



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres y Movilidad

Estudio de la durabilidad en un concreto pigmentado como propuesta de material de construcción en el área de pavimentos

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ingeniería en Vías Terrestres y Movilidad

Presenta:
Ing. Carlos Blas Sánchez

Dirigido por:
Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Presidente

Firma

Dr. Jaime Moises Horta Rangel
Secretario

Firma

Dr. Ricardo Montoya Zamora
Vocal

Firma

Dra. Teresa López Lara
Suplente

Firma

Dr. Saúl Obregón Biosca
Suplente

Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Piña
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
(Marzo de 2023)



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Estudio de la durabilidad en un concreto pigmentado
como propuesta de material de construcción en el
área de pavimentos

por

Carlos Blas Sánchez

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGMAC-300614

Contenido

1. INTRODUCCIÓN	9
1.1 Plan Municipal de Desarrollo del Municipio de Querétaro 2018 - 2021	9
2. ANTECEDENTES	10
3. HIPÓTESIS.....	12
4. OBJETIVO	12
4.1 OBJETIVOS PARTICULARES.....	12
5. MARCO TEÓRICO	13
5.1 Historia del cemento.....	13
5.2 Cemento Portland	13
5.3 Agregados pétreos	17
5.4 Agua.....	18
5.5 Concreto.....	19
5.6 Pigmentos	21
5.7 Caracterización de concretos pigmentados.....	23
5.7.1 Resistencia al congelamiento y deshielo.....	24
5.7.2 Resistencia a la abrasión	24
5.7.3 Resistencia a la compresión.....	25
5.7.4 Resistencia a cloruro de sodio	25
5.7.5 Resistencia a sulfatos.....	26
6. METODOLOGÍA	26
6.1 Pruebas realizadas a los agregados pétreos	26
6.1.1 Muestreo	27
6.1.2 Pruebas realizadas a Morteros.....	27
6.1.2.1 Granulometría de la arena.....	27
6.2 Mezcla de mortero.....	28
6.2.1 Fluidéz de las mezclas de mortero.....	30
6.2.3 Almacenamiento y ensaye de los especímenes.....	33
6.3 Pruebas realizadas a Concretos	36
6.3.1 Diseño de mezcla de concreto	36
6.3.2 Revenimiento de las mezclas de concreto	44

6.3.3 Prueba de desgaste mediante la prueba de Los Ángeles de materiales pétreos para mezclas asfálticas M-MMP-4-04-006/02	47
6.3.4 Desgaste ocasionado por cloruro de sodio	51
6.3.5 Desgaste ocasionado por cambios de temperatura	53
6.3.6 Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto M-MMP-2-02-058/04.....	57
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
7.1 Pruebas en morteros	59
7.2 Pruebas en concretos.....	63
7.2.1 Revenimiento	63
7.2.2 Resistencia a la compresión	64
7.2.3 Resistencia a la compresión en probetas sometidas a cambios de temperatura	65
7.2.4 Resistencia a la abrasión.....	66
Resistencia a la compresión en cilindros sometidos a cloruro de sodio	67
7.2.5 Análisis de costos en comparación de un concreto pigmentado y un concreto normal con pintura de base agua.....	69
8. CONCLUSIONES	70
8.1 LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	72
9. BIBLIOGRAFÍA	73
10. ANEXOS.....	79

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi familia el gran apoyo que me dieron durante la realización de este trabajo, principalmente a mis padres, que desde antes que yo naciera siempre tuvieron pensamientos positivos para poder brindarnos lo mejor a mi hermana y a mí. A mi hermana que siempre ha sido una gran consejera. A mis abuelos maternos y paternos, quienes siempre han sido un ejemplo a seguir. A mi novia Gabriela quien siempre me dio palabras de aliento para continuar con los estudios y especialmente a mi hermosa hija Karla que hoy en día es todo para mi.

Agradezco al Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza por haber aceptado ser mi director de tesis y al Dr. Ricardo Montoya Zamora por todo su apoyo como coordinador de la maestría y a todo el grupo de profesores de la Maestría de Vías Terrestres y Movilidad, quienes me orientaron y aconsejaron de la mejor manera para efectuar este trabajo.

A mi amigo Fernando, con quien conviví durante la maestría y se hicieron más gratas las clases. Y a toda la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Querétaro, quien me abrió las puertas para seguir con mi crecimiento académico.

Finalmente agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por otorgarme el apoyo económico durante mis estudios para solventar los gastos requeridos en la Maestría en Vías Terrestres y Movilidad.

ÍNDICE DE CUADROS

TABLA 1. TIPOS DE RESISTENCIA DEL CEMENTO.....	14
TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS CON CARACTERÍSTICAS ESPECIALES	15
TABLA 3. ELEMENTOS QUE SE LE PUEDEN AGREGAR AL CEMENTO.....	15
TABLA 4. COMPONENTES DE LOS CEMENTOS (% EN MASA)	16
TABLA 5. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS DE ACUERDO CON EL TAMAÑO DE PARTÍCULA	18
TABLA 6. CLASIFICACIÓN DE CONCRETOS POR SU RESISTENCIA	20
TABLA 7. ÓXIDOS DE HIERRO	22
TABLA 8. DOSIFICACIÓN DE MORTERO NORMAL (BASE).....	29
TABLA 9. DOSIFICACIÓN DE MORTERO PIGMENTADO, EN RELACIÓN DE 6% Y 10% CON EL PESO DEL CEMENTO	29
TABLA 10. MEZCLAS PROPUESTAS DE MORTERO DE ACUERDO CON EL % DE PIGMENTO.....	30
TABLA 11. RESULTADOS EN % DE FLUIDEZ DE LAS 5 MEZCLAS DE MORTERO	31
TABLA 12. TOLERANCIA DE ENSAYE PARA DISTINTAS EDADES DE PRUEBA EN MORTEROS	34
TABLA 13. SELECCIÓN DE F'C PARA LA MEZCLA DE CONCRETO	37
TABLA 14. SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO PARA LA MEZCLA DE CONCRETO	37
TABLA 15. SELECCIÓN DEL AGUA A EMPLEARSE EN LA MEZCLA DE CONCRETO	38
TABLA 16. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN A/C	39
TABLA 17. SELECCIÓN DE PARÁMETRO DE ACUERDO CON EL MÓDULO DE FINURA DE LA ARENA.....	40
TABLA 18. DOSIFICACIONES DE AGREGADOS PÉTREOS PARA 1 M ³ DE CONCRETO HIDRÁULICO.....	42
TABLA 19. DOSIFICACIÓN REQUERIDA PARA EL COLADO DE LOS 90 CILINDROS.....	42
TABLA 20. MEZCLAS PROPUESTAS PARA LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA DE CONCRETO PIGMENTADO	43
TABLA 21. TOLERANCIAS DE TIEMPO PERMISIBLES PARA RUPTURA DE ESPECÍMENES DE CONCRETO	58

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA EMPLEADA EN MORTEROS	27
FIGURA 2. CUARTEO DE LA ARENA	28
FIGURA 3. GRANULOMETRÍA DE LA ARENA	28
FIGURA 4. PRUEBA DE FLUIDEZ EN UN MORTERO DE COLOR ROJO.....	32
FIGURA 5. MOLDEADO DE ESPECÍMENES CÚBICOS DE MORTERO DE 5 x 5 x 5 CM.....	33
FIGURA 6. ESPECÍMENES SUMERGIDOS EN AGUA	34
FIGURA 7. ENSAYE DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CÚBICOS.....	35
FIGURA 8. MEZCLADO DE MATERIALES EN REVOLVEDORA ELÉCTRICA	44
FIGURA 9. PRUEBA DE REVENIMIENTO EN LA MEZCLA DE CONCRETO	45
FIGURA 10. RESULTADO DE PRUEBA DE REVENIMIENTO EN MEZCLAS DE CONCRETO.....	46
FIGURA 11. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE LA MEZCLA BASE	46
FIGURA 12. ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE LA MEZCLA PIGMENTADA DE COLOR ROJO 6%	47
FIGURA 13. PROCESO DE CURADO DE LOS CILINDROS EN UN TANQUE CON AGUA	47
FIGURA 14. ESFERA DE ACERO EMPLEADA EN LA PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES	48
FIGURA 15. PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES ANTES DE DAR LAS REVOLUCIONES, CON EL CILINDRO Y LA CARGA ABRASIVA	49
FIGURA 16. PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES UNA VEZ QUE FINALIZAN LAS REVOLUCIONES.....	50
FIGURA 17. MASA DE NÚCLEOS DE CILINDRO UNA VEZ TERMINADA LA PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELESX	50
FIGURA 18. AGREGADO DE SAL EN UN RECIENTE CON AGUA	52
FIGURA 19. CICLADO DE HUMEDECIMIENTO EN LA SOLUCIÓN DE CLORURO DE SODIO CON AGUA.....	52
FIGURA 20. CICLADO DE SECADO DE LOS CILINDROS	53
FIGURA 21. ENSAYE DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS AFECTADOS POR LOS EFECTOS DEL CLORURO DE SODIO	53
FIGURA 22. TEMPERATURA INICIAL A LA QUE SE SOMETIERON LOS CILINDROS DE CONCRETO (50°C).....	55
FIGURA 23. TEMPERATURA FINAL A LA QUE SE SOMETIERON LOS CILINDROS DE CONCRETO (200°C)	55
FIGURA 24. MEDICIÓN DE TEMPERATURA DEL CILINDRO AL MOMENTO DE SER ENSAYADO A RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	56
FIGURA 25. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS AFECTADOS POR CAMBIOS DE TEMPERATURA	56
FIGURA 26. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLA BASE	59
FIGURA 27. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN MEZCLAS PIGMENTADAS DE COLOR ROJO Y AMARILLAS	59
FIGURA 28. PROMEDIOS DE % DE FLUIDEZ DE LAS MEZCLAS DE MORTERO	60
FIGURA 29. VALORES PROMEDIO DE LAS RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE MORTERO.....	61
FIGURA 30. COLORACIÓN DE MEZCLA DE MORTERO CON 10% DE PIGMENTO ROJO	62
FIGURA 31. COLORACIÓN DE MEZCLA DE MORTERO CON 10% DE PIGMENTO AMARILLO	62
FIGURA 32. DIFERENCIA ENTRE COLORACIÓN DE MEZCLAS DE MORTERO AMARILLAS CON 6 Y 10% DE PIGMENTO RESPECTIVAMENTE	63
FIGURA 33. REVENIMIENTO DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO	64
FIGURA 34. RESISTENCIAS A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DE LAS TRES MEZCLAS POR EDADES	65
FIGURA 35. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS DESPUÉS DE HABER RECIBIDO ALTAS TEMPERATURAS, LOS RESULTADOS SON PROMEDIOS	66
FIGURA 36. RESULTADOS DE LA PRUEBA DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES A LOS ESPECÍMENES, LOS RESULTADOS SON PROMEDIOS	67
FIGURA 37. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS SOMETIDAS A CLORURO DE SODIO, LOS RESULTADOS SON PROMEDIOS	68

RESUMEN

El propósito de la presente investigación es conocer la variación en las propiedades de durabilidad, que presentan los concretos normales al momento de adicionar pigmentos en su mezcla, con la finalidad de ser propuestos como señalamiento horizontal en las vías terrestres. Los resultados son de las pruebas de desgaste de los ángeles, desgaste ocasionado por cambios de temperatura y desgaste ocasionado por cloruro de sodio.

(Palabras clave: Durabilidad, Pigmentos, Cloruro.)

SUMMARY

The purpose of this research is to know the variation in the durability properties that normal concretes present when adding pigments to their mix, in order to be proposed as horizontal marking on land roads. The results are from angel wear tests, wear caused by temperature changes and wear caused by sodium chloride.

(Key words: Duyability, Pigments, chloride.)

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de las vías terrestres es que no se han realizado investigaciones a profundidad referente a los concretos pigmentados, es decir, la problemática de que el color de los concretos se altere, principalmente ante elementos externos, por ejemplo, cambios de temperatura, la presencia de sales, ataque de cloruros. La principal propuesta de esta investigación es conocer la durabilidad de estos concretos pigmentados para poder utilizarse en elementos de las vías terrestres, por ejemplo, ciclovías, elementos de señalamiento de las carreteras, debido a que, en las partes mencionadas, la pintura con la que se hacen los señalamientos presenta un deterioro y con el tiempo pérdida total, sin embargo al utilizar la pigmentación en los concretos podrán mantener una coloración por más tiempo, es por ello, que es importante conocer la durabilidad que presenta un concreto pigmentado en relación con un concreto normal con pintura, para usarse en los elementos considerados como propuesta de solución ante el desgaste de las pinturas.

1.1 Plan Municipal de Desarrollo del Municipio de Querétaro 2018 - 2021

De acuerdo con Plan Municipal de Desarrollo del Municipio de Querétaro 2018-2021 existe la necesidad de mejorar la infraestructura de las obras y hacer más eficientes los servicios públicos municipales, en relación a ello, el objetivo del gobierno es mejorar las condiciones de inclusión social del municipio de Querétaro mediante la calidad de vida de la población a través de la construcción y operación de espacios con infraestructura y equipamiento adecuado para brindar opciones formativas y de cuidado de la salud física y psicológica. Es por ello por lo que esta investigación se justifica, al mejorar la infraestructura en términos de durabilidad, se mitiga el impacto ambiental al realizar en menos tiempo el mantenimiento y las nuevas construcciones contarán con una vida útil mejor planeada.

La principal aportación de este trabajo es conocer los parámetros de durabilidad en un concreto pigmentado ante un concreto normal, es decir, identificar la relación que existe en resistencias acuerdo con pruebas de durabilidad, en base a la norma 17-NOM-034-SCT-2-2003, se necesita el estudio

de los concretos pigmentados con colores utilizados en las vías terrestres, por ejemplo, el color amarillo y rojo, usado en guarniciones, pasos peatonales y rayas continuas.

2. ANTECEDENTES

El transporte ha evolucionado durante el paso del tiempo, se ha tenido que mejorar y aumentar las vías de comunicación terrestres debido al gran aumento de población, cada día se compran más medios de transporte, cada día se diseñan vehículos con características más complejas que exigen mayores requerimientos de calidad en las carreteras, es por ello, nace la necesidad de contar con mayor calidad en la infraestructura carretera (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

El estudio de la durabilidad es una característica importante en los concretos, por lo que se han implementado nuevos materiales para encontrar mezclas eficientes respecto a sus propiedades físicas y mecánicas. Chindaprasirt *et al.* (2019) y Kardos & Durham (2015) realizan estudios de las propiedades del concreto respecto a materiales adicionales, usando cenizas. Chindaprasirt *et al.* (2019) investigan la durabilidad y propiedades mecánicas del concreto para pavimentos, pero con un material adicional, cenizas de bagazo. De acuerdo con las pruebas evaluadas en la investigación, concluyeron que la implementación del nuevo material en el concreto presentaba una buena durabilidad en términos de resistencia a la abrasión y resistencia al ácido sulfúrico. Mientras que Kardos & Durham (2015) realizaron una investigación respecto a las mezclas de concreto sostenibles para aplicaciones en el pavimento, los materiales que se evaluaron son; cenizas volantes, caucho en migajas y agregado de concreto reciclado. De 8 mezclas de concreto diseñadas, se obtuvieron diversos resultados, presentando la mejor propuesta, que un remplazo del 30% de arena por caucho granulado, fue óptimo y produjo las mejores propiedades mecánicas y físicas del concreto para pavimentos.

Roy *et al.* (2018) utilizaron escoria oxidante de horno de arco eléctrico con forma esférica en el concreto, en la metodología se reemplazó la arena con escoria de EAF de forma esférica y angular en proporción de volumen de

acuerdo con la relación agua / cemento y asentamiento, demostrando que las propiedades mecánicas presentan un efecto positivo y una durabilidad mejorada. Yildizel *et al.* (2020) utilizan una implementación en las mezclas del concreto, el carbonato de calcio molido (GCC) mediante la inclusión de rodillos compactados de concreto (RCC), evaluando características de durabilidad, por ejemplo, tasas de absorción de agua, sulfatos, congelamiento – descongelamiento. En los resultados se identificó que las muestras mostraron una mejoría en las propiedades de durabilidad. Al realizar el reemplazo de carbonato de calcio molido por el cemento, podría tratarse de un concreto sostenible.

Utilizando el uso de agentes incorporados de aire, Ramezaniyanpour *et al.* (2017) realizan ensayos mecánicos y de durabilidad, de acuerdo con los resultados, debido a que la pasta de cemento en concreto compactado con rodillo (RCC) es limitada, no se presenta una buena calidad, por otro lado, este material puede ser beneficioso en contra el congelamiento – descongelamiento.

