



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ
FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y ARQUITECTURA

CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
INFORME FINAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO CIVIL

MODALIDAD: PROYECTO INVESTIGACIÓN

TEMA:

**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS AGREGADOS PARA
PAVIMENTO RÍGIDO, PROVENIENTES DE DISTINTOS YACIMIENTOS DE
LA ZONA MANTA – MONTECRISTI, MANABÍ, MEDIANTE ENSAYOS DE
LABORATORIO.**

ELABORADO POR:

KENNECK PAUL MIELES ZAMBRANO

TUTOR

ING. JORGE EDUARDO GARCÍA ARGANDOÑA

MANTA – MANABÍ – ECUADOR

Mayo 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

Como tutor académico de la carrera de Ingeniería civil en la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico lo siguiente:

He supervisado y orientado la elaboración del trabajo de titulación, completando un total de 384 horas, bajo la modalidad de **Proyecto de Investigación**. El tema del proyecto se titula "**EVALUACIÓN COMPARATIVA DE LOS AGREGADOS PARA PAVIMENTO RÍGIDO, PROVENIENTES DE DISTINTOS YACIMIENTOS DE LA ZONA MANTA – MONTECRISTI, MANABÍ, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO.**". Este proyecto ha sido desarrollado conforme a los lineamientos internos de la mencionada modalidad, y ha cumplido con los requisitos establecidos por el Reglamento de Régimen Académico. Por lo tanto, **certifico** que el proyecto mencionado posee los méritos académicos, científicos y formales necesarios para ser evaluado por el tribunal de titulación designado por la autoridad competente.

La autoría del tema desarrollado corresponde a Kenneck Paul Mieles Zambrano, estudiante de la carrera de Ingeniería civil, período académico 2025 (2), quien se encuentra apto para la sustentación de su trabajo de titulación.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes.

Manta, 29 de mayo de 2026.

Lo certifico,



Ing. Jorge Eduardo Garcia Argandoña, Mgs.

C.C. 130756406-0

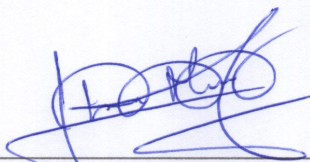
Tutor

DECLARACIÓN DE AUTORIA

Yo, Kenneck Paul Mieles Zambrano con CC: 131348399-0, doy constancia de ser el autor del Trabajo de Titulación con modalidad Proyecto de investigación con el tema " **EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON AGREGADOS DE DIVERSOS YACIMIENTOS DE LA ZONA DE MANTA - MONTECRISTI, MANABÍ, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO.**", el cual fue dirigido por el tutor, Ing. Jorge Eduardo García Argandoña, Mgs.

Quiero resaltar la originalidad de este trabajo, que se fundamenta en la contribución de varios autores que enriquecieron la investigación, así como en la recopilación de datos e información provenientes de fuentes bibliográficas, visitas de campo, entre otros recursos.

En la ciudad de Manta, a los 30 días del mes de enero de dos mil veinte y cinco.



Kenneck Paul Mieles Zambrano

C.C. 131348399-0

Autor

CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

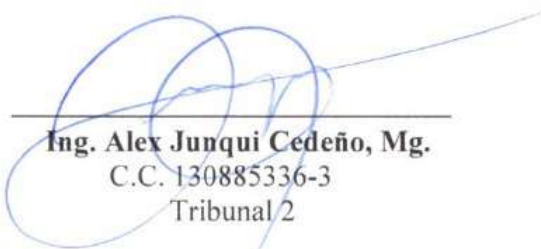
En calidad de tribunales de la Facultad de Ingeniería, Industria y Arquitectura de la Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, certifico:

Haber revisado el trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto de Investigación, cuyo tema es " " **EVALUACIÓN COMPARATIVA DEL HORMIGÓN PARA PAVIMENTO RÍGIDO CON AGREGADOS DE DIVERSOS YACIMIENTOS DE LA ZONA DE MANTA - MONTECRISTI, MANABÍ, MEDIANTE ENSAYOS DE LABORATORIO.**" internos de la modalidad en mención y en apego al cumplimiento de los requisitos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico, por tal motivo APRUEBO, que el mencionado proyecto reúne los méritos académicos, científicos y formales, suficientes para proceder a la defensa correspondiente.

Certifico lo anterior para los fines pertinentes, a salvo disposición de Ley en contrario. En la ciudad de Manta, a los 29 días del mes de mayo de dos mil veinte y seis.



Ing. Efren Loor Loor, Mg.
C.C. 131315776-8
Tribunal 3



Ing. Alex Junqui Cedeño, Mg.
C.C. 130885336-3
Tribunal 2



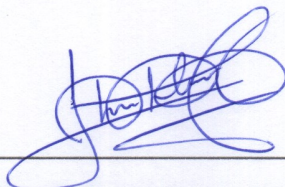
Arq. Jacqueline Dominguez Gutierrez, Mg.
C.C. 096002232-5
Tribunal 1

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo de titulación en primer lugar a Dios por brindarme la salud, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa de mi vida.

A mis padres, Mieles Paul, Zambrano Lorena, por ser el pilar fundamental en este camino, por su apoyo, sacrificio y motivación constante que me impulsaron a lograr esta meta.

A mis familiares, a quienes agradezco por apoyarme de una u otra forma a lo largo de este proceso.



Kenneck Paul Mieles Zambrano

C.I 1313483990

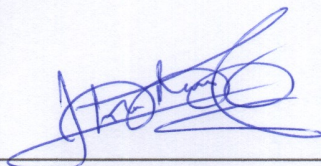
Autor

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la salud y la fortaleza para culminar esta etapa.

A mis padres, Mieles Paul y Zambrano Lorena, por su apoyo constante y por motivarme a seguir adelante. Gracias a su decisión de haber migrado, me fue posible alcanzar este logro.

Por último, agradezco a mi compañero Mera Andrade Alexis por ayudarme en el desarrollo de este trabajo de titulación.



Kenneck Paul Mieles Zambrano

C.I 1313483990

Autor

Resumen

La presente investigación evalúa de manera comparativa el comportamiento de los agregados destinados a pavimentos rígidos, provenientes de distintos yacimientos ubicados en la zona Manta–Montecristi, provincia de Manabí, mediante la realización de ensayos de laboratorio. El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental en el que se realizaron los ensayos de ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto (ASTM C39), el ensayo de desgaste por abrasión mediante la máquina de Los Ángeles (ASTM C131) y el ensayo de durabilidad frente al ataque por sulfatos (ASTM C88).

Los resultados obtenidos evidenciaron que el yacimiento A presenta un mejor desempeño en las propiedades físicas y mecánicas, mientras que el yacimiento B mostro mayor resistencia frente al desgaste por sulfato.

Abstract

This research comparatively evaluated the performance of aggregates used for rigid pavements obtained from different quarries located in the Manta–Montecristi area, Manabí Province, through laboratory testing. The study was conducted under an experimental approach, in which the compressive strength test of concrete cylinders (ASTM C39), the Los Angeles abrasion test (ASTM C131), and the sulfate soundness test (ASTM C88) were performed.

The results showed that aggregates from Quarry A exhibited better performance in terms of physical and mechanical properties, while aggregates from Quarry B demonstrated greater resistance to sulfate-induced deterioration.

Índice de contenido

Dedicatoria.....	V
Agradecimiento.....	VI
Resumen.....	VII
Abstract.....	VIII
Índice de contenido	IX
Índice de tablas	XII
Índice de figuras.....	XIV
1 Capítulo I: Introducción.....	17
1.1 Diseño teórico	17
1.1.1 Problema de la investigación	17
1.1.2 Objeto de la investigación.....	17
1.1.3 Campo de acción.....	17
1.1.4 Hipótesis de la investigación	18
1.1.5 Objetivo general.....	18
1.1.6 Objetivos específicos	18

1.1.7	Tareas de investigación.....	19
2	Capítulo II: Marco teórico	22
2.1	Antecedentes	22
2.2	Pavimentos rígidos.....	24
2.3	Hormigón de cemento hidráulico para pavimentos	25
2.3.1	Componentes del hormigón	25
2.3.2	Propiedades del hormigón relevantes para pavimento rígidos	26
2.4	Agregados para hormigón en la zona de manta/Montecristi	27
2.4.1	Clasificación y fuentes de agregados	27
2.4.2	Propiedades físicas y mecánicas	27
2.5	Ensayos de laboratorio para la evaluación del hormigón y agregados	29
2.5.1	Ensayo de granulometría.....	30
2.5.2	Ensayo de densidad y absorción	30
2.5.3	Ensayo de Desgaste de Los Ángeles.....	30
2.5.4	Ensayo de Sanidad de los Agregados por Sulfatos.....	32
2.5.5	Ensayo de Resistencia a la Compresión del Hormigón	32

3	Capítulo III: Metodología	33
3.1	Diseño Metodológico.....	33
3.2	Cemento	33
3.3	Agregados	34
3.3.1	Yacimiento A	34
3.3.2	Yacimiento B	35
3.4	Sulfato	37
3.5	Ensayos de laboratorios del hormigón y sus materiales	38
3.5.2	Ensayos de propiedades de los agregados	38
3.5.3	Peso específico y absorción	48
3.5.4	Contenido humedad	48
3.5.5	Peso unitario.....	50
3.5.6	Abrasión Los Ángeles.....	50
3.5.7	Resistencia a sulfatos en agregados	51
3.5.8	Ensayos del hormigón fresco y endurecido para pavimento rígido	54
4	Capítulo IV Análisis e interpretación de resultados.	61

4.1	Análisis comparativo general de resultados.....	61
4.2	Análisis del asentamiento del hormigón.....	61
4.3	Análisis de agregados por desgaste a la abrasión por máquina de Los Ángeles 62	
4.4	Análisis de agregados por desgaste a sulfatos	63
4.5	Análisis por resistencia a compresión del hormigón	65
4.6	Discusión.....	66
4.7	Conclusiones y recomendaciones	68
4.7.1	Conclusiones	68
4.7.2	Recomendaciones	70
5	Bibliografía	71
6	Anexos	74

Índice de tablas

Tabla 2-1	Límites de Desgaste de Los Ángeles para Agregados de Pavimento.....	31
Tabla 3-1	Propiedades del sulfato	37

Tabla 3-2 Propiedades físicas del cemento Holcim Fuerte Tipo GU	38
Tabla 3-3 Datos del ensayo de granulometría de la arena homogenizada del yacimiento A.....	39
Tabla 3-4 Resultados del ensayo granulométrico de la arena homogenizada.....	40
Tabla 3-5 Datos del ensayo de granulometría de la arena fina del yacimiento A.....	41
Tabla 3-6 Resultados del ensayo granulométrico de la arena fina.....	42
Tabla 3-7 Datos del ensayo de granulometría del agregado grueso del yacimiento A	42
Tabla 3-8 Resultado del ensayo	43
Tabla 3-9 Datos del ensayo de granulometría de la arena homogenizada del yacimiento B	44
Tabla 3-10 Resultado del ensayo	45
Tabla 3-11 Datos del ensayo de granulometría de la arena fina del yacimiento B.....	46
Tabla 3-12 Resultado del ensayo	47
Tabla 3-13 Datos del ensayo de granulometría de agregado grueso del yacimiento B ...	47
Tabla 3-14 Resultado del ensayo	48
Tabla 3-15	49
Tabla 3-16 Contenido de humedad del yacimiento B.....	49

Tabla 3-17 Resumen del ensayo de abrasión de los ángeles del yacimiento A	50
Tabla 3-18 Resumen del ensayo de abrasión de los ángeles del yacimiento B	51
Tabla 3-19 Resultados de los 5 ciclos del ensayo del yacimiento A	53
Tabla 3-20 Resultados de los 5 ciclos del ensayo en la cantera B	54
Tabla 3-21 Resumen de las proporciones de los materiales del yacimiento A.....	55
Tabla 3-22 Resumen de las proporciones de los materiales del yacimiento B.....	56
Tabla 3-23 Resistencia a compresión del yacimiento A, a diferentes edades de curado .	59
Tabla 3-24 Resistencia a compresión del yacimiento B, a diferentes edades de curado .	60
Tabla 4-1 Asentamiento del hormigón de ambos yacimientos	61
Tabla 4-2 Pérdida por desgaste Los Ángeles (ASTM C131).....	63
Tabla 4-3 Pérdida ponderada por solidez a sulfatos (ASTM C88).....	64
Tabla 4-4 Evolución comparativa de resistencia a compresión.....	65

Índice de figuras

Figura 2-1 Estructura típica de un pavimento rígido	24
Figura 2-2 Máquina de abrasión de los Ángeles.....	31

Figura 3-1	Vista General de la cantera A y extracción del agregado	34
Figura 3-2	Vista general del yacimiento B y extracción de la arena homogenizada.....	35
Figura 3-3	Vista general del Yacimiento B y extracción de la arena fina	36
Figura 3-4	Vista general del yacimiento B y extracción del agregado grueso	37
Figura 3-5	Curva de granulométrica del agregado arena h. del yacimiento A	40
Figura 3-6	Curva de granulométrica del agregado arena fina, cantera A	41
Figura 3-7	Curva de granulométrica del agregado grueso del yacimiento A	43
Figura 3-8	Curva de granulométrica del agregado arena h. del yacimiento B	45
Figura 3-9	Curva de granulométrica del agregado arena fina, cantera B	46
Figura 3-10	Curva de granulométrica del agregado grueso, cantera B	48
Figura 3-11	Revisión de la gravedad específica de la solución.....	51
Figura 3-12	Preparación para comenzar el primer ciclo del yacimiento A	52
Figura 3-13	Preparación para comenzar el primer ciclo de la cantera B.....	54
Figura 3-14	Elaboración de cilindros del yacimiento A.....	56
Figura 3-15	Elaboración de cilindros del yacimiento B	57
Figura 3-16	Ensayo de asentamiento de ambos yacimientos	58

Figura 3-17 Proceso de curado del yacimiento A.....	58
Figura 3-18 Proceso de curado del yacimiento B.....	59
Figura 4-1 Comparación del asentamiento (slump) de mezclas de hormigón con agregados de ambos yacimientos.....	61
Figura 4-2 Comparación de pérdida por abrasión Los Ángeles	63
Figura 4-3 Comparativa de pérdida por solidez a sulfatos entre yacimientos (ASTM C88).....	64
Figura 4-4 Curvas de evolución resistencia a compresión	66

1 Capítulo I: Introducción

1.1 Diseño teórico

1.1.1 Problema de la investigación

La calidad del hormigón es fundamental para la durabilidad y el rendimiento de los pavimentos rígidos en Manta, Manabí. Un factor clave en esta calidad son los agregados. A pesar de que la provincia cuenta con múltiples yacimientos, existe la necesidad de determinar cuál de estas fuentes locales ofrece los agregados más adecuados para producir un hormigón con las mejores propiedades. La falta de una evaluación comparativa explícita de los agregados de estas distintas fuentes deja una incertidumbre sobre cómo la variabilidad de su origen impacta en la resistencia y durabilidad del hormigón.

