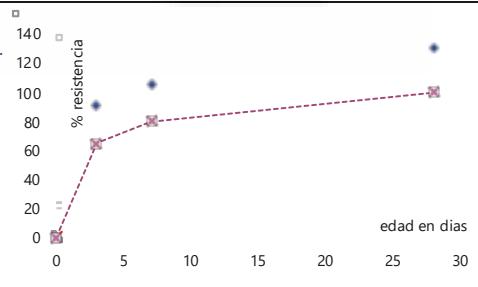
Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
		°C			32	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0065	3	15.0	176.24	13.12	2481	14-jun-25	393.5	22.33	65	91.1	<input checked="" type="checkbox"/>
0066	7	15.0	177.42	13.11	2463	18-jun-25	461.3	26.00	80	106.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0067	28	15.0	176.71	13.12	2474	09-jul-25	574.1	32.49	100	132.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0068	28	15.0	176.71	13.11	2473	09-jul-25	566.2	32.04	100	130.7	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia 32.26 100 131.6

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.
Prueba de revenimiento.
Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.
M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.
M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23
N-CMT-2-02-005/04
M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	018	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			11-jun-25
F. reporte			10-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

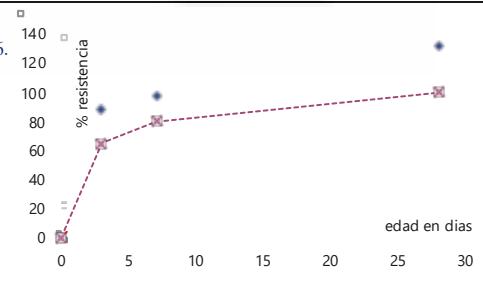
Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	32	22.9	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm				
		°C				

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0069	3	15.0	176.95	13.12	2472	14-jun-25	382.3	21.61	65	88.1	<input checked="" type="checkbox"/>
0070	7	15.0	176.71	13.12	2475	18-jun-25	423.2	23.95	80	97.7	<input checked="" type="checkbox"/>
0071	28	15.0	176.24	13.10	2478	09-jul-25	578.2	32.81	100	133.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0072	28	15.0	176.01	13.10	2480	09-jul-25	567.0	32.22	100	131.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia 32.51 100 132.6

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	019	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			11-jun-25
F. reporte			10-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
	cm	9.5	14.5	12	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatura	°C		32	22.9	<input checked="" type="checkbox"/>

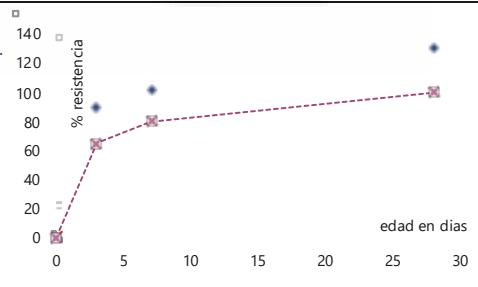
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0073	3	15.0	176.71	13.10	2470	14-jun-25	388.9	22.00	65	89.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0074	7	15.0	176.71	13.09	2469	18-jun-25	438.2	24.80	80	101.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0075	28	15.0	177.19	13.08	2461	09-jul-25	575.0	32.45	100	132.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0076	28	15.0	175.77	13.09	2482	09-jul-25	562.1	31.98	100	130.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

32.22 100 131.4

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	020	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			11-jun-25
F. reporte			10-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	32	22.9	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm				
		°C				

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0077	3	15.0	177.19	13.07	2458	14-jun-25	403.3	22.76	65	92.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0078	7	15.0	176.71	13.10	2471	18-jun-25	447.3	25.31	80	103.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0079	28	15.0	176.95	13.08	2464	09-jul-25	558.0	31.53	100	128.6	<input checked="" type="checkbox"/>
0080	28	15.0	176.95	13.08	2464	09-jul-25	563.1	31.82	100	129.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