Los materiales empleados en la elaboración de concreto deben de cumplir con calidades de normativa, principalmente propiedades mecánicas, físicas y de durabilidad. De acuerdo con Craeye *et al.* (2013) y Sadasivam *et al.* (2016) utilizan pigmentos de color rojo en mezclas de concreto como propuestas de construcción. Craeye *et al.* (2013) demuestran que al añadir pigmento de color rojo a la mezcla de concreto se obtiene un aumento de la resistencia a la compresión y al utilizar polímeros super absorbentes en la mezcla fresca, muestra una mejora en la resistencia contra el ataque de congelación – descongelación mientras que Sadasivam *et al.* (2016) utiliza un pigmento de color rojo a base de metacaolinita – hematita (KH), demostrando que este material puede utilizarse para preparar materiales compuestos a base de hierro, mitigando el impacto ambiental, proponen este material como implementación en el concreto para pavimentos.

La resistencia a altas temperaturas debe de revisarse para obtener una adecuada durabilidad y calidad del concreto, Cheikh & Mohammed (2020), Siddique & Kaur (2012), Denet *et al.* (2021), evalúan las propiedades mecánicas

de los concretos ante temperaturas altas, encontrando como resultado que ante temperaturas muy altas la resistencia a la compresión disminuía.

Existen modificaciones que se le hacen a las mezclas de concreto, en ocasiones se agregan nuevos materiales para analizar cómo se comporta el cemento portland, como es el caso de Ma *et al* (2019), quien evalúa los efectos físicos y químicos de pequeñas cantidades de N, N, N', N'-tetraquis- (2-hidroxietil) etilendiamina ($C_{10}H_{24}N_2O_4$, THEED) agregadas al cemento portland.

3. HIPÓTESIS

El uso de los pigmentos en las mezclas de concreto presentará mejores propiedades físicas y mecánicas (más del 10% de resistencia a compresión) con respecto a los concretos normales, con base a las pruebas de desgaste ocasionado por cloruro de sodio y por cambios de temperatura, resistencia a la abrasión y a la compresión, es por ello que, los concretos pigmentados pueden ser utilizados como señalamiento horizontal en las vías terrestres.

4. OBJETIVO

Medir la variación de las resistencias en mezclas diseñadas de concreto mediante la adición de pigmentos que permita estimar los parámetros de durabilidad de acuerdo con las pruebas de desgaste ocasionado por cloruro de sodio, desgaste ocasionado por cambios de temperatura, resistencia a la abrasión y a la compresión para ser utilizados como señalamiento horizontal en las vías terrestres.

4.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Realizar una mezcla de concreto con agregados pétreos y cemento portland, en adición de pigmento.
- Realizar la comparación entre los concretos pigmentados con los concretos normales para comparar los resultados obtenidos en las pruebas de durabilidad propuestas.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Historia del cemento

Los materiales cementantes se emplean desde tiempos muy antiguos, sus primeras apariciones son con los egipcios, utilizando yeso impuro calcinado como material cementante que utilizaban para unir los bloques de piedra en la construcción de las pirámides. De acuerdo con Ramírez de Alba *et al.* (2010), realizaron pruebas referentes a la cultura Maya, donde en supervisión del Instituto Nacional de Antropología e Historia (INHA), encontrando que la fabricación del cemento antiguo no se puede considerar estandarizada, sin embargo, se identifican patrones comunes a lo que sugiere la existencia de reglas empíricas usadas de forma común para la antigüedad.

La principal necesidad del ser humano por el paso del tiempo fue levantar edificaciones utilizando los materiales y herramientas a los que tenía alcance, por lo que surgió la necesidad de la elaboración de pastas o morteros que permitan la unión entre todos los elementos. Los primeros materiales propuestos fueron elaborados con arcilla, cal, yeso, el problema de estos, es que ante condiciones ambientales se deterioraban de una manera drástica. En Egipto alrededor de los años 2750 a.C. se emplearon pastas obtenidas de mezclas de yesos y calizas disueltas en agua, para la unificación de los materiales, un ejemplo de este proceso constructivo se encuentra en la Gran Pirámide de Gizeh, así como, en los muros de piedra del mural de Tebas. (Vidaud, 2013)

Hacia los años 500 a. C., los griegos utilizaban un mortero que ofrecía los mejores niveles de resistencia, tiempo después los romanos desarrollaron el cemento romano o puzolánico a partir de la mezcla de caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico o cenizas volcánicas. (Vidaud, 2013)

5.2 Cemento Portland

El cemento es un material con propiedades adhesivas y cohesivas, con las cuales puede generar una mezcla y convertirse en un elemento todo compacto. Principalmente los materiales que se emplean en conjunto del cemento son piedras, arena, ladrillos. Sus principales componentes del cemento

son compuestos de cal (Neville, 1999), de acuerdo con CEMEX (2020), Cementos Mexicanos S.A. las principales características del cemento son:

- Hidráulicas: La reacción entre el agua y el cemento realiza la reacción química de fraguado para que el cemento pierda su elasticidad y se endurezca.
- Estéticas: Antes de endurecerse el cemento, presenta un estado plástico por lo cual genera una maniobrabilidad buena generando diversas formas o dando la posibilidad de utilizarse en diversos recipientes empleados en la construcción.
- De durabilidad: Empleándose de la manera correcta, le da una buena vida útil al elemento construido.
- Acústicas: Pueden ser utilizados como elementos de aislamiento acústico.

A continuación, se mencionan los tipos de cemento de acuerdo con la norma NMX-C-414-ONNCCE-2014:

- CPO: Cemento Portland Ordinario.
- CPP: Cemento Portland Puzolánico.
- CPEG: Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno.
- CPC: Cemento Portland Compuesto.
- CPS: Cemento Portland con Humo de Sílice.
- CEG: Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno.

De acuerdo con el tipo de cemento se le añade un número, el cual indica la resistencia a la compresión a 3 o 28 días de una probeta de mortero creada con cemento. Indicando también si se cuenta con una resistencia rápida con una letra "R", como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Tipos de resistencia del cemento

Clase resistente
20
30
30 R
40

Fuente: NMX-C-414-ONNCCE-2014

Así mismo, los cementos presentan características especiales que se describen en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de los cementos con características especiales

Simbología	Descripción
RS	Resistentes a los sulfatos
BRA	Baja reactividad álcali – agregado
BCH	Bajo calor de hidratación
B	Blanco

Fuente: NMX-C-414-ONNCCE-2014

De acuerdo con la norma N-CMT-2-02-001/02, al cemento portland se le puede incorporar otros materiales como son:

Tabla 3. Elementos que se le pueden agregar al cemento

Puzolanas	Materiales naturales, artificiales o subproductos industriales síliceos o silicoaluminosos, o a una combinación de ambos, los cuales no endurecen por sí mismos, pero finamente molidos, reaccionan en presencia de agua a la temperatura ambiente con el hidróxido de calcio y forman compuestos con propiedades cementantes.
Escoria granulada de alto horno	El residuo no metálico que se obtiene en el alto horno por la fusión de minerales de fierro, enfriado bruscamente con agua o vapor y aire, compuesto principalmente por silicatos y aluminosilicatos cálcicos.
Humo de sílice	Es una puzolana muy fina constituida esencialmente por sílice amorfa, obtenida como un subproducto de la

	fabricación de silicio o aleaciones con arco eléctrico de ferro-silico.
Caliza	Es un material de naturaleza inorgánica de origen mineral carbonatado, compuesto principalmente por carbonatos de calcio en forma de calcita.

Fuente: N-CMT-2-02-001/02

También se presentan en la Tabla 4, los componentes de cada uno de los cementos portland.

Tabla 4. Componentes de los cementos (% en masa)

Tipo	Clinker Portland + Sulfato de Calcio	Escoria granulada de alto horno	Materiales Puzolánicos	Humo de sílice	Caliza	Minoritarios
CPO	95 - 100					0 - 5
CPP	50 - 94		6 - 50			1 - 5
CPEG	40 - 94	6 - 60				2 - 5
CPC	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	3 - 5
CPS	90 - 99			1 - 10		4 - 5
CEG	20 - 39	61 - 80				5 - 5

Fuente: NMX-C-414-ONNCCE-2014

Existen diversos materiales que están en proceso de investigación para poder ser utilizados como alternativa del cemento Portland, de acuerdo con Syarif *et al* (2018), demostraron que el compuesto químico de cemento orgánico se asemeja al compuesto químico del cemento Portland, mientras que las características de compresión y tracción se encuentran por debajo de las obtenidas por el cemento Portland. En base a Muciño *et al* (2021), establece que las arenas con el mismo origen (arenas ígneas) pueden proporcionar diversos resultados de resistencia a la compresión, mientras que los agregados de diferente origen (ígneos y sedimentarios) pueden mantener un comportamiento similar en cuanto a la resistencia a la compresión.

5.3 Agregados pétreos

La norma NMX-C-403-ONNCCE-1999 describe a los agregados como materiales naturales, procesados o artificiales que se mezclan con el cemento y agua para crear mortero o concreto, Mindess & Alexander (2005) define un agregado como el componente mineral del concreto que se presenta en forma granular o de partícula, los cuales contienen fracciones gruesas y finas.

Los agregados pétreos cumplen una función importante en la mezcla, ocupando un 60 a 75% de volumen total del concreto, influyen en las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido, en las propiedades de la mezcla y claramente en el costo del concreto. Los agregados finos generalmente son arenas naturales o rocas trituradas con la mayoría de las partículas menores a 5mm, mientras que los agregados gruesos son materiales gravosos o rocas trituradas con partículas mayores a 5mm. La obtención de estos materiales generalmente se realiza mediante excavaciones o dragados de minas, ríos, lagos o lechos marinos (Kosmatka *et al.*, 2004).

Según Chan *et al.* (2003) la mezcla de concreto puede contener variaciones de acuerdo con los procesos de explotación, manejo y transporte, ya que los agregados son la mayor parte en volumen y masa de la mezcla del concreto, son un punto crítico en la calidad esperada, aunado a esto, para obtener un concreto óptimo, se debe de considerar la estructura con la que cuentan los agregados para realizar una buena mezcla con la pasta cementante y así contar con el menor número posible de vacíos. La trabajabilidad del concreto se ve afectada principalmente por la absorción, la forma de las partículas, textura superficial, tamaño y granulometría.

La clasificación de los agregados pétreos, de acuerdo con la densidad que presente, es decir, su masa por unidad de volumen y se clasifican en agregados ligeros (densidad entre 480 – 1040 kg/m³) y agregado normal (entre 1300 y 1600 kg/cm³) (Gutierrez de López , 2003).

La clasificación de los agregados de acuerdo con el tamaño de partícula se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de los agregados de acuerdo con el tamaño de partícula

Tamaño de partícula	Descripción
Agregado fino	Material denominado como arena que pasa por el tamiz de 4,75mm (malla No. 4) y se retiene en el tamiz 0,075mm (malla No. 200)
Agregado grueso	Material comúnmente conocido como grava, se retiene en el tamiz 4,75mm (malla No. 4) y pasa por la malla de 75mm (malla No. 3")

Fuente: NMX-C-111-C-ONNCCE-2014

En la actualidad existen diversos tipos de agregados, así como, Ray *et al* (2021), propone el uso de residuos cerámicos, provenientes de obras e industrias, como agregado grueso y agregado fino en el concreto, mientras que Bao *et al* (2021), proponen la escoria de ferróníquel (FNS) como subproducto industrial y los agregados de hormigón reciclado (RCA) derivados de los residuos de construcción y demolición, cuentan con las propiedades para ser utilizados como agregados en el concreto. Aunque de acuerdo con Pacheco *et al* (2021) considera que los agregados reciclados son más débiles y, por lo general, el concreto presenta una resistencia menor. Por su lado, en el aspecto ambiental, Sabău *et al* (2021), demuestra que el concreto que contiene agregados reciclados con características representativas, puede emitir menos emisiones de carbono que el concreto convencional.

5.4 Agua

De acuerdo con la norma N-CMT-2-02-003/02, se define al agua como el componente que se utiliza para generar las reacciones químicas en los cementantes del concreto hidráulico o del mortero de cemento Portland. Puede ser agua potable, es decir, aquella que por sus características químicas y físicas

es útil para el consumo humano o cumple con los requisitos enumerados en esta norma.

Referente al agua utilizada para la elaboración del concreto, se presentan estudios de la relación que tiene A/C y se determinó mediante la prueba de compresión que la resistencia del concreto sí se ve afectada por dicha relación, la importancia de ello es cumplir con los requisitos de calidad para cumplir con la finalidad del concreto (Guevara *et al.*, 2012).

Es importante recalcar que las fuentes de agua utilizadas para el procesamiento del concreto tienen un impacto significativo en la resistencia a la compresión (Ata 2014). Referente a la calidad, para obtener una correcta cuantificación del agua necesaria en las mezclas de concreto, Sahoo & Kar (2021) indican que el grado de hidratación, el contenido de aire arrastrado, la proporción de la mezcla de concreto, la mezcla química y la presencia de microgrietas son los principales reguladores para la cuantificación del agua. Chatveera *et al* (2006) utiliza agua de lodo en mezclas de concreto, dando una opción un aspecto ambiental en la reutilización del agua.

5.5 Concreto

El concreto es un material que presenta características semejantes a la piedra, pero se obtiene de una manera artificial, mezclando cemento, materiales pétreos y agua, (en algunas ocasiones aditivos). La norma ASTM C125-13^a describe al concreto como “material compuesto que consiste esencialmente en un medio de unión dentro del cual están incrustadas partículas o fragmentos de agregado”. La reacción química que genera el agua con el cemento hace que se unan las partículas de agregado y da como resultado una masa sólida. Existe un amplio rango de resultados en las propiedades físicas y mecánicas de los concretos, esto, depende específicamente de las proporciones de los materiales que se emplean en la mezcla (Nilson, 2001).

El IMCYC “Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.” clasifica el concreto de acuerdo con su resistencia como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación de concretos por su resistencia

Tipo de resistencia	Información técnica
Baja resistencia	Resistencia a la compresión < 150 Kg/cm ²
Resistencia moderada	Resistencia a la compresión entre 150 y 250 Kg/cm ²
Normal	Resistencia a la compresión entre 150 y 420 Kg/cm ²
Muy alta resistencia	Resistencia a la compresión entre 400 y 800 Kg/cm ²
Alta resistencia temprana	Se garantiza lograr el 80% de la resistencia solicitada a 1 o 3 días.

Fuente: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

En base a la norma con designación ASTM C150 – 07, es una especificación utilizada para el cemento Portland, siendo este uno de los principales elementos del concreto. En la actualidad se han realizado diversos estudios para conocer las propiedades de los concretos, Chindaprasirt *et al.* (2019), Kardos & Durham (2015), Roy *et al.* (2018), Yildizel *et al.* (2020), Ramezaniyanpour *et al.* (2017) han hecho investigaciones de las propiedades de los concretos al utilizar nuevos materiales en la mezcla del concreto, es decir, caracterizan la implementación de nuevos elementos que pueden producir mejoras en la calidad de la infraestructura de pavimentos.

La adherencia entre el agregado y la pasta de cemento es un factor importante en relación con la resistencia del concreto. Esta propiedad se debe a que el agregado y la pasta de cemento se entrelazan debido a la aspereza del primero. Se presenta como mejor agregado pétreo las partículas trituradas, debido a su superficie áspera lo que genera una mayor adherencia (Neville, 1999). La resistencia del concreto es otro factor importante hablando de la calidad del concreto, de acuerdo con Kosmatka *et al.* (2004) la resistencia a la compresión se define como la máxima carga axial que soportan los especímenes cilíndricos. El parámetro f'_c va de la mano con la relación agua/cemento, comúnmente un concreto sin acelerantes obtiene su resistencia del 100% a los 28 días de edad.

Existen modificaciones que se generan en las mezclas de concreto de acuerdo a los agregados que se utilizan, Sahoo *et al.* (2021) determina que la ceniza de cáscara de arroz tiene un inmenso potencial para reducir significativamente el costo del concreto en lugar del humo de sílice de acuerdo a las propiedades de durabilidad.

5.6 Pigmentos

De acuerdo con Komastka *et al.* (2004) describen a los pigmentos como materiales naturales y sintéticos que se utilizan para colorear el concreto por razones estéticas. Se han realizado investigaciones que proponen como un máximo del 10% de pigmento que debe utilizarse en la masa del cemento. Los pigmentos deben de estar de acuerdo con la norma ASTM C979 – 16. Estos elementos son materiales minerales con ciertas características, es decir, resistentes a los álcalis, estables tanto a los agentes ambientales como a la luz y compatibles con los concretos. Los pigmentos más utilizados son los óxidos de hierro. La variación del color se presenta en diversos tiempos, una primera variación se presenta al momento del secado de la mezcla, esto seguido por una pérdida de color en el primer periodo de exposición al medio ambiente (Bertolini *et al.*, 2011).