1.1.2 Objeto de la investigación

Desarrollar una evaluación comparativa del desempeño del hormigón a compresión (ASTM C39) y la durabilidad de los agregados por ensayo de solidez al sulfato de sodio (ASTM C88) y abrasión en máquina de Los Ángeles (ASTM C131), utilizando materiales de dos yacimientos de la zona Manta-Montecristi para identificar la fuente óptima de agregados para pavimento rígido.

1.1.3 Campo de acción

El campo de la presente investigación se centra en la evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón hidráulico para pavimento rígido, específicamente la resistencia a la compresión, y las propiedades de durabilidad de los agregados mediante ensayo de abrasión Los

Ángeles y solidez al sulfato de sodio. Esta evaluación se realiza en mezclas elaboradas con agregados de dos yacimientos de Manta-Montecristi, Manabí, aplicando métodos estandarizados por normas ASTM y NTE INEN.

1.1.4 Hipótesis de la investigación

La procedencia de los agregados de los yacimientos de Manta-Montecristi influye significativamente en el desempeño del hormigón a compresión y la durabilidad de los agregados por desgaste para pavimento rígido.

1.1.5 Objetivo general

Desarrollar una evaluación comparativa del desempeño a compresión del hormigón y la durabilidad de los agregados por desgaste, utilizando materiales de dos yacimientos de la zona Manta-Montecristi para un pavimento rígido.

1.1.6 Objetivos específicos

- Realizar la caracterización física de los agregados de dos yacimientos de Manta-Montecristi y determinar la dosificación óptima del hormigón para pavimento rígido mediante diseño experimental.
- Evaluar las propiedades mecánicas del hormigón a compresión y la durabilidad de los agregados mediante ensayos normalizados de desgaste por sulfato de sodio (ASTM C88) y abrasión Los Ángeles (ASTM C131).
- Comparar los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón y durabilidad de agregados (desgaste por sulfato y abrasión Los

Ángeles) con el fin de determinar cuál de ellos presenta un mejor desempeño para un pavimento rígido

1.1.6.1 Variable Independiente (VI):

- **Procedencia de los Agregados:** Se refiere al origen geográfico específico (yacimiento) de los agregados gruesos y finos utilizados en la elaboración de las mezclas de hormigón para pavimento rígido en Manta - Montecristi, Manabí. Cada yacimiento representa un nivel o valor diferente de esta variable.

1.1.6.2 Variables Dependientes (VD):

- **Resistencia a la Compresión del Hormigón:** Medida de la capacidad del hormigón endurecido para soportar cargas axiales, expresada en megapascuales (MPa) o kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2), determinada mediante el ensayo de compresión de probetas cilíndricas (ASTM C39)
- **Pérdida por Desgaste Los Ángeles de Agregados:** Porcentaje de pérdida de masa de los agregados gruesos por abrasión e impacto, evaluado mediante ensayo en máquina de Los Ángeles (ASTM C131).
- **Pérdida por Solidez al Sulfato de Sodio de Agregados:** Porcentaje de pérdida de masa de los agregados tras ciclos de inmersión/secado en solución saturada, evaluado mediante ensayo de solidez (ASTM C88).

1.1.7 Tareas de investigación

Para la consecución de los objetivos específicos y la validación de las hipótesis planteadas, se llevarán a cabo las siguientes tareas de investigación:

1.1.7.1 Recopilación y Caracterización de Agregados:

- Identificar y seleccionar yacimientos representativos de agregados gruesos y finos en Manta-Montecristi, Manabí.
- Realizar el muestreo de los agregados de cada yacimiento (ASTM D75).
- Ejecutar ensayos de caracterización física: granulometría (ASTM C136), densidad y absorción (ASTM C127/C128).
- Diseñar las mezclas de hormigón para pavimento rígido, optimizando la dosificación de cada componente (cemento, agua, agregados) para cada tipo de agregado, según los requisitos de resistencia y trabajabilidad.

1.1.7.2 Elaboración de Probetas y Ensayos de Desempeño del Hormigón:

- Preparar mezclas de hormigón utilizando los agregados de cada yacimiento según dosificación diseñadas.
- Elaborar y curar probetas cilíndricas de hormigón de cada mezcla, conforme a ASTM C31
- Realizar ensayo de resistencia a la compresión de probetas a edades 3,7,14 y 28 días según (ASTM C39).

- Realizar el ensayo de resistencia a la abrasión (desgaste de Los Ángeles) en los agregados gruesos de cada yacimiento, siguiendo la (ASTM C131/C535).
- Realizar ensayo de solidez al sulfato de sodio en agregados de cada yacimiento (ASTM C88).

1.1.7.3 Análisis y Comparación de Resultados:

- Analizar estadísticamente los resultados de resistencia a compresión (ASTM C39), abrasión Los Ángeles (ASTM C131) y solidez al sulfato (ASTM C88) para cada yacimiento.
- Comparar el desempeño mecánico del hormigón y la durabilidad de los agregados entre yacimientos.
- Identificar el yacimiento de agregados que proporciona las características óptimas para la fabricación de hormigón de pavimento rígido en la zona Manta – Montecristi, Manabí, en conformidad con las normativas **ASTM**.

2 Capítulo II: Marco teórico

2.1 Antecedentes

La infraestructura vial es un pilar fundamental para el desarrollo socioeconómico, conectando comunidades y facilitando el transporte de bienes y personas. En este contexto, los pavimentos rígidos son una solución ingenieril de alta relevancia, especialmente para vías con alto volumen de tráfico y cargas pesadas. Se caracterizan por su alta resistencia, durabilidad prolongada y menores necesidades de mantenimiento a largo plazo en comparación con los pavimentos flexibles, lo que justifica su inversión inicial y los convierte en una opción estratégica para la infraestructura moderna (AASHTO, 1993; Huang, 2004). La construcción y el desempeño de estos pavimentos dependen críticamente de la calidad de sus materiales.

El hormigón, como material principal de las losas de pavimento rígido, es una mezcla compuesta de cemento, agua, agregados (finos y gruesos) y, opcionalmente, aditivos. Las propiedades mecánicas y de durabilidad del hormigón, como su resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y su capacidad para soportar ciclos de carga y condiciones ambientales adversas, están directamente influenciadas por la calidad de cada uno de sus componentes. De todos los elementos, los agregados son el mayor constituyente volumétrico (aproximadamente 60-75% del volumen total), funcionando como un esqueleto que define gran parte de las características del hormigón, tanto en estado fresco (trabajabilidad) como endurecido (resistencia, durabilidad y comportamiento volumétrico) (Neville & Brooks, 2010).

La procedencia de los agregados es un factor determinante y, a menudo, una fuente de variabilidad en las propiedades finales del hormigón. En regiones como la provincia de Manabí,

Ecuador, la diversidad geológica da lugar a múltiples yacimientos que producen agregados con distintas composiciones mineralógicas, formas, texturas superficiales y resistencias inherentes. Estas diferencias, que pueden no ser evidentes a primera vista, tienen un impacto sustancial en el desempeño del hormigón para pavimento rígido. Por ejemplo, agregados con baja resistencia a la abrasión comprometerían la vida útil del pavimento ante el constante tráfico, mientras que aquellos susceptibles a la acción de sulfatos podrían llevar a una degradación prematura de la estructura, afectando la seguridad y la funcionalidad de la vía.

A nivel internacional, existen numerosos estudios que abordan la influencia de los agregados en las propiedades del hormigón. Investigaciones como las de (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2011) o (Mindess, Young, & Darwin, 2003) han demostrado cómo la granulometría y la forma de las partículas inciden en la trabajabilidad y la resistencia a la compresión. Otros trabajos, como el de (Mehta & Monteiro, 2014), han evaluado la durabilidad del hormigón frente a ataques químicos en función del tipo de agregado. En la parte de Ecuador la construcción de infraestructura vial se rige por la normativa vigente, destacando las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE INEN), las cuales establecen los requisitos mínimos de calidad para los materiales de construcción. Específicamente, normas como la NTE INEN 858:2010 (Áridos. Determinación de la resistencia a la abrasión por el método de Los Ángeles) (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2010), NTE INEN 863:2011 (Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio) (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), 2011) y NTE INEN 1572:2011 (Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos) (Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN),

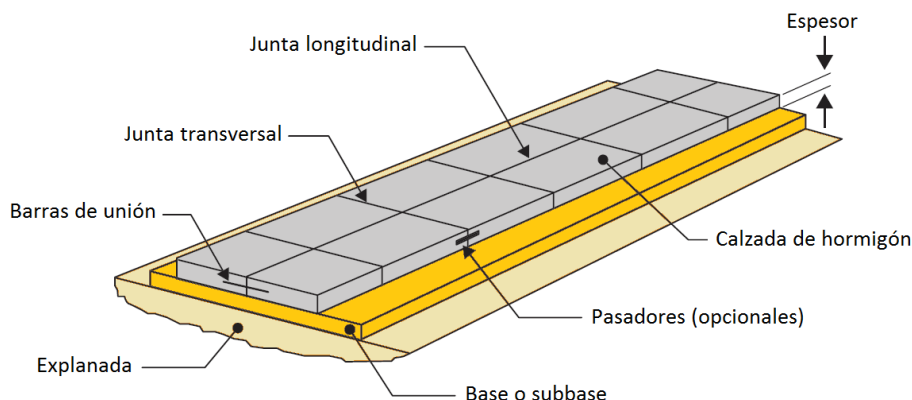
2011) son fundamentales para asegurar la calidad de los componentes del hormigón y del producto final.

2.2 Pavimentos rígidos

Los pavimentos rígidos son estructuras viales compuestas principalmente por losas de hormigón de cemento hidráulico que, debido a su elevada rigidez y módulo de elasticidad, distribuyen las cargas de tráfico sobre un área considerable de la subrasante o subbase (Huang, 2004) Esta característica les confiere una serie de ventajas distintivas, como su alta resistencia estructural para soportar grandes cargas concentradas y repetitivas, una mayor durabilidad y vida útil en comparación con los pavimentos flexibles (lo que se traduce en menores costos de mantenimiento y rehabilitación a largo plazo), baja deflexión que contribuye a una superficie de rodadura más suave, y resistencia a la deformación permanente o ahuellamiento (AASHTO, 1993; Portland Cement Association (PCA), 2018)

El diseño de pavimentos rígidos implica considerar factores como las propiedades del hormigón (resistencia a la flexión, módulo de elasticidad), las características de la subbase y subrasante, el volumen y tipo de tráfico, y las condiciones climáticas. La calidad de los materiales empleados es un factor crítico en todas las etapas del diseño y la construcción para asegurar el comportamiento esperado de la estructura vial.

Figura 2-1 *Estructura típica de un pavimento rígido*



Fuente: (Calo 2015)

2.3 Hormigón de cemento hidráulico para pavimentos

El hormigón de cemento hidráulico es el material estructural predominante en los pavimentos rígidos, porque combina una elevada capacidad portante con buena durabilidad frente a las acciones mecánicas y ambientales generadas por el tránsito vehicular. Se obtiene al mezclar cemento hidráulico, agua, agregados finos y gruesos, y eventualmente aditivos, conformando una masa inicialmente plástica que, tras el fraguado y endurecimiento, desarrolla resistencia suficiente para transmitir y distribuir las cargas hacia las capas inferiores del sistema del pavimento. (Yepes, 2023)

Para su aplicación en pavimentos rígidos, el hormigón debe cumplir requisitos específicos en términos de resistencia a la compresión, módulo de ruptura, baja permeabilidad y resistencia al desgaste superficial, de manera que soporte cargas repetitivas de rueda y variaciones térmicas y de humedad a lo largo de la vida útil del pavimento. (Committee, 2002)

2.3.1 Componentes del hormigón

El hormigón está constituido esencialmente por cemento hidráulico, agua, agregados finos y gruesos, y, en muchos casos, aditivos químicos o minerales incorporados en pequeñas cantidades para modificar su comportamiento en estado fresco y endurecido. El cemento Portland actúa como aglomerante activo que, al reaccionar con el agua mediante procesos de hidratación, genera una pasta capaz de unir las partículas de agregado y formar una matriz resistente; su tipo, composición y finura influyen de manera directa en el desarrollo de la resistencia y en la durabilidad del hormigón empleado en pavimentos. (Neville A. M., 1998)

2.3.2 Propiedades del hormigón relevantes para pavimento rígidos

Las propiedades del hormigón que resultan más relevantes para su utilización en pavimentos rígidos están asociadas tanto al comportamiento en estado fresco como al desempeño en estado endurecido, ya que condicionan la facilidad de construcción y la capacidad del pavimento para resistir las solicitaciones de servicio. En estado fresco, la trabajabilidad es fundamental, puesto que un hormigón con consistencia adecuada permite un correcto extendido, compactación y acabado de las losas, minimizando problemas de segregación y vacíos, y favoreciendo la obtención de una estructura homogénea; esta propiedad está fuertemente influenciada por la granulometría de los agregados, el contenido de finos y la relación agua/cemento (Neville A. M., 1998)

En estado endurecido, la resistencia a la compresión es una de las propiedades más utilizadas para especificar y controlar la calidad del hormigón, ya que proporciona un indicador global de su capacidad para soportar cargas, aunque en pavimentos rígidos adquiere especial importancia también la resistencia a la flexión o módulo de ruptura, por estar las losas sometidas

principalmente a esfuerzos de flexión inducidos por las cargas de tráfico y los gradientes térmicos. (Neville A. M., 1998)

2.4 Agregados para hormigón en la zona de manta/Montecristi

Los agregados son el componente de mayor volumen del hormigón y determinan en gran medida su comportamiento estructural y de durabilidad, especialmente en pavimentos rígidos sometidos a cargas repetitivas y desgaste superficial. Propiedades como la granulometría, la forma y textura de las partículas, la densidad, la absorción y la resistencia al desgaste influyen directamente en la trabajabilidad de la mezcla, la resistencia mecánica y la susceptibilidad al deterioro por abrasión y agentes químicos. (Argos, 2019)

2.4.1 Clasificación y fuentes de agregados

En función de su tamaño, los agregados se agrupan en dos categorías principales: finos y gruesos. Los agregados finos suelen estar constituidos por arenas de origen natural o producido, mientras que los gruesos corresponden a gravas y materiales triturados con dimensiones mayores que las del agregado fino. (Argos, 2019)

2.4.2 Propiedades físicas y mecánicas

2.4.2.1 Granulometría

La granulometría describe la distribución de tamaños de las partículas del agregado y se determina mediante ensayos de tamizado. Una gradación continua y bien balanceada reduce el volumen de vacíos, disminuye la demanda de pasta y mejora simultáneamente la trabajabilidad y la resistencia del hormigón. (Kosmatka & Wilson, 2011)

