

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un hormigón tradicional y un hormigón con sustitución del agregado fino por arcilla al 5% y 10% en volumen

---

Trabajo de Titulación, Modalidad trabajo experimental previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil.

Autor: Danny Vladimir Flores Tipan

Tutor: Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

Ambato – Ecuador

Junio - 2026

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del trabajo experimental, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN."**, elaborado por el estudiante Danny Vladimir Flores Tipan, portador de la cédula de ciudadanía número 1804672739, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, junio 2026



.....

Ing. Carlos Patricio Navarro Peñaherrera, Mg.

C.C:1802163038

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Danny Vladimir Flores Tipan**, con C.C. 1804672739 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente trabajo experimental con el tema: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo experimental, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio 2026



.....

Danny Vladimir Flores Tipan

C.C. 1804672739

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este trabajo experimental o parte de él, un documento disponible para su consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi trabajo experimental, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, junio 2026



.....

Flores Tipan Danny Vladimir

C.C.1804672739

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe de trabajo experimental, realizado por el estudiante **Danny Vladimir Flores Tipan**, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema:

"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN.", Trabajo experimental.

Ambato, junio 2026

Para constancia firman:

.....	.....
Ing. Galo Wilfrido Núñez Aldas, Mg.	Ing. Jorge Lenin León Arcos, Mg.
C.C 1802229227	C.C 1803779972
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

A Dios,
Por ser mi fortaleza y guía en cada paso de este
camino. Su promesa me sostuvo en los momentos
de mayor dificultad:
"Mira que te mando que te esfuerces y seas
valiente, no temas ni desmayes, porque Jehová
tu Dios estará contigo en donde quiera que vayas"
Josué 1:9

A mis padres,
Tereza Tipan y Eduardo Flores,
por su amor incondicional, su esfuerzo y sacrificio
constante. Cada logro mío lleva su huella.

A mis hermanas,
Edilma Tipan y Narciza Tipan,
por su compañía, apoyo y palabras de aliento
en los momentos más difíciles de este camino.

A mis sobrinos,
Valentina, Cristian y Emilio,
Que con su alegría y ternura iluminaron mis días
Y me recordaron la razón de seguir adelante.

Danny Vladimir Flores Tipan

AGRADECIMIENTO

A Dios

Por ser la fuente de toda sabiduría y fortaleza.
Gracias por guiar cada paso de este proceso, por la salud,
la perseverancia y la fe para alcanzar esta meta.

A mis padres, Tereza Tipan Y Eduardo Flores
Por su amor sin límites, su dedicación y el sacrificio
que hicieron día a día para apoyarme. Este logro es
tan suyo como mío.

A mis hermanas Edilma y Narciza
también a mi cuñado Santiago
Por estar presentes en cada momento, por su cariño
y por sus palabras de aliento que me dieron fuerzas.

Un agradecimiento especial
Al Ing. Carlos Navarro, Ing. Fidel Castro e
Ing. Mayra Viscaino, por su orientación, paciencia
y valiosa guía durante el desarrollo de este trabajo.
Su apoyo académico fue determinante para
culminar con éxito esta investigación.

A la Universidad Técnica de Ambato
Por brindarme la formación académica y los valores
profesionales necesarios para enfrentar los retos del
futuro. A sus docentes, por compartir su conocimiento.

Danny Vladimir Flores Tipan

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA i
APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DE AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
AGRADECIMIENTO vii
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS viii
ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS x
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE ANEXOS xii
SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS xiii
RESUMEN EJECUTIVO xiv
ABSTRACT xv
CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO 1
I. JUSTIFICACIÓN 1
II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS 3
III. OBJETIVOS 4
A. OBJETIVO GENERAL 4
B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 4
CAPITULO II.- METODOLOGÍA 5
I. EQUIPOS Y MATERIALES 5
A. FASE I 5
B. FASE II 9
C. FASE III 10
II. MÉTODOS 10
A. FASE I 10

B. FASE II 22
C. FASE III 31
CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 32
I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 32
A. FASE I 33
B. FASE II 41
C. FASE III 51
II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS 59
A. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN 59
B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS 59
CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓNES 60
I. CONCLUSIONES 60
II. RECOMENDACIONES 61
BIBLIOGRAFÍA 62
ANEXOS 65

ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS

Fig. 1. Contenido de humedad. 11
Fig. 2. Granulometría del agregado grueso. 12
Fig. 3. Granulometría del agregado fino. 13
Fig. 4. Determinación de la densidad real de la arena. 14
Fig. 5. Peso de la muestra en estado S.S.S. 15
Fig. 6. Densidad aparente y suelta de los agregados. 16
Fig. 7. densidad real del cemento. 17
Fig. 8. Granulometría material de reemplazo - (Arcilla). 19
Fig. 9. Copa de Casagrande (limite liquido). 21
Fig. 10. Picnómetro, agua destilada y suelo. 22
Fig. 11. Determinación del asentamiento con el Cono de Abrams 29
Fig. 12. Moldeo de cilindros de Hormigón 30
Fig. 13. Ensayo de compresión. 32
Fig. 14. Resistencia a compresión 0% de reemplazo 52
Fig. 15. Resistencia a compresión 5% de reemplazo. 53
Fig. 16. Resistencia a compresión 10% de reemplazo. 54
Fig. 17. Resultados del esfuerzo a compresión a los 7 días. 55
Fig. 18. Resultados del esfuerzo a compresión a los 14 días. 56
Fig. 19. Resultados del esfuerzo a compresión a los 21 días. 57
Fig. 20. Resultados del esfuerzo a compresión a los 28 días. 58

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I 5
TABLA II 6
TABLA III 7
TABLA IV 8
TABLA V 8
TABLA VI 9
TABLA VII 10
TABLA VIII 12
TABLA IX 12
TABLA X 18
TABLA XI 23
TABLA XII 23
TABLA XIII 24
TABLA XIV 25
TABLA XV 26
TABLA XVI 30
TABLA XVII 33
TABLA XVIII 34
TABLA XIX 35
TABLA XX 36
TABLA XXI 36
TABLA XXII 37
TABLA XXIII 38
TABLA XXIV 38
TABLA XXV 39
TABLA XXVI 40
TABLA XXVII 40
TABLA XXVIII 41
TABLA XXIX 42
TABLA XXX 42
TABLA XXXI 44
TABLA XXXII 45
TABLA XXXIII 48
TABLA XXXIV 48
TABLA XXXV 49
TABLA XXXVI 49
TABLA XXXVII 50
TABLA XXXVIII 51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de contenido de humedad. 65
Anexo 2 Ensayo de granulometría del agregado fino. 66
Anexo 3 Ensayo de granulometría del agregado grueso. 67
Anexo 4 Ensayo densidad real y capacidad de absorción de agregado fino. 68
Anexo 5 Ensayo densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso. 69
Anexo 6 Ensayo Densidad real y capacidad de absorción del material de reemplazo – Arcilla. 70
Anexo 7 Densidad suelta y compacta del agregado grueso. 71
Anexo 8 Densidad suelta y compacta del agregado fino. 71
Anexo 9 Ensayo densidad real del cemento. 72
Anexo 10 Análisis Granulométrico - Material de reemplazo (Arcilla). 73
Anexo 11 Ensayo límites de atterberg 74
Anexo 12 Dosificación Patron 240 kg/cm^2. 75
Anexo 13 Dosificación 5% de reemplazo. 76
Anexo 14 Dosificación 10% de reemplazo. 77
Anexo 15 Pesos de las muestras – 0% de reemplazo 78
Anexo 16 Pesos de las muestras – 5% de reemplazo 78
Anexo 17 Pesos de las muestras – 10% de reemplazo 79
Anexo 18 Resistencia a compresión a los 28 días de curado 0% de reemplazo. 79
Anexo 19 Resistencia a compresión a los 28 días de curado 5% de reemplazo. 80
Anexo 20 Resistencia a compresión a los 28 días de curado 10% de reemplazo. 80

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society for Testing and Material
SUCS	Sistema Unificado de Clasificación de suelos
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
SSS	Superficialmente saturada Seca
UTA	Universidad Técnica de Ambato

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo experimental se enfocó en el análisis comparativo de la resistencia a compresión de un hormigón tradicional y un hormigón con sustitución del agregado fino por arcilla al 5% y 10% en volumen, con el propósito de efectuar una evaluación profunda de las propiedades mecánicas, con el objetivo de determinar si la sustitución del material mencionado es una opción factible para potenciar el desempeño a compresión del hormigón, impulsando la eficiencia de recursos y la responsabilidad ecológica de la industria.

Se diseñaron tres mezclas mediante el método ACI 211.1 para una resistencia objetivo de 240 kg/cm^2, una muestra patrón 0% arcilla, una con 5% y otra con 10% de sustitución. Se elaboraron 36 probetas cilíndricas ensayadas a los 7, 14, 21 y 28 días bajo la norma NTE INEN 1573.

Los resultados a los 28 días determinaron que el hormigón patrón supero el diseño alcanzando 263.77 kg/cm^2. En contraste, la mezcla con 5% de arcilla obtuvo 237.08 kg/cm^2 reducción del 10.1% y la de 10% alcanzo 232.16 kg/cm^2 reducción del 12.0%. no logrando ninguna de las dos dosificaciones alternativas la resistencia estructural requerida. La disminución mecánica se atribuye a la alta demanda de agua de la arcilla, debilitando a la adherencia en la zona de transición interfacial.

Los resultados experimentales determinan que la sustitución de agregado fino por el material de reemplazo reduce la resistencia a la compresión. Por lo tanto, se descarta su uso para hormigones estructurales de 240 kg/cm^2, e valuar menos porcentajes o aplicaciones en elementos no estructurales.

PALABRAS CLAVE: ARCILLA, COMPRESIÓN, DOSIFICACIÓN, RESISTENCIA, DISEÑO DE HORMIGON.

ABSTRACT

This experimental study focused on a comparative analysis of the compressive strength of traditional concrete and concrete in which the fine aggregate was replaced with clay at 5% and 10% by volume, with the aim of conducting a thoro evaluation of the mechanical properties to determine whether replacing the fine aggregate with clay is a feasible option for enhancing the compressive performance of concrete, thereby promoting resource efficiency and environmental responsibility in the industry.

Three mixtures were designed using the ACI 2111.1 method for a target strength of 240 kg/cm², including a control sample with 0% clay, one with 5% substitution, and another with 10% substitution. Thirty-six cylindrical specimens were cast and tested at 7, 14, 21, and 28 days in accordance with NTE INEN 1573.

The results at 28 days showed that the control concrete exceeded the design strength, reaching 263.77 kg/cm². In contrast, the mixture with 5% clay achieved 237.08 kg/cm², a reduction of 10.1%, and the one with 10% reached 232.16 kg/cm², a reduction of 12.0%. Neither of the two alternative dosages achieved the required structural strength. The decrease in mechanical strength is attributed to the high water demand of the clay, which weakens adhesion in the interfacial transition zone.

The experimental results show that replacing fine aggregate with the substitute material reduces compressive strength. Therefore, its use is ruled out for structural concrete with a compressive strength of 240 kg/cm², and lower replacement ratios or its use in non-structural elements should be considered.

KEYWORDS: CLAY, COMPRESSION, DOSAGE, STRENGTH, CONCRETE DISIGN.

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

I. JUSTIFICACIÓN

El hormigón es un material compuesto formado principalmente por cemento, agua y agregados (gruesos y finos), cuya principal función es proporcionar resistencia estructural y durabilidad a las construcciones. La resistencia a la compresión es la propiedad mecánica más crítica para hormigones usados en elementos estructurales, ya que determina la capacidad del material para soportar cargas axiales sin fallar. Esta propiedad está influenciada tanto por la calidad de los componentes como por la dosificación y diseño de mezcla. Los agregados finos (arena natural o manufacturada) representan una parte significativa del volumen total del hormigón y su gradación, forma y composición física afecta directamente la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto. Un agregado fino adecuado debe presentar buena compatibilidad con la pasta de cemento, baja absorción de agua y una distribución granulométrica que favorezca la densidad y compactación del material [1].

La necesidad de alternativas sostenibles a la arena natural surge debido a la sobreexplotación de fuentes naturales, incremento de costos y problemas ambientales asociados a su extracción. Por ello, diversas investigaciones se han centrado en sustituir parcial o totalmente el agregado fino por materiales alternativos, tales como arcilla cocida, residuos de arcilla industrial, arena volcánica o sustitutos ligeros, con el objetivo de reducir la dependencia de recursos naturales y aprovechar materiales reciclados o de desecho. Por ejemplo, Chavarría et al. (2021) en su tesis sobre "Arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural" observaron que al incrementar la proporción de arcilla cocida hasta el 25 % en reemplazo del agregado fino, la resistencia a la compresión del hormigón mejoró en comparación con la mezcla patrón sin sustitución. Esto demuestra el potencial de la arcilla cocida para alterar favorablemente las características mecánicas del hormigón bajo ciertas condiciones de dosificación y curado [1].

Otro enfoque relacionado se encuentra en investigaciones sobre residuos de arcilla proveniente de la industria del petróleo donde se evaluó concretos que contenían entre 10 % y 30 % de arcilla residual como agregado fino. El estudio encontró que una sustitución del 20 % mejoró la resistencia a la compresión de especímenes intactos y aumentó la capacidad residual después de exposición térmica en comparación con hormigón sin sustitución [2].

La literatura muestra que la inclusión de materiales alternativos como arcilla o finos derivados de residuos puede influir significativamente en la resistencia mecánica del hormigón de formas que dependen del porcentaje de sustitución: En algunos estudios, sustituciones moderadas (por ejemplo, alrededor de 10 % a 20 %) han mostrado mantener o incluso mejorar la resistencia a la compresión comparados con hormigones tradicionales, lo que sugiere que la arcilla puede actuar como un relleno fino que mejora la densidad interna del concreto [3]. Las propiedades fisicoquímicas del sustituto con alta porosidad o absorción pueden incrementar la demanda de agua en la mezcla, lo que potencialmente reduce la resistencia si no se ajusta correctamente la dosificación y relación agua-cemento. Esto ha sido documentado en investigaciones que muestran reducciones de resistencia cuando materiales de baja calidad o demasiado porosos sustituyen cantidades mayores de agregado fino [4].

La sustitución parcial del agregado fino por arcilla no solo atiende a aspectos mecánicos, sino que también promueve la sostenibilidad en la industria de la construcción. El aprovechamiento de materiales de desecho o subproductos industriales reduce la explotación de recursos naturales, disminuye el impacto ambiental y puede ofrecer alternativas económicamente viables para regiones con escasez de arena natural.