De acuerdo con Salaverry (1998) podemos encontrar los pigmentos naturales en los seres vivos y se clasifican referente su estructura molecular, por su parte, los pigmentos quinónicos presentan la característica de color, que va desde el amarillo pálido, pasando por naranja y rojo hasta llegar al negro y se pueden encontrar en la corteza y raíz de las plantas superiores. Por su parte López *et al.* (2011) estudiaron las naftoquinonas como pigmentos naturales encontrados en las plantas superiores, las cuales presentan actividades importantes como agentes antiparasitarios, antibacterianos, antifúngicos y anticancerígenos, considerándose beneficioso su uso. De igual manera Díaz *et al.* (2010) estudian la hematita como pigmento natural apto para su uso en la industria que elabora pinturas de acuerdo con sus propiedades anticorrosivas y su estructura que es laminar, además de ser un pigmento con propiedades económicas y libre de agentes contaminantes.

Basado en los desafíos que presenta el concreto acorde al impacto ambiental, Van Damme (2018) presenta sugerencias de introducción de métodos de fabricación robótica del concreto y gracias a ello ser clave para varias innovaciones como el uso de medios granulares no convexos como refuerzos o estructuras de concreto optimizadas mediante compresión, un concreto digital con la recopilación masiva de datos.

El pigmento es el polvo que está compuesto por partículas muy pequeñas y si se quiere ser utilizado para adicionar color al concreto debe presentar con las siguientes características:

- Ser inerte con los demás componentes de concreto
- Mantener su color original
- Contar con resistencia a la luz y la intemperie
- Debe ser insoluble al agua
- Debe mezclarse con facilidad con el cemento y los agregados

Entre los pigmentos que presentan estas características se encuentran los óxidos de hierro, los cuales son importantes de acuerdo con el color que aportan, cuyas composiciones y estructuras corresponden a los minerales: hematita, magnetita y goetita.

Los pigmentos de óxido de hierro pueden ser naturales, procedentes de extracciones minerales o sintéticos, los cuales presentan cualidades superiores ya que se pueden controlar en el tono del color y el poder de la pigmentación. (Carvalho, Simpósio internacional sobre concretos especiales, 2002)

Tabla 7. Óxidos de hierro

COLOR	FÓRMULA	DENOMINACIÓN QUÍMICA	NOMBRE COMÚN
NEGRO	Fe ₃ O ₄	Óxido ferroso-férrico	Óxido de hierro negro
ROJO	Fe ₂ O ₃	Óxido férrico	Óxido de hierro rojo

AMARILLO	Fe(OH) ₂	Hidróxido ferroso	Óxido de hierro amarillo
----------	---------------------	----------------------	--------------------------------

Fuente: (Carvalho, Simpósio internacional sobre concretos especiales, 2002)

Para la elaboración de pigmentos inorgánicos, Roque & Ochoa (1991) hacen mención de que dichos pigmentos obtienen su estabilidad a determinadas temperaturas, de las cuales depende el color, por ejemplo, los óxidos de hierro se presentan acorde a lo siguiente:

A una temperatura de 25° C se obtiene el color rojo sangre, por su parte para las temperaturas de 500° C y 800 °C se presentan los colores rojo oscuro y rojo marrón respectivamente, en temperaturas poco más elevadas, tal es el caso de los 100°C se encuentra el color marrón oscuro y para el color negro se requiere una temperatura de 1200° C.

Los pigmentos utilizados en la coloración integral del concreto son orgánicos o también compuestos inorgánicos, pero con la característica de ser insolubles en agua. De acuerdo con COMEX, (2013) este producto está fabricado con materias primas que no están elaboradas a base de plomo ni mercurio. De acuerdo con Winkler (2012), el tamaño de los pigmentos es muy pequeño, comparando el tamaño medio del cemento es cuando menos diez veces mayor que el tamaño de los pigmentos, con lo cual.

5.7 Caracterización de concretos pigmentados

La durabilidad del concreto se define como la capacidad del concreto al resistir distintos factores, por ejemplo, a la acción del medio ambiente, al ataque químico y a la abrasión (Kosmatka *et al.*, 2004). De acuerdo con Maruthachalam *et al.* (2020) realizaron investigaciones en concretos pigmentados de color amarillo, café y rojo. Obteniendo una resistencia en el concreto M20 con adicionamiento de pigmento color café mayor a un concreto normal tipo M20.

Hospodarova *et al.* (2015), indica que el concreto pigmentado de color también tiene propiedades como el concreto normal, alta resistencia, buena durabilidad y resistencia a la intemperie. El pigmento en las mezclas de concreto actúa como un aglutinante y se dividen en pigmentos básicos y especiales, los

primeros cuentan con propiedades de tinción y generalmente se dividen en blancos, negros y de color. Los pigmentos especiales tienen propiedades tales como alta estabilidad térmica y química, brillos metálicos, propiedades luminiscentes y propiedades magnéticas. Los pigmentos inorgánicos se obtienen generalmente de fuentes minerales naturales. Son más resistentes a la luz y al ataque químico, por ello producen una variabilidad en la durabilidad de los concretos pigmentados de acuerdo con los concretos normales. Las composiciones químicas de pigmentos inorgánicos son óxidos, sulfuros y sulfatos. Las principales propiedades de los pigmentos son buenas con respecto a la estabilidad del color a largo plazo, resistente a los álcalis, clima, insolubilidad en agua y distribución uniforme, por lo que se consideran los pigmentos de óxido metálico u óxidos metálicos mixtos.

5.7.1 Resistencia al congelamiento y deshielo

Esta prueba se verifica de acuerdo con la norma, ASTM C 666, el objetivo de esta prueba es conocer el tiempo o número de ciclos que el concreto puede experimentar congelación y al deshielo sin registrar deterioro.

Una de las principales degradaciones del concreto es el congelamiento y deshielo que se presenta de acuerdo con las temperaturas ambiente donde se encuentra el mismo, Al-Assadi *et al* (2009), demuestra que al utilizar medidas ultrasónicas se puede predecir un correcto deterioro ante el efecto de los ciclos de hielo-deshielo de acuerdo con las características de pérdida de peso y cambios de longitud.

5.7.2 Resistencia a la abrasión

Las superficies del concreto presentan algún tipo de desgaste, principalmente se debe al rozamiento por deslizamiento, raspadura o percusión (Neville, 1999).

Esta prueba está normada por la ASTM C 535 y M-MMP-4-006/02, el objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la trituración de los materiales pétreos, consiste en colocar una muestra de material con características granulométricas específicas dentro de un cilindro giratorio, en donde se añaden unas esferas de acero con tamaño y peso específico las cuales

impactan durante un tiempo determinado. Para proceso final de la prueba se mide la variación de la granulometría de los materiales antes y después del ingreso al cilindro.

5.7.3 Resistencia a la compresión

Es la medida más común de desempeño del concreto que se emplea en el ambiente de la construcción. Este parámetro se mide al rupturar probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. Se obtiene mediante la siguiente ecuación de acuerdo con ASTM C39/C39M-01:

$$f'c = \frac{\text{Carga de ruptura}}{\text{Área de sección que resiste la carga}} \quad (1)$$

La propiedad de la resistencia a la compresión de los concretos es de las más importantes, es por ello por lo que se requiere de avanzados algoritmos para predecir un resultado correcto (Güçlüer *et al.*, 2021 & Sharafati *et al.*, (2021)).

5.7.4 Resistencia a cloruro de sodio

Las estructuras de concreto que se encuentran cerca del mar son las principales que se presentan deterioros por sales, por ello es de vital importancia implementar mezclas adecuadas para manejar una correcta durabilidad del concreto (Santamaría *et al.*, 2006). Así mismo Castañeda *et al.* (2005) demostraron que las condiciones de exposición a que esté sometida una estructura de concreto van a influir en el nivel de deterioro en el concreto.

Yildirim & Sumer (2013) realizaron un estudio sobre el efecto de las soluciones de cloruro de sodio y sulfato de magnesio en las propiedades físicas y mecánicas en los morteros estándar y con cenizas volantes, obteniendo como resultado que los especímenes ensayados con resistencia a la flexión, cuando se mantuvieron en solución de cloruro de sodio presentaron menos resistencia a la compresión y a la flexión, dañando más las muestras que los que fueron almacenados en la solución de sulfato de magnesio. Un problema de durabilidad en el concreto se genera por escarcha salina, se ha experimentado con muestras de mortero expuestas al ataque de cloruro de sodio, de acuerdo con los

resultados una proporción agua cemento más alta tiene una lixiviación de calcio y una pérdida de resistencia más severas, estos factores cambian de manera fluctuante con las concentraciones de la solución (Wang *et al.*, 2019).

Eskandari *et al.*, (2016), realiza un modelo de red neuronal artificial para tener una predicción del valor de resistencia a la compresión del mortero de cemento para diferentes grados de cemento y el porcentaje de cloruro de sodio, mediante el uso de dicho modelo como herramienta de datos estadísticos no lineales se establece una correlación entre el porcentaje de cloruro de sodio del mortero del cemento y la resistencia a la compresión.

Xiong & Yu (2015) llevaron a cabo la realización de prueba de compresión uniaxial y ultrasónica para saber las propiedades mecánicas que presenta un mortero de cemento en soluciones de sulfato de sodio y cloruro de sodio, obteniendo como resultado que el módulo de elasticidad dinámico relativo, la variación de masa y la resistencia a la compresión del mortero de cemento como primera instancia aumentan y posteriormente disminuyen conforme aumenta el tiempo de erosión en las soluciones mencionadas.

5.7.5 Resistencia a sulfatos

De acuerdo con Reyes y Hernández (2018), el ataque de sulfatos se presenta cuando el concreto experimenta deterioro o daño. Este deterioro se muestra a raíz de la cristalización de sales, que ocurre en los poros del concreto. Es importante recalcar que el ataque de sulfatos sólo se presenta en presencia de agua, es por ello que cuando un concreto está en constante contacto con una solución que contenga sulfatos, se cristalizan los poros y es lo que forman el agrietamiento, lo cual, conlleva a la fractura del concreto.

6. METODOLOGÍA

6.1 Pruebas realizadas a los agregados pétreos

Las pruebas de laboratorio están basadas en las normas nacionales como son: el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (NMX-ONNCE), normas internacionales: *American Society for Testing and Materials* (ASTM) y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

6.1.1 Muestreo

De acuerdo con la norma NMX-C-030-ONNCCE-2004 tiene como objetivo establecer el muestreo de agregados que se utilizan para la investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro, el control de los agregados en la fuente de abastecimiento, el control de las operaciones en el sitio de uso y la aceptación o rechazo de los agregados. En conjunto de la norma NMX-C-170-ONNCCE-1997, indica el procedimiento a seguir, para la correcta reducción de material extraído de campo, indica también las características del tamaño requerido para las pruebas.

6.1.2 Pruebas realizadas a Morteros

6.1.2.1 Granulometría de la arena

Para conocer los tamaños de las partículas de la parte del agregado pétreo de la arena, se evaluó su granulometría. En la Figura 1, se presenta la gráfica granulométrica. Haciendo la comparación con los márgenes que se emplean en mezclas de morteros.

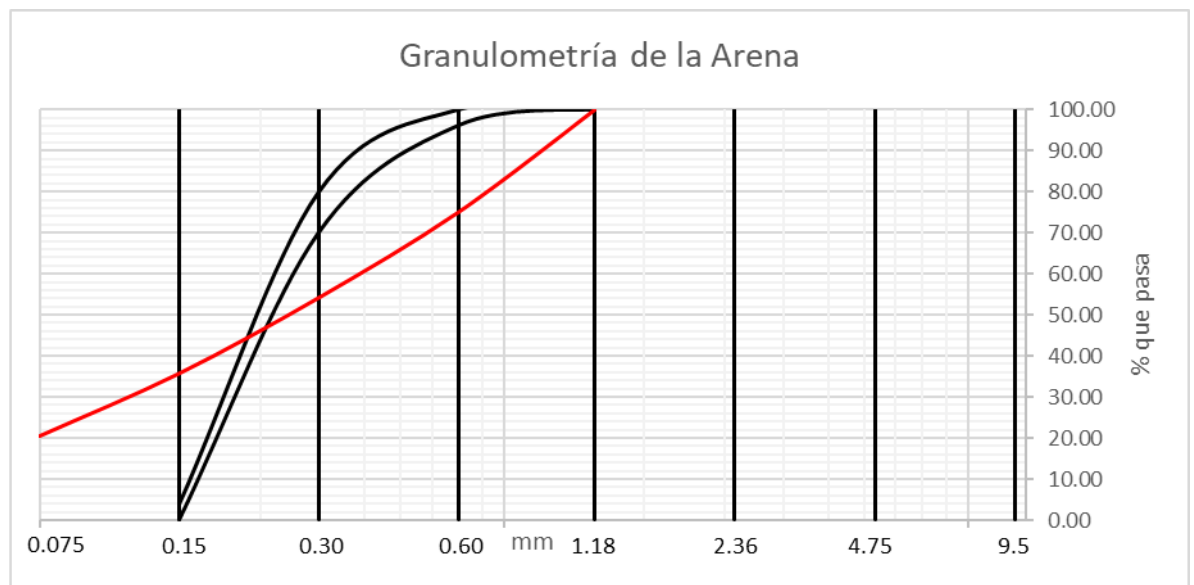


Figura 1. Granulometría de la arena empleada en morteros

La granulometría de la arena presenta un alto % de finos, lo cual afecta en la calidad de las mezclas tanto de morteros como de concretos, sin embargo, para la primera evaluación de los pigmentos, se implementó su uso.



Figura 2. Cuarteo de la arena



Figura 3. Granulometría de la arena

6.2 Mezcla de mortero

Se planteó que, para primera etapa en acercamiento a conocer resistencias relacionadas con mezclas de concreto, puede comenzarse con morteros, los cuales al evaluarse mediante la prueba de resistencia de compresión de morteros de acuerdo con las normas ASTM C 109/ C109 – 02, NMX-C-061-ONNCE-2010 y el Manual de prácticas “Laboratorio de Ingeniería de Materiales” elaborado por el C. Hugo Martínez Ángeles. Esto con el propósito de generar menos desperdicio de material y en función de investigar el comportamiento de los pigmentos ante los agregados pétreos, el cemento y el agua. De acuerdo con las normas antes mencionadas, los materiales necesarios para las mezclas de mortero son:

- Cemento Portland Compuesto.
- Agua.
- Arena.
- Pigmento de color inorgánico (rojo y amarillo).

Se utilizaron mezclas con el 6% y 10% de pigmento por peso del cemento. La relación agua – cemento utilizado fue de 1.15.

Respecto a las dosificaciones de los morteros, la normativa indica las proporciones en peso y mL de los agregados de acuerdo con un Cemento Portland Ordinario (CPO), sin embargo, por la dificultad de adquisición de este elemento, se propuso un Cemento Portland Compuesto (CPC) de la marca CEMEX “Tolteca”, el cual es de color gris. Esto modifica el agua que se debe agregar, ya que como requisito la mezcla debe de tener una fluidez de 110 ± 5 %. La dosificación de un mortero normal de acuerdo con normativa está dada en la Tabla 8.

Tabla 8. Dosificación de mortero normal (base)

Mezcla 1 (Mortero base)		
Dosificación		
Arena	1375	gr
Cemento	500	gr
Agua	575	mL
Pigmento	-	gr

Fuente: ASTM C 109/ C109 – 02

La dosificación de un mortero pigmentado (rojo y amarillo) se propuso como lo indica la Tabla 9.

Tabla 9. Dosificación de mortero pigmentado, en relación de 6% y 10% con el peso del cemento

Mezcla 2 (Mortero pigmentado 6%)			Mezcla 3 (Mortero pigmentado 10%)		
Dosificación			Dosificación		
Arena	1375	gr	Arena	1375	gr
Cemento	500	gr	Cemento	500	gr
Agua	575	mL	Agua	575	mL
Pigmento	30	gr	Pigmento	50	gr

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 10, se realizaron 5 mezclas, con los siguientes proporcionamientos.