2.4.2.2 Módulo de finura

El módulo de finura es un índice que resume la fineza del agregado fino a partir de los retenidos acumulados en una serie de tamices normalizados. Valores intermedios de este parámetro se asocian con mezclas que mantienen buena manejabilidad sin requerir aumentos significativos de agua o cemento. (Kosmatka & Wilson, 2011)

2.4.2.3 Densidad

La densidad, o gravedad específica, expresa la relación entre la masa y el volumen del agregado y se utiliza como base para realizar conversiones entre dosificaciones por peso y por volumen. Agregados de alta densidad conducen a hormigones más pesados, mientras que materiales de menor densidad permiten obtener elementos con un peso propio reducido, lo cual puede ser ventajoso en ciertas aplicaciones estructurales. (Kosmatka & Wilson, 2011)

2.4.2.4 Absorción

La absorción indica qué porcentaje de agua pueden retener los poros del agregado cuando este alcanza la condición saturada superficie seca. Este dato resulta esencial para estimar el agua efectiva en la mezcla, ya que un agregado muy absorbente, si no se corrige la dosificación, disminuye el agua disponible para la hidratación del cemento y modifica la relación agua/cemento, con posibles efectos sobre la resistencia y la durabilidad. (Kosmatka & Wilson, 2011)

2.4.2.5 Textura superficial

La textura superficial de los agregados, que puede ser relativamente lisa o marcadamente rugosa, incide tanto en la calidad de la unión con la pasta de cemento como en la cantidad de agua

requerida para lograr una consistencia adecuada. Superficies rugosas incrementan el anclaje mecánico en la interfaz pasta–agregado, pero también aumentan la fricción interna y, en general, obligan a emplear algo más de agua o aditivos para mantener la trabajabilidad. (Kosmatka & Wilson, 2011)

2.4.2.6 Impurezas

Las impurezas presentes en los agregados, tales como fracciones de limos y arcillas, restos orgánicos o partículas frágiles y deleznales, pueden interferir en los procesos de hidratación del cemento y debilitar la zona de transición entre la pasta y el agregado. (Kosmatka & Wilson, 2011)

2.5 Ensayos de laboratorio para la evaluación del hormigón y agregados

La caracterización del comportamiento de los agregados y del hormigón se realiza mediante ensayos de laboratorio que proporcionan mediciones objetivas y comparables de sus propiedades. En el caso de los agregados, se recurre de forma habitual al análisis por tamices para conocer la granulometría, a pruebas de densidad y absorción para evaluar su porosidad, y a ensayos de desgaste con la máquina de Los Ángeles para estimar su resistencia frente a la abrasión; en el hormigón, uno de los controles más importantes es la resistencia a la compresión medida en probetas moldeadas y curadas bajo condiciones normalizadas.

Los métodos de ensayo están descritos en normas técnicas específicas, cuyo objetivo es garantizar que los resultados obtenidos en diferentes laboratorios y proyectos sean consistentes y comparables. Aplicar estos procedimientos de manera sistemática permite vincular las características de los agregados procedentes de cada yacimiento con el desempeño mecánico y la

durabilidad del hormigón empleado en pavimentos rígidos, aportando una base experimental sólida para la selección de materiales. (Nanditha, 2021)

2.5.1 Ensayo de granulometría

El análisis granulométrico de los agregados se ejecuta de acuerdo con la Norma Técnica ecuatoriana NTE INEN 696: “Áridos. Análisis granulométrico por tamizado”, la cual establece el procedimiento de ensayo y los requisitos de gradación para materiales destinados a hormigón.

2.5.2 Ensayo de densidad y absorción

La determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y de la absorción de los agregados consiste en establecer la relación entre la masa del material en diferentes estados (seco en horno, saturado superficie seca y sumergido en agua) y el volumen que ocupa, con el fin de cuantificar su porosidad y capacidad de retener agua. Esto sirve para el diseño de mezclas de hormigón, nos permiten ajustar con precisión la dosificación de agua y de agregados, y evaluar la influencia de la estructura porosa del árido en la resistencia y durabilidad del concreto.

Este ensayo se realiza siguiendo las especificaciones de las normas NTE INEN 856 y NTE INEN 857 para áridos gruesos y finos, respectivamente, las cuales son equivalentes a los métodos ASTM C127 y ASTM C128. (ASTM International, 2024)

2.5.3 Ensayo de Desgaste de Los Ángeles

El ensayo de desgaste de los ángeles evalúa la resistencia del agregado grueso a la degradación por abrasión e impacto dentro de un tambor giratorio equipado con esferas de acero. Una muestra de árido, clasificada por tamaño, se somete a un número especificado de

revoluciones y luego se determina el porcentaje de pérdida de masa, valor que se utiliza como indicador de la capacidad del material para soportar el tráfico y el rozamiento en pavimentos rígidos.

Este procedimiento se establece en la NTE INEN 858: “Áridos. Determinación de la resistencia a la abrasión por el método de Los Ángeles”, equivalente al método ASTM C131/C131M. (ASTM International, 2022)

Figura 2-2 *Máquina de abrasión de los Ángeles*



Adaptado de FISC Group (s.f.), Máquina de abrasión Los Ángeles. (Group, s.f.)

Tabla 2-1 *Límites de Desgaste de Los Ángeles para Agregados de Pavimento*

Uso del Agregado	Porcentaje Máximo de Desgaste (%)	Norma de Referencia
Capa de rodadura (superior)	$\leq 30 \%$	AASHTO T96 / ASTM C131
Capa base	$\leq 40 \%$	AASHTO T96 / ASTM C131

Subbase	$\leq 50 \%$	AASHTO T96 / ASTM C131
---------	--------------	---------------------------

Adaptado de AASHTO (1993) y ASTM C131/C131M-22.

2.5.4 Ensayo de Sanidad de los Agregados por Sulfatos

El ensayo de sulfato evalúa la resistencia por desgaste de los agregados a la desintegración cuando son sometidos a ciclos repetidos de inmersión en soluciones de sulfato (de sodio o de magnesio) y secado posterior, simulando la cristalización de sales en los poros. Tras completar los ciclos establecidos, se tamiza el material y se calcula el porcentaje de pérdida de masa, que se toma como indicador de la susceptibilidad del árido a deteriorarse en ambientes donde hay presencia de sulfatos, aspecto crítico para la durabilidad del hormigón en pavimentos rígidos. (ASTM International, 2024)

2.5.5 Ensayo de Resistencia a la Compresión del Hormigón

El ensayo de resistencia a la compresión es el procedimiento estándar para cuantificar la capacidad del hormigón de soportar esfuerzos de compresión axial. De acuerdo con las normas NTE INEN 1572 y ASTM C39/C39M, la prueba se realiza sobre cilindros de dimensiones normalizadas (habitualmente 150 mm de diámetro por 300 mm de altura), que han sido previamente moldeados y curados bajo condiciones controladas hasta la edad prevista de evaluación.

Durante el ensayo, cada probeta se coloca centrada entre las placas de la prensa y se somete a una carga axial monotónica, aplicada con una velocidad de incremento aproximadamente constante hasta provocar la rotura del cilindro. La carga máxima registrada P_u se divide entre el

área de la sección transversal del espécimen para obtener la resistencia a la compresión f_c este se utiliza como parámetro de control de calidad y para comparar el comportamiento de las diferentes mezclas de hormigón diseñadas con agregados de distintos yacimientos. (ASTM International, 2023)

3 Capítulo III: Metodología

3.1 Diseño Metodológico

La investigación adopta un enfoque cuantitativo y experimental. Se basará en un diseño de comparación de grupos para evaluar el hormigón elaborado con agregados de dos yacimientos Manta-Montecristi.

La metodología consistirá en tres fases:

- Muestreo y caracterización de agregados según normas ASTM (granulometría, densidad, absorción).
- Elaboración de probetas y ensayos de: resistencia a compresión hormigón (ASTM C39), abrasión Los Ángeles (ASTM C131) y solidez al sulfato agregados (ASTM C88).
- Análisis descriptivo y comparativo de los resultados para identificar las diferencias en el desempeño y determinar el agregado más adecuado.

3.2 Cemento

Para la elaboración de las mezclas de hormigón se utilizó cemento Holcim Fuerte, clasificado como cemento hidráulico Tipo GU para uso general, que cumple con los requisitos de la norma NTE INEN 2380:2011.

3.3 Agregados

3.3.1 Yacimiento A

La cantera 1 corresponde a un yacimiento de agregados pétreos ubicado en la zona Manta-Montecristi, del cual se extrajeron los materiales que se emplearon en la dosificación del hormigón para pavimento rígido y en los ensayos de desgaste.

Figura 3-1 *Vista General de la cantera A y extracción del agregado*



Fuente: Propia

3.3.1.1 Arena Homogenizada

La arena Homogenizada Utilizada como agregado fino se recolecto en el yacimiento A, ubicada en la zona de Manta- Montecristi.

3.3.1.2 Arena fina

La arena fina utilizada en la dosificación también se recolecto en el yacimiento A, ubicada en la zona de Manta- Montecristi.

3.3.1.3 Agregado Grueso

El agregado grueso N.º 56 se extrajo del yacimiento A, ubicada en la zona Manta– Montecristi y se empleó tanto en la dosificación del hormigón para pavimento rígido como en los distintos ensayos de laboratorio.

3.3.2 Yacimiento B

El yacimiento B corresponde a la segunda fuente de agregados pétreos a evaluar en esta investigación, está ubicada en el mismo sector dentro de la zona de Manta- Montecristi.

3.3.2.1 Arena Homogenizada

La arena Homogenizada Utilizada como agregado fino se recolecto en el yacimiento B, también está ubicada en la zona de Manta- Montecristi.

Figura 3-2 *Vista general del yacimiento B y extracción de la arena homogenizada*



Fuente: Propia

3.3.2.2 Arena Fina

Figura 3-3 *Vista general del Yacimiento B y extracción de la arena fina*



Fuente: Propia

3.3.2.3 Agregado Grueso

Figura 3-4 Vista general del yacimiento B y extracción del agregado grueso



Fuente: Propia

3.4 Sulfato

El sulfato de sodio empleado en el ensayo de solidez de los agregados se obtuvo del laboratorio de suelos de la institución, donde se dispone de reactivos de grado técnico para uso en ensayos geotécnicos y de materiales. Las principales propiedades del sulfato de sodio utilizado, relevantes para la preparación de la solución saturada y la aplicación del método ASTM C88, se presentan en la Tabla 3-1

Tabla 3-1 *Propiedades del sulfato*

Propiedad	Descripción
Nombre químico	Sulfato de sodio anhidro
Fórmula química	Na_2SO_4
Apariencia	Sólido cristalino blanco, inodoro
Pureza aproximada	$\geq 98-99\%$
Solubilidad en agua	Alta solubilidad, forma soluciones claras

Solubilidad en alcohol	Prácticamente insoluble
Uso en la investigación	Reactivo para el ensayo de solidez de agregados por sulfato (ASTM C88), en solución saturada

Fuente: Elaboración propia

3.5 Ensayos de laboratorios del hormigón y sus materiales

3.5.1.1 Cemento

El cemento utilizado en la presente investigación corresponde al cemento Holcim Fuerte, Tipo GU, producido bajo la normativa NTE INEN 2380:2011. Las propiedades físicas consideradas para el diseño del hormigón se presentan en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2 *Propiedades físicas del cemento Holcim Fuerte Tipo GU*

Requisitos físicos	Cemento Holcim Fuerte Tipo GU
Cambio de longitud por autoclave (% máx.)	0.8
Inicial, no menos de, minutos	45
Inicial, no más de, minutos	151
Contenido de aire mortero, en volumen, %	4
1 día	-
3 días	17
7 días	22
28 días	30
Expansión en barras de mortero 14 días (% máx.)	0.001

Fuente: Ficha técnica del cemento Holcim Fuerte, Tipo GU

3.5.2 Ensayos de propiedades de los agregados

Se determinaron las propiedades físicas de los agregados finos y gruesos para cada uno de los yacimientos, incluyendo las dos arenas y el agregado grueso. Para ambas canteras se realizaron ensayos de granulometría, peso específico, peso unitario suelto y compactado, absorción, humedad, abrasión del agregado grueso y resistencia a la acción de sulfatos.

3.5.2.1 Análisis granulométrico del yacimiento A

En conjunto, el análisis granulométrico de la primera cantera se realizó conforme a las normas NTE INEN 859; ASTM C136, que permiten clasificar los agregados, arena fina lavada, arena homogenizada y piedra, dicha información será utilizada para para el diseño y evaluación de las mezclas del hormigón.

3.5.2.1.1 Arena Homogenizada

El análisis granulométrico de la arena homogenizada se muestra en la tabla 3-3, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C136.

Tabla 3-3 Datos del ensayo de granulometría de la arena h. del yacimiento A

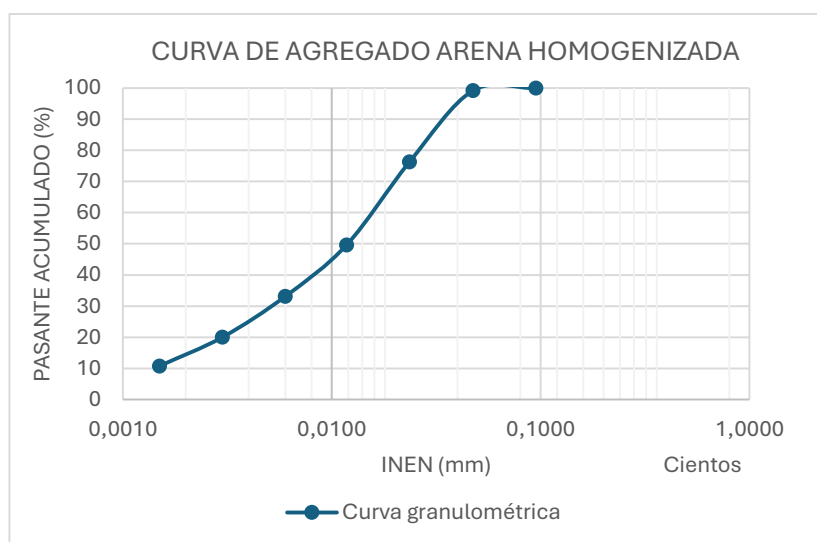
Ilustración 3-1TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
INEN (mm)	ASTM				
25,4	3/4 in.	-	-	-	-
19,1	1/2 in.	-	-	-	-
12,7	3/8 in.	-	-	-	-
9,5	1/4 in.	0	0	0	100
4,75	No. 4	8,22	0,779	0,779	99,221
2,36	No. 8	241,24	22,875	23,654	76,346
1,18	No. 16	281,21	26,665	50,320	49,680
0,6	No. 30	174,45	16,542	66,861	33,139
0,3	No. 50	138,39	13,123	79,984	20,016
0,15	No. 100	97,48	9,243	89,227	10,773
0,075	No. 200	-	-	-	-

Fondo	113,61	10,773	100,000	0,000
TOTAL	1054,6	MÓDULO DE FINURA	3,1	

Fuente: Elaboración propia

Los valores se pueden observar en la Figura 3-5, los resultados finales del ensayo se muestran en la tabla 3-4.