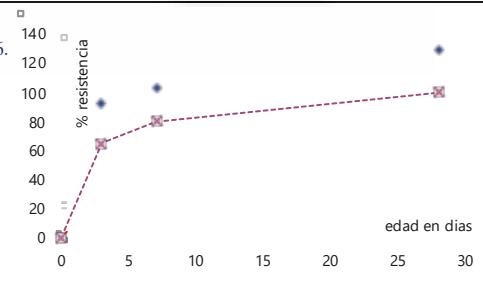
31.68

100

129.2

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	021	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			13-jun-25
F. reporte			12-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm				
		°C				

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0081	3	15.0	177.42	13.10	2462	16-jun-25	393.1	22.16	65	90.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0082	7	15.0	176.95	13.11	2469	20-jun-25	431.0	24.35	80	99.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0083	28	15.1	177.89	13.10	2454	11-jul-25	546.0	30.69	100	125.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0084	28	15.0	177.66	13.11	2460	11-jul-25	548.2	30.86	100	125.9	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

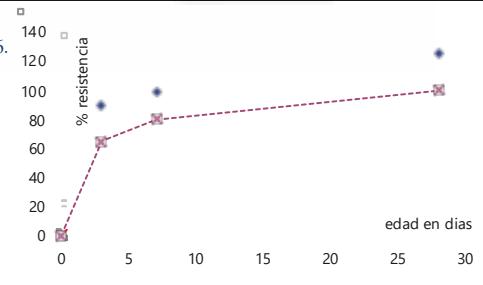
30.78

100

125.5

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	022	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			13-jun-25
F. reporte			12-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	✓
		9.5	14.5	12.5	12.5	✓
		32	32	22.6	22.6	✓

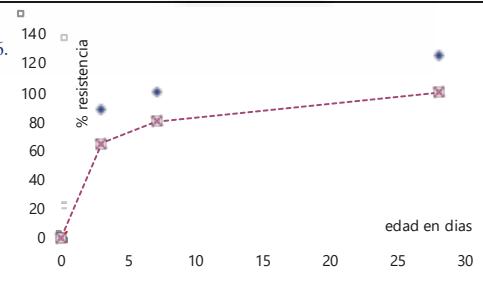
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0085	3	15.0	176.71	13.11	2473	16-jun-25	381.2	21.57	65	88.0	✓
0086	7	15.0	176.71	13.11	2472	20-jun-25	434.4	24.58	80	100.3	✓
0087	28	15.0	177.19	13.11	2466	11-jul-25	549.2	31.00	100	126.4	✓
0088	28	15.0	176.95	13.10	2467	11-jul-25	545.8	30.85	100	125.8	✓

Promedio a la edad de referencia

30.92 100 126.1 ✓

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	023	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			13-jun-25
F. reporte			12-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm		32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0089	3	15.0	177.66	13.11	2459	16-jun-25	379.4	21.36	65	87.1	<input checked="" type="checkbox"/>
0090	7	15.0	175.77	13.07	2479	20-jun-25	428.4	24.37	80	99.4	<input checked="" type="checkbox"/>
0091	28	15.0	176.24	13.07	2471	11-jul-25	535.8	30.40	100	124.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0092	28	15.0	176.71	13.09	2469	11-jul-25	525.0	29.71	100	121.2	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

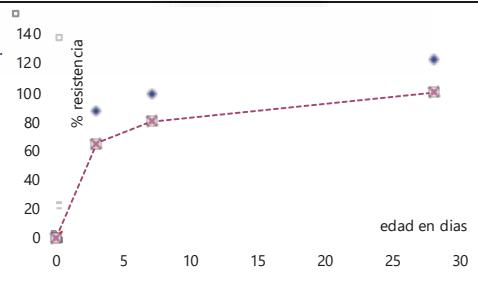
30.05

100

122.6

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	024	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			13-jun-25
F. reporte			12-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			9.5	14.5	12.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		cm		32	22.6	<input checked="" type="checkbox"/>