La exploración de sustitutos parciales del agregado fino tradicionales responde tanto a necesidades ambientales como a desafíos técnicos en ingeniería de materiales. La explotación intensiva de arenas naturales provoca impactos ambientales significativos, como la degradación de lechos fluviales, erosión y pérdida de biodiversidad. Sustituir parcialmente la arena por materiales alternativos provenientes de procesos industriales o residuos puede disminuir la presión sobre los recursos naturales y contribuir a un hormigón más sostenible sin sacrificar su resistencia mecánica si se determina un porcentaje de reemplazo óptimo [5].

Desde una perspectiva técnica, la resistencia a la compresión es un indicador clave de la calidad de un hormigón estructural y está directamente relacionada con la seguridad y funcionalidad de las estructuras. Es esencial comprender cómo materiales alternativos afectan esta propiedad crítica del hormigón. Aunque algunos estudios han demostrado que arcillas o residuos cerámicos pueden influir en las propiedades mecánicas de manera positiva o negativa dependiendo de su cantidad y tratamiento, aún se requiere investigación específica y sistemática en rangos bajos de sustitución (5 % y 10 %) para determinar si estos porcentajes pueden ofrecer una alternativa viable [5].

II. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En investigaciones, se evaluó el uso de ladrillos de arcilla reciclada (LAR) como sustituto parcial del agregado fino en hormigón. Los resultados experimentales indicaron que la sustitución de LAR mejoró las propiedades mecánicas de concreto, superando la resistencia a la compresión del concreto convencional en aproximadamente 10.20 % y 11.19 % para ciertos diseños, lo que implica que sustituciones de agregados finos por materiales cerámicos basados en arcilla pueden resultar beneficiosas para la resistencia a compresión, aunque estos estudios trabajaron con porcentajes mayores (25 %) [6].

Varios estudios han señalado que la presencia no controlada de arcilla o partículas finas arcillosas afecta negativamente las propiedades reológicas y mecánicas del concreto, investigaciones generales sobre arcilla en agregados fino y su efecto en el concreto muestran que el incremento de contenido de arcilla reduce tanto la trabajabilidad como la resistencia a la compresión, debido a mayor absorción de agua y menor adherencia entre pasta y agregado [7].

En el contexto de mezclas con materiales alternativos (como polvo de ladrillo o arcilla residual), se observa que ciertos materiales de arcilla pueden actuar como filler o incluso aportar propiedades puzolánicas, dependiendo de su tratamiento térmico y granulometría [7].

III. OBJETIVOS

A. OBJETIVO GENERAL

Analizar la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón dosificadas para una resistencia a la compresión de 240 kg/cm² empleando en su composición arcilla, en reemplazo parcial del agregado fino en un 5% y 10% en volumen.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1) Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales.
2) Realizar la dosificación del material para la adición de arcilla en sustitución del 5% y 10% en volumen del contenido del agregado fino.
3) Determinar la variación en la resistencia a compresión en probetas cilíndricas elaboradas con hormigón tradicional, hormigón con adición de arcilla en reemplazo parcial del agregado fino a los 28 días.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

Este trabajo experimental tuvo como propósito analizar y comparar un hormigón tradicional de 240 kg/cm^2 de resistencia a la compresión, cómo incide la adición de distintos porcentajes de arcilla en la resistencia a la compresión del hormigón. En el presente capítulo se especifican los materiales, el equipo técnico, los procedimientos metodológicos y las fases operativas que guiarán el proceso experimental hasta su finalización.

I. EQUIPOS Y MATERIALES

Para la ejecución de este trabajo experimental, se utilizaron los materiales y equipos indispensables para la elaboración y evaluación de las mezclas de hormigón, los cuales se describen de acuerdo con las etapas y objetivos de la investigación. Gran parte de estos recursos e instrumentos fueron facilitados por los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato (UTA), lo que garantiza el rigor y la calidad de los ensayos realizados.

A. FASE I

TABLA I

CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO	
EQUIPOS Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Agregado Grueso	· Agregado grueso natural proveniente de la Mina "ALVORTIZ"
	· Tamaño nominal máximo de ripio: 3/4”
Agregado Fino	· Arena natural lavada de la Mina " Las Pampas"
Material de reemplazo	· Suelo natural determinado como Arcilla
Recipiente metálico pequeño	· Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.
Horno eléctrico	· Marca: CONTROLS
	· Voltaje: 110V
	· Temperatura regulable hasta 200 °C.
Balanza electrónica	· Marca: SHIMADZU
	· Precisión: 0.1 gr
	· Unidad: gr

TABLA II

ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO	
EQUIPOS Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Agregado Grueso	• Agregado grueso natural proveniente de la Mina "ALVORTIZ"
	• Tamaño nominal máximo de ripio: 3/4”
Tamices metálicos	• Tamaño nominal: 3/4”, 1/2”, 3/8”, #4, #8 y bandeja
	• Dimensiones: 50x50 cm
	• Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.
Balanza electrónica	• Marca: SHIMADZU
	• Precisión: 0.1 gr
	• Unidad: gr
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO	
Agregado fino	• Origen: Agregado fino lavado de la mina " Las pampas"
Tamices metálicos	• Tamaño nominal: 3/8”, #4, #8, #16. #30, #50, #100, #200 y bandeja
	• Diámetro: 25cm
	• Marca: Humboldt
Tamizadora eléctrica	• Marca: Controls
	• Capacidad: 15 tamices Humboldt
	• Marca: SHIMADZU
Balanza electrónica	• Unidad: gr
	• Precisión: 0.1 gr
ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO DE REEMPLAZO	
Muestra de reemplazo	• Origen: Suelo determinado como arcilla – Sector la victoria - Pujili
Tamices metálicos	• Tamaño nominal: #4, #8, #10, #16, #30, #40, #50, #60, #100, #200 y bandeja
	• Diámetro: 25cm
	• Marca: Humboldt
Tamizadora eléctrica	• Marca: Controls
	• Capacidad: 15 tamices Humboldt
Balanza electrónica	• Marca: SHIMADZU
	• Unidad: gr
	• Precisión: 0.1 gr

TABLA III

ENSAYO DE DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO Y FINO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYO DE DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO	
EQUIPOS Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Agregado Grueso	· Agregado grueso natural proveniente de la Mina " ALVORTIZ"
	· Tamaño nominal máximo de ripio: 1/2”
Canastilla metálica	· Malla #8
	· Dimensiones: 20.3 x 20.3 cm
Horno Eléctrico	· Marca: CONTROLS
	· Voltaje: 110V
	· Temperatura regulable hasta 200 °C.
Balanza electrónica	· Marca: SHIMADZU
	· Unidad: gr
	· Precisión: 0.1 gr
ENSAYO DE DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO	
Agregado Fino	· Origen: Agregado fino lavado de la mina "La pampas"
Picnómetro y pipeta	· Material de vidrio
	· Volumen 500ml
Termómetro y embudo	· Material de vidrio
	· Material plástico
	· Temperatura regulable hasta 100 °C.
Cono de absorción y pisón	· Material del cono: Bronce
	· Material del pisón: Acero
	· Diámetro del cono: 40x90x70 mm
	· Diámetro del pisón: 25.5 x 170 mm
Horno Eléctrico	· Marca: CONTROLS
	· Voltaje: 110V
	· Temperatura regulable hasta 200 °C.
	· Marca: SHIMADZU
Balanza electrónica	· Unidad: gr
	· Precisión: 0.1 gr

TABLA IV

ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTA DE LOS AGREGADOS.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTA DE LOS AGREGADOS	
EQUIPOS Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Agregado grueso	· Agregado grueso natural proveniente de la Mina "ALVORTIZ"
	· Tamaño nominal 3/4"
Agregado fino	· Agregado fino natural lavada de la Mina "Las pampas"
Molde metálico para densidad aparente	· Diametro:30 cm
	· Altura: 20.9 cm
Placa de vidrio	· Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.
Varilla compactadora	· Dimensiones: 6.1 x 6.1 cm
Balanza electrónica	· Marca: SHIMADZU
	· Unidad: gr

TABLA V

ENSAYO DENSIDAD REAL DEL CEMENTO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYO DENSIDAD REAL DEL CEMENTO	
Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Cemento	· Cemento hidráulico para construcción
	· Marca comercial: Selva alegre
Gasolina	· Gasolinera Custode
	· Envase de plástico 1 litro
Picnómetro y pipeta	· Materiales de vidrio
	· Volumen de 500 ml
Termómetro y embudo	· Material de vidrio
	· Material de plástico
	· Temperatura regulable hasta 100
Balanza electrónica	· Marca: SHIMADZU
	· Unidad: gr

B. FASE 2

TABLA VI

DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE PROBETAS.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ELABORACIÓN DE PROBETAS DE HORMIGÓN	
EQUIPOS Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Agregado fino y grueso	· Agregado grueso natural proveniente de la Mina "ALVORTIZ"
	· Tamaño máximo nominal 3/4"
	· Agregado fino natural lavado de la mina "Las pampas"
Material de reemplazo	· Suelo natural determinado como Arcilla
Moldes cilíndricos	· Diametro:150 mm
	· Altura: 300 mm
	· Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.
Desencofrante	· Desencofrante Sika Separol Ecológico
Cono de Abrams	· Diámetro superior: 100 mm
	· Diámetro inferior: 200 mm
	· Altura: 300 mm
Bandeja metálica	· Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.
Varilla de compactación	· Punta redonda 6.1 x 6.1 cm
	· Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.
Martillo de goma	· Material: Caucho
	· Masa: 300 gr
Pala, pala de mano y palustre	· Utilizados para la preparación y fundición del hormigón
Flexómetro	· Alcance de medición: 5 m
Agua potable	· Embebido en probeta de capacidad de 1000 ml
Cámara de curado	· Camara de curado para los 7, 14, 21 y 28 días
	· Temperatura: 23 ± 2°C.
Máquina concretera	· Proporcionado por el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la UTA.

C. FASE 3

TABLA VII

ANALISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESION DEL HORMIGON TRADICIONAL Y EL HORMIGON CON SUSTITUCIÓN DE AGRAGADO FINO POR ARCILLA EN 5% Y 10 %.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ANALISIS DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE LOS HORMIGONES	
EQUIPOS Y/O MATERIALES	**DETALLES**
Microsoft Excel	· Utilizado para las tablas de comparación de datos.
Teléfono celular	· Para tomar fotos y videos.
· Maquina hidráulica de marca SHIMADZU	Ensayo a compresión

II. MÉTODOS

Luego de haber establecido los objetivos de estudio, así como los equipos y materiales requeridos para el trabajo experimental, se procedió a describir de manera sistemática los procedimientos ejecutados en cada una de las tres fases planteadas. La primera fase comprendió los ensayos de laboratorio pertinentes estandarizados según la norma ASTM, NTE INEN y AASHTO, en la segunda fase se realizó la dosificación del hormigón, y en la tercera fase se realizó el análisis comparativo de los resultados obtenidos, mismo que se exponen a continuación

A. FASE I

1) Contenido de humedad - NTE-INEN 862

El contenido de humedad es la cantidad de agua que contiene un material en relación con su masa seca y se expresa generalmente en porcentaje (%). En el caso de los agregados para hormigón, el contenido de humedad es un parámetro fundamental, ya que influye directamente en la dosificación de la mezcla, la relación agua-cemento y la resistencia mecánica del hormigón [8].

$$P(\%) = \left(\frac{W - D}{D}\right) * 100 \quad (1)$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra.

W = Masa de la muestra original.

D = Masa de la muestra seca



Fig. 1. Contenido de humedad.

2) Granulometría NTE – INEN 696 / ASTM C136

La granulometría es de suma importancia para distribución estadística de los tamaños de las partículas que componen un material granular, expresada generalmente como un porcentaje del peso total. En el contexto de la tecnología del hormigón, este parámetro es fundamental porque determina la capacidad del material para acomodarse y llenar vacíos, influyendo directamente en la trabajabilidad de la mezcla fresca y la densidad del hormigón endurecido. Los tamices se ordenan según la tabla siguiente [9].

Primero se colocó el material al horno para secar completamente en un tiempo de 24 horas a temperatura 110 °C ± 5°C, una cantidad inicial de 1000 g para el agregado fino y 5000 g para el agregado grueso cada uno colocados en los tamices correspondientes como se muestra en la (TABLA VIII Y TABLA IX) [10].

TABLA VIII

TAMAÑO ESTANDAR TAMICES AGREGADO GRUESO.

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
2"	50.8
1 1/2"	38.1
1"	26.67
3/4"	18.85
1/2"	13.32
3/8"	9.5
#4	0.15



Fig. 2. Granulometría del agregado grueso.

TABLA IX

TAMAÑO ESTANDAR TAMICES AGREGADO FINO.

# TAMIZ	ABERTURA (mm)
3/8"	9.5
#4	4.75
#8	2.36
#16	1.18
#30	0.6
#50	0.3
#100	0.15
#200	0.08



Fig. 3. Granulometría del agregado fino.

$$\%Retenido = \frac{Masa\ retenida\ en\ el\ tamiz}{Masa\ total} * 100 \quad (2)$$

3) Densidad real y capacidad de absorción en agregado fino NTE-INEN 856 / ASTM C128

La determinación de la densidad real y la capacidad de absorción de agregado fino se realiza conforme a las normas NTE INEN 856 Y ASTEM C128, empleando el método del picnómetro. El procedimiento inicia sumergiendo una muestra representativa en agua durante 24 + 24 horas, para luego secarla parcialmente con aire hasta verificar la condición Saturado Superficialmente seco (SSS) mediante la prueba de asentamiento con el cono. Una vez alcanzado este estado, se registra la masa de la muestra y se introduce en el picnómetro, eliminando las burbujas de aire al llenar el recipiente con agua hasta la marca de calibración para obtener el peso total. La densidad real se calcula relacionando la masa saturada con el volumen desplazado, mientras que la absorción se determina por la diferencia entre la masa SSS y la masa seca obtenida tras el paso por el horno, debiendo situarse este porcentaje entre 0.20% y el 2.00 % según las especificaciones técnicas [11].

$$DRA\ kg/m^3 = \frac{S}{(B + S\ -\ C)} \quad (3)$$

$$GS = \frac{S}{(B + S\ -\ C)} \quad (4)$$

$$CA(\%) = \frac{(S - A)}{A} * 100 \quad (5)$$

Donde:

DRA = Densidad real del agregado fino.

GS = Gravedad específica del agregado fino.

CA = Capacidad de absorción del agregado fino.

A = Masa de la muestra seca.

B = Masa del picnómetro lleno con agua.

C = Masa del picnómetro lleno con muestra y agua.

S = Masa de muestra saturada superficialmente seca.



Fig. 4. Determinación de la densidad real de la arena.