Figura 3-5 Curva de granulométrica del agregado arena h. del yacimiento A



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-4 Resultados del ensayo granulométrico de la arena homogenizada

Resultados del ensayo	
Tamaño máximo	-
Tamaño máximo nominal	-
Módulo de finura	3.1

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1.2 Arena Fina Lavada

El análisis granulométrico de la arena fina lavada se muestra en la tabla 3-5, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C136.

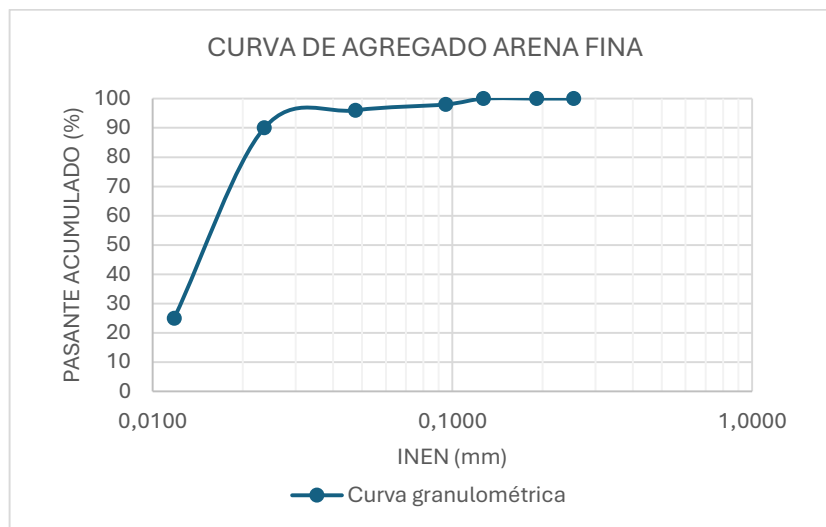
Tabla 3-5 Datos del ensayo de granulometría de la arena fina del yacimiento A

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
INEN (mm)	ASTM				
25,4	3/4 in.	-	-	-	-
19,1	1/2 in.	-	-	-	-
12,7	3/8 in.	-	-	-	-
9,5	1/4 in.	0	0	0	100
4,75	No. 4	0	0	0	100
2,36	No. 8	2,33	0	0	100
1,18	No. 16	15,2	1	1,7	98
0,6	No. 30	21,03	2	3,7	96
0,3	No. 50	66,23	6	10,1	90
0,15	No. 100	670,02	65	74,8	25
0,075	No. 200	-	-	-	-
Fondo		261,71	25	100	0
TOTAL		1036,52	MÓDULO DE FINURA	0,9	

Fuente: Elaboración propia

Los valores se pueden observar en la figura 3-6, los resultados finales del ensayo se muestran en la tabla 3-6

Figura 3-6 Curva de granulométrica del agregado arena fina, cantera A



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-6 Resultados del ensayo granulométrico de la arena fina

Resultados del ensayo	
Tamaño máximo	-
Tamaño máximo nominal	-
Módulo de finura	0,9

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.1.3 Agregado Grueso

El análisis granulométrico de la piedra #56 se muestra en la tabla 3.7, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C136.

Tabla 3-7 Datos del ensayo de granulometría del agregado grueso del yacimiento A

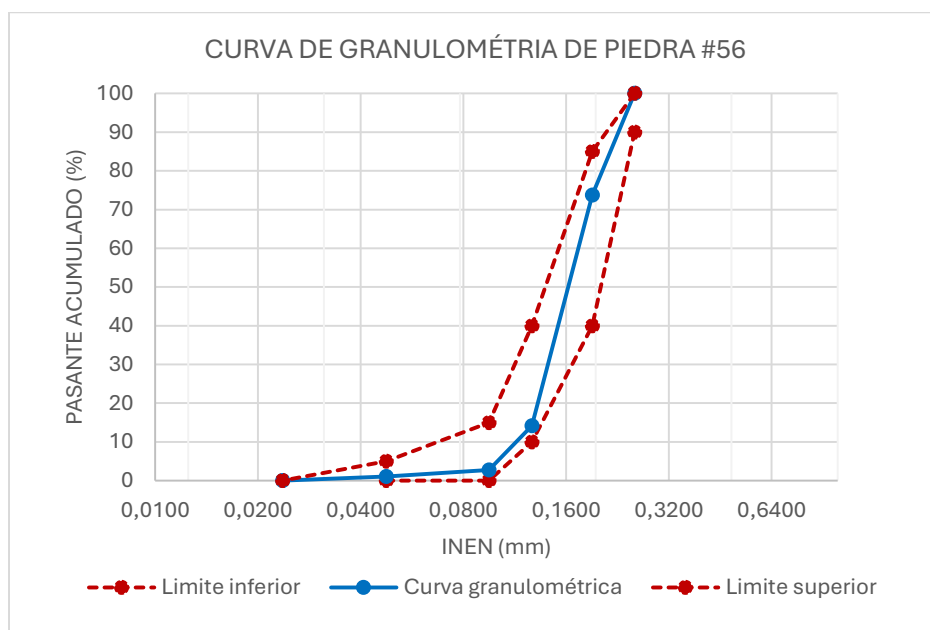
TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
INEN (mm)	ASTM				
25,4	1 in.	0	0	0	100
19,1	3/4 in.	1520	26,298	26,298	73,702
12,7	1/2 in.	3440	59,516	85,813	14,187
9,5	3/8 in.	660	11,419	97,232	2,768
4,75	No. 4	100	1,730	98,962	1,038
2,36	No. 8	-	-	-	-

1,18	No. 16	-	-	-	-
0,6	No. 30	-	-	-	-
0,3	No. 50	-	-	-	-
0,15	No. 100	-	-	-	-
0,075	No. 200	-	-	-	-
Fondo		60	1,038	100,000	0,000
TOTAL		5780	MÓDULO DE FINURA	7,17	

Fuente: Elaboración propia

Los valores se pueden observar en la figura 3-7, los resultados finales del ensayo se muestran en la tabla 3-8.

Figura 3-7 Curva de granulométrica del agregado grueso del yacimiento A



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-8 Resultado del ensayo

Resultados del ensayo	
Tamaño máximo	3/4 in.

Tamaño máximo nominal	3/4 in.
Módulo de finura	7,17

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2 Análisis granulométrico del yacimiento B

En conjunto, el análisis granulométrico de la segunda cantera se realizó conforme a las normas NTE INEN 859; ASTM C136, que permiten clasificar los agregados, arena fina lavada, arena homogenizada y piedra, dicha información será utilizada para para el diseño y evaluación de las mezclas del hormigón.

3.5.2.2.1 Arena Homogenizada

El análisis granulométrico de la arena homogenizada se muestra en la tabla 3-9, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C136.

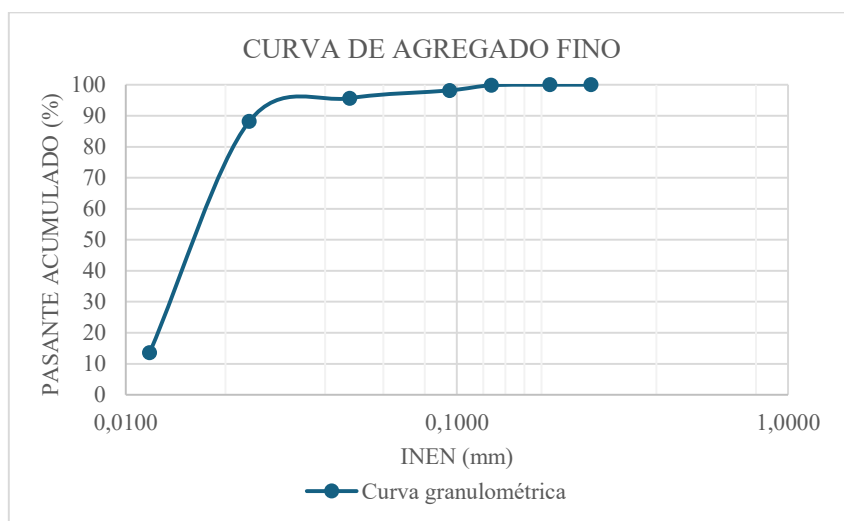
Tabla 3-9 Datos del ensayo de granulometría de la arena homogenizada del yacimiento B

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
INEN (mm)	ASTM				
25,4	3/4 in.	-	-	-	-
19,1	1/2 in.	-	-	-	-
12,7	3/8 in.	-	-	-	-
9,5	1/4 in.	0	0	0	100
4,75	No. 4	9,1	0,836	0,836	99,164
2,36	No. 8	187,2	17,190	18,026	81,974
1,18	No. 16	281,3	25,831	43,857	56,143
0,6	No. 30	225,6	20,716	64,573	35,427
0,3	No. 50	187,2	17,190	81,763	18,237
0,15	No. 100	111,2	10,211	91,974	8,026
0,075	No. 200	-	-	-	-
Fondo		87,4	8,026	100,000	0,000
TOTAL		1089	MÓDULO DE FINURA	3	

Fuente: Elaboración propia

Los valores se pueden observar en la figura 3-8, los resultados finales del ensayo se muestran en la tabla 3-10.

Figura 3-8 Curva de granulométrica del agregado arena h. del yacimiento B



Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-10 Resultado del ensayo

Resultados del ensayo	
Tamaño máximo	-
Tamaño máximo nominal	-
Módulo de finura	3

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2.2 Arena fina lavada

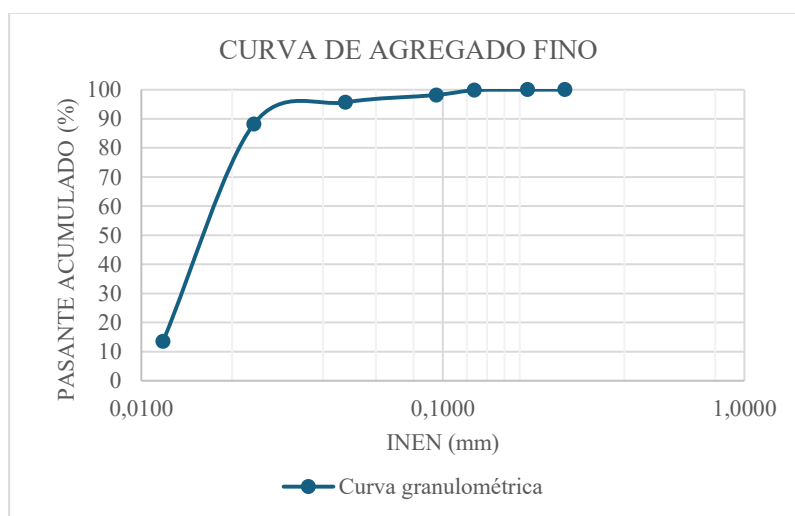
El análisis granulométrico de la arena fina lavada se muestra en la tabla 3-11, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C136.

Tabla 3-11 Datos del ensayo de granulometría de la arena fina del yacimiento B

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
INEN (mm)	ASTM				
25,4	3/4 in.	-	-	-	-
19,1	1/2 in.	-	-	-	-
12,7	3/8 in.	-	-	-	-
9,5	1/4 in.	0	0	0	100
4,75	No. 4	0	0	0	100
2,36	No. 8	1	0,178	0,178	99,822
1,18	No. 16	9,3	1,652	1,830	98,170
0,6	No. 30	14,1	2,505	4,335	95,665
0,3	No. 50	42,1	7,480	11,816	88,184
0,15	No. 100	420,1	74,645	86,461	13,539
0,075	No. 200		-	-	-
Fondo		76,2	13,539	100,000	0
TOTAL		562,8	MÓDULO DE FINURA	1	

Fuente: Elaboración propia

Los valores se pueden observar en la figura 3-9, los resultados finales del ensayo se muestran en la tabla 3.12.

Figura 3-9 Curva de granulométrica del agregado arena fina, cantera B

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-12 *Resultado del ensayo*

Resultados del ensayo	
Tamaño máximo	-
Tamaño máximo nominal	-
Módulo de finura	3

Fuente: Elaboración propia

3.5.2.2.3 Agregado Grueso

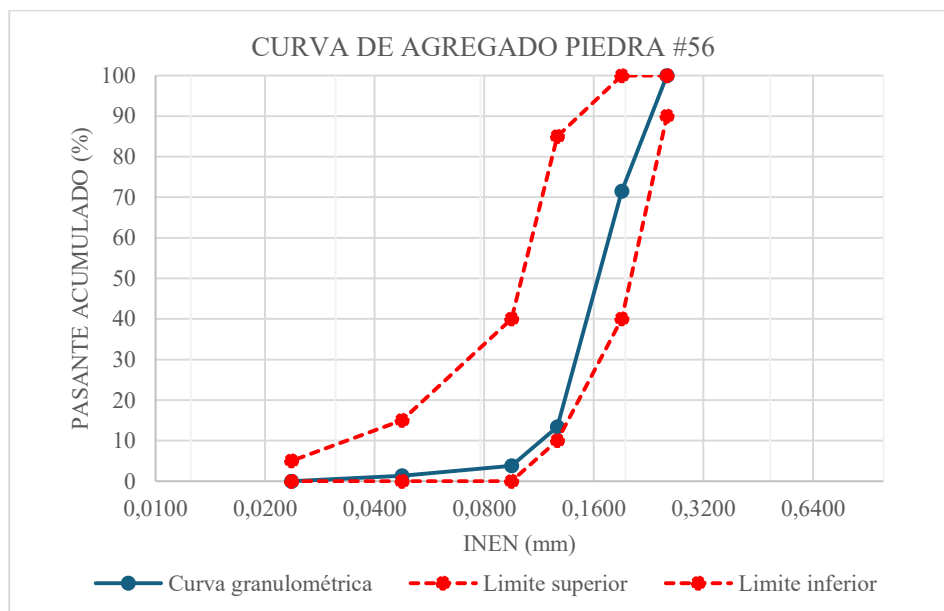
El análisis granulométrico de la piedra #56 se muestra en la tabla 3-13, siguiendo los procedimientos de la norma ASTM C136.