Tabla 10. Mezclas propuestas de mortero de acuerdo con el % de pigmento

Tipo de mezcla	Peso de cemento (gr)	Peso de pigmento (gr)
Mezcla 1 (Mortero base)	500	-
Mezcla 2 (Mortero rojo al 6%)		30
Mezcla 3 (Mortero rojo al 10%)		50
Mezcla 4 (Mortero amarillo al 6%)		30
Mezcla 5 (Mortero amarillo al 10%)		50

Fuente: Elaboración propia

6.2.1 Fluidez de las mezclas de mortero

Una vez propuestas las mezclas, se ensayó se % de fluidez, de acuerdo con a la Ecuación 2, con base a la norma ASTM C 230/ 230 M:

$$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio (4 mediciones)} - \text{Diámetro inicial (Molde)}}{\text{Diámetro inicial (Molde)}} \quad (2)$$

En la cual, se debe de seguir el siguiente procedimiento:

- I. La parte superior del platillo de la mesa debe limpiarse y secarse cuidadosamente, y colocarse el molde al centro. Se pone en el molde una capa de mortero aproximadamente de 25 mm de espesor que se compacta 20 veces con el pisón. La presión para compactar debe ser la necesaria para asegurar un llenado uniforme del molde.
- II. El molde se llena totalmente y se compacta nuevamente como en la primera capa. Se enrasa la superficie del mortero pasando el filo de una cuchara de moldeo con un movimiento de aserrado sobre el borde superior del molde.
- III. Se limpia y se seca cuidadosamente la parte del platillo de la mesa de fluidez no cubierta por el molde teniendo especial cuidado de hacerlo en la intersección de la base inferior del molde con la mesa de fluidez.

- IV. Al transcurrir un minuto a partir del momento de haber terminado el mezclado, se levanta el molde; el platillo se deja caer 25 veces en 15 segundos, de una altura de 12.7 mm. La fluidez es el incremento del diámetro de la base de la masa del mortero, expresado como porcentaje del diámetro de la base original.
- V. El diámetro considerado del mortero debe ser el promedio de por lo menos 4 mediciones de diámetro de 45° aproximadamente.

Como diámetro inicial se tiene un valor de 101.38 mm. De acuerdo con ello, las mezclas presentan los siguientes % de fluidez.

Tabla 11. Resultados en % de fluidez de las 5 mezclas de mortero

	Mezcla 1 (Mortero base)	Mezcla 2 (Rojo 6%)	Mezcla 3 (Rojo 10%)	Mezcla 4 (Amarillo 6%)	Mezcla 5 (Amarillo 10%)
% Fluidez	121.20	124.65	123.91	123.17	123.17

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la prueba de fluidez están fuera de lo permitido de acuerdo con normativa, sin embargo, el agua, al ser una variante constante en las 5 mezclas se procedió a moldear los especímenes para ser ensayados a edades de 3 y 7 días.



Figura 4. Prueba de fluidez en un mortero de color rojo

Una vez concluida la prueba de fluidez, se debe de seguir el siguiente procedimiento:

- a) Una vez concluida la prueba de fluidez, el mortero que se empleó en la misma se regresa al recipiente de mezclado con ayuda de una cuchara, se mezcla nuevamente por 15 segundos.
- b) La preparación de los especímenes se empieza dentro de un tiempo no mayor de 2 minutos 30 segundos a partir de haber terminado el mezclado inicial del mortero. Se coloca en los compartimientos del molde de los especímenes una capa de mortero de 25 mm de espesor aproximadamente y luego el mortero de cada compartimiento se compacta con el pisón, 32 veces en 10 s, en 4 vueltas.
- c) La iniciación de cada vuelta se efectúa a 90° con respecto a la siguiente y consiste en 8 golpes adyacentes repartidos sobre la superficie. La presión para compactar el espécimen debe ser la necesaria para asegurar un llenado uniforme del molde.
- d) Las cuatro vueltas (32 golpes) se deben completar en un espécimen antes de empezar con el siguiente. Una vez terminado el apisonado de la primera capa en todos los especímenes, los

compartimientos se deben llenar utilizando el resto del mortero y se vuelven a compactar tal como se hizo en la primera capa.

- e) Durante el compactado de la segunda capa, todo el mortero que sobresalga del molde después de cada vuelta se regresa al compartimiento.
- f) Una vez terminada la compactación, el mortero sobresaliente se extiende suavemente con la cuchara de albañil. Con la cuchara de albañil se aplana el mortero regresando a los compartimientos el material que se encuentra en los bordes del molde, con la cuchara ligeramente inclinada, una sola vez a ángulos rectos sobre cada espécimen y en dirección normal al eje longitudinal del molde.
- g) Para nivelar el mortero de los moldes, para que tengan un espesor uniforme, se enrasa la superficie al borde superior del molde, usando la cuchara en posición ligeramente inclinada, por una sola vez, y después se elimina el exceso de mortero haciendo un corte con la orilla de la cuchara.



Figura 5. Moldeado de especímenes cúbicos de mortero de 5 x 5 x 5 cm

6.2.3 Almacenamiento y ensaye de los especímenes

Inmediatamente después de elaborar los especímenes, con su molde y sobre su placa, se colocan en la cámara o gabinete húmedos dejando sus superficies expuestas al ambiente, pero protegidas del goteo directo. Los

especímenes deben permanecer dentro de los moldes durante 24 horas. Al cumplir esta edad, los especímenes se sumergen en agua saturada de cal en los tanques de almacenamiento, contruidos de material no corrosivo.



Figura 6. Especímenes sumergidos en agua

Al cumplir la edad de prueba, los especímenes se retiran de la cámara o gabinete húmedos y se prueban de inmediato, con las tolerancias de tiempo que se especifican en la tabla 6.5.

Tabla 12. Tolerancia de ensaye para distintas edades de prueba en morteros

Edad de prueba	Tolerancia
24 horas	± 30 min
3 días	± 1 horas
7 días	± 3 horas
28 días	± 12 horas

Fuente: Elaboración propia

Las tolerancias se toman en cuenta a partir del momento en que se retiran los especímenes del agua de curado. Para obtener resultados confiables en las pruebas, es necesario que las caras de los especímenes que se usen sean superficies planas. Cada espécimen se debe secar superficialmente y quitar los granos sueltos de arena y las incrustaciones de aquellas caras que harán contacto con las placas de la máquina.

La carga se debe aplicar sobre las caras de los especímenes que estuvieron en contacto con las paredes verticales del molde. El espécimen se

coloca en la máquina centrándolo cuidadosamente con respecto a la placa superior. No se deben usar materiales elásticos o de cabeceo. Antes de la prueba de cada espécimen se debe verificar que la placa con asiento esférico esté en condiciones de moverse libremente.

Se puede aplicar la carga inicial a cualquier velocidad conveniente hasta el 50% de la carga máxima esperada, siempre que ésta no sea mayor de 13.3 kN. No se debe aplicar carga inicial a los especímenes cuando se esperen cargas máximas menores de 13.3 kN. Se ajusta la velocidad de aplicación de la carga de manera que el remanente (o la carga total en caso de ser inferior a 13.3 kN se aplique ininterrumpidamente hasta la ruptura del espécimen a una velocidad tal que la carga máxima se alcance en no menos de 20 segundos y no más de 80 segundos.



Figura 7. Ensayo de resistencia a la compresión en especímenes cúbicos

Al calcular la resistencia a compresión, puede considerarse el área de la sección transversal del espécimen como de 25 cm^2 , sin embargo, en los casos en que el área del espécimen varíe en más de 0.3 cm^2 con relación al área de 25 cm^2 se debe usar el área real. La resistencia la compresión de todos los especímenes aceptables, hechos de la misma muestra y probados a la misma edad, se obtiene promediando los resultados e informando con una aproximación al kilogramo por centímetro cuadrado.

Se registra la carga máxima indicada por la máquina y se calcula la resistencia a la compresión, en kgf/cm^2 , dividiendo dicha carga entre el área de la sección transversal del espécimen.

$$R = \frac{P_{max}}{S} \quad (3)$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ = Es la carga máxima.

R = Es la resistencia a la compresión

S = Es el área de la sección transversal del espécimen.

Nota: Al calcular la resistencia de la compresión, los especímenes que sean visiblemente defectuosos o que den una resistencia que difiera en más de 10% del valor medio dado por todos los especímenes hechos de la misma muestra y probados a la misma edad, no se tomarán en cuenta.

6.3 Pruebas realizadas a Concretos

6.3.1 Diseño de mezcla de concreto

El diseño de mezclas de concreto consiste en la selección de ingredientes (cemento, agregados pétreos, agua y aditivos). Así mismo determinar sus cantidades relativas para producir un concreto de trabajabilidad y durabilidad adecuada. Esto se realiza mediante un procedimiento de aparte empírico y aplicación de pruebas de laboratorio a los agregados pétreos. El procedimiento por seguir es el del American Concrete Institute, el comité 211 del ACI.

Los agregados pétreos provinieron del banco La Cañada ubicado en carretera Querétaro – Tequisquiapan, Santiago de Querétaro, México, con coordenadas $20^{\circ} 37'$ latitud norte y $100^{\circ} 18'$ longitud oeste. Así mismo se utilizó un cemento Portland Compuesto 30R B, cemento blanco de la marca CEMEX y pigmento en polvo de color rojo y amarillo de la marca COMEX. Se propuso un 6% y 10% de pigmento sobre el peso del cemento. Los materiales pétreos fueron ensayados de acuerdo con la norma N-CMT-2-02-002/19 para revisar sus

características y verificar que cumplan con la calidad requerida para la elaboración de las mezclas de concreto.

La información requerida para el diseño de mezclas es la siguiente:

- Análisis granulométrico de los agregados.
- Peso unitario compactado de la grava.
- Peso específico de los agregados (fino y grueso).
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso).
- Peso específico del cemento.

Paso 1. Se selecciona la resistencia que se empleará, para este proyecto se tomará $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$.

Tabla 13. Selección de $f'c$ para la mezcla de concreto

$f'c$	$f'cr$
Menos de 210	$f'cr + 70$
210 a 350	$f'cr + 84$
Sobre 350	$f'cr + 98$

Fuente: Elaboración propia

Para $f'c = 150 \text{ kg/cm}^2$ corresponde un $f'cr = (150 + 70) \text{ kg/cm}^2$.

Paso 2. Elección del revenimiento.

De acuerdo con la Tabla 14, se selecciona el tipo de construcción para el cual se va a emplear el concreto y se indica el revenimiento a usar.

Tabla 14. Selección del revenimiento para la mezcla de concreto

Tipos de construcción	Revenimiento (Cm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas	10	2

Pavimentos y losas	8	2
Concreto ciclópeo y masivo	5	2

Fuente: Elaboración propia

Para esta mezcla al emplearse en pavimentos y losas, se propone un revenimiento de 8 cm.

Paso 3. Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.

En la Tabla 15 se consideran recomendaciones para el agua en las mezclas de concreto del comité 211 del ACI.

Tabla 15. Selección del agua a emplearse en la mezcla de concreto

Revenimiento (mm)	Agua en lt/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados								
	10 mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
Concreto sin aire incorporado									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	-	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incorporado									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	-	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición	Exposición suave	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.50*	1.0*
	Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.50*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.50*	4.0*

Fuente: Elaboración propia

Para la mezcla propuesta y de acuerdo con el revenimiento de 8 cm seleccionado en el paso 2, se usará una mezcla sin aire incorporado con tamaño máximo de agregado grueso de 3/4", por lo que se usarán 200 lt/m³. El agua

Paso 4. Elección de la relación agua/cemento (a/c).

Para el criterio de resistencia del concreto, se empleará la siguiente tabla:

Tabla 16. Selección de la relación a/c

Resistencia a la compresión a los 28 días (f'_{cr}) (kg/cm ²)	Relación agua/cemento de diseño en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Fuente: Elaboración propia

Considerando un f'_{cr} de 220 kg/cm², se tomará una relación agua/cemento de 0.70.

Paso 5. Cálculo del cemento requerido.

El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezcla (paso 3) dividido por la relación agua/cemento (paso 4). Ejemplificado en las Ecuaciones 4 y 5.

$$\begin{aligned}
 \text{Contenido de cemento (kg)} &= \frac{\text{Contenido de agua de mezclado}}{\text{Relación } \frac{a}{c} \text{ (para } f'_{cr})} \\
 &= \frac{200}{0.70} = 285.71 \text{ kg}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volumen de cemento (m}^3\text{)} &= \frac{\text{Contenido de cemento (kg)}}{\text{Peso específico del cemento } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} \\
 &= \frac{285.71}{1.50} = 190.5 \text{ m}^3
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Paso 6. Estimación de la cantidad de agregado grueso.

De acuerdo con la tabla empírica utilizada por el Comité 211 de ACI, la cual está en función del tamaño nominal del agregado grueso y del módulo de finura, se encuentra el volumen del agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diferentes módulos de fineza del agregado fino.

Tabla 17. Selección de parámetro de acuerdo con el módulo de finura de la arena

Tamaño máximo del agregado grueso		Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza del agregado fino. b/b_0 (kg/m^3)						
		Módulos de fineza del agregado fino						
mm	Pulgadas	2.40	2.60	2.80	3.00	3.20	3.40	3.60
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44	0.42	0.4	0.38
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47
20	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.6	0.58	0.56	0.54
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68	0.66	0.64
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68	0.66
70	3"	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la granulometría de la arena, se tiene un módulo de finura de 3.37, así mismo, el agregado nominal del agregado grueso es 3/4", por lo que se interpolará el valor adecuado de acuerdo con los valores estimados en la tabla anterior, ejemplificándose en la Ecuación 6.

$$y \left(\frac{b}{b_0} \right) = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) = 0.58 + \frac{0.56 - 0.58}{3.40 - 3.20} (3.37 - 3.20) \quad (6)$$

$$= 0.56$$

Una vez calculado el volumen de agregado grueso, seco y compactado mediante la tabla anterior, se procede a calcular la cantidad de agregado grueso necesario para un metro cúbico de concreto con la Ecuación 7.

$$\begin{aligned}
& \text{Peso seco del agregado grueso } \left(\frac{kg}{m^3} \right) \\
& = \left(\frac{b}{b_0} \right) (\text{Peso unitario compactado del agregado grueso}) \quad (7) \\
& = 0.56(1495) = 794.64 \text{ kg/m}^3
\end{aligned}$$

Paso 7. Estimación de la cantidad de agregado fino.

Para estimar la cantidad de arena a emplearse para el metro cubico de concreto, se restarán los volúmenes totales por los elementos conocidos, cemento, agua y agregado grueso, estos se restan del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado en el concreto por cualquier ingrediente es igual a su peso dividido por la densidad de ese material (este último es el producto del peso unitario del agua y la gravedad específica del material). El cálculo se hará con base a la ecuación 8.

$$V_a = 1000 - \left(\frac{P_c}{D_c} + \frac{P_A}{D_A} + \frac{P_G}{D_G} \right) \quad (8)$$

Donde:

V_a = Volumen del agregado fino (m^3).

P_c = Contenido de cemento (kg).

D_c = Densidad del cemento (kg/m^3).

P_A = Peso del agua (kg).

D_A = Densidad del agua (kg/m^3).

P_G = Peso del agregado grueso (kg).

D_G = Densidad del agregado grueso (kg/m^3).

Sustituyendo se tiene lo siguiente:

$$V_a = 1000 - \left(\frac{285.71}{1.50} + \frac{200}{1} + \frac{794.64}{2.74} \right) = 319.51 \text{ m}^3$$

Una vez obtenido el volumen de la arena, se multiplica por su densidad para encontrar su contenido en kg.

$$P_{arena} = (319.51 \text{ m}^3) (2.82 \text{ kg/m}^3) = 901.02 \text{ kg}$$

Con todos los pesos de los materiales, se hace el cálculo de dosificaciones y se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Dosificaciones de agregados pétreos para 1 m³ de concreto hidráulico

Material	Cantidades por m ³ en kg	Proporciones en peso	Cantidades en kg por saco de 50 kg
Cemento (C)	285.71	1.00	50.00
Agua (A)	200.00	0.70	35.00
Arena (a)	901.02	3.15	157.68
Grava (G)	837.21	2.93	146.51

Fuente: Elaboración propia

Para el colado de 90 cilindros de medidas 10 x 20 cm, se necesita un volumen de 0.1414 m³ + el 15% de desperdicio que sería un total de 0.16 m³. Lo cual nos indica las siguientes cantidades para cumplir con los 90 testigos.

Tabla 19. Dosificación requerida para el colado de los 90 cilindros

Material	Cantidades necesarias (kg)
Cemento (C)	46.45
Agua (A)	38.67
Arena (a)	146.49
Grava (G)	136.11

Fuente: Elaboración propia

Se considera un aumento de agua, debido al término de agua efectiva, en dónde se consideran el % de absorción de la grava y la arena. De acuerdo con la dosificación obtenida, en la Tabla 20 se muestran los tipos de mezclas, así como la dosificación propuesta de pigmento por tipo de color en cada uno de los grupos. Se utilizaron 1.24 kg de pigmento de color rojo de la marca COMEX y 1.24 kg de pigmento de color amarillo de la marca COMEX.