4) *Densidad real y capacidad de absorción en agregado grueso NTE – INEN 857 / ASTM C - 127*

Para determinar la densidad real y la capacidad de absorción del agregado grueso, bajo los lineamientos de las normas NTE INEN 857 Y ASTM C127, se somete una muestra representativa a un proceso de lavado y posterior inmersión en agua durante 24 horas para saturar sus poros. Una vez alcanzado este estado, el material se seca superficialmente con una franela hasta lograr la condición Saturado Superficialmente Seco (SSS), procedimiento a

registrar su masa tanto al aire como sumergida para calcular el volumen desplazado. Finalmente, la muestra se introduce en un horno a 110 C + 5 C hasta alcanzar una masa constante, permitiendo definir la absorción como el porcentaje de agua retenida respecto a la masa seca, cuyo valor estándar debe oscilar entre 0.20 % y el 4.00% [12].

$$DRG\ kg/m^3 = \frac{B}{(\frac{B - C}{densidad\ de\ agua})} \tag{6}$$

Donde:

DRG = Densidad real del agregado grueso.

B = Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca.

C = Masa aparente en agua de la muestra saturada.

Para el cálculo de la capacidad de absorción utilizamos la siguiente formula.

$$CA(\%) = \frac{(B - A)}{A} * 100 \tag{7}$$

Donde:

A = Masa seca

B = Masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca.

$CA(\%)$ = Masa aparente en agua de la muestra saturada.



Fig. 5. Peso de la muestra en estado S.S.S.

5) *Densidad aparente compactada y suelta de los agregados NTE INEN 858 / ASTM C29.*

La determinación de las densidades aparentes, tanto en estado suelto como compacto, se rige por las normativas NTE INEN 858 y ASTM C29, las cuales establecen la relación técnica entre la masa del agregado y el volumen total que ocupa en un recipiente estandarizado. Para la densidad aparente suelta, el material se vierte libremente en el molde para simular su acomodo natural por gravedad, por el contrario, la densidad aparente compactada requiere el método de varillado, donde el material se consolida en tres capas mediante 25 golpes por capa con una varilla metálica de punta semiesférica. El cálculo final, obtenido del cociente entre la masa neta del árido y el volumen del molde, es un parámetro esencial en la dosificación de mezclas de hormigón, ya que permite la conversión de proporciones de masa a volumen y viceversa con precisión técnica [13][14].

$$M\ kg/m^3 = \frac{(G\ -\ T)}{V} \tag{8}$$

Donde:

M = Masa unitaria.

G = Masa del árido más el molde.

T = Masa del molde.

V = Volumen del molde.



Fig. 6. Densidad aparente y suelta de los agregados.

6) Densidad real del cemento NTE – INEN 156 / ASTM C-188

La determinación de la densidad real del cemento se fundamenta en las normativas NTE INEN 156 y ASTM C188. Empleando el método físico del frasco de Le chatelier. El procedimiento consiste en el introducir una masa de cemento pesada con precisión dentro de un matraz graduado que contiene un líquido no reactivo, generalmente gasolina o keroseno, para evitar la hidratación del material. EL volumen desplazado por las partículas de cemento se registra mediante la lectura de las escalas del frasco, permitiendo calcular la densidad como la relación entre la masa de la muestra y el volumen de líquido desalojado. Este parámetro técnico es indispensable en la tecnología del hormigón, pues permite realizar el cálculo de los volúmenes absolutos en el diseño de mezclas y asegurar la uniformidad de la calidad del material cementante [15][16].

$$\rho\ g/cm^3 = \frac{Masa\ del\ cemento}{Volumen\ desplazado} \qquad (9)$$

Donde:

ρ = Densidad real del cemento.

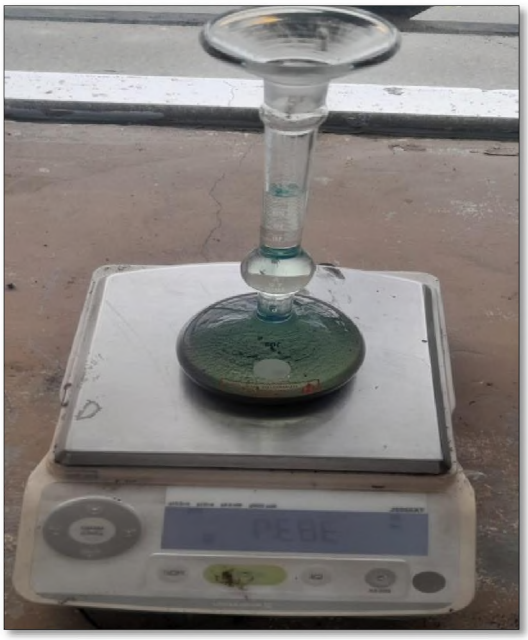


Fig. 7. densidad real del cemento.

A continuación, se presenta la caracterización del agregado de reemplazo con las normas aplicables.

7) Ubicación de obtención del material

El material empleado como sustitución parcial del agregado fino en las mezclas de hormigón se obtuvo directamente del estrato de la mina "El Tingo", ubicado en la parroquia rural La Victoria, perteneciente al cantón Pujili, provincia de Cotopaxi. El punto de recolección de las muestras fue seleccionado estratégicamente debido a que abastece históricamente la producción alfarera de la zona, garantizando un material con un porcentaje fino homogéneo y libre de contaminantes orgánicos superficiales.

Después la muestra fue trasladada hasta los laboratorios de mecánica de suelos, para su estudio a través de sus diferentes ensayos (ver TABLA X) para determinar sus características para posterior ser utilizado en las dosificaciones establecidas.

TABLA X

CANTIDAD DE MUESTRAS A ENSAYAR.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL	
Elaborado por:	Danny Flores
Laboratorio por:	FICM
Ensayo	**Cantidad de muestra (g)**
Contenido de humedad	150
Granulometria	1000
Limites de Atterberg (limite liquido, limite plásticos)	200
Densidad Real	50

8) Contenido de humedad – ASTM D2216 - 19

Para determinar el contenido de humedad según la norma ASTM D2216, se inicia registrando la masa de un recipiente limpio y seco, para luego colocar en la una muestra representativa del material y obtener de inmediato su masa húmeda total. Posteriormente, el conjunto se introduce en un horno controlado a una temperatura de 110 $\pm$ 5 °C durante un periodo de 24 horas hasta alcanzar una masa constante, después de transcurrido el tiempo de

secado las muestras fueron sacadas del horno y pesadas, el contenido de humedad es obtenido mediante la siguiente ecuación [17].

$$w(\%) = \frac{W_w}{W_s}\ x\ 100 \qquad (10)$$

Donde:

$w(\%)$ Contenido de humedad

W_w masa de la muestra (gr)

W_s masa de la muestra seca (gr)

9) Granulometría – ASTM D6913/AASHTO T27

El análisis granulométrico mediante tamizado, fundamentado en las normas ASTM D6913 Y AASHTO T27, es un procedimiento de laboratorio que consiste en la separación física de las partículas de una muestra representativa, previamente secada y cuarteada a través de una serie de tamices con aberturas cuadradas decrecientes desde el tamiz # 4 hasta el tamiz # 200, el tiempo de tamizado es de un periodo de 15 minutos, lo cual permite cuantificar el porcentaje en masa retenido en cada nivel para construir la curva de distribución de tamaños. Para la realización de este ensayo se tomó una muestra inicial de 1000 gramos previamente secados al horno (ver Fig. 8)[18][19].



Fig. 8. Granulometría material de reemplazo - (Arcilla).

Después del tiempo de tamizado, se pesa el porcentaje de muestra retenida en cada uno de los tamices, considerando no perder material ya que debe ser no mayor a 1% de la muestra inicial. El porcentaje retenido se calcula con la siguiente ecuación [19].

$$\%ret = \frac{W_r}{W_t} x100 \quad (11)$$

Donde:

% retenido: Valor del porcentaje retenido

W_r: peso de partículas retenidas (gr)

W_t: peso total de muestra (gr)

Para determinar el porcentaje que pasa el tamiz se utiliza la siguiente formula.

$$\% \, pasa = 100 - \% \, retenido \quad (12)$$

Donde:

$\% \, pasa$: valor del porcentaje que pasa

$\% \, retenido$: valor del porcentaje retenido

10) Límites de atterberg – ASTM D4318 / AASHTO T89/T90

La determinación de los límites de Atterberg, conforme a las normas ASTM D4318 y AASHTO T89/T90, implementa una metodología normalizada para establecer el límite líquido, plástico e índice de plasticidad resulta crucial para predecir el comportamiento del suelo frente a cambios de contenido de humedad y solicitaciones de carga. específicamente, el límite liquido identifica el punto de transición entre los estados líquidos y plástico mediante el uso de la copa de Casagrande y suelo pasante del tamiz # 40 el ensayo consiste en homogenizar la muestra con agua, colocarla de forma simétrica en el dispositivo y realizar un ranurado central para luego contabilizar los golpes requeridos para el cierre del surco, proceso que debe ejecutarse sistemáticamente hasta obtener registros por encima de los 25 golpes y debajo de los 25 golpes [20][21].



Fig. 9. Copa de Casagrande (limite liquido).

El límite plástico se define como el contenido de humedad critico en el cual el suelo experimenta una transición de fase del estado plástico al semisólido, representando el umbral inferior del intervalo de plasticidad del material. La determinación experimental se realizó mediante la técnica de extrusión manual, empleando una fracción de aproximadamente 25 gramos de suelo seco que atraviesa íntegramente el tamiz # 40 (0.425 mm). El material fue acondicionado con agua destilada hasta alcanzar una consistencia maleable, para posteriormente ser sometido a un proceso de amasado y rodamiento sobre una superficie de vidrio esmerilado [22].

11) Densidad real

La determinación de la gravedad especifica de los sólidos del suelo, bajo las normativas ASTM D854 y ASSHTO T 100, consiste en establecer la relación entre la masa de un volumen unitario de partículas sólidas y la masa de un volumen igual de agua destilada libre de gas a una temperatura de referencia 20 C. El procedimiento técnico se basa en el uso de un picnómetro calibrado, en el cual se introduce una muestra de suelo previamente secado al horno y tamizado generalmente por el tamiz No.4, para luego añadir agua destilada y someter la mezcla a un proceso de eliminación de aire atrapado mediate agitación constante [23]. Una vez garantizada

la expulsión de los vacíos de aire, se completa el llenado del matraz y se registra la masa total del conjunto como muestra la Fig. 10, permitiendo que, mediante la aplicación de las fórmulas de equilibrio de masas y correcciones térmicas [24].



Fig. 10. Picnómetro, agua destilada y suelo.

B. FASE II

Durante esta fase se efectuó el diseño de las mezclas empleando el método ACI 211.1, contemplando tres composiciones experimentales, un hormigón patrón con resistencia de 240 kg/cm^2, una mezcla con sustitución del agregó fino por arcilla al 5% y la otra al 10% en volumen. La elaboración de las probetas cilíndricas se realizó bajo parámetros controlados y estandarizados de mezclado, moldeo y curado para cada una de las composiciones planteadas. Paralelamente, se ejecutaron los ensayos de resistencia a la compresión con el fin de evaluar el comportamiento mecánico de cada mezcla [25].

1) Dosificación del hormigón – Método ACI 211.1

a) Resistencia de diseño

Se dosifico empleando el método del Instituto Americano del Hormigón (ACI) el cual se publicó después de un sin número de investigaciones fundamentadas en las investigaciones, la resistencia de diseño fue f´c 240 kg/cm^2. empleando la siguiente secuencia (ver TABLA X).

TABLA XI

RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN REQUERIDA.

Resistencia Promedio Requerida	
F´c	F´cr
Menos de 210	F´cr +70
210-350	F´cr + 84
>350	F´cr + 98

Fuente: ACI 318 - 19[26].

b) elección de asentamiento

Para el asentamiento, el uso del hormigón estructural por consiguiente se puede clasificar para uso de vigas, columnas y muros de hormigón armado por normativa ACI 211.1-91. (ver TABLA XI).

TABLA XII

DESCENSO RECOMENDADOS PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TIPOS DE CONSTRUCCIÓN	Descenso (cm)	
	MÍnimo	Máximo
Muros y zapatas de cimentación de hormigón armando	2.50	7.50
Zapatas, cajones y muros de subestructura	2.50	7.50
Vigas, columnas y muros de hormigón armado	2.50	10.00
Pavimentos y losas	2.50	7.50
Concreto masivo, construcciones ciclópeas	2.50	7.50

Fuente: ACI 211.1 - 91[27].

c) Elección del tamaño máximo del agregado

Se determina el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado según la granulometría del material calculo detallado en el (Anexo 3)

a) Determinación de agua de mezclado y el contenido de aire.

Con los ensayos realizados, se estudia la siguiente tabla para calcular la cantidad de agua y el porcentaje de aire atrapado.

TABLA XIII

REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES DESCENSOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS DEL AGREGADO GRUESO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL								
Asentaminto (cm)	Agua (kg/m3) Para los tamaños escogidos							
	9.5 mm	12.5mm	19.0 mm	25.0mm	37.5mm	50.0mm	75.0 mm	150 mm
Hormigón sin aire incluido								
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10.0	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
% Aire atrapado en el hormigon	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire incluido								
2.5 a 5.0	181	175	168	160	150	142	122	107
7.5 a 10.0	202	193	184	175	165	157	133	119
15.0 a 17.5	216	205	197	184	174	166	154	-
% Aire incluido en el hormigon	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3.5
Exposición leve	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3
Exposición extrema	7.5	7	6.5	6	5.5	5	4.5	4

Fuente: ACI 211.1 - 91[26].

e) Determinación relación agua/cemento

Se determina la relación para satisfacer la resistencia seleccionada. En caso de la resistencia requerida no es exacta esta debe ser interpolada entre los datos que se muestra. (ver TABLA XIV).

TABLA XIV

CORRESPONDENCIA ENTRE LA RELACIÓN AGUA – CEMENTO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
Resistencia a la compresión a los 28 días Kg/cm3	**Relación agua cemento por peso**	
	Hormigón sin aire incluido	**Hormigón con aire incluido**
400	0.42	-
350	0.47	0.39
300	0.54	0.45
250	0.61	0.52
200	0.69	0.6
150	0.79	0.7

Fuente: ACI 211.1 – 91[26].

j) Determinación del contenido de cemento

La relación agua/cemento se determinó en función de la resistencia de diseño exigida y la presencia de aire incorporado en la mezcla, de acuerdo con los parámetros establecidos por la normativa mencionada. En aquellas situaciones donde la resistencia requerida no coincidía con los valores exactos tabulados, la relación correspondiente se obtuvo mediante una interpolación lineal de los datos disponibles.

$$W = \frac{W}{C} * C \ \therefore C = \frac{W}{\frac{W}{C}} \tag{13}$$

Donde:

W= Cantidad de agua

W/C= relación agua/cemento

C= Cantidad de cemento

g) Estimación del contenido de agregado grueso

A través de los ensayos de granulometría del agregado grueso (Ver Anexo 3) y agregado fino (ver Anexo 2) se determinó el tamaño máximo nominal y el módulo de finura, con estos se pudo determinar el contenido del agregado grueso siguiendo el parámetro de la tabla (ver TABLA XV).