Tabla 3-13 *Datos del ensayo de granulometría de agregado grueso del yacimiento B*

TAMIZ		RETENIDO PARCIAL (g)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PASANTE ACUMULADO (%)
INEN (mm)	ASTM				
25,4	1 in.	0	0	0	100
19,1	3/4 in.	1490	28,492	28,492	71,508
12,7	1/2 in.	3040,9	58,149	86,641	13,359
9,5	3/8 in.	500	9,561	96,202	3,798
4,75	No. 4	130	2,486	98,688	1,312
2,36	No. 8	-	-	-	-
1,18	No. 16	-	-	-	-
0,6	No. 30	-	-	-	-
0,3	No. 50	-	-	-	-
0,15	No. 100	-	-	-	-
0,075	No. 200	-	-	-	-
Fondo		68,6	1,312	100,000	0,000
TOTAL		5229,5	MÓDULO DE FINURA	7,13	

Fuente: Elaboración propia

Los valores se pueden observar en la figura 3-10, los resultados finales del ensayo se muestran en la tabla 3-14.

Figura 3-10 *Curva de granulométrica del agregado grueso, cantera B*

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-14 *Resultado del ensayo*

Resultados del ensayo	
Tamaño máximo	3/4 in.
Tamaño máximo nominal	1/2 in.
Módulo de finura	7,13

Fuente: Elaboración propia

3.5.3 Peso específico y absorción

El peso específico y la absorción se evaluaron para las dos arenas y el agrado grueso de cada cantera, con el fin de conocer sus densidades y capacidad de retener agua. Estos datos obtenidos son necesarios para obtener una buena dosificación del hormigón y el contenido de agua en las mezclas.

3.5.4 Contenido humedad

El contenido de humedad de las arenas y del agregado grueso de cada yacimiento se determinó para cuantificar el agua presente en los materiales.

3.5.4.1 Contenido de humedad del yacimiento A

Se muestran los resultados de contenido de humedad del yacimiento A en la tabla 3-15.

Tabla 3-15

MATERIAL	Peso Recipiente (gr)	Peso re. + muestra húmeda (gr)	Peso re. + muestra seca (gr)	%Humedad	%Promedio Humedad
Arena Fina Lavada	8,4	52,7	50,1	6,235	6,925
	7,9	61,6	57,8	7,615	
Arena Homogenizada	6,5	40	37,2	9,121	9,045
	7,7	40,5	37,8	8,970	
Piedra #56	6,2	52,4	51,1	2,895	3,249
	6,2	55,1	53,4	3,602	

Fuente: Elaboración propia

3.5.4.2 Contenido de humedad del yacimiento B

Se muestran los resultados de contenido de humedad del yacimiento A en la tabla 3-16

Tabla 3-16 *Contenido de humedad del yacimiento B*

MATERIAL	Peso Recipiente (gr)	Peso re. + muestra húmeda (gr)	Peso re. + muestra seca (gr)	%Humedad	%Promedio Humedad
Arena Fina Lavada	8	56	51,9	9,339	9,670
	6,3	40,4	37,3	10,000	
Arena Homogenizada	8,2	72	64,8	12,721	14,209
	6,4	46,2	40,8	15,698	
Piedra #56	7,5	61,6	58,7	5,664	4,835
	8,2	70,5	68,1	4,007	

Fuente: Elaboración propia

3.5.5 Peso unitario

El peso unitario y compactado también se determinó para las arenas finas y el agregado grueso de ambas canteras, con ello obtenemos la densidad aparente de los materiales en condiciones representativas de almacenamiento y manejo.

3.5.6 Abrasión Los Ángeles

Este ensayo se realizó para obtener el desgaste del agregado grueso de ambos yacimientos, se determinó mediante la máquina de Los Ángeles, obteniendo el porcentaje de pérdida de masa por impacto y fricción en la máquina.

3.5.6.1 Ensayo de abrasión Máquina de los Ángeles yacimiento A

Los resultados del desgaste del ensayo de abrasión de Máquina de los Ángeles del yacimiento A se muestran en la tabla 3-17

Tabla 3-17 *Resumen del ensayo de abrasión de los ángeles del yacimiento A*

Muestra:		Piedra #56		
Tamiz		Peso antes del ensayo (gr)	Peso después por tamiz N. 12 (gr)	% Pérdida
Pasa	Retiene			
3/4 "	1/2 "	2500	4410	11,8
1/2 "	3/8"	2500		
Peso Total		5000		
Observaciones:		Graduación B (11 esferas) N. revoluciones:500		

Fuente: Elaboración propia

3.5.6.2 Ensayo de abrasión Máquina de los Ángeles yacimiento B

Los resultados del desgaste del ensayo de abrasión de Máquina de los Ángeles del yacimiento A se muestran en la tabla 3-17

Tabla 3-18 *Resumen del ensayo de abrasión de los ángeles del yacimiento B*

Muestra:		Piedra #56		
Tamiz		Peso antes del ensayo (gr)	Peso después por tamiz N. 12 (gr)	% Pérdida
Pasa	Retiene			
3/4 "	1/2 "	2500	3925,2	21,496
1/2 "	3/8"	2500		
Peso Total		5000		
Observaciones:	Graduación B (11 esferas) N. revoluciones:500			

Fuente: Elaboración propia

3.5.7 Resistencia a sulfatos en agregados

El ensayo de solidez de los agregados frente a sulfatos se realizó sobre agregado grueso de ambas canteras, aplicando el procedimiento establecido en la norma ASTM C88/NTE INEN 863. La figura 3-11 muestra la preparación de la solución saturada de sulfato de sodio, utilizando gravedad específica de 1.70 según el rango que menciona la norma ASTM C88.

Figura 3-11 *Revisión de la gravedad específica de la solución*



Fuente: Propia

3.5.7.1 Ensayo a sulfatos del yacimiento A

En el yacimiento A, el ensayo de solidez frente a sulfatos se realizó sobre agregado grueso retenido entre los tamices de 1" y N.º 4, siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C88. La preparación de las muestras y la aplicación de los ciclos de inmersión en solución sulfatada y secado se ilustran en la ilustración 3-12, mientras que en la Tabla 3-18 se resumen las masas por ciclo y la pérdida de masa acumulada para esta cantera.

Figura 3-12 *Preparación para comenzar el primer ciclo del yacimiento A*



Fuente: Propia

La Tabla 3-19 presenta los resultados del ensayo de pérdida por sulfatos (ASTM C88) para la Cantera A después de 5 ciclos de inmersión en sulfato de sodio y secado, evaluando la durabilidad del agregado grueso.

Tabla 3-19 Resultados de los 5 ciclos del ensayo del yacimiento A

Tamices	Piedras inicio	Piedras finales	Peso inicial (g)	Peso Final (g)	% Perdida	% Peso Fracción	Perdida Ponderada (%)
1" - 3/4"	34	33	508	489,2	3,701	28,062	1,039
3/4" - 1/2"			670,6	593,1	11,557	37,044	4,281
1/2" - 3/8"			331,7	230,1	30,630	18,323	5,612
3/8" - #4			300	230,6	23,133	16,572	3,834
			1810,3	1543,0	14,766	100,000	14,766

Fuente: Elaboración Propia

3.5.7.2 Ensayo a sulfatos del yacimiento B

Igualmente, en el yacimiento B, el ensayo de solidez frente a sulfatos también se realizó sobre agregado grueso retenido entre los tamices de 1" y N.º 4, siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM C88. La preparación de las muestras y la aplicación de los ciclos

de inmersión en solución sulfatada y secado se ilustran en la figura 3-13., mientras que en la Tabla 3-20 se resumen las masas por ciclo y la pérdida de masa acumulada para este yacimiento.

Figura 3-13 *Preparación para comenzar el primer ciclo de la cantera B*



Fuente: Propia

Tabla 3-20 *Resultados de los 5 ciclos del ensayo en la cantera B*

Tamices	Piedras inicio	Piedras finales	Peso inicial	Peso Final	% Perdida	% Peso fracción	Perdida Ponderada (%)
1" - 3/4"	38	38	520,6	509,4	2,151	28,578	0,615
3/4" - 1/2"	138	129	670,7	594,0	11,436	36,817	4,210
1/2" - 3/8"			330,4	285,6	13,559	18,137	2,459
3/8" - #4			300	267,3	10,900	16,468	1,795
			1821,7	1656,3	9,079	100,000	9,079

Fuente: elaboración propia

3.5.8 Ensayos del hormigón fresco y endurecido para pavimento rígido

En esta sección se describen los ensayos realizados al hormigón fresco y endurecido elaborado con agregados de las dos canteras, abarcando la mezcla del concreto, la elaboración de

probetas, el control del asentamiento y del peso unitario, las condiciones de curado y la resistencia a la compresión. Todos estos procedimientos se ejecutaron conforme a las normas técnicas vigentes (NTE INEN y ASTM) para garantizar la confiabilidad y comparabilidad de los resultados obtenidos en el estudio de pavimento rígido.

3.5.8.1 Mezcla de concreto

La dosificación del hormigón para pavimento rígido, diseñada para una resistencia de 350 kg/cm², se obtuvo mediante el método de densidades óptimas utilizando los datos de cada ensayo de los agregados. Además, se realizó un cálculo de participación de las arenas y se utilizó en la mezcla final el 45% de arena fina y el 55% a arena homogenizada, manteniendo para ambas canteras la misma proporción base de materiales y una relación agua/cemento de 0,417 con 12 kg de cemento por amasada.

3.5.8.1.1 Mezcla de concreto con agregados del yacimiento A

En la Tabla 3-21 se resumen las proporciones de cemento, arenas y agregado grueso correspondientes a la mezcla diseñada para 350 kg/cm² considerando la relación agua/cemento de 0,417 y la participación del 45% de arena fina y 55% de arena homogenizada. Los cálculos detallados empleados para obtener estas proporciones se incluyen en anexos.

Tabla 3-21 *Resumen de las proporciones de los materiales del yacimiento A*

Componentes	Kg (1m ³)	Dosificación Estándar	Cantidad para X de Cemento (Kg)
Cemento	588,053	1	12
Arena fina	371,989	0,633	7,591
Arena H.	373,214	0,635	7,616

Grava	875,338	1,489	17,862
Agua	180,605	0,307	3,685
DENSIDAD	2389,199	Kg/m ³	

Fuente: elaboración propia

3.5.8.1.2 Mezcla de concreto con agregados del yacimiento B

En la Tabla 3-22 se presentan las proporciones de cemento, arenas y agregado grueso correspondientes a la mezcla del yacimiento B, manteniendo la misma dosificación. Los cálculos detallados empleados para obtener estas proporciones se incluyen en anexos.

Tabla 3-22 *Resumen de las proporciones de los materiales del yacimiento B*

Componentes	Kg (1m³)	Dosificación Estándar	Cantidad para X de Cemento (Kg)
Cemento	610,134	1	12
Arena fina	373,130	0,612	7,339
Arena H	374,358	0,614	7,363
Grava	873,990	1,432	17,189
Agua	173,998	0,285	3,422
DENSIDAD	2405,611	Kg/m ³	

Fuente: elaboración propia

3.5.8.2 Elaboración de probetas

Se elaboraron un total de 12 probetas para cada yacimiento.

En la figura 3-14 se observan las probetas cilíndricas de hormigón en sus moldes, correspondientes a la mezcla elaborada con agregados del yacimiento A

Figura 3-14 *Elaboración de cilindros del yacimiento A*



Fuente: Propia

En la Figura 3-15 se presentan las probetas cilíndricas en sus moldes asociadas a la mezcla preparada con agregados del yacimiento B.

Figura 3-15 *Elaboración de cilindros del yacimiento B*



Fuente: Propia

3.5.8.3 Asentamiento

El asentamiento del concreto se evaluó mediante el ensayo de cono de Abrams, a fin de verificar la trabajabilidad de la mezcla diseñada para pavimento. Los datos del ensayo se muestran en el capítulo IV

Figura 3-16 *Ensayo de asentamiento de ambos yacimientos*



Fuente: Propia

3.5.8.4 Curado

El curado de las probetas cilíndricas del hormigón de ambos yacimientos se realizó en el laboratorio de suelos de la facultad con una temperatura ambiente, se puede observar en la figura 3-17

Figura 3-17 *Proceso de curado del yacimiento A*



Fuente: Propia

Figura 3-18 *Proceso de curado del yacimiento B*

Fuente: Propia

3.5.8.5 Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión se realizó con las probetas ya curadas, sometidas a carga axial creciente en prensa hidráulica hasta su falla y con eso se terminó el esfuerzo máximo soportado por el hormigón. Las probetas se ensayaron en edades de 3,7,14 y 28 días, En las tablas 3-22, 3-23 se muestra el desarrollo del ensayo a ambas canteras, mientras que los resultados y su análisis se encuentran en el capítulo IV

Tabla 3-23 *Resistencia a compresión del yacimiento A, a diferentes edades de curado*

Propiedades Días	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm ²)	Resistencia Promedio (Kgf/cm ²)	% Resistencia
3,00	6616,000	84,238	94,54	27,01
	8234,400	104,844		
	0,000	0,000		
7,00	15934,300	202,882	205,97	58,85
	16282,700	207,318		
	16314,500	207,723		
14,00	19652,200	250,220	249,14	71,18
	19483,400	248,070		

	17939,300	228,410		
28,00	25202,300	320,886	328,82	93,95
	26282,900	334,644		
	25991,300	330,932		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-24 Resistencia a compresión del yacimiento B, a diferentes edades de curado

Propiedades Días	Fuerza (Kgf)	Resistencia (Kgf/cm ²)	Resistencia Promedio (Kgf/cm ²)	% Resistencia
3,00	5721,100	72,843	80,12	22,89
	6187,700	78,784		
	6968,200	88,722		
7,00	11978,100	152,510	160,99	46,00
	13310,200	169,471		
	0,000	0,000		
14,00	15896,100	202,395	204,77	58,51
	16196,000	206,214		
	16156,000	205,705		
28,00	19269,200	245,343	249,20	71,20
	19874,700	253,053		
	16647,100	211,957		

Fuente: Elaboración propia

4 Capítulo IV Análisis e interpretación de resultados.

4.1 Análisis comparativo general de resultados

En este capítulo se compara el desempeño de los agregados y hormigón de ambos yacimientos. Se analiza asentamientos, propiedades físicas de agregados (densidad, abrasión de Los Ángeles, sulfatos) y la resistencia a compresión mediante tablas con promedios de tres repeticiones siguiendo las respectivas normativas de cada ensayo ASTM – INEN, verificando cumplimiento de sus límites técnicos.