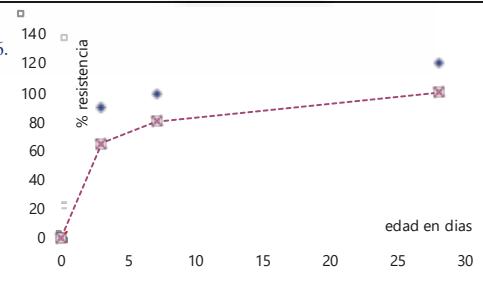
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0093	3	15.0	176.71	13.09	2470	16-jun-25	388.9	22.01	65	89.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0094	7	15.0	176.71	13.10	2471	20-jun-25	429.6	24.31	80	99.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0095	28	15.0	176.71	13.09	2470	11-jul-25	519.6	29.40	100	119.9	<input checked="" type="checkbox"/>
0096	28	15.0	177.19	13.10	2464	11-jul-25	524.8	29.62	100	120.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

29.51 100 120.4

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	025	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			13-jun-25
F. reporte			12-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	✓
		9.5	14.5	12.5	12.5	✓
		32	32	22.6	22.6	✓

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0097	3	15.0	176.71	13.09	2469	16-jun-25	393.5	22.27	65	90.8	✓
0098	7	15.0	177.19	13.07	2459	20-jun-25	434.0	24.49	80	99.9	✓
0099	28	15.0	176.71	13.08	2467	11-jul-25	552.0	31.23	100	127.4	✓
0100	28	15.0	176.95	13.10	2467	11-jul-25	547.5	30.94	100	126.2	✓

Promedio a la edad de referencia

31.09

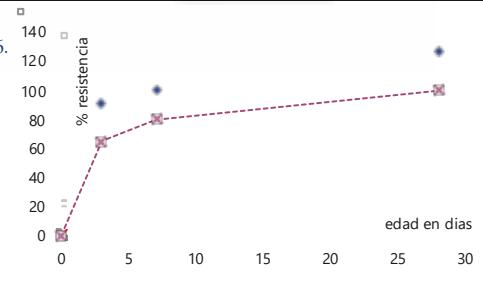
100

126.8

✓

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	026	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			16-jun-25
F. reporte			15-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	cm
		9.5	14.5	11.5	11.5	<input checked="" type="checkbox"/>
		32	32	21.2	21.2	<input checked="" type="checkbox"/>

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0101	3	15.0	176.95	13.12	2471	19-jun-25	402.4	22.74	65	92.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0102	7	15.0	177.42	13.10	2462	23-jun-25	442.6	24.95	80	101.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0103	28	15.0	176.95	13.12	2471	14-jul-25	569.2	32.17	100	131.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0104	28	15.1	177.89	13.11	2457	14-jul-25	561.8	31.58	100	128.8	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

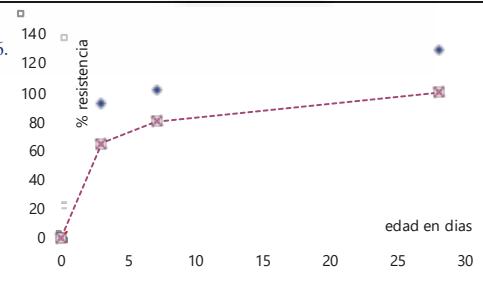
31.87

100

130.0

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	027	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraído del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			16-jun-25
F. reporte			15-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	cm
		9.5	14.5	11.5	<input checked="" type="checkbox"/>	
		32	21.2	21.2	<input checked="" type="checkbox"/>	

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0105	3	15.0	177.66	13.13	2463	19-jun-25	394.3	22.20	65	90.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0106	7	15.0	176.71	13.13	2477	23-jun-25	441.5	24.98	80	101.9	<input checked="" type="checkbox"/>
0107	28	15.0	176.71	13.12	2474	14-jul-25	562.5	31.83	100	129.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0108	28	15.0	177.19	13.11	2467	14-jul-25	549.6	31.02	100	126.5	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