Tabla 20. Mezclas propuestas para los especímenes de prueba de concreto pigmentado

Tipo de mezcla	Nomenclatura	% de pigmento en base al peso del cemento
Mezcla 1 Concreto base	(CONCB)	0
Mezcla 2 Concreto rojo	(CONCR6)	6
Mezcla 3 Concreto rojo	(CONCR10)	10
Mezcla 2 Concreto amarillo	(CONCA6)	6
Mezcla 3 Concreto amarillo	(CONCA10)	10

Fuente: Elaboración propia

El pigmento es un material que no sustituye parte del cemento en las mezclas empleadas, sin embargo, se presenta como un material extra.

En la Tabla 21 se mencionan el número de cilindros utilizados para cada prueba ensayada.

Tabla 21. Número de cilindros utilizados para cada prueba

Prueba	Número de cilindros	Edad de ensaye (día)
Resistencia a la compresión	3	7
	3	14
	3	21
Resistencia al desgaste de los Ángeles	3	21
Desgaste ocasionado por cloruro de sodio	3	21 + 28
Desgaste ocasionado por cambios de temperatura	3	21

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 8 se muestra el proceso de mezclado de los agregados pétreos en una revolvedora eléctrica.



Figura 8. Mezclado de materiales en revolvedora eléctrica

6.3.2 Revenimiento de las mezclas de concreto

La prueba del revenimiento permite determinar la consistencia del concreto en estado fresco. Para ello, una vez que se termina el proceso de mezclado del concreto, se debe de realizar esta prueba, siguiendo la norma M-MMP-2-02-056-04, en un periodo no mayor a 2.5 minutos.

Equipo

- Cono de revenimiento.
- Varilla de compactación.
- Placa metálica.
- Flexómetro.
- Cucharón.

Procedimiento

- I. Se humedece el interior del cono de revenimiento y se coloca sobre la placa metálica, previamente humedecida.
- II. Se colocan los pies sobre los estribos que tiene el cono de revenimiento, se llena el molde en tres capas con una compactación de cada una de ellas de 25 golpes de la varilla metálica, en la segunda y tercera capa se debe de penetrar 2 cm aproximadamente la capa inferior.

- III. En el llenado de la última capa, se propone un excedente antes de comenzar la compactación, para que al momento de compactarse con la varilla alcance el material.
- IV. Una vez terminada la compactación de la última capa, se enrasa el cono de revenimiento mediante un movimiento de rodamiento de la varilla de compactación, después los sobrantes que se encuentran sobre la placa metálica se retiran.
- V. Se levanta el cono de revenimiento en un tiempo aproximado de 5 ± 2 segundos, se coloca el cono de revenimiento de cabeza y se sobre pone la varilla de compactación, para tomar la medida de revenimiento con el flexómetro, la cual es el resultado entre la distancia de la varilla y el valor más alto de la mezcla de concreto.



Figura 9. Prueba de revenimiento en la mezcla de concreto



Figura 10. Resultado de prueba de revenimiento en mezclas de concreto

Para la elaboración de los cilindros se siguió el procedimiento marcado en la norma Mexicana M-MMP-2-02-055/06. Para el llenado de los cilindros, se colocaron en un lugar nivelado, para después con el cucharón agregarse aproximadamente $1/3$ de su capacidad del molde cilíndrico, y con la varilla de compactación se acomoda mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en la superficie del concreto. Después se vierte una segunda porción de concreto aproximadamente hasta $2/3$ del volumen del cilindro y se compacta nuevamente con 25 golpes, en este caso la varilla debe de penetrar aproximadamente 2 cm a la capa inferior. Por último se vierte una última capa de concreto, donde se compacta con 25 golpes de la varilla, para después retirarse el exceso de material del cilindro.



Figura 11. Elaboración de especímenes cilíndricos de la mezcla base



Figura 12. Elaboración de especímenes cilíndricos de la mezcla pigmentada de color rojo 6%

Se colaron 15 especímenes de cada mezcla y se desmoldaron pasadas las 24 horas, para después pasar al proceso de curado en donde se mantuvieron en un tanque con agua durante 7, 14 y 21 días de edad de acuerdo con cada prueba.



Figura 13. Proceso de curado de los cilindros en un tanque con agua

6.3.3 Prueba de desgaste mediante la prueba de Los Ángeles de materiales pétreos para mezclas asfálticas M-MMP-4-04-006/02

El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la abrasión de los materiales pétreos empleados en la mezcla del concreto. Consiste en introducir una muestra del material con características granulométricas específicas dentro de la máquina de desgaste de los ángeles, en donde es sometida al impacto de esferas metálicas durante un tiempo determinado, midiendo como resultado la

variación granulométrica de la muestra como diferencia entre la masa que pasa la malla N°12.

Equipo

- Máquina de los ángeles: Constituida por un cilindro de acero, hueco y cerrado en ambos extremos con diámetro interior de $710 \pm 5\text{mm}$ y largo de $510 \pm 5\text{ mm}$, montado sobre dos soportes ubicados al centro de sus caras paralelas, que le permitan girar sobre su eje de simetría en posición horizontal con una velocidad angular de 30 a 33 rpm.
- Carga abrasiva: Esferas de hierro fundido o acero, con un diámetro promedio de 47 mm y una masa de entre 390 y 335g cada una.



Figura 14. Esfera de acero empleada en la prueba de desgaste de los Ángeles

- Horno: Eléctrico o de gas, con una capacidad mínima de 20 dm^3 , ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura constante de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.
- Balanza.
- Máquina agitadora para mallas.
- Cucharón.
- Charolas.
- Agua.

Procedimiento

- I. Se siguió y modificó el procedimiento marcado en el manual M-MMP-4-04-006-02, en donde se emplea esta prueba para un tipo de material

específico de acuerdo con la tabla indicada en el mismo, sin embargo, en este caso el material empleado fueron los cilindros de concreto.

- II. Una vez que los cilindros cumplieron la edad de 21 días se retiran del tanque de agua para ser secados superficialmente y se registra su masa, para después ingresarse a la máquina de desgaste de los ángeles en conjunto de 8 esferas de acero que suman un peso total de 3291.1 gr. La prueba consiste en hacer funcionar la máquina un total de 500 revoluciones, para lo que se debe de calibrar y da un total de 37 revoluciones por minuto, por lo que cada cilindro se deja en la prueba un total de 13.5 minutos. En la Figura 15 se muestra el cilindro colocado dentro de la máquina de desgaste de los Ángeles antes de iniciar la prueba, se coloca en conjunto de las esferas de acero para después cerrarse el rodillo y comenzar las revoluciones.



Figura 15. Prueba de desgaste de los Ángeles antes de dar las revoluciones, con el cilindro y la carga abrasiva

- III. Una vez concluida las 500 revoluciones de la máquina de desgaste de los Ángeles, en la Figura 16, se muestra como se desprende el material del cilindro, por lo que, para fines de esta prueba, los resultados se calculan de acuerdo con la Ecuación (4).



Figura 16. Prueba de desgaste de los Ángeles una vez que finalizan las revoluciones

Cálculos

Se calcula y reporta como resultado de la prueba, el desgaste por trituración, utilizando la Ecuación 4, así mismo, el peso del cilindro después de la prueba se obtiene como se muestra en la Figura 17.

$$\% \text{Rest. a la abrasión} = \frac{\text{Peso del cilindro antes de iniciar la prueba}}{\text{Peso del cilindro después de la prueba}} \times (100) \quad (9)$$



Figura 17. Masa de núcleos de cilindro una vez terminada la prueba de desgaste de los Ángelesx

6.3.4 Desgaste ocasionado por cloruro de sodio

Para simular las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidas las estructuras de concreto en la red carretera y el envejecimiento prematuro, se realizarán ciclos de humedecimiento con una solución de cloruro de sodio.

Se analizan las propiedades mecánicas de los especímenes de concreto para evaluar cómo afecta el cloruro de sodio a la estructura y determinar si los especímenes de concreto pigmentado presentan una variación en la resistencia a la compresión respecto a los concretos normales y se verifico si las sales afectan la coloración de las mezclas pigmentadas.

Equipo

- Horno: Eléctrico o de gas, con una capacidad mínima de **20 dm³**, ventilado, con termostato capaz de mantener una temperatura de rango de 50°C a 250°C.
- Balanza.
- Charolas.
- Flexómetro.
- Agua.
- Sal.
- Tarja de plástico.
- Máquina para prueba de resistencia a la compresión.

Procedimiento

Los especímenes de concreto se elaboraron de acuerdo con la norma:

- Muestreo de Concreto Hidráulico: M-MMP-2-02-055/06.

Se emplearon cilindros en grupos de 3, para poder obtener promedios por tipo de mezcla de concreto, una vez que se cumplió la edad de 21 días del proceso de curado, se retiraron del tanque para ser secados superficialmente y pesados. Inmediatamente de ello, para el envejecimiento prematuro se utilizaron ciclos de humedecimiento y secado de 24 horas cada uno. El ciclo de

humedecimiento es con agua, con una solución de 10% de cloruro de sodio para simular las condiciones de intemperismo que son sometidas las estructuras de concreto en zonas de costa, se utilizaron un total de 80 litros de agua y 8 kilos de sal como se muestra en la Figura 17, así mismo en la Figura 18 se muestran los cilindros en el proceso de ciclado, específicamente en el humedecimiento en una solución de agua con sal. Se siguió el procedimiento del artículo de Reyes & Bosco (2018).



Figura 18. Agregado de sal en un recipiente con agua



Figura 19. Ciclado de humedecimiento en la solución de cloruro de sodio con agua



Figura 20. Ciclado de secado de los cilindros

Los ciclos de humedecimiento y secado duraron un total de 28 días o 14 ciclos, por lo que, a la edad de 48 días fueron ensayados ante resistencia a la compresión simple.



Figura 21. Ensaye de resistencia a la compresión en cilindros afectados por los efectos del cloruro de sodio

6.3.5 Desgaste ocasionado por cambios de temperatura

Para simular las condiciones ambientales a las que se encuentran sometidas las estructuras de concreto en la red carretera y el cambio de temperatura, se evaluarán los concretos hasta un máximo de 200 °C.

Se analizan las propiedades mecánicas de los especímenes de concreto para evaluar cómo afectan los cambios de temperatura y determinar si los especímenes de concreto pigmentado presentan una variación en la resistencia a la compresión respecto a los concretos normales y se verifico si las temperaturas altas afectan la coloración de las mezclas pigmentadas.

Procedimiento

Los especímenes de concreto se elaboraron de acuerdo con la norma:

- Muestreo de Concreto Hidráulico: M-MMP-2-02-055/06.

Para el desgaste ocasionado por cambios de temperatura se utilizaron cilindros en grupo de 3, las cuales una vez que cumplieron la edad de 21 días en el proceso de curado, se retiraron del tanque de agua para ser secados superficialmente y pesados. Después los cilindros se ingresaron a un horno a una temperatura inicial de 50°C, donde se dejaron durante una hora, una vez transcurrido este periodo de tiempo, se retiraron y se fotografiaron para ver si la coloración se veía afectada, después se ingresaron de nuevo al horno a una temperatura de 100°C durante una hora y así sucesivamente hasta llegar a una temperatura máxima de 200°C, el proceso duro un aproximado de 4 horas. Después de esto se retiran del horno y se colocan sobre una mesa de acero para que tomen una temperatura ambiente durante un aproximado de 2 horas, para ser ensayados en resistencia a la compresión, en donde presentaron una temperatura promedio de 40°C al momento del ensaye como se muestra en la Figura .



Figura 22. Temperatura inicial a la que se sometieron los cilindros de concreto (50°C)



Figura 23. Temperatura final a la que se sometieron los cilindros de concreto (200°C)



Figura 24. Medición de temperatura del cilindro al momento de ser ensayado a resistencia a la compresión



Figura 25. Resistencia a la compresión en cilindros afectados por cambios de temperatura

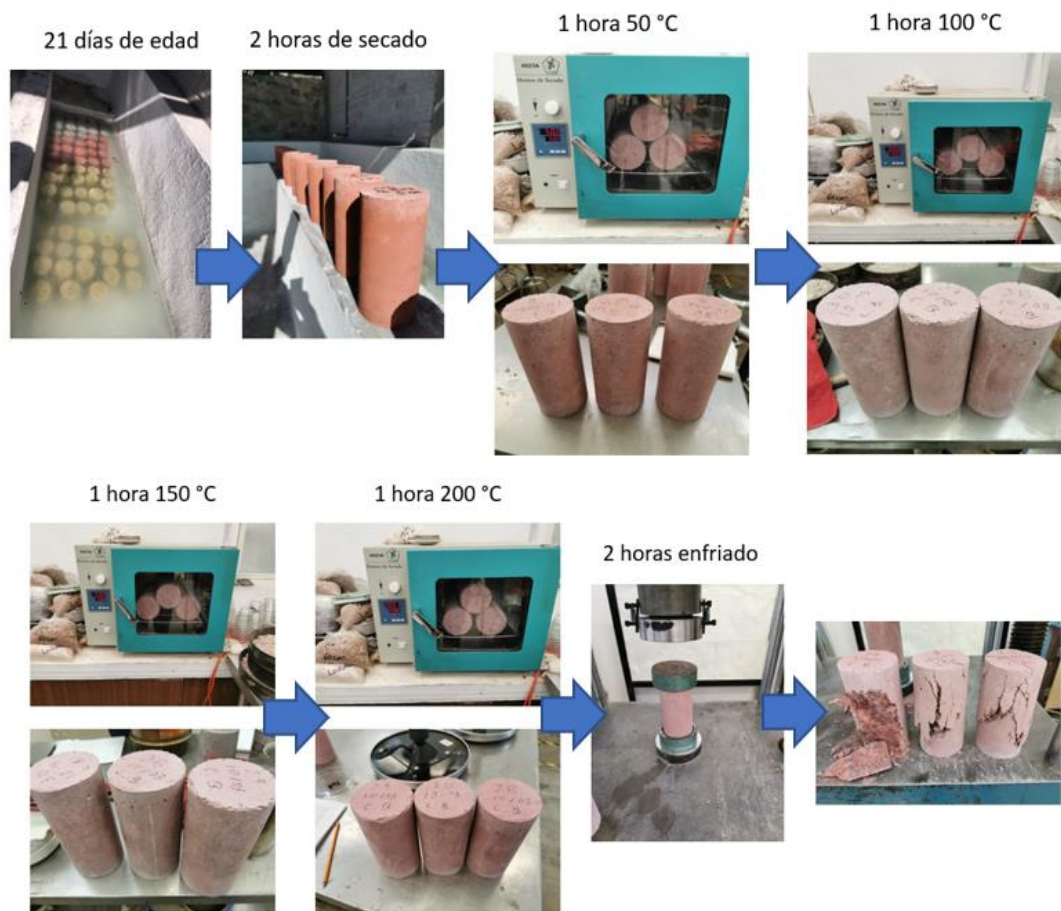


Figura 26. Esquema del proceso de prueba de resistencia a la compresión en especímenes afectados por cambios de temperatura

6.3.6 Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto M-MMP-2-02-058/04

Este método de prueba cubre la determinación de compresión a la resistencia de probetas cilíndricas de concreto. Consiste en aplicar un compresor de carga axial a cilindros moldeados a una velocidad que está dentro de un rango prescrito hasta que ocurra la falla. La resistencia de la muestra se calcula al dividir la carga máxima transmitida durante la prueba por el área de sección transversal del espécimen.

Equipo

- Máquina de prueba.
- Flexómetro.
- Balanza.
- Charolas.

Procedimiento

Para la resistencia a la compresión simple de los cilindros, se ensayaron en grupos de 3, a edades de 7, 14 y 21 días, los cuales cumplieron dicho tiempo de curado en un tanque con agua. Para una vez retirados, se midieron y pesaron para después ser ensayados en resistencia a la compresión. Tomando en cuenta la Tabla 22, la cual nos indica las tolerancias para el ensaye a distintas edades.

Tabla 22. Tolerancias de tiempo permisibles para ruptura de especímenes de concreto

Edad de prueba	Tolerancia permitida
24 h	± 0.5 h o 2.1 %
3 días	2 h o 2.8 %
7 días	6 h o 3.6 %
28 días	20 h o 3.0 %
90 días	2 días o 2.2%

Fuente: ASTM C39-01

Cálculos

Se calcula la resistencia a la compresión con la Ecuación 5, en donde se divide la carga máxima soportada por el cilindro durante la prueba, entre el área de la sección transversal promedio.

$$f'c = \frac{\text{Carga de ruptura}}{\text{Área de sección que resiste la carga}} \quad (10)$$



Figura 27. Resistencia a la compresión en mezcla base



Figura 28. Resistencia a la compresión en mezclas pigmentadas de color rojo y amarillas

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Pruebas en morteros

Los resultados de la prueba de fluidez están fuera de lo permitido de acuerdo con normativa que marca de aceptación de $110 \pm 5\%$, sin embargo, el agua, al ser una variante constante en las 5 mezclas se procedió a moldear los especímenes para ser ensayados a edades de 3 y 7 días. Los valores de la prueba de fluidez de las 5 mezclas de muestran en la Figura 29.