TABLA XV

VOLUMEN DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGÓN.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
Tamaño nominal máximo del agregado grueso (mm)	**Volumen de agregado grueso seco compactado con varilla por unidad de volumen de hormigón para diferentes fisuras del**			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5	0.59	0.57	0.55	0.53
19	0.66	0.64	0.62	0.6
25	0.71	0.69	0.67	0,65
37.5	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.82	0.8	0.78	0.76
150	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: ACI 211.1 - 91[26].

Al tener un valor intermedio del módulo de finura, se determina a través de una interpolación lineal y continuar con los cálculos.

$$R = VAR\ x\ DAG \tag{14}$$

Donde:

R= Agregado grueso

VAG= Volumen aparente del agregado grueso (Selección de la tabla XV)

DAG= Densidad aparente del agregado grueso

h) Estimación del contenido de agregado fino

La estimación del agregado fino se realizó determinando el volumen restante necesario para completar un metro cúbico de hormigón. Posteriormente, al multiplicar este volumen por la densidad de la arena obtenida en la caracterización de los materiales.

$$VAF = 1 - (VA + VC + VAG + VAIRE) \tag{15}$$

$$A = VAF * DRA \tag{16}$$

Donde:

VA= Volumen de agua

VC= Volumen de cemento

CAG= Volumen del agregado grueso

VAIRE= Volumen de aire

VAF= Volumen de agregado fino

DRA= Densidad real de la Arena

A= Peso del agregado fino

i) Ajuste por humedad de los agregados

El ajuste de la dosificación hídrica se efectúa tomando en cuenta el estado de humedad y absorción de los áridos. Utilizando los resultados experimentales de las fases previas, se modificó la cantidad de agua de la mezcla para compensar el exceso o déficit presente en el agregado fino y grueso, garantizando así la relación agua/cemento de diseño.

- Agregado fino

$$CHAF = A * \left(\frac{\%w}{100 + 1}\right) \quad (17)$$

- Agregado grueso

$$CHAG = R * \left(\frac{\%w}{100 + 1}\right) \quad (18)$$

j) Aporte de agua a la mezcla

La humedad natural se tomó como añadidura a la mezcla con las siguientes formulas.

- *Agregado Fino*

$$Añ\ agua\ AF = (\%w - \%abs) * \frac{CHAF}{100} \quad (19)$$

- *Agregado Grueso*

$$\text{Añ agua AG} = (\%w - \%abs) * \frac{CHAF}{100} \quad (20)$$

k) Cantidad de agua optima

Es todo el volumen de agua que necesita la mezcla de hormigón para que este alcance su resistencia, con las siguientes formulas.

$$Aop = Añ\ agua\ AF + Añ\ agua\ AG + Agua\ inicial \quad (21)$$

l) Cálculos de dosificación

$$Dosificación\ del\ Material = \frac{Cantidad\ de\ Material}{Cantidad\ de\ Cemento} \quad (22)$$

2) Determinación de la dosificación para mezclas con la sustitución del agregado fino por Arcilla con los diferentes porcentajes.

En el proceso de dosificación para las mezclas con sustitución parcial del agregado fino por arcilla, estas son diseñados considerando que dicho material se incorporó en reemplazo de un porcentaje específico del agregado fino original, de manera que su proporción si modifica directamente la cantidad de arena dentro de la mezcla.

3) Elaboración de cilindros de concreto – ASTM C31

La fabricación de las probetas cilíndricas se realizó siguiendo los procedimientos establecidos por la norma ASTM C31, empleando moldes cilíndricos de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. Previo al llenado, los moldes fueron limpiados y colocados desmoldante internamente para facilitar la extracción posterior de las probetas sin causar daños en su superficie [28].

Antes del llenado de los cilindros se realizó el ensayo de asentamiento mediante el cono de Abrams, con el propósito de determinar la consistencia y trabajabilidad de cada una de las

mezclas elaboradas. Este procedimiento consiste en rellenar un molde metálico de forma cónica en tres capas sucesivas, cada una de ellas debidamente compactada con 25 golpes en forma espiral, una vez completado el llenado, el molde se retira en dirección vertical de manera controlada. La reducción de altura que experimenta el concreto fresco tras la extracción del molde constituye el valor de asentamiento, el cual permite caracterizar el comportamiento reológico de la mezcla en estado fresco.



Fig. 11. Determinación del asentamiento con el Cono de Abrams

El llenado de los moldes se ejecutó en tres capas de igual espesor, aproximadamente de 10 cm cada una. Cada capa fue compactada mediante 25 golpes distribuidos de manera uniforme con una varilla de acero lisa de 16 mm de diámetro y punta semiesférica, asegurando que la varilla ingresara ligeramente la capa inferior para garantizar la integración entre capas y la eliminación de vacíos internos, Adicionalmente, se aplicaron 15 golpes suaves en las paredes externas del molde con un mazo de goma para cerrar los orificios dejados por la varilla de compactación [28].

Una vez completado el llenado, la superficie fue enrasada con la varilla metálica y alisada para obtener una cara plana y perpendicular al eje del cilindro. Las probetas fueron cubiertas con materiales impermeables y almacenadas en una superficie horizontal, libre de vibraciones, a una temperatura entre 16 °C y 27 °C durante las primeras 24 horas, conforme lo establece la norma.



Fig. 12. Moldeo de cilindros de Hormigón

Trascurrido el periodo inicial, se procedió al desmolde y las probetas fueron trasladados a la cámara de curado, donde permanecieron sumergidas en agua a una temperatura de 23 ± 2°C hasta alcanzar las edades de ensayo previsibles de 7, 14, 21 y 28 días, garantizando así el proceso completo de hidratación del cemento y el desarrollo adecuado de la resistencia a compresión del concreto.

Para este trabajo experimental se realizó tres probetas de hormigón para la dosificación patrón, tres para el 5% de sustitución y tres para el 10% de sustitución, cada dosificación con sus distintas edades, en total 36 especímenes de hormigón (ver TABLA XVI).

TABLA XVI

NÚMERO DE PROBETAS ELABORADAS.

EDAD / TIPO	**Control**	**5% Arcilla**	**10% Arcilla**
7 días	3	3	3
14 días	3	3	3
21 días	3	3	3
28 días	3	3	3
Total	**12**	**12**	**12**
Total	**36**		

C. FASE III

Tras concluir la Fase II, se inició la etapa final, la cual se centró en determinar la variación de la resistencia a la compresión, al sustituir parcialmente el agregado fino por arcilla en distintos porcentajes. Los datos obtenidos se tabularon según el nivel de reemplazo y las edades de curado establecidas, permitiendo una comparación directa con los valores de resistencia de los especímenes de control.

Esta organización de los resultados facilitó la observación de las variaciones en la capacidad de resistencia a la compresión de cada probeta en función del contenido de arcilla incorporado. Lo anterior resulto fundamental para identificar la influencia técnica de dicho material en las propiedades del hormigón y, simultáneamente, verificar la validez de la hipótesis planteada respecto a la incidencia de la sustitución en la resistencia final del elemento.

1) Resistencia a la compresión – NTE INE 1573

El ensayo de resistencia a la compresión se ejecutó conforme a los lineamientos establecidos en la normativa NTE INENE 1573, Dicho ensayo consiste en someter las probetas a una carga axial creciente y continua hasta alcanzar la rotura del espécimen, permitiendo así determinar la capacidad máxima del material para soportar esfuerzos de compresión. Los resultados obtenidos constituyen uno de los parámetros fundamentales para evaluar la calidad y el desempeño estructural del hormigón elaborado con cada una de las dosificaciones elaboradas [29].

La determinación de la resistencia a la compresión se llevó a cabo utilizando una maquina universal SHIMADZU CONCRETO 2000X, con una capacidad nominal de 2000 kN, siguiendo los lineamientos de la norma antes mencionada. El ensayo consistió en la aplicación de una carga axial continua sobre las probetas cilíndricas, manteniendo una velocidad de carga de 0.25 ± 0.05 MPa/s hasta alcanzar el punto de falla. Atreves de un sistema digital de adquisición de datos, se monitorearon las cargas y la deformación para caracterizar el comportamiento mecánico del hormigón con sustitución de agregado fino por arcilla. Finalmente, se comparó el desempeño de estas mezclas frente a las muestras de control mediante el análisis de variación porcentual de su resistencia [29].



Fig. 13. Ensayo de compresión.

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Una vez concluida la etapa metodológica, se procede con el Capítulo III, destinado a la presentación, análisis y discusión de los resultados obtenidos mediante la experimentación. Este análisis integral tiene como fin dar respuesta a los objetivos planteados y verificar la validez de la hipótesis.

I. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este apartado se expone de forma secuenciada los resultados obtenidos en cada una de las fases de investigación, permitiendo contrastar el desempeño de las mezclas experimentales frente al hormigón tradicional.

A. FASE I

1) Contenido de humedad

TABLA XVII

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO Y FINO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA	
ENSAYADO POR: Danny Flores	**NORMA:** NTE-INEN 862
LABORATORIO: FICM	
TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"	
ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	
AGREGADO GRUESO (w%)	**0.53%**
AGREGADO FINO (w%)	**6.79%**

El agregado grueso presenta un valor mínimo de 0.53 %, el agregado fino registra un valor de 6.79%, evidenciando una mayor capacidad de retención de agua en este último, esta característica es fundamental para la fase de dosificación, ya que el exceso de agua presente en el árido fino, de no ser corregido, alteraría significativamente la relación agua/cemento, comprometiendo la trabajabilidad y la resistencia final del hormigón.

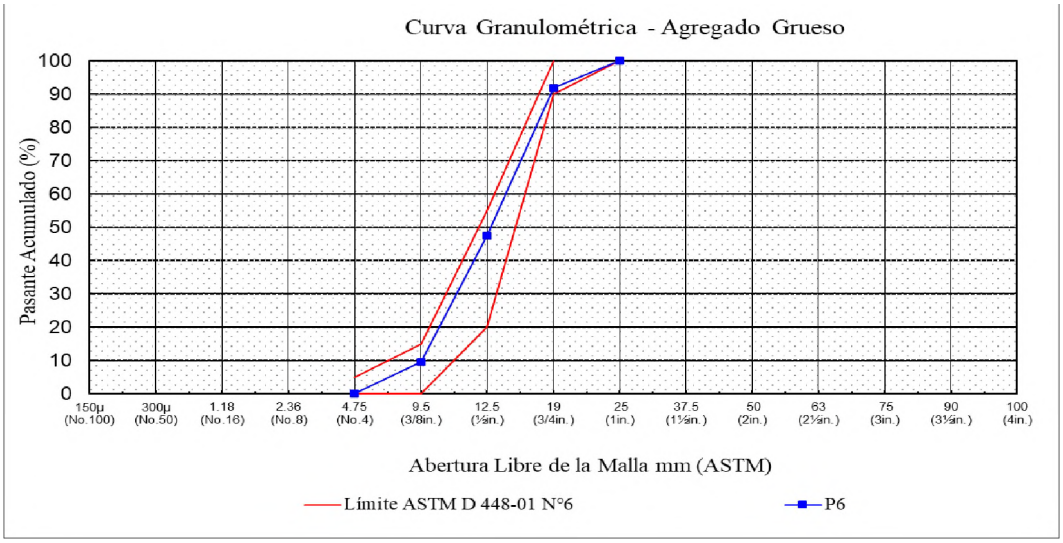
2) Granulometría

- Agregado grueso

La granulometría del agregado grueso es la distribución porcentual de los diferentes tamaños de partículas que componen la grava o piedra partida, determinada mediante el paso del material a través de una serie de tamices normalizadas con aberturas cuadradas. Mediante este ensayo determinamos la curva granulométrica.

TABLA XVIII

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.



En la curva granulométrica del agregado grueso, se representa la distribución del tamaño de las partículas de la muestra ensayada en contraste con los parámetros estandarizados. Como se puede apreciar, la curva de distribución de la muestra línea azul se inscribe íntegramente dentro de los límites de control superior e inferior líneas rojas establecidos por la norma ASTM D448-01 para huso Numero 6. El material evidencia un tamaño máximo de 1" (25 mm), con una retención gradual y continua a través de los tamices de 3/4", 1/2" y 3/8", finalizando con un 0% de pasante en la malla Número 4 (4.75 mm).

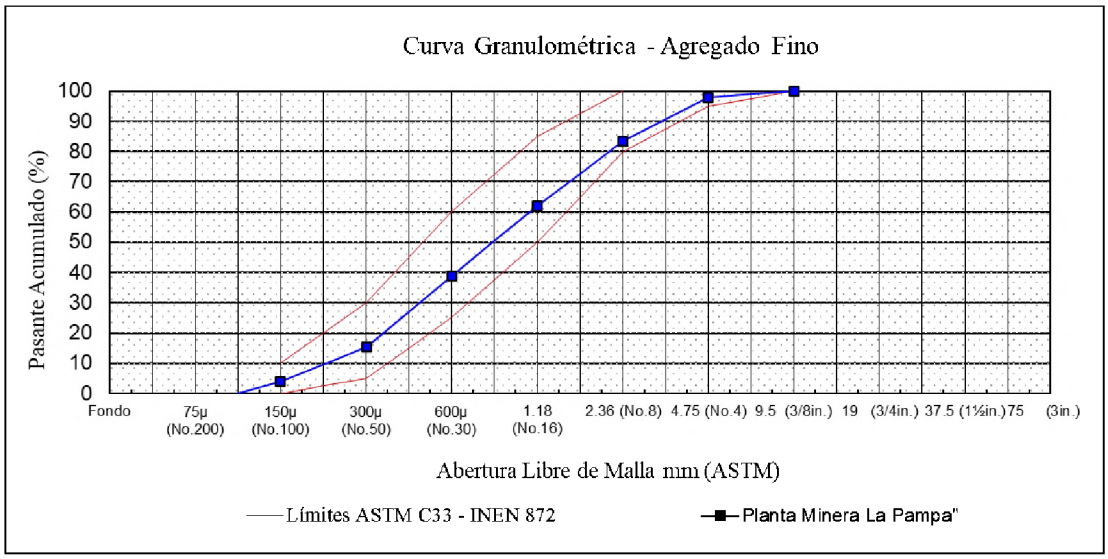
Este comportamiento es idóneo, ya que confirma que se cuenta con un material bien gradado capaz de proporcionar una estructura mineral densa, compacto y con un índice de vacíos minimizado. Validar el estricto cumplimiento normativo de la grava resulta un paso fundamental para la investigación, consolidando al árido grueso como una variable controlada y altamente confiable.