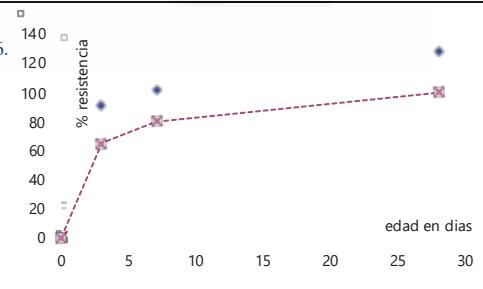
31.42

100

128.2

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	028	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			16-jun-25
F. reporte			15-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

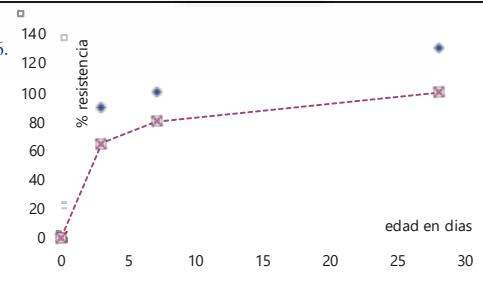
Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	cm
		9.5	14.5	11.5	<input checked="" type="checkbox"/>	
		32	21.2	21.2	<input checked="" type="checkbox"/>	

Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Área (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0109	3	15.0	176.95	13.11	2469	19-jun-25	388.9	21.98	65	89.6	<input checked="" type="checkbox"/>
0110	7	15.0	177.66	13.11	2460	23-jun-25	437.9	24.65	80	100.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0111	28	15.0	175.77	13.07	2479	14-jul-25	568.7	32.35	100	132.0	<input checked="" type="checkbox"/>
0112	28	15.0	176.24	13.09	2475	14-jul-25	559.2	31.73	100	129.4	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia 32.04 100 130.7

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	029	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			16-jun-25
F. reporte			15-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensaye	Compresión simple (f'_c)	NORMAL
Resistencia	250 kg/cm ²	CPC 40
Resistencia.	24.52 MPa	MOCTEZUMA
Revenimiento.	12.0 cm	Plastificante / MAPEI
Tolerancia.	± 2.5 cm	De diseño
		MATRA CONCRETOS
		N/A
		REVOLVEDORA MOVI
		VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

Revenimiento	Temperatura	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
			cm	cm	cm	cm
		9.5	14.5	11.5	<input checked="" type="checkbox"/>	
		32	21.2	21.2	<input checked="" type="checkbox"/>	

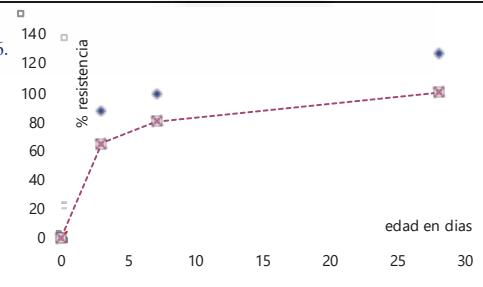
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensaye (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida	
0113	3	15.0	176.71	13.10	2470	19-jun-25	380.3	21.52	65	87.8	<input checked="" type="checkbox"/>
0114	7	15.0	176.71	13.08	2467	23-jun-25	431.2	24.40	80	99.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0115	28	15.0	176.71	13.09	2470	14-jul-25	556.0	31.46	100	128.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0116	28	15.0	176.71	13.09	2469	14-jul-25	542.9	30.72	100	125.3	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

31.09 100 126.8

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06 Cabeceo de especímenes cilíndricos.

M-MMP-2-02-056/06 Método para determinar la temperatura.