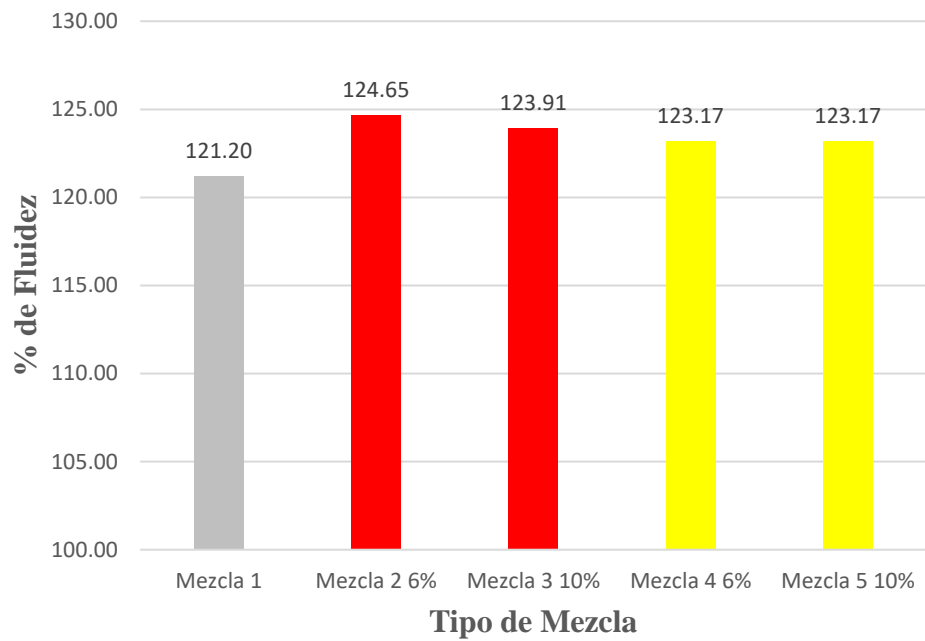


Figura 29. Promedios de % de fluidez de las mezclas de mortero

Los resultados de esta investigación demuestran que las mezclas adicionadas con 6% del peso de pigmento, a la edad de 3 días mantienen una resistencia parecida a un mortero normal mientras que, las mezclas que se les adicionó el 10% de pigmento presentaron una resistencia por debajo de la mezcla base, siendo la mezcla de color roja con 10% de pigmento la que presentó la resistencia más baja. Para la edad de 7 días, las mezclas están por debajo de las resistencias obtenidas en un mortero normal, siendo la mezcla con 6% de pigmento de color amarillo la más baja a los 7 días de resistencia con un promedio de 59.48 kg/cm², el resumen de las resistencias se presenta en la Figura 30.

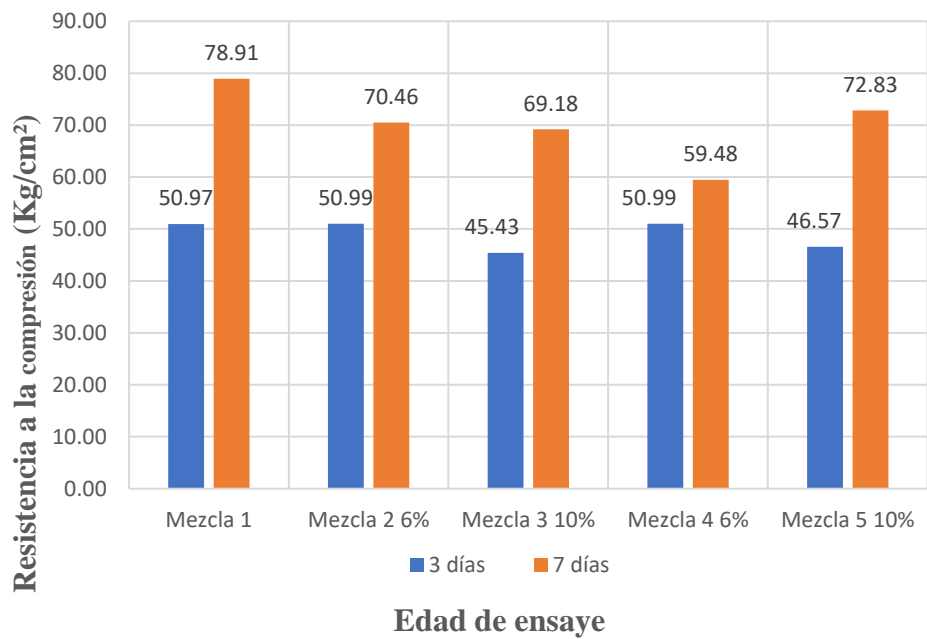


Figura 30. Valores promedio de las resistencias a la compresión de mezclas de mortero

Sin embargo, es importante realizar una inspección visual de cómo se comporta la coloración de las mezclas de mortero respecto con los resultados esperados, por lo que se puede identificar un problema, al implementar una arena de color café claro, un cemento de color gris y un pigmento amarillo, resulta en una pasta con color final verde, mientras que el pigmento de color rojo con los mismos agregados presenta una coloración adecuada, en la Figura 31 se muestra la coloración de las mezclas pigmentadas con el 10% de color rojo mientras que en la Figura 32 la mezcla con 10% de pigmento color amarillo.



Figura 31. Coloración de mezcla de mortero con 10% de pigmento rojo



Figura 32. Coloración de mezcla de mortero con 10% de pigmento amarillo

Es importante recalcar que, aunque la diferencia entre una mezcla con 6% y 10% de pigmento, son sólo 20 gramos más entre cada una de ellas, la diferencia en color es notable mediante inspección visual como se ve reflejado en la Figura 33.



Figura 33. Diferencia entre coloración de mezclas de mortero amarillas con 6 y 10% de pigmento respectivamente

7.2 Pruebas en concretos

7.2.1 Revenimiento

Las mezclas pigmentadas presentaron un revenimiento mayor que la mezcla base como se muestra en la Figura 34 por lo que presentan una mejor trabajabilidad del concreto, sin embargo, al presentar una mezcla de un concreto fluido, las resistencias de las mezclas de concreto pigmentadas en cada una de las pruebas descritas en esta investigación fueron mayores a la mezcla base.

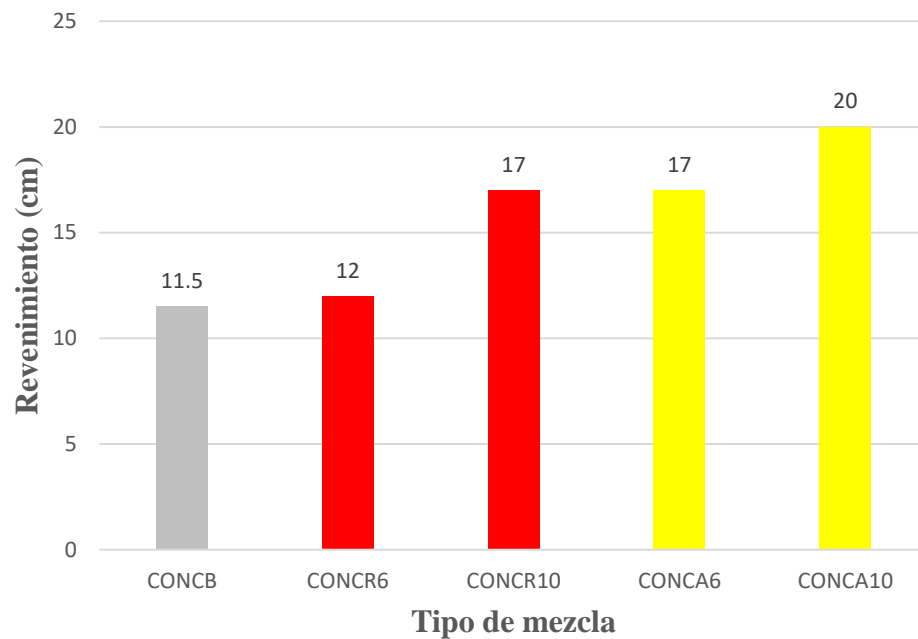


Figura 34. Revenimiento de las mezclas de concreto

7.2.2 Resistencia a la compresión

Los resultados de esta investigación mostraron que los concretos pigmentados presentan una mayor resistencia en comparación al concreto base, para la edad de los 7 días el concreto base tuvo un promedio de 147.61 kg/cm², mientras que las mezclas pigmentadas rondan en los rangos de 160.99 a 177.79 kg/cm², siendo esta última resistencia de la mezcla pigmentada con color rojo al 10% de peso de pigmento respecto al peso del cemento. Para la edad de 14 días es donde la mezcla base presentó un mayor aumento de resistencia, obteniendo 191.25 kg/cm², sin embargo, sigue siendo menor que los demás concretos, donde el concreto rojo con 10% sigue siendo constante con la mayor resistencia obtenida, con 215.37 kg/cm², por último, para la edad de 21 días el concreto base sigue por debajo y la resistencia máxima se presentó esta vez en la mezcla de concreto rojo a 6% de peso de pigmento respecto al peso del cemento, los resultados promedios de mezclas se muestran en la Figura 35.

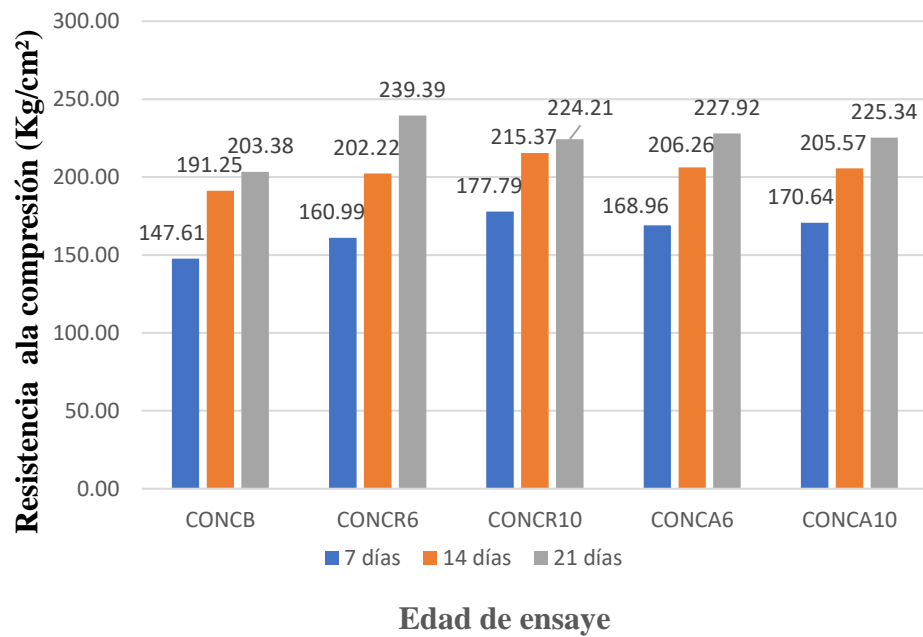


Figura 35. Resistencias a la compresión promedio de las tres mezclas por edades

7.2.3 Resistencia a la compresión en probetas sometidas a cambios de temperatura

Para la resistencia a la compresión en probetas que se ingresaron al horno a las temperaturas indicadas en el punto 6.1.8, se encontró que el concreto base presenta una menor resistencia después de haber recibido altas temperaturas, siendo su resistencia promedio de 185.39 kg/cm², mientras que la mezcla que mostró la mayor resistencia fue la del concreto rojo con 6% de peso de pigmento respecto al peso del cemento, siendo un 9.20% mayor la resistencia en comparación al concreto base, en la Figura 36 se identifican las resistencias promedio de los cilindros sometidos a cambios de temperatura.

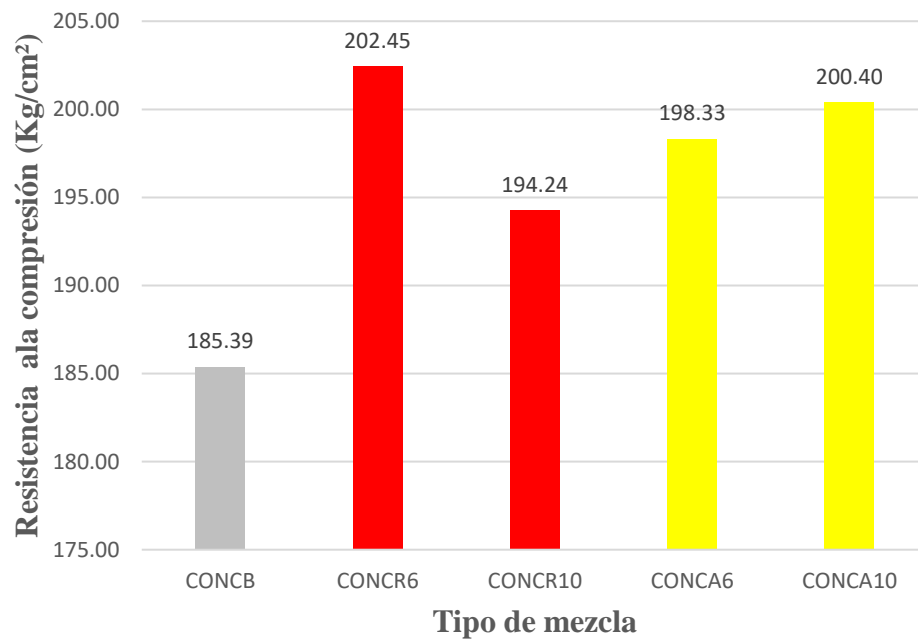


Figura 36. Resistencia a la compresión en probetas después de haber recibido altas temperaturas, los resultados son promedios

7.2.4 Resistencia a la abrasión

En la prueba de resistencia a la abrasión, los especímenes del concreto base, presentaron una menor retención de material en el peso total del cilindro una vez concluida la prueba, es decir, presentan una menor capacidad de resistir el desgaste a comparación de los concretos pigmentados, en los cuales el desprendimiento de material fue menor, siendo la mezcla de concreto rojo con 6% de pigmento la que presentó la mayor retención de material en promedio de sus tres cilindros evaluados, manteniendo el 59.18% de su peso final con respecto al peso inicial, mientras que el concreto normal presentó un 47.66% en promedio de material que se mantuvo una vez finalizada la prueba en el núcleo de los cilindros en promedio, como se muestra en la Figura 37.

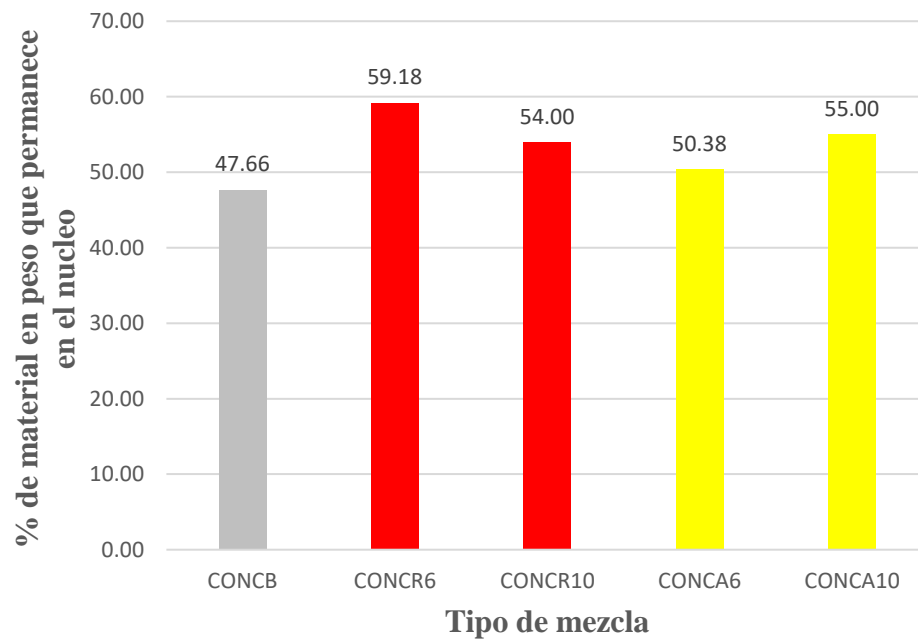


Figura 37. Resultados de la prueba de desgaste de los ángeles a los especímenes, los resultados son promedios

Resistencia a la compresión en cilindros sometidos a cloruro de sodio

En la prueba de resistencia al ataque a cloruro de sodio, los cilindros de la mezcla base presentaron las menores resistencias con 225.30 kg/cm² promedio, mientras que los cilindros de color amarillo con 6% de pigmento presentaron las resistencias más altas con un promedio de 244.68 kg/cm², lo cual es aproximadamente 8.6% más que la mezcla base como se muestra en la Figura 38.