- Agregado fino

La granulometría de los agregados finos es la distribución porcentual en masa de los distintos tamaños de partículas que componen el material, determinada mediante el proceso de tamizado. Esta propiedad física es fundamental en la tecnología del hormigón, ya que la gradación de la arena influye directamente en la demanda de agua, la trabajabilidad de la mezcla en esta fresco y la porosidad del material endurecido.

TABLA XIX

GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.



La curva granulometría del agregado fino muestra una distribución de partículas que se ajusta satisfactoriamente dentro de los límites de gradación establecidos por las normativas ASTM C33 e INEN 872, lo que indica un material bien gradado y apto para su uso en mezclas de hormigón. Se observa que la curva línea azul mantiene una trayectoria central y paralela a las franjas de control líneas rojas, destacando que aproximadamente el 98% del material pasa el tamiz #4 (4.75 mm) y un 15% pasa el tamiz #50 (300 μm), cumpliendo con las exigencias de finos para una adecuada trabajabilidad. La continuidad de la pendiente sugiere una ausencia de deficiencia a excesos marcados en tamaños específicos, lo que favorece una compactación eficiente y una reducción del índice de vacíos en la matriz cementicia, garantizando así la calidad del agregado para aplicaciones estructurales.

3) Densidad real y capacidad de absorción del agregado fino

Los resultados obtenidos para el agregado fino presentan una densidad real de 2.18 g/cm^3 y una capacidad de absorción de 1.30 %, valores que, al ser verificados con la norma ASTM C128, permiten categorizar al material dentro de los parámetros de diseño para mezclas de hormigón convencional. Bajo los criterios de la norma ASTM C128, la densidad de 2.18 g/cm^3 se identifica como un agregado de densidad normal, el porcentaje de absorción 1.30% se mantiene dentro de los limites estándar establecidos por la normativa, indicando que el agregado posee una porosidad permeable controlada que no comprometerá significativamente la demanda de agua de hidratación, en el contexto de esta investigación, la estabilidad de la

absorción del agregado base es un factor favorable, ya que permite atribuir cualquier variación en la trabajabilidad.

TABLA XX

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
DENSIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN - AGREGADO FINO	
Ensayado por :	Danny Flores
Laboratorio:	FICM
Densidad (Kg/m3)	Absorción (%)
2176	1.30

4) Densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

De acuerdo con las normativas NTE INEN 857 y ASTM C127, la densidad real es importante para determinar la relación entre la masa de un volumen determinado de partículas de agregado grueso incluyendo sus poros permeables y la masa de un volumen igual de agua destilada a una temperatura de referencia, parámetros adimensional que en estado saturado superficialmente seco (S.S.S) es indispensable para la conversión de masas a volúmenes absolutos en la dosificación, por otra parte, la capacidad de absorción representa el incremento porcentual en la masa del material seco debido al agua que logra penetrar en sus poros transitables tras un periodo de inmersión de 24 horas, constituyendo un indicador directo de la porosidad del árido que permite controlar el balance de agua y evitar alteraciones en la relación agua/cemento de la mezcla.

TABLA XXI

DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
DENSIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN - AGREGADO GRUESO	
Ensayado por :	Danny Flores
Laboratorio:	FICM
Densidad (Kg/m3)	Absorción (%)
2586	1.66

Los resultados del ensayo de caracterización del agregado grueso revelan una densidad real de 2586 kg/cm^3 y una capacidad de absorción de 1.66%. De acuerdo con los criterios de la normativa ASTM C127, la densidad obtenida se sitúa dentro del rango estándar y óptimo para los agregados pétreos de origen natural destinados a hormigones estructurales típicamente se establecen en 2400 kg/m^3 y 2900 kg/m^3, lo cual garantiza un aporte de masa solida adecuada para la estabilidad volumétrica y la densidad global de la mezcla. Por otro lado, el valor de absorción de 1.66%, se clasifica el material como modernamente poroso.

5) Densidad aparente suelta y compactada de los agregados

Se define como la masa de un volumen determinado de agregado fino o grueso requerido para llenar un recipiente de volumen conocido. Además de que el análisis de estos valores y su correlación permite calcular el porcentaje de vacíos intergranulares del material.

- Agregado fino

TABLA XXII

DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTA DEL AGREGADO FINO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYADO POR: Danny Flores	NORMA: NTE INEN 856
LABORATORIO : FICM	
ENSAYO DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTA AGREGADO FINO	
Densidad aparente suelta (kg/m3)	Densidad aparente compacta (kg/m3)
1515.00	1633

Con el ensayo de densidad aparente en estado suelto y compacto del agregado fino, ejecutado bajo los procedimientos de las normas NTE INEN 858 Y ASTM C29, reportan valores de 1515 kg/m^3 y 1633 kg/m^3, respectivamente. La densidad debido al reordenamiento mecánico de las partículas bajo vibrado o varillado, lo que denota un espacio de vacíos inicial que es característico de arenas con una gradación especifica.

➢ Agregado grueso

TABLA XXIII

DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTA DEL AGREGADO GRUESO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYADO POR: Danny Flores **LABORATORIO :** FICM	NORMA: NTE INEN 856
ENSAYO DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTA AGREGADO GRUESO	
Densidad aparente suelta (kg/m3)	Densidad aparente compacta (kg/m3)
1347	1489

Los resultados del ensayo de densidad aparente en estado suelto y compacto del agregado grueso reportan valores de 1347 kg/m^3 y 1489 kg/m^3, respectivamente, magnitudes que se sitúa dentro de los rangos estándar para gravas de origen natural destinadas a la fabricación de hormigones convencionales. El incremento del 10% observado en la condición compacta con respecto a la suelta evidencia un reordenamiento intergranular físicamente coherente ante la consolidación mecánica, lo que permite caracterizar el esqueleto granular macro y la fracción de vacíos que deberá ser recubierta por la matriz de mortero.

6) Densidad real del cemento

La densidad real del cemento es una caracterización importante para el diseño de las mezclas de hormigón. Este ensayo se realizó con cemento de la marca Selva Alegre Tipo IP.

TABLA XXIV

DENSIDAD DEL CEMENTO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
DENSIDAD DEL CEMENTO	
Ensayado por :	Danny Flores
Laboratorio:	FICM
Densidad (kg/m3)	
2990	

Este ensayo, ejecutado conforme a la norma NTE INEN 852, arrojo un valor de 2990 kg/m^3, se posiciona de manera idónea dentro del rango de referencia técnica que oscila entre 2880 kg/m^3 y 3010 kg/m^3, lo cual convalida la calidad.

A continuación, se presenta el análisis y discusión de la caracterización del agregado de reemplazo con las normas aplicables.

7) Contenido de humedad

Los resultados del ensayo de contenido de humedad realizado a la muestra de suelo dieron un valor promedio del 6.89%, debido a que las muestras individuales dan valores de 6.79% de la muestra 1 y 6.82% muestra 2. Teniendo en cuenta que el ensayo se realizó después de un proceso de secado.

TABLA XXV

CONTENIDO DE HUMEDAD – ARCILLA.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYADO POR:	**Danny Flores**	**NORMA:**	ASTM D2216
LABORATORIO:	**FICM**		
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO DE REEMPLAZO			
Lugar de extracción	**ID Muestra**	**Contenido de humedad (%)**	**Promedio (%)**
" Pujili - Sector La Victoria"	M1	6.97	6.89
" Pujili - Sector La Victoria"	M2	6.82	

8) Granulometría

El ensayo de granulometría presento los siguientes datos teniendo en cuenta el material que pasa por el tamiz #10, #40 y #200. Lo que representan el tamiz #10 con abertura de malla (2mm) pasa el 100% de la muestra ensayada por lo tanto no tiene gravas, con el tamiz #40 y abertura de malla (0.43mm) el porcentaje que pasa este tamiz es de 61.40% y por último el tamiz #200 con abertura de malla (0.075 mm) el porcentaje de material que pasa este tamiz es de 17.95%.

TABLA XXVI

RESUMEN GRANULOMETRÍA – ARCILLA.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL			
Elaborado por:		Danny Flores	
Laboratorio por:		FICM	
% DE MATERIAL QUE PASA POR LOS TAMICES #10, #40 Y #200			
% QUE PASA			
ID Muestra	Tamiz #10	Tamiz #40	Tamiz #200
M1	100%	61.40%	17.95%

En relación con (ver TABLA XXXVI), se clasifica según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se determina grava 0%, Arena 82.05% y 17.95% de limos y arcillas. También los coeficientes de uniformidad (Cu) su valor es de 12.66 y coeficiente de curvatura (Cc) su valor es de 1.45 estos valores son adimensionales.

9) Límites de atterberg

La (ver TABLA XXVII) se presenta los resultados del ensayo de límites de Atterberg para la muestra de suelo para determinar el comportamiento plástico, La M1 registro un valor de limite liquido de 30.64%, también el índice de plasticidad de 13.91%, lo que significa que necesita poca agua y se determina que tiene una plasticidad media, clasificando al suelo como una Arena Arcillosa.

TABLA XXVII

RESUMEN LIMITES DE ATTERBERG.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECANICA CARRERA INGENIERÍA CIVIL			
Elaborado por:		Danny Flores	
Laboratorio por:		FICM	
LIMITES DE ATTERBERG			
ID Muestra	LL%	LP%	IP%
M1	31%	16.72%	13.91%
CLASIFICACIÓN DEL SUELO			
Nombre Formal			Arena Arcillosa
Código SUCS			SC

10) Densidad real

El ensayo realizado de la muestra de suelo analizada mediante el ensayo densidad real y capacidad de absorción. El material presenta una densidad real 2.22 g/cm^3, asimismo, los análisis de la capacidad de absorción son de 25.99%, este porcentaje representa una alta afinidad y retención de humedad del material, es un comportamiento característico con la naturaleza arcillosa identificada.

TABLA XXVIII

DENSIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN – ARCILLA

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
DENSIDAD Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN - ARCILLA	
Ensayado por :	Danny Flores
Laboratorio:	FICM
Densidad (Kg/m3)	Absorción (%)
2222	25.99

B. FASE II

1) Dosificación del hormigón

Para la dosificación se utilizaron los resultados de los ensayos de caracterización de los diferentes componentes para la mezcla de hormigón para alcanzar una resistencia de 240 kg/cm^2 (ver TABLA XXIX) los cuales son propiedades físicas y mecánicas de los agregados finos, agregados gruesos, cemento y material de reemplazo.

TABLA XXIX

DATOS PARA DOSIFICACIÓN.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
DATOS PARA DOSIFICACIÓN		
Agregado fino	**Propiedades**	**Agregado Grueso**
7.67	Contenidos de humedad (%)	0.71
-	Tamaño máximo del agregado (mm)	¾”
2.99	Módulo de finura	-
1515	Densidad aparente suelta (kg/m^3)	1347
1633	Densidad aparente compacta (kg/m^3)	1489
2176	Gravedad especifica (kg/m^3)	2586

En la siguiente (Ver TABLA XXX) tenemos generalidades preasignadas de diseño para la ejecución de la mezcla de hormigón.

TABLA XXX

GENERALIDADES

f´c requerido (kg/cm^2)	240
Asentamiento	7-10
Densidad del cemento (kg/m^3)	2990

a) Resistencia de diseño

Teniendo en cuenta la TABLA XI, Para un diseño de hormigón de 240 kg/cm^2, se tomó la ecuación:

$$F´cr = F´r + 84 \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \quad (23)$$

$$F´cr = 240 + 84$$

$$F´cr = 324 \frac{kg}{cm^2}$$

Donde:

F´cr: Resistencia requerida para el diseño

F´c : Resistencia de diseño

b) Elección de asentamiento

La elección del asentamiento se la realizo conforme (ver TABLA XII) la cual corresponde a al tipo de construcción vigas, columnas y muros de hormigón armado determinando un asentamiento de 2.5 a 10 cm.

c) Elección del tamaño máximo del agregado

Se determina el tamaño máximo nominal (TMN) del agregado según la granulometría del material calculo detallado en el (Anexo 3)

$$TMN = 19"$$

a) Determinación del agua de mesclado y contenido de aire

Según el tamaño nominal del agregado grueso y Asentamiento determinado en los literales anteriores, se tomó el valor del % de aire y agua de mesclado (ver TABLA XIII) teniendo en cuanta que es para mezcla de hormigón sin aire incluido.

$$\%Aire = 2.00\%$$

Donde:

%Aire= Cantidad de aire atrapado en la mezcla

$$Cont.Agua = 205\ \frac{l}{m^3}$$

Donde:

Cont. Agua= Contenido de agua para un m^3 de hormigón.

ϵ) Determinación relación agua/cemento

Este parámetro se lo determino por medio (ver TABLA XIV), al no tener el valor exacto en la tabla, se procedió a tomar los valores más cercanos y se realizó una interpolación lineal.

TABLA XXXI

INTERPOLACIÓN PARA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

RESISTENCIA	a/c
300	0.54
324	X
350	0.47

$$x = \frac{0.47 - 0.54}{350 - 300} * (324 - 300) + 0.54$$

$$x = 0.51$$

$$\frac{a}{c} = 0.51$$

La relación agua/cemento calculado para un F´cr= 324 kg/cm^2 es de 0.51 un valor adimensional.

j) Determinación del contenido de cemento

$$C = \frac{W}{\frac{W}{C}} \quad (24)$$

$$C = \frac{205}{0.51}$$

$$C = 404.82\ kg$$

Donde:

W= Contenido de agua

W/C= Relación agua cemento

C= Contenido de cemento

g) Estimación del contenido de agregado grueso

Para la determinación del agregado grueso se tomó los datos (ver TABL XV), con un valor del módulo de finura de 2.99 perteneciente al agregado fino y el valor del agregado grueso con tamaño máximo nominal de ¾".

TABLA XXXII

INTERPOLACIÓN DEL CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

MF	Coeficientes
2.8	0.62
2.99	X
3	0.6

$$x = \frac{0.6 - 0.62}{3.00 - 2.8} * (2.95 - 2.8) + 0.62$$

$$x = 0.601$$

$$coef.AG = 0.51$$

El contenido de agregado grueso se calculó con las siguientes formulas:

$$R = VAR\ x\ Coef.AG \qquad (25)$$

$$R = 1489\ \frac{kg}{m^3} * 0.601\ m^3$$

$$R = 894.889\ kg$$

Contenido de agregado grueso es de 894.889 kg por un m^3 de hormigón.