4.2 Análisis del asentamiento del hormigón

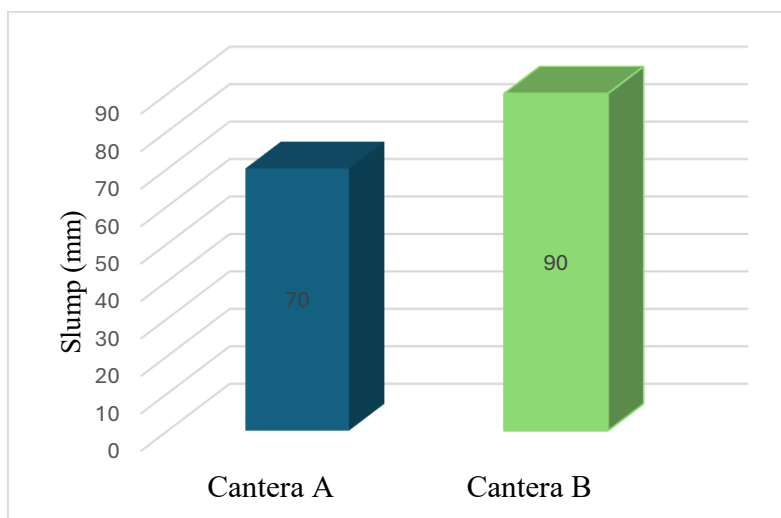
El ensayo de asentamiento (slump test) realizado conforme a ASTM C143, se evaluó la trabajabilidad de las mezclas de hormigón de pavimento rígido dosificadas por método de densidad máxima con agregados del yacimiento A y B. Como se observa en la tabla 4-1 se muestran los resultados de 70 mm para Cantera A y 90 mm para Cantera B, ambos dentro del rango óptimo de trabajabilidad media (50-100 mm)

Tabla 4-1 *Asentamiento del hormigón de ambos yacimientos*

Descripción	Yacimiento A	Yacimiento B
Slump (mm)	70	90

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-1 *Comparación del asentamiento (slump) de mezclas de hormigón con agregados de ambos yacimientos*



Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

La diferencia del 22% en fluidez refleja mayor absorción y angularidad en agregados del yacimiento A (menor demanda de agua en el yacimiento B) ambos serían óptimos para pavimentos rígidos por vibrado.

4.3 Análisis de agregados por desgaste a la abrasión por máquina de Los Ángeles

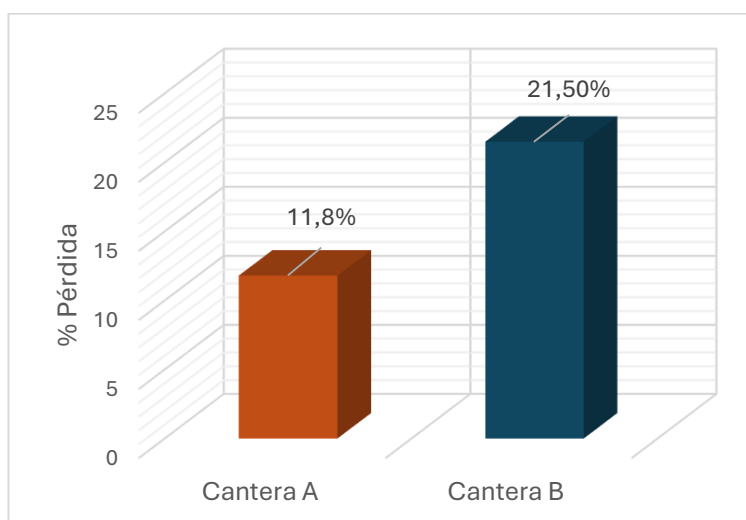
El ensayo de desgaste a la abrasión Los Ángeles (ASTM C131-14) evalúa la resistencia de los agregados finos y gruesos a la degradación mecánica por trituración, abrasión y desgaste, simulando las condiciones de tráfico vehicular intenso (ASTM International, 2022). La norma establece que la pérdida máxima por masa no debe exceder el 40% para agregados destinados a pavimentos rígidos de alto tráfico.

Se prepararon muestras de agregado #56 (Graduación B) de cada yacimiento, sometidas a 500 revoluciones en tambor rotatorio con 11 esferas de acero. Posteriormente se determinó la pérdida por material que pasa tamiz #12 (1.7 mm).

Tabla 4-2 *Pérdida por desgaste Los Ángeles (ASTM C131)*

Cantera	Peso Inicial (g)	Peso Retenido #12 (g)	% Pérdida
Cantera A	5000	4410	11.8
Cantera B	5000	3925.2	21.5
Diferencia	-	-	+9.7

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-2 *Comparación de pérdida por abrasión Los Ángeles*

Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

Como se observa en la Figura 4-2, el yacimiento A demuestra 45% menor desgaste (11.8% vs 21.5% el yacimiento B), esto cumple al límite normativo $\leq 40\%$ para pavimentos.

4.4 Análisis de agregados por desgaste a sulfatos

El ensayo de solidez a sulfatos (ASTM C88) evalúa el desgaste de los agregados a la desintegración por acción química del sulfato de sodio, simulando condiciones agresivas presentes en suelos costeros (ASTM International, 2024). Se realizaron 5 ciclos completos (inmersión de

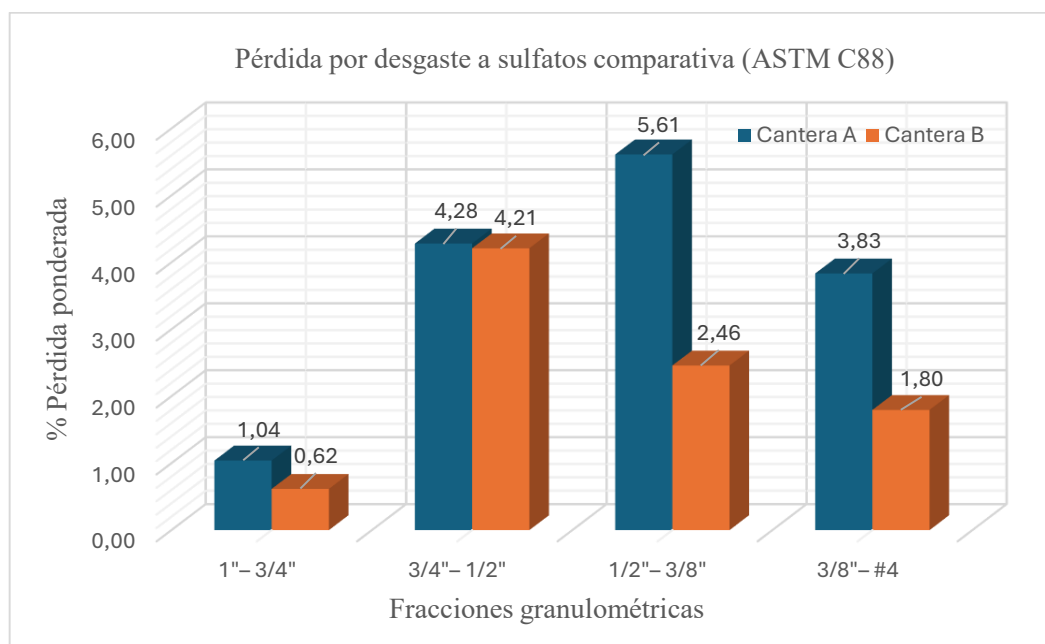
16h a 18h + el secado en horno) sobre cada fracción granulométrica de ambos yacimientos, calculando la pérdida ponderada según la distribución de tamaños del agregado grueso.

Tabla 4-3 *Pérdida ponderada por solidez a sulfatos (ASTM C88)*

Fracción	Cantera A (%)	Cantera B (%)
1"– 3/4"	1,04	0,62
3/4"– 1/2"	4,28	4,21
1/2"– 3/8"	5,61	2,46
3/8"– #4	3,83	1,80
Total	14,77	9,08

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-3 *Comparativa de pérdida por solidez a sulfatos entre yacimientos (ASTM C88)*



Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

Como se evidencia en la Figura 4.1, en el yacimiento A muestra consistentemente menor pérdida de masa en todas las fracciones granulométricas frente al yacimiento B

En la figura 4-1 se muestra que la fracción 1/2"-3/8", presenta la mayor diferencia y esta alcanza 3.15 puntos porcentuales (5.61% yacimiento A vs 2.45% yacimiento B), siendo esta fracción crítica por su alta área superficial reactiva y su influencia determinante en la durabilidad del hormigón estructural frente a ambientes agresivos por sulfatos.

En la Tabla 4.3 corrobora que el yacimiento A reduce un 38.5% la pérdida total (9.079% vs 14.766% el yacimiento B), ofreciendo mayor margen de seguridad para pavimentos rígidos en suelos salinos costeros.

4.5 Análisis por resistencia a compresión del hormigón

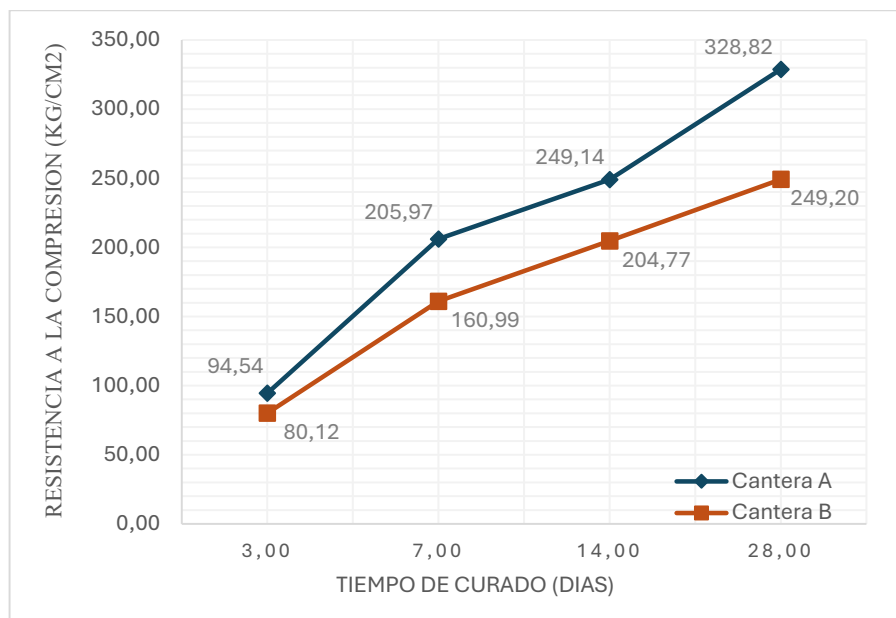
La resistencia a compresión del hormigón (ASTM C39) se determinó sobre probetas cilíndricas 15x30 cm, cargadas a velocidad constante hasta la falla, expresando resultado en kgf/cm² (ASTM International, 2020). Para pavimentos rígidos se requiere $f_c 28d \geq 280-350$ kgf/cm² según diseño estructural y exposición ambiental (ACI 318/NTE INEN).

Tabla 4-4 *Evolución comparativa de resistencia a compresión*

Edades (días)	Yacimiento A	Yacimiento B	% respecto 28d Yacimiento A	% respecto 28d Yacimiento B
3 días	94,54	80,12	27,01	22,89
7 días	205,97	160,99	58,85	46,00
14 días	249,14	204,77	71,18	58,51
28 días	328,82	249,20	93,95	71,20

Fuente: Elaboración propia

Figura 4-4 *Curvas de evolución resistencia a compresión*



Fuente: Elaboración propia con datos experimentales

Para el hormigón de diseño $f_c = 350 \text{ kgf/cm}^2$, la Tabla 4-3 y Figura 4-3 comprueban el desempeño a 28 días, la Cantera A alcanza $f_c = 328.82 \text{ kgf/cm}^2$ representando el 94% de la resistencia de diseño, mientras que la Cantera B registra $f_c = 249.20 \text{ kgf/cm}^2$ equivalente al 71.20% del diseño, esto nos muestra que únicamente la Cantera A valida la especificación estructural requerida para pavimentos rígidos.

4.6 Discusión

El objetivo de esta investigación fue evaluar el desempeño del hormigón para pavimento rígido elaborado con agregados gruesos y finos provenientes del yacimiento A y B, ubicadas en la zona de Manta–Montecristi, analizando la resistencia a compresión, la durabilidad frente a sulfatos

y la resistencia al desgaste por abrasión, conforme a las normas ASTM C39, C88, C131, ACI 318 y NTE INEN.

La investigación tuvo un enfoque experimental, dado que las diferencias propias de los agregados como granulometría, absorción, textura superficial y potencial de reactividad no pueden ser evaluadas de forma confiable sin ensayos directos.

Los resultados nos dieron resultados en compromisos de desempeño claramente diferenciados entre ambos yacimientos, en el ensayo de resistencia a compresión (ASTM C39) el hormigón con agregado del yacimiento A alcanzó una resistencia a 28 días de 328.82 kgf/cm², equivalente al 94% de la resistencia de diseño (350 kgf/cm²) con una evolución progresiva entre 7 y 28 días (58–94%) esto cumple el valor mínimo recomendado por ACI 318 para pavimentos sometidos a cargas viales. Mientras que el agregado del yacimiento B alcanzó únicamente 249.20 kgf/cm² (71% del diseño), valor que está por debajo de la normativa para un pavimento rígido.

En términos del desgaste frente a la acción de sulfatos (ASTM C88), el agregado del yacimiento B presentó un mejor comportamiento, con una pérdida ponderada de masa de 9.08%, frente al 14.77% registrado por el yacimiento A. Esta diferencia fue más significativa en las fracciones gruesas consideradas críticas para la integridad estructural, lo que sugiere una menor susceptibilidad a procesos de desintegración química, aspecto relevante para zonas costeras con presencia de suelos sulfatados, como la provincia de Manabí.

El ensayo de abrasión Los Ángeles (ASTM C131) mostró que ambos yacimientos cumplen el límite máximo del 40% establecido para pavimentos rígidos, sin embargo, el agregado del

yacimiento A presentó aproximadamente un 9.7% menos de desgaste, evidenciando una mayor resistencia superficial frente al tráfico.

En recapitulación, el agregado del yacimiento A resulta más adecuado para pavimentos de alto tránsito, donde la resistencia a compresión y la abrasión son determinantes, pero mientras que el agregado del yacimiento B ofrece ventajas en ambientes con elevada exposición química. Por tanto, la elección de agregados para pavimentos rígidos requiere evaluar conjuntamente las demandas de tráfico y las condiciones ambientales.

4.7 Conclusiones y recomendaciones

4.7.1 Conclusiones

- Se determinó que la caracterización física de los agregados gruesos y finos provenientes de los ambos yacimientos ubicados en el área Manta–Montecristi permitió identificar diferencias en granulometría, absorción y gravedad específica, manteniéndose ambos agregados dentro de los límites establecidos por las normas ASTM y NTE INEN para su uso en pavimento rígido. La investigación fue un diseño experimental basado en el método de densidades óptimas para realizar la dosificación del hormigón para el pavimento rígido con condiciones adecuadas de densidad y trabajabilidad, esto son compatibles con los requerimientos constructivos y normativos lo que confirma la viabilidad técnica de ambos yacimientos, siempre que la dosificación y la relación agua/cemento se ajusten a las propiedades físicas y químicas propias de cada fuente de agregado.