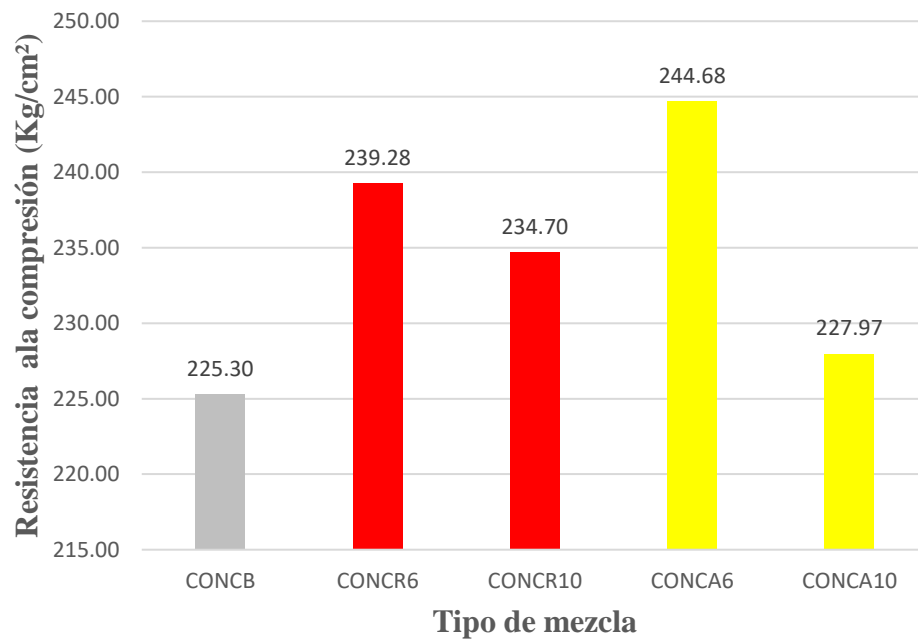


Figura 38. Resistencia a la compresión en probetas sometidas a cloruro de sodio, los resultados son promedios

En la Tabla 23, se reflejan los resultados que se obtuvieron en cada uno de los grupos de cilindros ensayados para cada prueba, haciendo una comparativa con el concreto base en la última columna.

Tabla 23. Resumen de los resultados promedios de cada prueba

Prueba	Nomenclatura	Edad (días)	Resistencia promedio (Kg/cm ²)	Aumento respecto a al concreto base (%)
Resistencia a la compresión simple	CONCB	7	147.61	-
	CONCR6		160.99	9.06
	CONCR10		177.79	20.45
	CONCA6		168.96	14.47
	CONCA10		170.64	15.60
	CONCB	14	191.25	-
	CONCR6		202.22	5.73
	CONCR10		215.37	12.61
	CONCA6		206.26	7.85
	CONCA10		205.57	7.49
	CONCB	21	203.38	-
	CONCR6		239.39	17.71
	CONCR10		224.21	10.24
	CONCA6		227.92	12.07

	CONCA10		225.34	10.80
Resistencia a la compresión en cambios de temperatura	BASE	21	185.39	-
	ROJO 6		202.45	9.20
	ROJO 10		194.24	4.78
	AMARILLO 6		198.33	6.98
	AMARILLO 10		200.40	8.10
Resistencia a la compresión en cloruro de sodio	BASE	21	225.30	-
	ROJO 6		239.28	6.20
	ROJO 10		234.70	4.17
	AMARILLO 6		244.68	8.60
	AMARILLO 10		227.97	1.19
Resistencia a la abrasión			Material desprendido (%)	Material que permanece en el núcleo (%)
	BASE	21	52.34	47.66
	ROJO 6		40.82	59.18
	ROJO 10		46.00	54.00
	AMARILLO 6		49.62	50.38
	AMARILLO 10		45.00	55.00

7.2.5 Análisis de costos en comparación de un concreto pigmentado y un concreto normal con pintura de base agua

Tabla 24. Costos de insumos para elaboración de concreto pigmentado y concreto normal con pintura

Costo de elaboración de ciclovías de con concreto de 150 kg/cm² con adición de pigmento, análisis 1x0.10x0.80					Generador
Concepto	Unidad	Precio unitario	Rendimiento	Importe	
Concreto de 150 kg/cm ²	m3	\$ 3,370.25	0.08	\$ 269.62	
Pigmento en polvo de marca COMEX color rojo	Kg	\$ 84.50	1.37	\$ 115.88	
			Costo total	\$ 385.50	
Costo de elaboración de ciclovías con concreto de 150 kg/cm² con pintura de tipo termoplástica de color amarilla, análisis 1x0.10x0.80					
Concepto	Unidad	Precio unitario	Rendimiento	Importe	
Concreto de 150 kg/cm ²	m3	\$ 3,370.25	0.08	\$ 269.62	
Pintura roja base agua	Litro	\$ 100.00	0.27	\$ 26.67	
Cuadrilla para pintura	JOR	\$ 991.34	0.01	\$ 9.91	
Barredora	HRA	\$ 417.66	0.001	\$ 0.42	
Pintarraya marca SWEGA	HRA	\$ 556.57	0.15	\$ 83.49	
			Costo total	\$ 390.10	

Fuente: Elaboración propia

Estos precios son aproximados y pueden cambiar debido al cambio de costo de los insumos, cabe recalcar que, el concreto pigmentado, presenta un beneficio que impacta en los costos de mantenimiento, ya que al presentar un desgaste el color se presentará dentro del elemento, sin embargo, el concreto normal con pintura base agua, deberá de presentar un mantenimiento cada cierto periodo de tiempo.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo con las pruebas realizadas con mezclas de mortero en unión de pigmentos, se tiene que la resistencia se ve disminuida en bajo % respecto un mortero normal, es importante revisar más pruebas en relación con la durabilidad de los concretos hidráulicos propuestos para pavimentos. Así mismo, aunque una mezcla contenga un bajo % de peso de pigmento con relación a los demás elementos, presentan una coloración notable, lo cual puede ser utilizado en diversos elementos de las vías terrestres y como un proceso de construcción más práctico y con menos mantenimiento ya que el color está integrado en todo el elemento.

En esta investigación se estudiaron diversas características de los concretos, haciendo una comparación entre un concreto normal y concretos pigmentados o coloreados, de color rojo y amarillo. Los resultados muestran que el uso de pigmentos en mezclas de concreto no afecta su capacidad de resistencia a la compresión en comparación con una mezcla normal sin pigmento, al contrario, se demostró que, en la capacidad de resistencia a compresión, tanto como en simple y en cambios de temperatura, el concreto normal presenta las menores resistencias, mientras que, las resistencias más altas se obtuvieron de la mezcla de color rojo con 6% de pigmento. Estos parámetros son de vital importancia, para que, al momento de emplear esta propuesta en los pavimentos, cumplan con la calidad solicitada. Por otro lado, en la resistencia a la abrasión las características de los concretos pigmentados, presentan menor material desprendido de los especímenes, por lo que, el concreto base presenta la menor resistencia al desgaste.

Así mismo, se demostró que las características evaluadas de durabilidad dependerán también del color del pigmento empleado en la mezcla, por lo que al usarse otro tipo de color podría diferir en los resultados obtenidos. Al concluir esta investigación se demuestra que el pigmento es un elemento que no afecta las mezclas de concreto, ya que todas las mezclas pigmentadas presentaron mejores características que el concreto base.

La trabajabilidad del concreto es otro término importante, el cual, en esta investigación se encontró que el revenimiento de las mezclas pigmentadas presentó resultados mayores, 20 cm el más alto en una mezcla de concreto color amarillo con 10% de pigmento, mientras que el concreto base presentó un revenimiento de 11.5, lo cual, las mezclas pigmentadas presentan una mejor trabajabilidad.

Al hacer la comparativa de las mezclas respecto a los resultados individuales que se tuvieron de cada una de las pruebas, en cada una de ellas se obtuvieron distintas resistencias, sin embargo, la mezcla que presentó mejores características fue la de concreto pigmentado de color rojo con 6%, tomando en cuenta las pruebas de resistencia a la compresión simple a una edad de 21 días, resistencia a la compresión en cambios de temperatura y resistencia a la abrasión, en estos ensayos mencionados obtuvo la mayor resistencia.

Se debe destacar que las mezclas de concreto pigmentado presentan una coloración no sólo superficial, si no también interna, lo cual es un beneficio, debido a que al presentarse estos elementos ante algún tipo de desgaste seguirán presentando el color con el que fueron construidos, sin embargo, es importante recalcar que esto sólo se verá en la mezcla fina, debido a que el agregado grueso no presenta una coloración interna. También se debe mencionar que el grado de color que se pretende alcanzar dependerá del color de los agregados pétreos, así como del color del cemento.

Para llegar a esta coloración, se debe tomar en cuenta, que al usar más del 10% de pigmento en las mezclas de concreto ya no se encontrará un cambio en el color.

Las temperaturas ambientes en México, de acuerdo con Conagua, se encuentran en un máximo de 50 °C, por lo que al elevar la temperatura en la prueba de resistencia a la compresión hasta 200 °C estamos sobre elevando el concreto para conocer su capacidad de resistencia. Los % de pigmento propuesto sobre la mezcla se debe a la indicación de la marca, ya que la empresa COMEX, recomienda en su empaque del 1 al 8% de pigmento sobre peso del cemento, sin embargo, para esta investigación se planteó el 6 y el 10% para conocer los parámetros de resistencia y la coloración integrada al concreto de cada pigmento.

Al realizar la investigación de mercado respecto a los precios empleados en un concreto base con adición de pintura comparado con el concreto pigmentado, resultan precios similares, sin embargo, se debe de recalcar que el concreto pigmentado presenta coloración interna por lo que al estar expuesto al desgaste no perderá su capacidad de color, mientras que el concreto normal requiere mayores costos de mantenimiento.

Es importante marcar la aportación al conocimiento científico acerca de la durabilidad de los concretos pigmentados, específicamente en el país de México. Verificando distintos tipos de mezclas con pigmentos de distintos colores de acuerdo con colores utilizados en señalamiento horizontal revisado en normativa 17-NOM-034-SCT-2-2003, se propone como color de estudio el rojo y amarillo, el primero para ser usados en pasos peatonales mientras que el color amarillo es usado en marcas de bordillos y rayas continuas. Para poder caracterizar los efectos de durabilidad que presenten cada uno en el concreto. Se obtendrá una comparación entre los resultados de color en cada una de las pruebas propuestas de acuerdo con concretos normales y concretos pigmentados.

8.1 LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

- Aplicar las pruebas investigadas en otros colores de pigmentos para conocer sus características en las mezclas de concreto.
- Ensayar nuevas pruebas específicas para la calidad del concreto en mezclas pigmentadas.
- Investigar los componentes químicos de los pigmentos.

- Aplicar estas pruebas para otros elementos aparte de los pigmentos, como lo son residuos de los vehículos (aceites, gasolina, entre otros).
- Implementar nuevas relaciones agua/cemento en mezclas de concreto con adición de pigmento.

9. BIBLIOGRAFÍA

- 17-NOM-034-SCT-2-2003, S. (2003). Señalamiento Horizontal y Vertical de Carreteras y Vialidades Urbanas.
- Al-Assadi, G., Casati, M., Fernández, J., & Gálvez, J. C. (2009). Evaluación del deterioro del hormigón sometido a ciclos hielo-deshielo. *Anales de la mecánica de la fractura 26, vol 2*, 472-477.
- Alexander, M., & Mindess, S. (2005). *Aggregates in Concrete*. London: CRC Press.
- ASTM C109/C109M - 02. (2002). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars.
- ASTM C150-07. (2007). Historical Standard: Especificación Normalizada para Cemento Portland.
- ASTM C33/C33M-16. (2016). Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C39/C39M-01. (2001). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C535-03. (2003). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.
- ASTM C666/666M-03. (2003). Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing.
- ASTM C979/C979M - 16. (2016). Standard specification for pigments for integrally colored concrete.
- ASTM-C125-13. (2013). Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates.

- Ata , O. (2014). Effects of Different Sources of Water on Concrete Strength: A Case Study of Ile-Ife . *Civil and Environmental Research*, vol 6, 39-43.
- Bao, J., Yu, Z., Wang, L., Zhang, P., Wan, X., Gao, S., & Zhao, T. (2021). Application of ferronickel slag as fine aggregate in recycled aggregate concrete and the effects on transport properties. *Journal of cleaner production*, 127149.
- Bertolini, L., & Lollini, F. (2011). Effects of weathering on colour of concrete paving blocks. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 15, 939 - 957.
- Cal y Major R., R., & Cárdenas G. , J. (1994). *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones* . México: Alfaomega S.A. de C.V.
- Carvalho, F. (14 de Mayo de 2002). Simpósio internacional sobre concretos especiales. *Estructuras de hormigón coloreado*. Brasil.
- Carvalho, F. (2002). Simpósio internacional sobre concretos especiales. aa. Brasil, Brasil.
- Castañeda Valdés, A., Días Brito, N., Gonzáles Mellor, E., Martínez Hernández , M., & Corvo Pérez, F. (2005). Influencia de la penetración de Iones Cloruros en el Hormigón Armado a diferentes relaciones Agua/Cemento y Condiciones de Exposición. *CENIC Ciencias Químicas*, vol 36.
- CEMEX, C. (2020). *Concretos Mexicanos S.A.* Obtenido de Concretos Mexicanos S.A.: <https://www.cemexmexico.com/>
- Chan Yam, J., Solís Carcaño, R., & Moreno, É. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería*, vol. 7, 39-46.
- Chatveera , B., Lertwattanakul , P., & Makul, N. (2006). Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete. *Cement and concrete composites*, vol 28, 441-450.
- Cheikh, Z., & Mohammed, B. (2020). Comparison between physical–mechanical properties of mortar made with Portland cement (CEMI) and slag cement (CEMIII) subjected to elevated temperature. *Case Studies in Construction Materials*, vol 2, e00339.
- Chindaprasirt, P., Sujumnongtokul, P., & Posi, P. (2019). Durability and Mechanical Properties of Pavement Concrete Containing Bagasse Ash. *Materials Today: proceedings* 17, 1612-1626 .
- CONAGUA, C. (Septiembre de 2022). *Servicio Meteorológico Nacional*. Obtenido de <https://smn.conagua.gob.mx/es/>

- Craeye, B., Tielemans, T., Lauwereijssens, G., & Stoop, J. (2013). Effect of super absorbing polymers on the freeze–thaw resistance of coloured concrete roads. *Road Materials and Pavement Design*, 14, 90-106.
- Denet, M., Karatas, M., & Mohabbi, M. (2021). High temperature resistance of self compacting alkali activated slag/portland cement composite using lightweight aggregate. *Construction and building materials*, vol 290, 123250.
- Díaz, S., Forero, Á., & Restrepo, O. J. (2010). Hematita especular como pigmento natural en pinturas industriales. *PROSPECTIVA*, vol 8, 71-76.
- Eskandari, H., Nik, M. G., & Eidi, M. M. (2016). Prediction of Mortar Compressive Strengths for Different Cement Grades in the Vicinity of Sodium Chloride Using ANN. *Procedia Engineerin*, vol 150, 2185-2192.
- Group, C. (2013). *Comex Group - Deconkret básico color para cemento*. Obtenido de <https://www.comex.com.mx/>
- Güçlüer, K., Özbeyaz, A., Göymen, S., & Günaydın, O. (2021). A comparative investigation using machine learning methods for concrete compressive strength estimation. *Materialstoday communications*, vol 27, 102278.
- Guevara Fallas, G., Hidalgo Madrigal, C., Pizarro García, M., Rodríguez Valenciano, I., Rojas Vega, L., & Segura Guzmán, G. (2012). Efecto de la variación agua/cemento en el concreto. *Tecnología en Marcha*, vol 25, 80-86.
- Gutierrez de López , L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Colombia sede manizales: Universidad nacional de colombia.
- H. Ayuntamiento de Querétaro. (2018 - 2021). *Plan municipal de desarrollo* . Querétaro, México.
- Hospodarova, V., Junak, J., & Stevulova, N. (2015). Color Pigments in Concrete and Their Properties. *Pollack Periodica*, 10, 143-151.
- Kardos, A., & Durham, S. (2015). Strength, durability, and environmental properties of concrete utilizing recycled tire particles for pavement applications. *Construction and Building Materials*, 98, 832-845.
- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W., & Tanesi , J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto* . México: Portland Cement Association.
- López L., L., Leyva, E., & García de la Cruz, R. (2011). Las naftoquinonas: más que pigmentos naturales. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, vol 42, 6-17.
- Martínez Ángeles, H. (Marzo de 2020). Manual de prácticas - Laboratorio de Ingeniería de Materiales - PLAN ING14. Querétaro, Querétaro, México.