Donde:

R= Agregado grueso

VAG= Volumen aparente del agregado grueso (Selección de la tabla XIV)

Coef.AG = Volumen del agregado grueso compactado

h) Estimación del contenido de agregado fino

Para determinar el contenido de agregado fino se realizó el cálculo por el método de volumen absolutos en base a los valores ya establecidos en los ítems anteriores con las siguientes formulas.

$$VAF = 1 - (VA + VC + VAG + VAIRE) \qquad (26)$$

$$VAF = 1 - (0.205 + 0.135 + 0.337 + 0.02)m^3$$

$$VAF = 0.303\ m^3$$

$$A = VAF * DRA \tag{27}$$

$$A = 0.303m^3 * 2176\ kg/m^3$$

$$A = 658.63\ kg$$

Donde:

VA= Volumen de agua

VC= Volumen de cemento

VAG= Volumen del agregado grueso

VAIRE= Volumen de aire

VAF= Volumen de agregado fino

DRA= Densidad real de la Arena

A= Peso del agregado fino

i) Ajuste por humedad de los agregados

- Agregado fino

$$CHAF = A * \left(\frac{\%w}{100+1}\right) \tag{28}$$

$$CHAF = 658.63\ kg * \left(\frac{1.0071\%}{100+1}\right)$$

$$CHAF = 709.14\ kg$$

- Agregado grueso

$$CHAG = R * \left(\frac{\%w}{100+1}\right) \tag{29}$$

$$CHAG = 894.89 * \left(\frac{1.0071\%}{100+1}\right)$$

$$CHAG = 901.24\ kg$$

j) Aporte de agua a la mezcla

- *Agregado Fino*

$$Añ\ agua\ AF = (\%w - \%abs) * \frac{A}{100} \quad (30)$$

$$Añ\ agua\ AF = (7.67\% - 1.3\%) * \frac{658.63\ kg}{100}$$

$$Añ\ agua\ AF = -41.954\ L$$

- *Agregado Grueso*

$$\text{Añ agua AG} = (\%\text{w} - \%\text{abs}) * \frac{\text{R}}{100} \quad (31)$$

$$\text{Añ agua AG} = (0.71\% - 1.66\%) * \frac{894.89}{100}$$

$$\text{Añ agua AG} = 8.501\ \text{L}$$

k) Aporte de agua a la mezcla

$$Aop = Añ\ agua\ AF + Añ\ agua\ AG + Agua\ inicial$$

$$Aop = 8{,}501\ L + (-41.954L) + 205L$$

$$Aop = 171.55\ L$$

l) Dosificación al peso

$$Dosificación\ del\ Material = \frac{Cantidad\ de\ Material}{Cantidad\ de\ Cemento}$$

TABLA XXXIII

PROPORCIONES DE DISEÑO AL PESO PARA UN CILINDRO.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL			
ENSAYADO POR: Danny Flores **LABORATORIO :** FICM	NORMA: ACI		
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"			
PROPORCIONES DE DISEÑO AL PESO			
	Cantidades Corregidas (1m3)	Dosificación al peso	Cantidad para 1 cilindro (Kg)
AGUA	171.55	0.42	1.95
CEMENTO	404.82	1.00	4.59
AGREGADO GRUESO	901.24	2.23	10.22
AGREGADO FINO	709.14	1.75	8.04
	2186.75	5.402	24.80

2) *Determinación de la dosificación para mezclas con la sustitución del agregado fino por Arcilla con los diferentes porcentajes.*

A partir de la dosificación calculada, se realizó el reemplazo del agregado fino por Arcilla, en volumen para dar cumplimiento al tema principal, por consiguiente, al volumen calculado del agregado fino en la dosificación de control, se le sustrajo los 5% y 10% correspondiente a la sustitución obteniendo así las diferentes cantidades.

TABLA XXXIV

SUSTITUCIÓN EN VOLUMEN DEL MATERIAL DE REEMPLAZO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYADO POR: Danny Flores **LABORATORIO :** FICM	NORMA: ACI	
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"		
RELACIÓN DE SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA		
Tipo de mezcla	Porcentaje de sustitución	Volumen de sustitución (m3)
Contro	0%	0.303
Primara sustitución	5%	0.015
Segunda Sustirución	10%	0.030

A continuación, estos volúmenes se transformaron a peso, para esto se utilizó la densidad real de la Arcilla (Ver Anexo 6.), como la densidad del agregado fino (Ver Anexo 4).

Al tener todos los cálculos preliminares se realizó la dosificación de los cilindros de control, cilindros de sustitución del 5% y cilindros de sustitución del 10%, obteniendo las siguientes proporciones para 12 cilindros de dimensiones 150 mm x 300 mm.

TABLA XXXV

PESO PARA DOSIFICACIÓN PATRÓN

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ELABORADO POR:	Danny Flores			
LABORATORIO :	FICM			
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"				
Dosificación Patrón				
Materiales	Cemento (kg)	agua (L)	ripio (kg)	arena (kg)
Peso	29	12	65	51

Por consiguiente, se realizó 12 cilindros de dimensiones 150 mm x 300 mm, las cantidades de los materiales para la mezcla de sustitución 5% quedo determinado de la siguiente manera (ver TABLA XXXV).

TABLA XXXVI

PESO PARA DOSIFICACIÓN 5% DE REEMPLAZO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ELABORADO POR:	Danny Flores					
LABORATORIO :	FICM					
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"						
Dosificación con 5%						
Materiales	Cemento (kg)	Agua (L)	Ripio (kg)	Arena (kg)	Arcilla (kg)	Arena + Arcilla (kg)
Peso	29	14	65	48	3	51

Para continuar el trabajo experimental se realizó 12 cilindros de dimensiones 150 mm x 300mm, las cantidades de los materiales para la mezcla de sustitución de 10% quedo determinado de la siguiente manera (ver TABLA XXXVII).

TABLA XXXVII

PESO PARA DOSIFICACIÓN 10% DE REEMPLAZO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ELABORADO POR:	Danny Flores					
LABORATORIO :	FICM					
"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"						
Dosificación con 10%						
Materiales	Cemento (kg)	Agua (L)	Ripio (kg)	Arena (kg)	Arcilla (kg)	Arena + Arcilla (kg)
Peso	29	14	65	46	5	51

De esta manera se definió cada una de las proporciones para las mezclas de hormigón con el porcentaje de sustitución establecidas.

3) Elaboración de cilindros de concreto

La elaboración de cilindros de concreto se los realizo en una concretera con capacidad para un saco de cemento teniendo en cuenta cada una de las dosificaciones ya determinadas para cada porcentaje de sustitución, también se realizó el ensayo de cono de Abrams para examinar el asentamiento establecido y tener una buena trabajabilidad.

Posterior se procedió a llenar los cilindros de 150 mm x 300 mm, los cuales fueron pasados internamente desmoldante, llenados en tres capas, para cada capa se realizó el varillado de 25 golpes también se golpeó con un martillo de goma alrededor del cilindro 15 veces, por último, se enrasa con la varilla, este procedimiento se lo realizo para 36 cilindros repartidos en 12 muestras por cada porcentaje y cuatro edades 7, 14, 21 y 28 días para llevar un control preciso de la resistencia tal como se muestra en la siguiente (TABLA XXXVIII).

TABLA XXXVIII

DISTRIBUCIÓN DE PROBETAS.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL						
ELABORADO POR:			Danny Flores			
LABORATORIO :			FICM			
Distribución de probetas						
N. de probetas	**Control**		**5% Arcilla**		**10% Arcilla**	
	Código	**edad**	**Código**	**edad**	**Código**	**Codigo**
1	A1 - 7	7	B1-7	7	C1-7	7
2	A2 - 7		B2-7		C2-7	
3	A3 - 7		B3-7		C3-7	
4	A4 - 14	14	B4-14	14	C4-14	14
5	A5 - 14		B5-14		C5-14	
6	A6- 14		B6-14		C6-14	
7	A7-21	21	B7-21	21	C7-21	21
8	A8-21		B8-21		C8-21	
9	A9-21		B9-21		C9-21	
10	A10-28	28	B10-28	28	C10-28	28
11	A11-28		B11-28		C11-28	
12	A12-28		B12-28		C12-28	

C. FASE III

1) Resistencia a la compresión

a) *Determinación de la variación de la resistencia a la compresión.*

- Análisis con 0% de reemplazo.

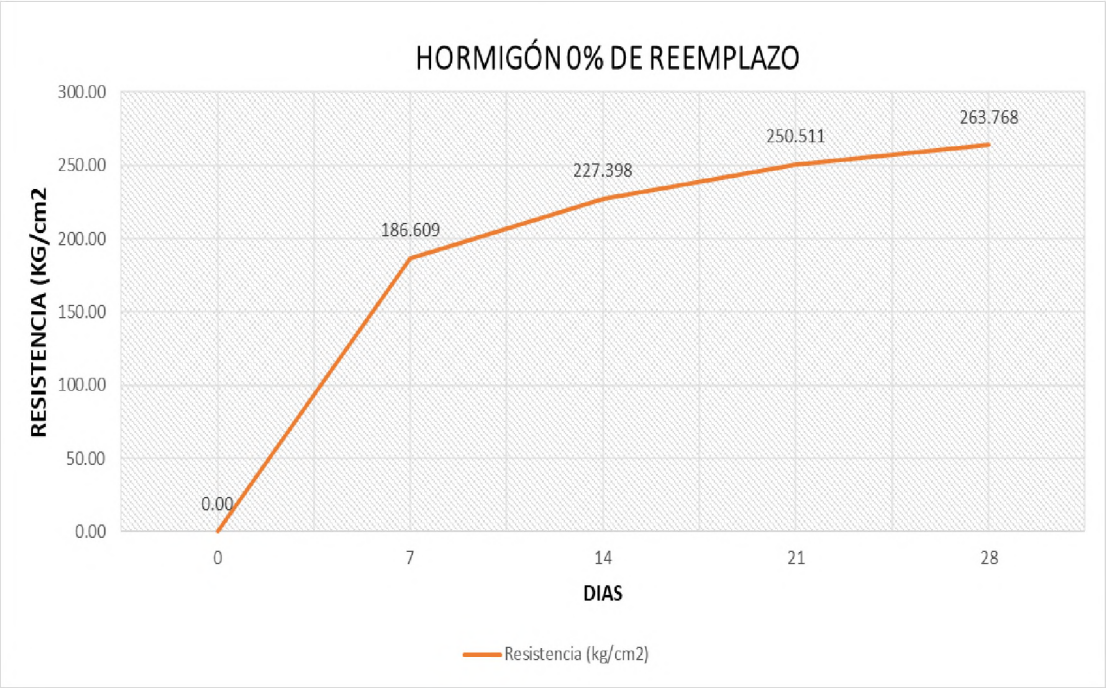


Fig. 14. Resistencia a compresión 0% de reemplazo

El comportamiento mecánico de la mezcla patrón de 0% de reemplazo establece el parámetro de referencia para esta investigación, mostrando la curva de evolución de resistencia más eficiente. A los 7 días de curado, el hormigón experimenta una ganancia de resistencia acelerada, alcanzando los 186.61 kg/cm^2. Esta tendencia de crecimiento continuo y sostenido se mantiene en las edades intermedias de 14 y 21 días, registrando 227.40 kg/cm^2 y 250.51 kg/cm^2, respectivamente. Finalmente, a la edad de diseño de 28 días, la mezcla de control alcanza su máxima capacidad a la compresión con un valor de 263.77 kg/cm^2, demostrando el óptimo desempeño mecánico del diseño de mezcla tradicional sin alteración en la composición de sus agregados.

- Análisis con 5% de reemplazo.

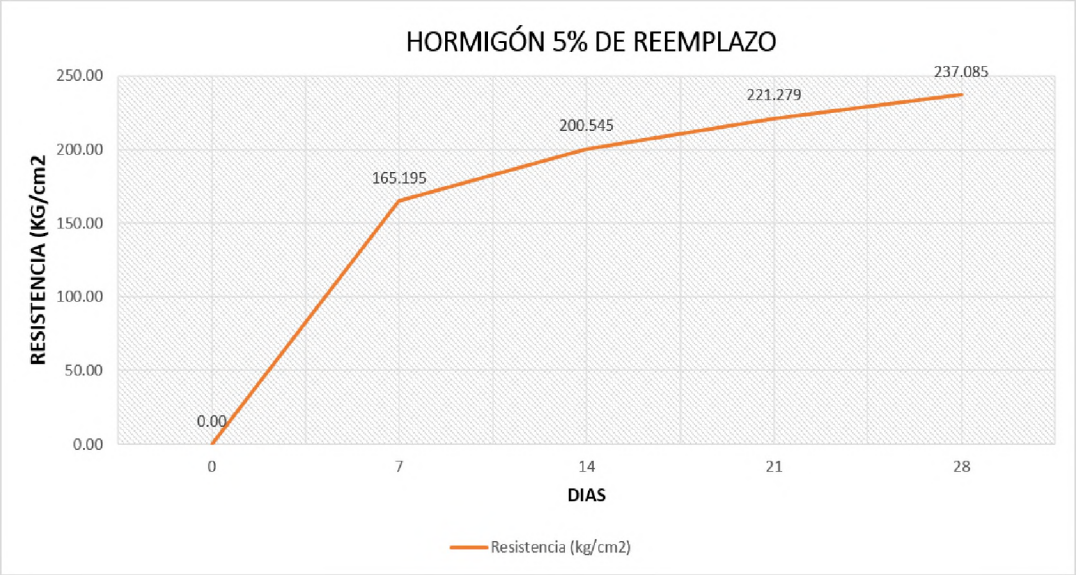


Fig. 15. Resistencia a compresión 5% de reemplazo.

La interpretación de la gráfica correspondiente al hormigón con un 5% de sustitución evidencia una clara disminución en el desempeño mecánico general en comparación con la muestra patrón. En la etapa de edad temprana a los 7 días, la resistencia se sitúa en 165.20 kg/cm^2, lo que indica que la incorporación de las partículas de arcilla interfiere y retrasa la ganancia inicial de resistencia. A lo largo del proceso de curado. La curva mantiene un ascenso más moderado, marcando 200.55 kg/cm^2 a los 14 días y 221.28 kg/cm^2 a los 21 días. Al concluir el ciclo normativo de 28 días, esta mezcla experimental logra una resistencia final de 237.08 kg/cm^2, confirmando que esta alteración granulométrica genera una caída cuantificable en la capacidad estructural final del hormigón.