M-MMP-2-02-058/23 Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23



INFORME DE RESISTENCIA DE CONCRETO HIDRÁULICO

DATOS DE LA OBRA.

Obra:	Maestría en Ingeniería Civil UAA Campaña experimental
Ubicación:	Aguascalientes
Folio:	MIC_UAA

DATOS DE LA MUESTRA.

Registro No.	030	Laboratorista	MGML
Elemento	Probetas con escoria de fundición		
Localización	Material extraido del Cerro de la Grasa, Fundición, Ags.		
F. muestreo			16-jun-25
F. reporte			15-jul-25

DATOS DE PROYECTO.

Tipo de ensayo	Compresión simple (f'_c)		DATOS DEL CONCRETO.	
Resistencia	250	kg/cm ²	Tipo de concreto	NORMAL
Resistencia.	24.52	MPa	Tipo de cemento	CPC 40
Revenimiento.	12.0	cm	Marca de cemento	MOCTEZUMA
Tolerancia.	± 2.5	cm	Aditivo / Marca	Plastificante / MAPEI
			Dosificación	De diseño
			Planta dosificadora	MATRA CONCRETOS
			Número de Remisión	N/A
			Equipo de mezclado	REVOLVEDORA MOVI
			Eq. de compactación	VARILLADO MANUA

RESULTADOS DEL ENSAYE.

	Unidad	Mínimo	Máximo	Obtenido	Cumple
Revenimiento	cm	9.5	14.5	11.5	<input checked="" type="checkbox"/>
Temperatura	°C		32	21.2	<input checked="" type="checkbox"/>

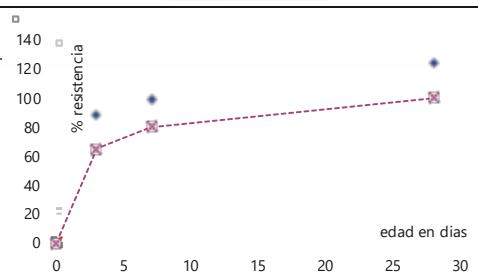
Especimen (No.)	Edad (días)	Diámetro (cm)	Area (cm ²)	Masa (Kg)	Masa vol. (Kg/m ³)	Fecha ensayo (dd/mm/aa)	Carga (kN)	Esfuerzo (MPa)	Resistencia		▼
									Mínima*	Obtenida (%)	
0117	3	15.0	177.19	13.11	2467	19-jun-25	384.6	21.70	65	88.5	<input checked="" type="checkbox"/>
0118	7	15.0	177.66	13.12	2462	23-jun-25	432.7	24.36	80	99.3	<input checked="" type="checkbox"/>
0119	28	15.0	175.77	13.07	2479	14-jul-25	539.5	30.69	100	125.2	<input checked="" type="checkbox"/>
0120	28	15.0	176.24	13.08	2474	14-jul-25	528.7	30.00	100	122.3	<input checked="" type="checkbox"/>

Promedio a la edad de referencia

30.34	100	123.8	<input checked="" type="checkbox"/>
-------	-----	-------	-------------------------------------

OBSERVACIONES.

- El concreto presenta revenimiento dentro de las tolerancias especificadas en M-MMP-2-02-056/06.
- El concreto presenta temperatura dentro de las tolerancias especificadas en N-CMT-2-02-005/04.
- A 3 día(s), la resistencia del concreto evoluciona en forma ELEVADA.
- A 7 días el concreto CUMPLE con la resistencia de proyecto.



NORMAS APLICABLES.

Muestreo de concreto fresco.

Prueba de revenimiento.

Curado de especímenes en laborat.

M-MMP-2-02-055/06

M-MMP-2-02-056/06

M-MMP-2-02-058/23

Cabeceo de especímenes cilíndricos.

Método para determinar la temperatura.

Resistencia a la compresión de cilindros.

M-MMP-2-02-058/23

N-CMT-2-02-005/04

M-MMP-2-02-058/23