- Se determinó que la evaluación de las propiedades mecánicas del hormigón y de la durabilidad de los agregados evidenció un desempeño diferenciado y cuantificable entre ambos yacimientos. El hormigón elaborado con agregado del yacimiento A alcanzó una resistencia a compresión a los 28 días de 328.82 kg/cm², equivalente al 94 % de la resistencia de diseño (350 kg/cm² patrón de referencia), superando en aproximadamente un 32 % al hormigón producido con agregado del yacimiento B, que alcanzó 249.20 kgf/cm² 71 % de la resistencia de diseño (350 kg/cm² patrón de referencia), cumpliendo únicamente el yacimiento A con los requisitos mínimos establecidos por ACI 318 para pavimentos rígidos sometidos a cargas viales (rango que fluctúa entre 280 kg/cm² a 350 kg/cm²) . En cuanto a la durabilidad del agregado el ensayo de desgaste por sulfato de sodio (ASTM C88) mostró una menor pérdida de masa en el yacimiento B (9.08 %) frente al yacimiento A (14.77 %), mientras que el ensayo de abrasión en la máquina de Los Ángeles (ASTM C131) confirmó que ambos agregados se mantienen por debajo del límite normativo del 40 %, presentando el yacimiento A un desgaste de 11,8% aproximadamente 9.7 % menor que el yacimiento B, que tuvo un 21,5%, ambos agregados cumplen con los límites establecidos por la norma aplicable para desgaste en la máquina de Los Ángeles.
- Finalmente, al evaluar de manera global los resultados obtenidos en los ensayos de resistencia a la compresión del hormigón y de durabilidad de los agregados, se determinó que el yacimiento A presenta el mejor desempeño global para su aplicación en pavimentos rígidos. Si bien el yacimiento B mostró un

comportamiento más favorable frente al deterioro químico por sulfatos, el conjunto de propiedades mecánicas y de resistencia al desgaste superficial del agregado del yacimiento A resulta determinante para satisfacer las exigencias estructurales y funcionales del pavimento rígido. Por lo tanto, se establece que bajo las condiciones típicas de demanda donde predominan el alto tráfico y una agresividad química moderada, el yacimiento A sería la alternativa más adecuada para la producción de hormigón destinado a pavimentos rígidos.

4.7.2 Recomendaciones

Esta investigación recomienda lo siguiente:

Se recomienda que, para proyectos de pavimentos rígidos sometidos a alto tráfico y condiciones de agresividad química moderada, se priorice el uso de agregados provenientes del yacimiento A, esto es debido a su mejor desempeño mecánico y mayor resistencia al desgaste superficial, conforme a los criterios establecidos por ACI 318 y ASTM C131.

- En las zonas donde existan suelos o ambientes con elevada presencia de sulfatos, se recomienda evaluar la incorporación de agregados del yacimiento B o la adopción de medidas complementarias de durabilidad (cementos resistentes a sulfatos, reducción de la relación agua/cemento o adiciones minerales), con el fin de mitigar el deterioro químico del pavimento.

- Se recomienda que el diseño de mezclas para pavimentos rígidos considere no solo el cumplimiento de los límites normativos, sino también el equilibrio entre resistencia mecánica, durabilidad y condiciones de servicio, especialmente en contextos costeros como la provincia de Manabí.

- Para unas futuras investigaciones, se recomienda complementar los ensayos realizados con estudios de durabilidad a largo plazo, como ciclos húmedo y seco, ataque por cloruros y evaluación de fisuración, esto es con el objetivo de optimizar la selección de materiales para pavimentos rígidos en ambientes agresivos.

5 Bibliografía

AASHTO. (1993). *Guide for design of pavement structures*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

Argos. (2019). *360 en Concreto*. Obtenido de Tipos de agregados y su influencia en el diseño de mezcla del concreto: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto/>

ASTM International. (2022). *Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. West Conshohocken: ASTM International.

ASTM International. (2023). *Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 50 mm [2 in.] cube specimens)*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2024). *ASTM C127: Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.

- ASTM International. (2024). *Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Committee, A. (2002). *Design and Control of Concrete Mixtures*. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Group, F. (s.f.). *Máquina de abrasión Los Ángeles*. Recuperado el 28 de July de 2025, de FISC: <https://fisc.com.py/producto/equipos-de-ensayos-fisicos/maquina-de-abrasion-los-angeles/>
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2010). *NTE INEN 858:2010. Áridos. Determinación de la resistencia a la abrasión por el método de Los Ángeles*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *NTE INEN 1572:2011. Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos*. Quito: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). (2011). *NTE INEN 863:2011. Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio*. Quito: INEN.
- Kosmatka, S. H., & Wilson, M. L. (2011). *Design and control of concrete mixtures*. Skokie, IL: Portland Cement Association.

- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2011). *Design and control of concrete mixtures* (15 ed.). Skokie: Portland Cement Association.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Microstructure, properties, and materials* (4 ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). *Concrete* (2 ed.). Upper Saddle River: Pearson Education.
- Nanditha, M. (2021). *Highway engineering & concrete technology lab manual*. Hyderabad: Institución: Marri Laxman Reddy Institute of Technology and Management, Department of Civil Engineering.
- Neville, A. M. (1998). *Tecnología del concreto*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Neville, A. M., & Brooks, J. J. (2010). *Concrete technology* (2 ed.). Harlow: Pearson Education.
- Portland Cement Association (PCA). (2018). *Design and control of concrete mixtures*. (14, Ed.) Skokie, IL: Author.
- Yepes, V. (20 de marzo de 2023). *Blog de Víctor Yepes*. Recuperado el 05 de 01 de 2026, de El hormigón para pavimentos de hormigón en carreteras:
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2023/03/20/el-hormigon-para-pavimentos-de-hormigon-en-carreteras/>

6 Anexos

CANTERA A

Densidades

Densidad volumen saturado, Absorción, Arena Fina

Agregado Fino Densidad y Absorción de Agua				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Masa en aire (horno seco)	A	491,5	g	Muestra secada al horno
Masa matraz + agua	B	652,1	g	Matraz lleno hasta marca
Masa saturada superficialmente seco	S	500	g	Muestra saturada seco superficie
Masa matraz + muestra + agua	C	963	g	Matraz con muestra lleno
Densidad volumen seco	Ds	2593	kg/m ³	A 23°C
Densidad volumen saturado	Dsss	2637	kg/m ³	Saturado superficialmente seco a 23°C
Densidad aparente	D	2715	kg/m ³	A 23°C
Porcentaje de absorción	Po	1,7	%	Capacidad de absorción de agua

Densidad volumen saturado, Absorción, Arena Homogenizada

Agregado Arena Homogenizada Densidad y Absorción de Agua				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Masa en aire (horno seco)	A	469,1	g	Muestra secada al horno
Masa matraz + agua	B	654,2	g	Matraz lleno hasta marca
Masa saturada superficialmente seco	S	500	g	Muestra saturada seco superficie
Masa matraz + muestra + agua	C	957,3	g	Matraz con muestra lleno
Densidad volumen seco	Ds	2376	kg/m ³	A 23°C
Densidad volumen saturado	Dsss	2533	kg/m ³	Saturado superficialmente seco a 23°C
Densidad aparente	D	2819	kg/m ³	A 23°C
Porcentaje de absorción	Po	6,6	%	Capacidad de absorción de agua

Densidad volumen saturado, Absorción, Piedra #56

Agregado Piedra #56 Densidad y Absorción de Agua				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Masa en aire (horno seco)	A	3919	g	Muestra secada al horno
Masa matraz + agua	B	4015	g	Matraz lleno hasta marca
Masa matraz + muestra + agua	C	2483	g	Matraz con muestra lleno
Densidad volumen seco	Ds	2552	kg/m³	A 23°C
Densidad volumen saturado	Dsss	2614	kg/m³	Saturado superficialmente seco a 23°C
Densidad aparente	D	2722	kg/m³	A 23°C
Porcentaje de absorción	Po	2,45	%	Capacidad de absorción de agua

Desgaste de abrasión

Resúmenes agregados utilizados

CANTERA 1				
ENSAYOS DE LABORATORIO (DE PRUEBA)				
Ensayos Propiedades	Unidad	Agregado Fino (Arena Homogenizada)	Agregado Fino (Arena Fina)	Agregado Grueso (Grava)
Análisis Granulométrico (ASTM C1 36)	Mf	3,11	0,9	7,17
	cm	4,75	4,75	2,54
Determinación del material más fino que el tamiz de 75 um (ASTM C117)	%	-	-	-
Determinación de impurezas orgánicas (ASTM C40)	-	-	-	-
Densidad SSS (ASTM C127-ASTM C128)	kg/m3	2533	2693	2614
Absorción (ASTM C127-ASTM C128)	%	6,6	1,7	2,45
Abrasión o degradación del agregado (ASTM c131)	%	-	-	11,8
Contenido de Humedad (ASTM C566)	%	3,25	6,9	9,05
Densidad Aparente suelta (ASTM C40)	kg/m3	1660	1776	1577
Densidad Aparente Compactada (ASTM C40)	kg/m3	1770	1859	1677
Densidad óptima de la mezcla (ASTM C40)	kg/m3	1768,666667		
Porcentaje Optimo de Vacíos (Densidad Óptima - ASTM C40)	%	48,0	55,0	60,0
Porcentaje de Participación de los Agregados	%	55	45	100

procedimiento de Diseño de Mezcla Cantera 1, (Método de Densidades Óptimas)

Datos del cemento		
Tipo I		
Descripción	Unidad	Proyección
Densidad del Homrigón	Kg/m3	2990
Asentamiento (slump)	cm	20
Resistencia	Mpa	35

1) Calculo de f_c (resistencia a la compresión media requerida (MPa))

Resistencia Especificada f_c (MPa)	Resistencia a la Compresión Promedio Requerida f_{cr} (MPa)
Menor a 21	$f_c + 6,9$
21-35	$f_c + 8,3$
Sobre 35 hasta 70	$f_c + 9,7$
Sobre 70 hasta 105	$f_c + 12,4$

$f_c =$	43,3	MPa
---------	------	-----

2) Determinar la Relación de agua cemento

f_c	Relación Agua/Cemento
Mpa	
45	0,37
42	0,4
40	0,42
35	0,46
32	0,5
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,6

Interpelación

Resistencia	aprox	aprox
43,3	42	0,4
	45	0,37

0
0

Relación Agua Cemento	0,387
-----------------------	-------

3) Determinar la densidad real de la mezcla de los agregados

Densidad Real de la Mezcla de los Agregados	2903,63	kg/m ³
---	---------	-------------------

4) Determinar el porcentaje óptimo de vacíos

Porcentaje Óptimo de Vacíos	39,09	%
-----------------------------	-------	---

5) Determinar el porcentaje de cantidad de pasta cementicia

Cantidad de Pasta	44,19	%
-------------------	-------	---

6) Determinar el porcentaje de cantidad de pasta cementicia real

Condición
Cantidad de Pasta > 30 %
Cantidad de pasta real =30 %

Cantidad de Pasta Real	44,19	%
------------------------	-------	---

Nota: La condición de pasta cementicia, es utilizada para los hormigones convencionales, se realiza excepciones cuando son hormigones de alta resistencia

7) Determinar el peso del cemento

Peso Cemento	612,506	kg/m ³
--------------	---------	-------------------

8) Determinar el peso de la arena

Arena Homogenizada	373,214	kg/m ³	Arena fina	371,989	kg/m ³
--------------------	---------	-------------------	------------	---------	-------------------

9) Determinar el peso de la grava

Peso de la Grava	875,338	kg/m ³
------------------	---------	-------------------

9) Contenido de agua de la mezcla

Agua de la Mezcla	237,040	Lt
-------------------	---------	----

10) Corrección del contenido de agua de la mezcla

Agua de la Mezcla Corregida	172,427	Lt
-----------------------------	---------	----

11) Proporciones del Concreto

Componentes	Kg (1m ³)	Dosificación Estándar	Cantidad para X de Cemento(Kg)	
Cemento	612,506	1	12	X
Arena Nfina	371,989	0,607	7,288	
Arena H	373,214	0,609	7,312	
Grava	875,338	1,429	17,149	
Agua	172,427	0,282	3,378	
DENSIDAD	2405,474	kg/m ³		

Resultados Obtenidos

CANTERA A	
Asentamiento	
	
Slump Obtenido:	Slump Proyectado:
70 mm	200 mm
Observaciones: La mezcla presenta una consistencia blanda, con trabajabilidad adecuada.	

Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Dia =	3	Tipo de Falla 3	Dia =	3	Tipo de Falla 3	Dia =	3	Tipo de Falla 1
Resistencia(Kg/cm ²)	84,24	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²)	104,84	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²)	0,00	Cono
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:		
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.		

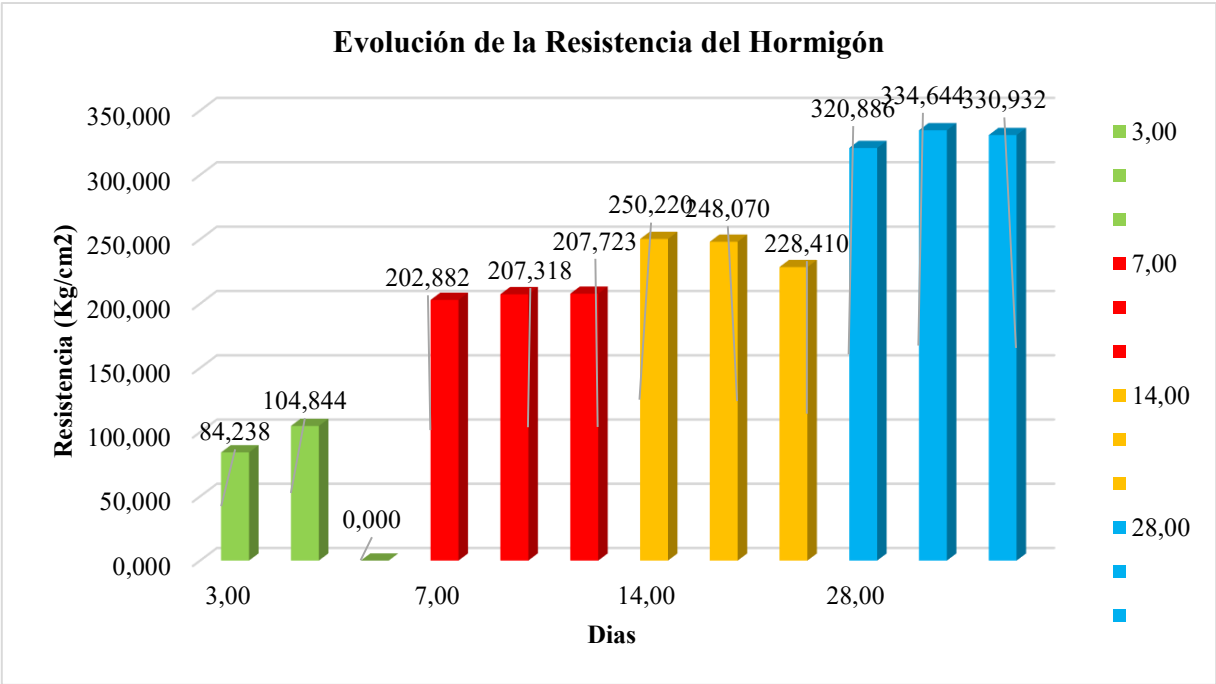
Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Dia =	7	Tipo de Falla 3	Dia =	7	Tipo de Falla 2	Dia =	7	Tipo de Falla 2
Resistencia(Kg/cm ²) =	202,88	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	207,32	Cono Parcial y Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	207,72	Cono Parcial y Columnar
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:		
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.			Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.		

Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Dia =	14	Tipo de Falla 6	Dia =	14	Tipo de Falla 1	Dia =	14	Tipo de Falla 2
Resistencia(Kg/cm ²) =	250,22	Punta Cónica	Resistencia(Kg/cm ²) =	248,07	Cono	Resistencia(Kg/cm ²) =	228,41	Cono Parcial y Columnar
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones: Esta muestra se descarta para los resultados por mala compactación		
Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta.			Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.			Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.		

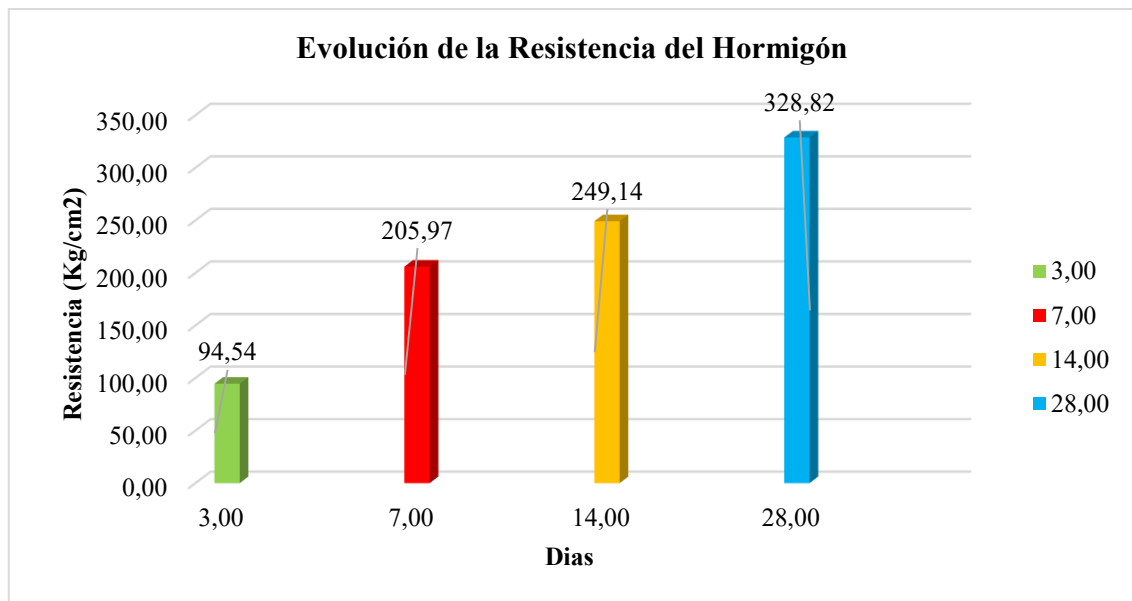
Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Dia =	28	Tipo de Falla 2	Dia =	28	Tipo de Falla 2	Dia =	28	Tipo de Falla 3
Resistencia(Kg/cm ²) =	320,89	Cono Parcial y Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	334,64	Cono Parcial y Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	330,93	Columnar
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:		
Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.			Cono bien formado en uno de los extremos, fisuras verticales que recorren a través de la cabecera, cono no muy definido en el otro extremo.			Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.		

Tabulación

Propiedades Días	Fuerza (Kgf)	Resistencia (KgF/cm²)	Resistencia Promedio (KgF/cm²)	% Resistencia
3,00	6616,000	84,238	94,54	27,01
	8234,400	104,844		
	0,000	0,000		
7,00	15934,300	202,882	205,97	58,85
	16282,700	207,318		
	16314,500	207,723		
14,00	19652,200	250,220	249,14	71,18
	19483,400	248,070		
	17939,300	228,410		
28,00	25202,300	320,886	328,82	93,95
	26282,900	334,644		
	25991,300	330,932		



Días	% Resistencia	Resistencia Kg/cm2
3,00	27,01	94,54
7,00	58,85	205,97
14,00	71,18	249,14
28,00	93,95	328,82



CANTERA B

Densidades

Densidad Volumen Saturado, Porcentaje de Absorción, Arena Fina

Agregado Fino Densidad y Absorción de Agua				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Masa en aire (horno seco)	A	491,5	g	Muestra secada al horno
Masa matraz + agua	B	652,1	g	Matraz lleno hasta marca
Masa saturada superficialmente seco	S	500	g	Muestra saturada seco superficie
Masa matraz + muestra + agua	C	963	g	Matraz con muestra lleno
Densidad volumen seco	Ds	2593	kg/m ³	A 23°C
Densidad volumen saturado	Dsss	2637	kg/m ³	Saturado superficialmente seco a 23°C
Densidad aparente	D	2715	kg/m ³	A 23°C
Porcentaje de absorción	Po	1,7	%	Capacidad de absorción de agua

Densidad Volumen Saturado, Porcentaje de Absorción, Arena Homegenizada

Agregado Arena Homogenizada Densidad y Absorción de Agua				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Masa en aire (horno seco)	A	469,1	g	Muestra secada al horno
Masa matraz + agua	B	654,2	g	Matraz lleno hasta marca
Masa saturada superficialmente seco	S	500	g	Muestra saturada seco superficie
Masa matraz + muestra + agua	C	957,3	g	Matraz con muestra lleno
Densidad volumen seco	Ds	2376	kg/m ³	A 23°C
Densidad volumen saturado	Dsss	2533	kg/m ³	Saturado superficialmente seco a 23°C
Densidad aparente	D	2819	kg/m ³	A 23°C
Porcentaje de absorción	Po	6,6	%	Capacidad de absorción de agua

Densidad Volumen Saturado, Porcentaje de Absorción, Piedra #56

Agregado Piedra #57 Densidad y Absorción de Agua				
Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad	Descripción
Masa en aire (horno seco)	A	3497,6	g	Muestra secada al horno
Masa matraz + agua	B	3648,8	g	Matraz lleno hasta marca
Masa matraz + muestra + agua	C	2250	g	Matraz con muestra lleno
Densidad volumen seco	Ds	2494	kg/m ³	A 23°C
Densidad volumen saturado	Dsss	2602	kg/m ³	Saturado superficialmente seco a 23°C
Densidad aparente	D	2796	kg/m ³	A 23°C
Porcentaje de absorción	Po	4,32	%	Capacidad de absorción de agua

Procedimiento de Diseño de Mezcla Cantera 1, (Método de Densidades Óptimas)

Datos del cemento		
Tipo I		
Descripción	Unidad	Proyección
Densidad del Homrigón	Kg/m3	2990
Asentamiento (slump)	cm	20
Resistencia	Mpa	35

1) Calculo de f_c (resistencia a la compresión media requerida (MPa))

Resistencia Especificada f_c (MPa)	Resistencia a la Compresión Promedio Requerida f_{cr} (MPa)	$f_c =$	43,3	MPa
Menor a 21	$f_c + 6,9$			
21-35	$f_c + 8,3$			
Sobre 35 hasta 70	$f_c + 9,7$			
Sobre 70 hasta 105	$f_c + 12,4$			

2) Determinar la Relación de agua cemento

f'_c Mpa	Relación Agua/Cemento
45	0,37
42	0,4
40	0,42
35	0,46
32	0,5
30	0,51
28	0,52
25	0,55
24	0,56
21	0,58
18	0,6

Interpolación

Resistencia	aprox	aprox	
43,3	42	0,4	0
	45	0,37	0

Relación Agua Cemento	0,387
-----------------------	-------

3) Determinar la densidad real de la mezcla de los agregados

Densidad Real de la Mezcla de los Agregados	2896,43	kg/m ³
---	---------	-------------------

4) Determinar el porcentaje óptimo de vacíos

Porcentaje Óptimo de Vacíos	38,94	%
-----------------------------	-------	---

5) Determinar el porcentaje de cantidad de pasta cementicia

Cantidad de Pasta	44,02	%
-------------------	-------	---

6) Determinar el porcentaje de cantidad de pasta cementicia real				
			Nota:	La condición de pasta cementicia, es utilizada para los hormigones convencionales, se realiza excepciones cuando son hormigones de alta resistencia
Condición			Cantidad de Pasta Real	44,02
Cantidad de Pasta > 30 %			%	
Cantidad de pasta real =30 %				
7) Determinar el peso del cemento				
Peso Cemento	610,134	kg/m ³		
8) Determinar el peso de la arena				
Arena Homogenizada	374,358	kg/m ³	Arena fina	373,130
				kg/m ³
9) Determinar el peso de la grava				
Peso de la Grava	873,990	kg/m ³		
9) Contenido de agua de la mezcla				
Agua de la Mezcla	236,122	Lt		
10) Corrección del contenido de agua de la mezcla				
Agua de la Mezcla Corregida	173,998	Lt		
11) Proporciones del Concreto				
Componentes	Kg (1m ³)	Dosificación Estándar	Cantidad para X de Cemento(Kg)	
Cemento	610,134	1	12	X
Arena Nfina	373,130	0,612	7,339	
Arena H	374,358	0,614	7,363	
Grava	873,990	1,432	17,189	
Agua	173,998	0,285	3,422	
DENSIDAD	2405,611	Kg/m ³		

Resultados obtenidos

Asentamiento

CANTERA B	
Asentamiento	
	
Slump Obtenido:	Slump Proyectado:
90 mm	200 mm
Observaciones: La mezcla presenta una consistencia blanda, con trabajabilidad adecuada.	

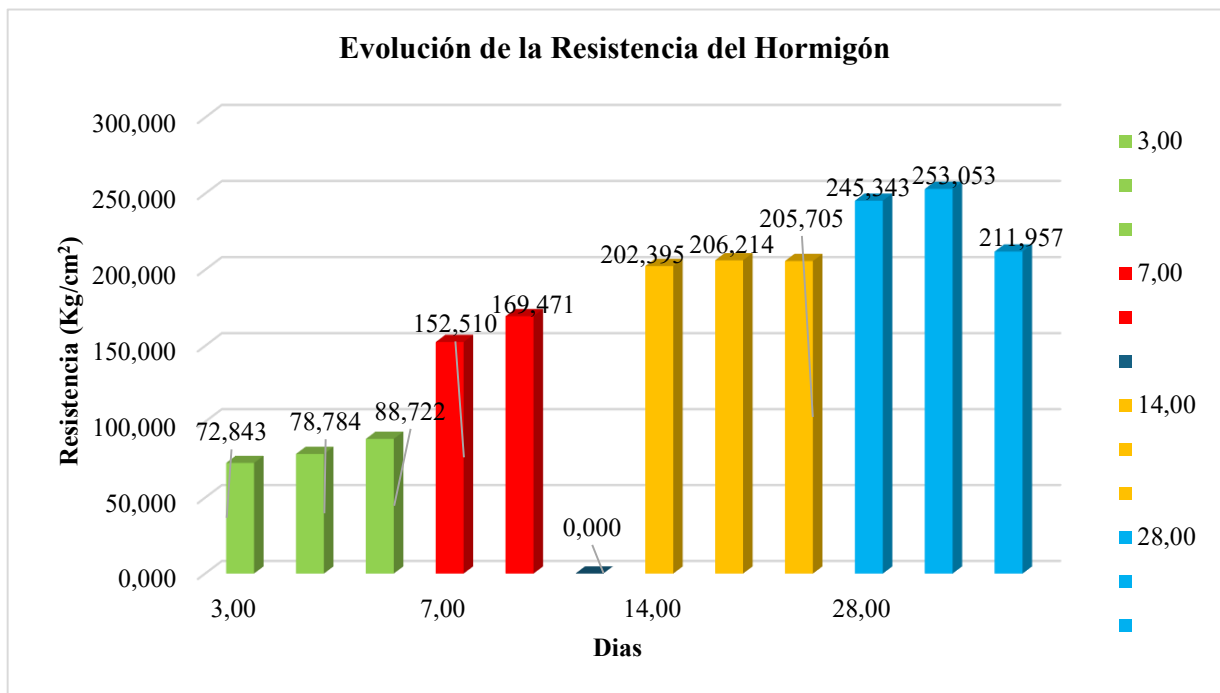
Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Dia =	3	Tipo de Falla 3	Dia =	3	Tipo de Falla 6	Dia =	3	Tipo de Falla 1
Resistencia(Kg/cm ²)	72,84	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²)	78,78	Punta Cónica	Resistencia(Kg/cm ²)	88,72	Cono
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:		
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta.			Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.		

Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Día =	7	Tipo de Falla 3	Día =	7	Tipo de Falla 3	Día =	7	Tipo de Falla 1
Resistencia(Kg/cm ²) =	152,51	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	169,47	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	0,00	Cono
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:		
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.		

Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Día =	14	Tipo de Falla 3	Día =	14	Tipo de Falla 3	Día =	14	Tipo de Falla 1
Resistencia(Kg/cm ²) =	202,40	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	206,21	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	205,70	Cono
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones:		
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Conos en ambos extremos razonablemente bien formados, fisuras a través de la cabecera menor a 25 mm.		

Probeta 1			Probeta 2			Probeta 3		
Día =	28	Tipo de Falla 3	Día =	28	Tipo de Falla 6	Día =	28	Tipo de Falla 3
Resistencia(Kg/cm ²) =	245,34	Columnar	Resistencia(Kg/cm ²) =	253,05	Punta Cónica	Resistencia(Kg/cm ²) =	211,96	Columnar
Imagen			Imagen			Imagen		
								
Observaciones:			Observaciones:			Observaciones: Esta probeta se descarta para los resultados por mala compactación del hormigón		
Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.			Similar al Tipo 5, pero el extremo del cilindro está en punta.			Fisura vertical columnar a través de ambos extremos, conos no muy definidos.		

Propiedades Días	Fuerza (Kgf)	Resistencia (KgF/cm ²)	Resistencia Promedio (KgF/cm ²)	% Resistencia
3,00	5721,100	72,843	80,12	22,89
	6187,700	78,784		
	6968,200	88,722		
7,00	11978,100	152,510	160,99	46,00
	13310,200	169,471		
	0,000	0,000		
14,00	15896,100	202,395	204,77	58,51
	16196,000	206,214		
	16156,000	205,705		
28,00	19269,200	245,343	249,20	71,20
	19874,700	253,053		
	16647,100	211,957		



Días	% Resistencia	Resistencia Kg/cm2
3,00	22,89	80,12
7,00	46,00	160,99
14,00	58,51	204,77
28,00	71,20	249,20