- Maruthachalam, D., Shyamala, G., Sugunadevi, M., Plato Gandh , M., & Rajesh Kumar, K. (2020). Experimental Investigation of Different Color Pigments on Concrete. *International Journal of Scientist & Technology Research*, 9, 2382-2384.
- Mather, B., & Ozyildirim, C. (2004). *Cartilla del concreto*. México: Instituto mexicano del cemento y del concreto, A.C.
- Muciño, A., Vargas, S., Pérez, N., Bucio , L., & Orozco , E. (2021). The influence of fine aggregates on Portland cement mortar compressive strength. *Results in materials*, vol 10, 100182.
- N-CMT-2-02-002/02 (SCT). (2002). Características de los materiales - Materiales para estructuras - Materiales para concreto hidráulico - Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico.
- N-CMT-2-02-003/02 (SCT). (2002). Características de los materiales - Materiales para estructuras - Materiales para concreto hidráulico - Calidad del Agua para Concreto Hidráulico .
- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto*. México, D.F. : Publicaciones IMCYC.
- Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- NMX-C-030-ONNCCE-2004. (2004). Industria de la construcción - Agregados - Muestreo.
- NMX-C-061-ONNCE-2010. (2010). Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Determinación de la resistencia a la compresión de cementantes hidráulicos .
- NMX-C-170-ONNCCE-1997. (1997). Industria de la Construcción – Agregados – Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo al Tamaño Requerido para los ensayos.
- NMX-C-403-ONNCCE-1999. (1999). Industria de la construcción concreto hidráulico para uso estructural.
- NMX-C-414-ONNCCE-2014. (2014). Industria de la construcción - Cementos hidráulicos - Especificaciones y métodos de prueba.
- Pacheco, J. N., de Brito, J., Chastre, C., & Evangelista, L. (2021). Bond of recycled coarse aggregate concrete: Model uncertainty and reliability-based calibration of design equations. *Engineering structures*, vol 239, 112290.
- Ramezani pour, A., Mohammadi, A., Riahi Dehkordi, E., & Bagheri Chenar, Q. (2017). Mechanical properties and durability of roller compacted concrete

pavements in cold regions. *Construction and building materials*, vol 146, 260 - 266.

Ramírez de Alba , H., Vera Noguez , R., & Mejía López , M. (2010). Materiales cementantes y concretos en las antiguas culturas americanas. *Ingeniería*, vol. 14 núm 1 ISSN: 1664-529X, 67-74.

Ray, S., Haque, M., Sakib, M. N., Mita, A. F., Masnum Rahman, M. D., & Tanmoy, B. B. (2021). Use of ceramic wastes as aggregates in concrete production: A review. *Journal of building engineering*, vol 43 , 102567.

Reyes Oloño, J., & Hernández Zaragoza , J. (2018). Análisis del desgaste de las estructuras de concreto expuestas a cloruro de sodio. *Vías Terrestres*, 55, 20 - 28.

Roque Paredes, C., & Ochoa Luna, R. (1991). Pigmentos y temperatura. *Revista De Química*, vol 5, 131-140.

Roy , S., Miura, T., Nakamura, H., & Yamamoto, Y. (2018). Investigation on applicability of spherical shaped EAF slag fine aggregate in pavement concrete – Fundamental and durability properties. *Construction and Building Materials*, 192, 555 - 568.

Sabău, M., Bompa, D. V., & Silva, L. F. (2021). Comparative carbon emission assessments of recycled and natural aggregate concrete: Environmental influence of cement content. *Geoscience frontiers*, vol 12, 101235.

Sadasivam, S., & Thomas, H. (2016). Colour and toxic characteristics of metakaolinite–hematite pigment for integrally coloured concrete, prepared from iron oxide recovered from a water treatment plant of an abandoned coal mine. *Journal of Solid State Chemistry*, 239, 246 - 250.

Sahoo, A., & Kar, B. (2021). Water absorptivity and its impact on various properties of the concrete materials. *Materials Today: Proceedings*.

Sahoo, S., Parhi, P., & Panda , B. (2021). Durability properties of concrete with silica fume and rice husk ash. *Cleaner engineering and technology*, vol 2 , 100067.

Salaverry García, O. (1998). *Pigmentos naturales quinónicos*. Odín del Pozo: UNMSM.

Santamaría Díaz, N., Yamín Lacouture, L., & Arcila López, C. (2006). Resistencia a los cloruros en el concreto adicionado con escoria de alto horno. *Revista de ingeniería*, vol 23, 48-57.

Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2002). M-MMP-4-006/02. Métodos de muestreo y prueba de materiales - Materiales para pavimentos - Materiales pétreos para mezclas asfálticas - Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas. México.

- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2004). M-MMP-2-02-058/04. Métodos de muestreo y prueba de materiales - Materiales para estructuras - Materiales para concreto hidráulico - Resistencia a la compresión simple de cilindros de concreto. México.
- Secretaría de Comunicaciones y Transporte. (2006). M-MMP-2-02-055/06 (SCT). Métodos de muestreo y prueba de materiales - Materiales para estructuras - Materiales para concreto hidráulico - Muestreo de Concreto Hidráulico. México.
- Sharafati, A., Asadollah, S., & Al-Ansari, N. (2021). Application of bagging ensemble model for predicting compressive strength of hollow concrete masonry prism. *Ain Shams Engineering Journal*.
- Siddique, R., & Kaur, D. (2012). Properties of concrete containing ground granulated blast furnace slag (GGBFS) at elevated temperatures. *Journal of Advanced Research*, vol 3, 45 - 51.
- Syarif, M., Sampebulu, V., Wihardi Tjaronge, M., & Nasruddin. (2018). Characteristic of compressive and tensile strength using the organic cement compare with portland cement. *Case studies in construction materials*, vol 9, e00172.
- Van Danme, H. (2018). Concrete material science: Past, present, and future innovations. *Cement and concrete research*, vol 112, 5 - 24 .
- Vidaud, E. (2013). De la historia del cemento. *Construcción y tecnología en concreto* , 20-24.
- Winkler, J. (2012). *Dispersing Pigments and Fillers* . Hanover, Germany: William Andrew Pub.
- Xiong, L.-x., & Yu, L.-j. (2015). Mechanical properties of cement mortar in sodium sulfate and sodium chloride solutions. *Journal of Central South University*, vol 22, 1096-1103.
- Yildirim, K., & Sümer, M. (2013). Effects of sodium chloride and magnesium sulfate concentration on the durability of cement mortar with and without fly ash. *Composites part B: Engineering*, vol 52, 56-61.
- Yildizel, S., Calis, G., & Tayeh, B. (2020). Mechanical and durability properties of ground calcium carbonate-added roller-compacted concrete for pavement. *Journal of Materials Research and Technology*, 9, 13341 - 13351.

10. ANEXOS

Tabla A - 1 Granulometría de la arena empleada en morteros

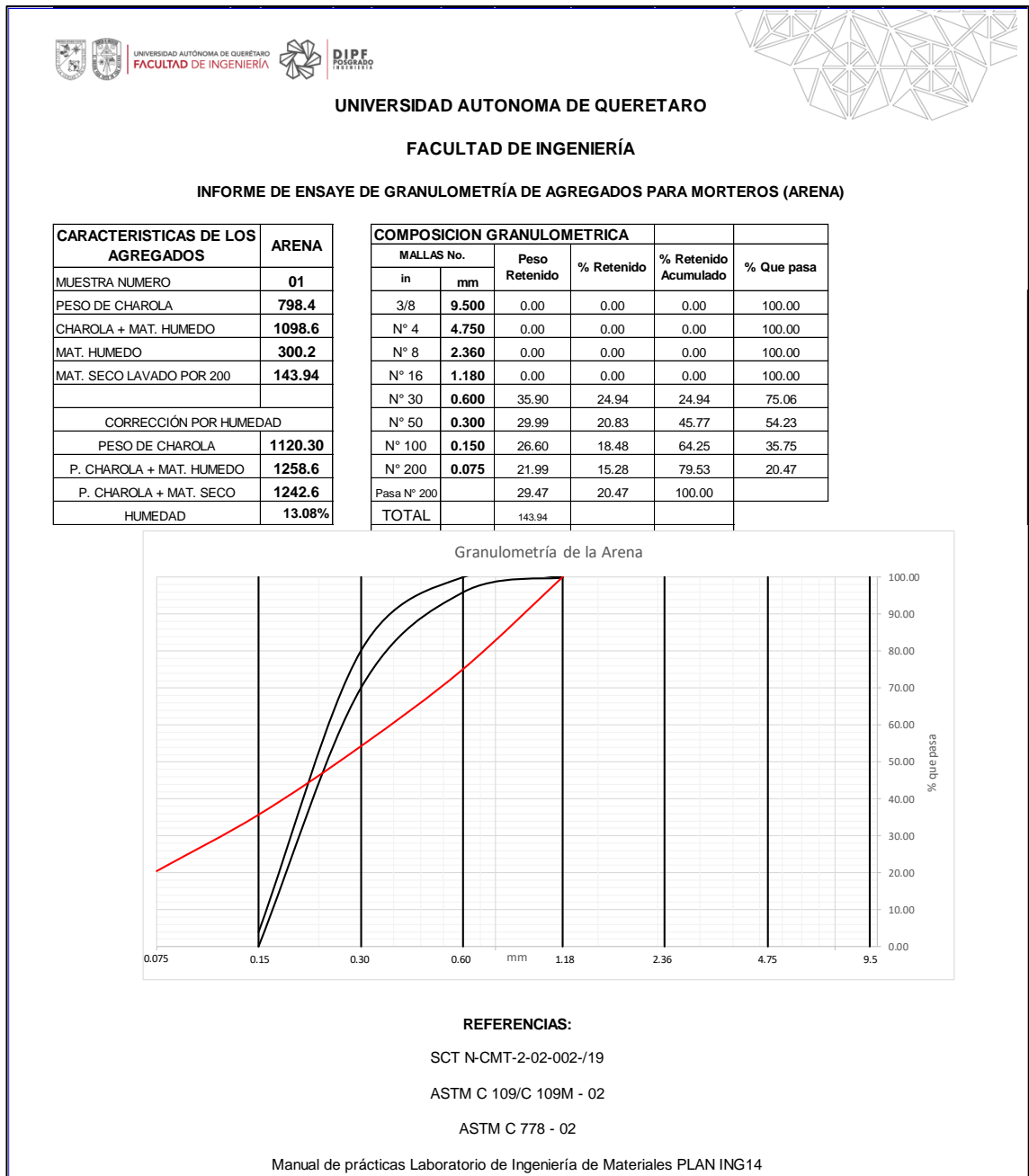


Tabla A - 2 Ensayo de fluidez en morteros


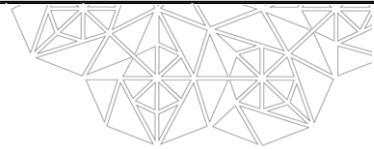

											
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO FACULTAD DE INGENIERÍA INFORME DE ENSAYE PRUEBA DE FLUIDEZ DEL MORTERO											
Debido a que el cemento empleado en la mezcla de mortero no es de tipo Cemento Portland Compuesto, la relación A/C se debe de proponer para encontrar una fluidez de $110 \pm 5\%$											
$\% \text{ Fluidez} = \frac{\text{Diámetro promedio (4 mediciones)} - \text{Diámetro inicial (Molde)}}{\text{Diámetro inicial (Molde)}}$					Diam. Inicial 101.38						
Mezcla 1 (Mortero base)		Mezcla 2 (Mortero rojo al 6%)		Mezcla 3 (Mortero rojo al 10%)		Mezcla 4 (Mortero amarillo al 6%)		Mezcla 5 (Mortero amarillo al 10%)			
Dosificación		Dosificación		Dosificación		Dosificación		Dosificación			
Arena	1375	gr	Arena	1375	gr	Arena	1375	gr	Arena	1375	gr
Cemento	500	gr	Cemento	500	gr	Cemento	500	gr	Cemento	500	gr
Agua	575	mL	Agua	575	mL	Agua	575	mL	Agua	575	mL
Pigmento	-	gr	Pigmento	30	gr	Pigmento	50	gr	Pigmento	30	gr
FLUIDEZ											
Número	Diámetro	Promedio	Número	Diámetro	Promedio	Número	Diámetro	Promedio	Número	Diámetro	Promedio
1°	221		1°	227		1°	228		1°	229	
2°	224		2°	227		2°	225		2°	225	
3°	223		3°	229		3°	227		3°	227	
4°	229		4°	228		4°	228		4°	224	
		224.25			227.75			227			226.25
% Fluidez	121.20		% Fluidez	124.65		% Fluidez	123.91		% Fluidez	123.17	
De acuerdo con la aceptación de $110 \pm 5\%$ se tiene que;											
						Mezcla 2 (Mortero pigmentado 6%)			Mezcla 3 (Mortero pigmentado 10%)		
						Dosificación			Dosificación		
						Arena	1375	gr	Arena	1375	gr
						Cemento	500	gr	Cemento	500	gr
						Agua	575	mL	Agua	575	mL
						Pigmento	30	gr	Pigmento	50	gr
	Mezcla 1 (Mortero base)	Mezcla 2 (Rojo 6%)	Mezcla 3 (Rojo 10%)	Mezcla 4 (Amarillo 6%)	Mezcla 5 (Amarillo 10%)						
% Fluidez	121.20	124.65	123.91	123.17	123.17						
Excedent	6.20	9.65	8.91	8.17	8.17						
REFERENCIAS:											
ASTM C 230											
Manual de prácticas Laboratorio de Ingeniería de Materiales PLAN ING14											

Tabla A - 3 Informe de resistencias a compresión de morteros

						
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE QUERETARO FACULTAD DE INGENIERÍA INFORME DE RESISTENCIAS EN COMPRESIÓN DE MORTEROS (CUBOS)						
Mortero Rojo 6%						
N° de espécimen	Peso seco	Peso húmedo	Carga máxima a 3 días (kN)	Carga máxima a 7 días (kN)	Resistencia a la edad a 3 días (kN/cm²)	Resistencia a la edad a 7 días (kN/cm²)
1	225.5	230.7	3641.35		145.65	
2	228.8	234.1	1274.63		50.99	
3	228.1	233	1274.63		50.99	
4	225.8	231.7		1701.88		68.08
5	223.8	229.9		3095.81		123.83
6	228.2	234.1		1821.18		72.85
Mortero Base (Sin Pigmento)						
7	232.3	237.5	1365.38		54.62	
8	231.1	240.9	1365.38		54.62	
9	235.8	236.1	1092.10		43.68	
10	235.7	241.7		1821.18		72.85
11	237.1	243.1		2094.46		83.78
12	227.5	233.5		2002.69		80.11
Mortero Rojo 10%						
13	221.8	227.8	963.12		38.52	
14	224.7	230.7	890.00		35.60	
15	223.4	228.8	819.49		32.78	
16	223	225.6		3004.04		120.16
17	224	229.9		1729.41		69.18
18	219.4	228.9		1729.41		69.18
Mortero Amarillo 6%						
19	230.5	236.2	1183.87		47.35	
20	236.4	242.4	1365.38		54.62	
21	230.4	236	1274.63		50.99	
22	234.5	240.6		1547.90		61.92
23	230.6	236.3		1638.66		65.55
24	235.1	241.2		1274.63		50.99
Mortero Amarillo 10%						
25	234	239.6	1216.50		48.66	
26	226.1	231.6	1092.10		43.68	
27	232.8	238.5	1183.87		47.35	
28	235.9	241.8		1729.41		69.18
29	234.9	241.1		1821.18		72.85
30	228.9	234.6		1911.94		76.48

Edad ensayada	PROMEDIOS (kN/cm²)				
	Base	Rojo 6%	Rojo 10%	Amarillo 6%	Amarillo
3 días	50.97	50.99	35.63	50.99	46.57
7 días	78.91	70.46	69.18	59.48	72.83

REFERENCIAS:
ASTM C 230
Manual de prácticas Laboratorio de Ingeniería de Materiales PLAN ING14