- Análisis con el 10% de reemplazo

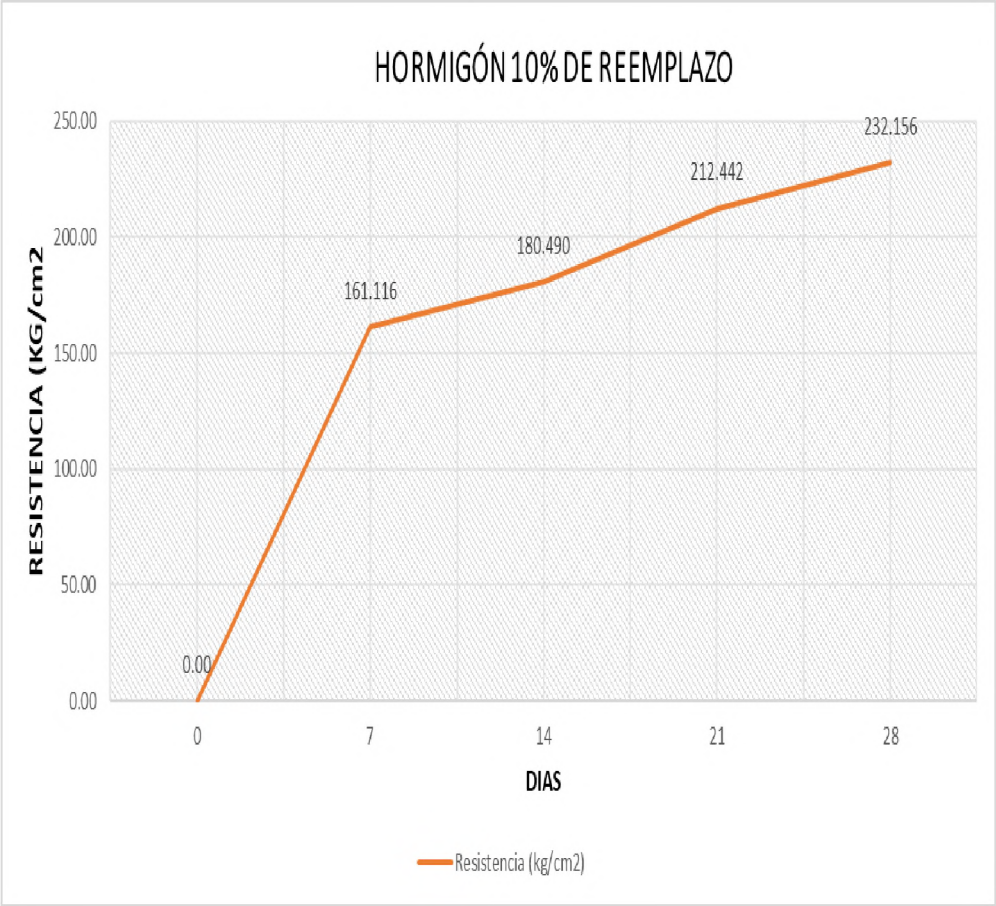


Fig. 16. Resistencia a compresión 10% de reemplazo.

Por último, el análisis de la curva de evolución para la mezcla con un 10% de reemplazo revela el comportamiento más crítico en las fases iniciales del curado, aunque presenta una notable estabilización al final del ciclo. A los 7 días, esta dosificación registra la menor resistencia inicial del estudio con 161.12 kg/cm^2, acompañada de un desarrollo notablemente lento a los 14 días 180.49 kg/cm^2. No obstante, a partir de la tercera semana, la tasa de ganancia de resistencia experimenta una recuperación acelerada, pasando de 212.44 kg/cm^2 a los 21 días hasta alcanzar 232.16 kg/cm^2 a los 28 días. Este resultado es técnicamente relevante para la discusión, ya que demuestra que, si bien el incremento al 10% de material de reemplazo retrasa fuertemente la resistencia a edades tempranas e intermedias, la capacidad máxima a los 28 días tiene una diferencia a la mezcla del 5%, indicando que el impacto negativo del material de reemplazo sobre la resistencia final tiende a estabilizarse en estos rangos de sustitución.

b) *Comparación de las resistencias a la compresión de los diferentes porcentajes.*

- 7 días de curado

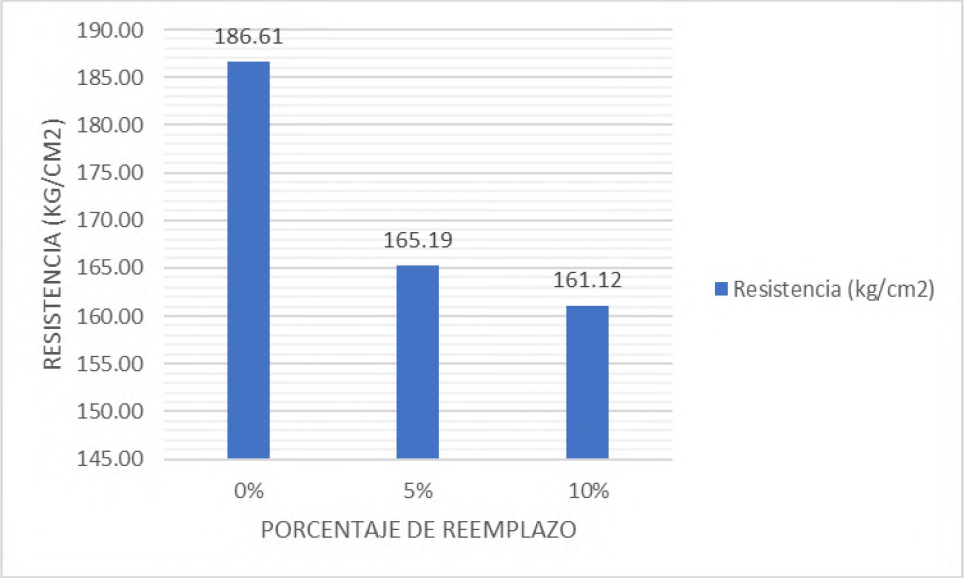


Fig. 17. Resultados del esfuerzo a compresión a los 7 días.

Esta grafica permitió analizar el impacto inmediato del comportamiento mecánico del hormigón a una edad temprana de 7 días. La muestra patrón establece la línea base de control con una resistencia a la compresión de 186.61 kg/m^2, cumpliendo de manera óptima con la curva de ganancia teórica para un hormigón convencional, Sin embargo, Al analizar las mescla modificadas, se observa una clara tendencia decreciente , la incorporación de un 5% de material de reemplazo reduce la resistencia a 165.19 kg/cm^2 un perdida del 11.48% respecto a la muestra patrón, y al duplicar el reemplazo al 10% la resistencia disminuye aún más, alcanzando apenas 161.12 kg/cm^2 un disminución del 13.66% en comparación con la muestra control.

- 14 días de curación

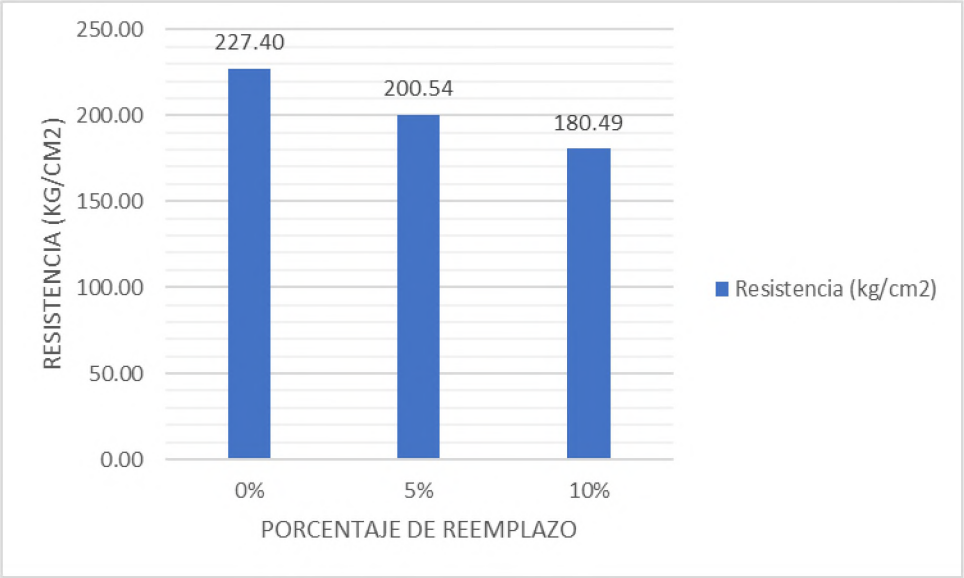


Fig. 18. Resultados del esfuerzo a compresión a los 14 días.

Al evaluar el comportamiento mecánico intermedio de la mezcla a los 14 días de curado, se evidencia una clara tendencia decreciente en la resistencia a la compresión a medida que se incrementa el porcentaje de sustitución del agregado fino por arcilla. La mezcla patrón de 0% de reemplazo lidera el desempeño estructural con un valor de 227.540 kg/cm^2, consolidando el avance esperado en la cinética de hidratación del cemento para un hormigón convencional en esta etapa. Al incorporar un 5% de material de reemplazo, la capacidad mecánica experimental una reducción evidente, situándose en 200.54 kg/cm^2, lo que refleja como la presencia de estas partículas ultrafinas interfiere en la adherencia de la pasta con los agregados y compromete la compacidad interna de la matriz cementicia a edades intermedias. Este detrimento se acentuó de forma casi lineal e la dosificación con el 10% de reemplazo, la cual registra la resistencia más baja del ensayo con 180.49 kg/cm^2. Esta pérdida gradual de resistencia a los 14 días demuestra cuantitativamente que le impacto adverso de la arcilla está directamente ligado al volumen adicionado, provocando un retraso significativo en el desarrollo de la resistencia antes de aproximarse a la edad de diseño final

- 21 días de curado

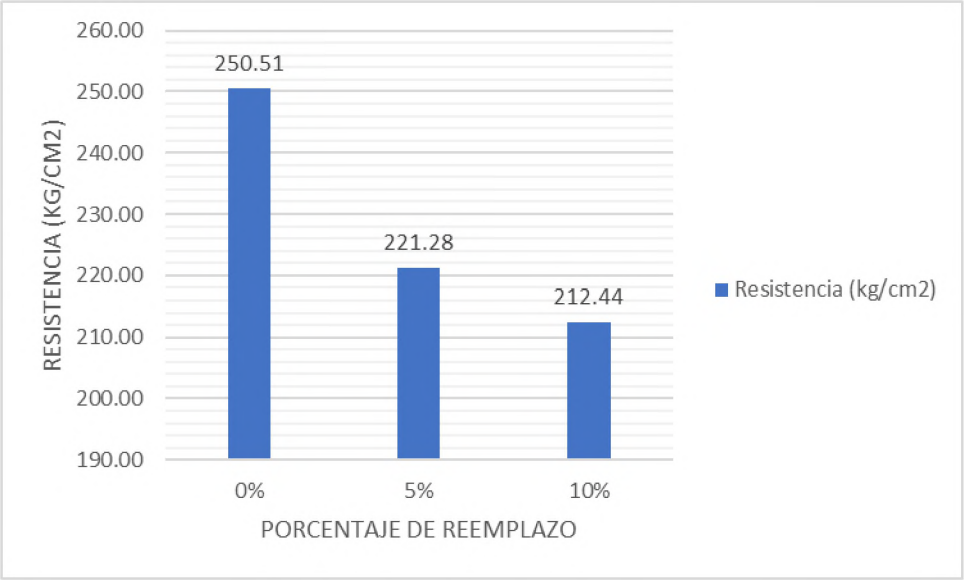


Fig. 19. Resultados del esfuerzo a compresión a los 21 días.

Al analizar los resultados del ensayo a la compresión a los 21 días de curado, se observa un comportamiento altamente favorable en la mezcla patrón 0% de reemplazo, la cual registra 250.51 kg/cm^2. Este valor es técnicamente significativo para discusión, ya que demuestra que el hormigón de control no solo mantiene una cinética de hidratación optima, sino que ha logrado superar anticipadamente la resistencia de diseño especificada de 240 kg/cm^2 antes de cumplir el ciclo normativo total.

Por el contrario, las mezclas experimentales con sustitución evidencian el efecto adverso de este material en la matriz cementicia, situándose por debajo de la meta de diseño a los 21 días. La dosificación con un 5% de reemplazo alcanza una resistencia de 221.28 kg/cm^2, lo que representa una disminución de 11.67% respecto a la muestra patrón, atribuible a la alta demanda de agua por las partículas del material de reemplazo. Esta tendencia decreciente se mantiene al incrementar el porcentaje de sustitución al 10%, registrando la menos capacidad mecánica con 212.44 kg/cm^2 un decaimiento del 15.20% frente a la muestra de control. Estos datos demuestran cuantitativamente que la inclusión del material de reemplazo genera un retaso critico en la ganancia de resistencia.

- 28 días

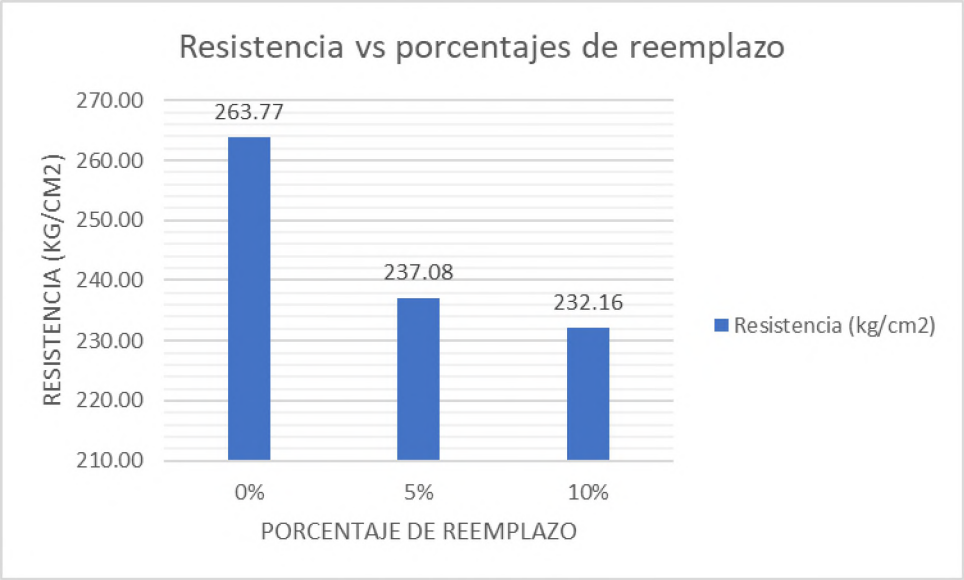


Fig. 20. Resultados del esfuerzo a compresión a los 28 días.

Los resultados definitivos obtenidos a la edad de diseño de 28 días de curado, se presenta el escenario decisivo sobre la viabilidad estructural de las mezclas evaluadas frente a la resistencia objetivo de 240 kg/cm2. La mezcla patrón 0% de reemplazo muestra el rendimiento más optimo al registrar 263.77 kg/cm^2, superando de forma amplia la meta impuesta por el diseño y consolidando la correcta hidratación del cemento en condiciones normales. Por el contrario, las dosificaciones experimentales con sustitución de agregado fino por arcilla muestran una invalidez para alcanzar la resistencia requerida. La mezcla con un 5% de reemplazo alcanza 237.08 kg/cm^2, quedando ligeramente por debajo del límite de diseño técnico debido a la interferencia física de las partículas arcillosas, las cuales incrementan la porosidad y debilitan la zona de transición interfacial de la pasta cementicia con los agregados. Por su parte, al elevar la sustitución al 10%, la resistencia decrece sutilmente hasta los 232.16 kg/cm^2. Este último dato es de gran valor para la discusión, ya que el comportamiento no el lineal. Duplicar el contenido de del 5% al 10% no duplica la perdida de resistencia, sino que el perjuicio tiende a estabilizarse, aunque amas dosificaciones quedan descartadas para su uso como hormigón estructural de 240 kg/cm^2 bajo las condiciones del ensayo.

II. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS

A. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La sustitución parcial del agregado fino por arcilla en proporciones del 5% y 10% influye significativamente en la resistencia a la compresión del hormigón, en comparación con un hormigón tradicional sin sustitución.

B. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS

La verificación de la hipótesis planteada se fundamenta en el análisis comparativo de las resistencias a la compresión para cada porcentaje de Arcilla reemplazada en las mezclas. Mediante el análisis de los resultados se muestra que la resistencia con el 0% de reemplazo alcanza 263.77 kg/cm^2. Con el 5% la resistencia disminuye a 237.08 kg/cm^2 una reducción aproximada del 10.1%, y al duplicar el reemplazo al 10%, el valor cae aún más, situándose en 232.16 kg/cm^2 un 12% menos que el hormigón tradicional. Esto señala una relación inversa a mayor porcentaje de sustitución menor es la capacidad del hormigón para soportar cargas de compresión.

De esta manera se concluye que la hipótesis queda verificada positivamente en cuanto a la existencia de un impacto significativo, demostrando que la arcilla no es un componente inerte en la mezcla. Esta pérdida de resistencia suele asociarse a que las partículas de arcilla incrementan la demanda de agua, debilitando la adherencia entre la pasta de cemento y los agregados.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓNES

I. CONCLUSIONES

La sustitución del agregado fino por el material de reemplazo y la relación agua cemento reduce la resistencia a la compresión del hormigón según al porcentaje de reemplazo. Los ensayos a los 28 días demostraron que el hormigón patrón 0% de arcilla alcanzó 263.77 kg/cm^2, mientras que las mezclas con 5% y 10% de sustitución registraron 237.08 kg/cm^2 y 232.16 kg/cm^2 respectivamente, valores que no alcanzan la resistencia de diseño establecida de 240 kg/cm^2.

Se determinó que el material de reemplazo por el agregado fino genera un impacto desfavorable en las propiedades mecánicas del hormigón a los 28 días. Mientras que la mezcla de control supero el diseño esperado las mezclas de reemplazo tuvieron una disminución de 10.1% y 12.0% respectivamente.

La caracterización de los agregados demostró que tanto el agregado grueso proveniente de la mina "ALVORTIZ" como el agregado fino de la mina " La Pampas" cumplieron íntegramente dentro de los limites granulométricos establecidos por las normas ASTM C33 e INEN 872, con densidades reales de 2586 kg/m^3 y 2176 kg/cm^3 respectivamente, y capacidades de absorción dentro de los rangos aceptables, confirmando que las variaciones observadas en la resistencia son atribuibles exclusivamente al material de reemplazo y no a deficiencias en los materiales base.

II. RECOMENDACIONES

Para contrarrestar la alta absorción y la demanda de agua que introducen las partículas de arcilla en la mezcla, se recomienda para futuras investigaciones incorporar aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango.

Se recomienda restringir el empleo de estas dosificaciones de 5% y 10% de sustitución de agregado fino por arcilla en elementos principales como columnas, vigas o losas, se sugiere diseñar su aplicación hacia elementos de hormigón simple donde las exigencias de carga sean menores.

Se recomienda ampliar el estudio con porcentajes de reemplazo del 1%, 2% y 3%, o explorar combinaciones de arcilla con materiales cementantes suplementarios como ceniza volante.

BIBLIOGRAFÍA

[1] L. J. C. Reyes, L. J. C. Reyes, C. C. Vallejos, A. V. Gutiérrez, E. P. Salardi, and C. H. Iglesias, *"Arcilla cocida como agregado fino para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón estructural," Aporte Santiaguino*, vol. 14, no. 2, p. pág. 147-158, Dec. 2021, doi: 10.32911/as.2021.v14.n2.759.

[2] *"Resistencia a la compresión residual del hormigón sostenible que contiene arcilla usada procedente de residuos de petróleo como agregado fino* - ScienceDirect." Accessed: Abr. 09, 2026.

[3] S. S. Mousavi, B. Manjunath, S. Devadiga, and C. Bhojaraju, *"Residual compressive strength of sustainable concrete containing spent clay from petroleum waste as fine aggregate," Constr. Build. Mater.*, vol. 479, p. 141490, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.141490.

[4] A. M. N. AbdElMoaty, H. H. A. Ibrahim, and M. K. Ismail, *"Mechanical and transport properties of concrete incorporating recycled crushed clay bricks as coarse and fine aggregates," Scientific Reports 2025 15:1*, vol. 15, no. 1, pp. 31782-, Aug. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-16833-5.

[5] S. S. Mousavi, B. Manjunath, S. Devadiga, and C. Bhojaraju, *"Residual compressive strength of sustainable concrete containing spent clay from petroleum waste as fine aggregate," Constr. Build. Mater.*, vol. 479, p. 141490, Jun. 2025, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2025.141490.

[6] L. E. Calderon Burga and L. F. Yocya Fiestas, *"Evaluación de la resistencia mecánica del concreto, utilizando como agregado fino ladrillos de arcilla reciclada," Repositorio Institucional USS*, 2024, Accessed: Apr. 12, 2026. [Online]. Available: https://repositorio.uss.edu.pe/handle/20.500.12802/13403

[7] Z. E. Abib, H. Gaher-Abib, F. Kharchi, Z. E. Abib, H. Gaher-Abib, and F. Kharchi, "Effect of Clay Fines on the Behavior of Self-Compacting Concrete," *Engineering*, vol. 5, no. 2, pp. 213–218, Feb. 2013, doi: 10.4236/ENG.2013.52031.

[8] S. W. Cho, S. E. Cho, and A. S. Brand, *"A Meta-Analysis of the Effect of Moisture Content of Recycled Concrete Aggregate on the Compressive Strength of Concrete," Applied Sciences (Switzerlana)*, vol. 14, no. 8, Apr. 2024, doi: 10.3390/app14083512.

[9] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 696/872: *Agregados. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*, Quito, Ecuador, 2010.

[10] ASTM International, ASTM C136/C136M-19: *Standartd Test Method for Sieve Analysiso of Fine and Coarse Aggregates*, West Conshohocken, PA, USA,2019.

[11] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 856: *Agregados. Determinación de la densidad y absorción*, Quito, Ecuador, 2010.

[12] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 857: *Agregados. Determinación de la densidad y absorción*, Quito, Ecuador, 2010.

[13] Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 858: *Agregados. Determinación de la desnidad aparente suelta y compacta*, Quito, Ecuador, 2016.

[14] ASTM Internacional, ASTM C29/C29M-17a: *Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate,* West Conshohocken, PA, USA, 2017.

[15] Instituto Ecuatoriano de Normalización, INEN 156: *Cemento hidráulico: Determinación de la densidad real*, Quito, Ecuador, 2010.

[16] *"Norma ASTM C-188: Densidad del Cemento Densidad Cemento."* Consultado: abril 22, 2026. [En linea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document.

[17] *"ASTM D 2216-19 Contenido de Humedad Agua."* Consultado: marzo 28, 2026. [En línea]. Disponible: https://es.scribd.com/document/521086245/ASTM-D-2216-19-Contenido-de-Humedad.

[18] *"Test Methods for Particle – Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis",* abr. 2017.

[19] *"AASHTO T 27 – análisis granulométrico de áridos finos."* Consultado: el 22 de abril de 2026. [En línea] https://es.scribd.com/document/567295842/AASHTO-T-27.

[20] *"Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)",* doi: 10.1520/D2487.

[21] "*Test Methods for Liquid Limit, and Plasticity Index of Soils*", jun. 2017.

[22] "*Límite Plástico según AASHTO T 90 PDF Agua Suelo.*" consultado: marzo10, 2026. [En línea]. Disponible: https://es.scribd.com/document/567298177/AASHTO-T-90

[23] *"Peso Especfico de Suelos AASHTO T100 Agua Humedad."* consultado: abril 20, 2026. [En línea]. disponible: https://es.scribd.com/document/730089350/Peso-Especifico-de-Los-Suelos-ASTM-D854-AASHTO-T100

[24] *"ASTM D-854 Gravedad Especfica Suelos Vacío de Agua."* Consultado: abril 11, 2026. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/458646020/Astm-D-854-Gravedad-Especifica-Suelos

[25] "*Diseño d mezcla por el método ACI e-book*".

[26] *"ACI 318-19: Requisitos para Concreto*" Consultado: mayo 02, 2026. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/714289761/ACI-318R-19-Espanol

[27] *"Diseño de mezclas de concreto ACI 211.1 Hormigón Cemento*." Consultado: May 10, 2026. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/495637980/ACI-211-1-91-en-es

[28] *"ASTM C 31 Hormigón Materiales de construcción."* Consultado: abril, 2026. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/251078240/ASTM-C-31

[29] *"Norma NTE INEN 1573: Resistencia Hormigón Esfera Calibración."* Consultado: abril 20, 2026. [En línea]. Disponible: https://es.scribd.com/document/334549037/Nte-Inen-1573

ANEXOS

Anexo 1 Ensayo de contenido de humedad.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENEIRÍA CIVIL

ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:**	NTE-INEN 862
LABORATORIO:	FICM		

TEMA: "Análisis comparativo de la resistencia a la compresión de un hormigón tradicional y un hormigón con sustitución del agregado fino por arcilla al 5% y 10% en volumen"

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
Muestra			1	2
m1	Masa del recipiente	gr	56.70	66.40
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	306.80	316.50
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	250.10	250.10
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	287.40	300.30
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	230.70	233.90
CH = ((m3 - m5)/m5)	Contenido de Humedad	%	8.41	6.93
CHR = (CH1 + CH2)/2	**Contenido de Humedad Promedio de la Arena**	**%**	**7.67**	

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR	
Muestra			1	2
m1	Masa del recipiente	gr	162.60	169.70
m2	Masa del recipiente + Muestra	gr	1663.30	1671.10
m3 = m2 - m1	Masa de la muestra	gr	1500.70	1501.40
m4	Masa del recipiente + Muestra seca	gr	1653.00	1660.10
m5 = m4 - m1	Masa de la muestra seca	gr	1490.40	1490.40
CH = ((m3 - m5)/m5)	Contenido de Humedad	%	0.69	0.74
CHR = (CH1 + CH2)/2	**Contenido de Humedad Promedio del Ripio**	**%**	**0.71**	

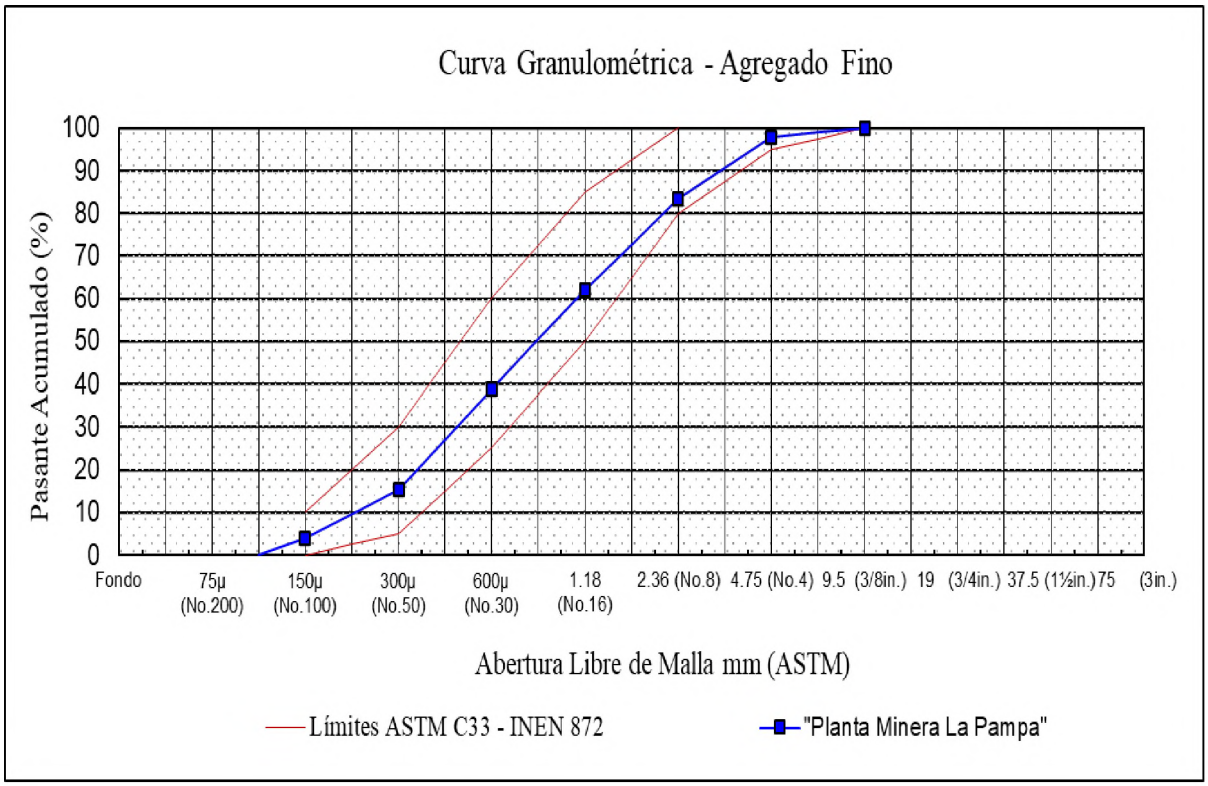
Anexo 2 Ensayo de granulometría del agregado fino.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL	
ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:** NTE-INEN 696
LABORATORIO:	FICM	

TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Peso muestra (gr):		1000		**Pérdida de muestra (%):**		0.21%
Tamiz	**Abertura (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**% Retenido acumulado**	**% que pasa**	**Límites ASTM % que pasa**
3/8	9.5	0	0	0.00%	100.00%	100
#4	4.76	22.4	22.4	2.24%	97.76%	95-100
#8	2.38	144.1	166.5	16.69%	83.31%	80-100
#16	1.19	212.2	378.7	37.95%	62.05%	50-85
#30	0.59	231.8	610.5	61.18%	38.82%	25-60
#50	0.297	233.7	844.2	84.60%	15.40%	10-30
#100	0.149	113.3	957.5	95.95%	4.05%	2-10
#200	0.075	40.4	997.9	100.00%	0.00%	-
BANDEJA			997.9	100.00%	0.00%	-
MÓDULO DE FINURA				**2.99%**		



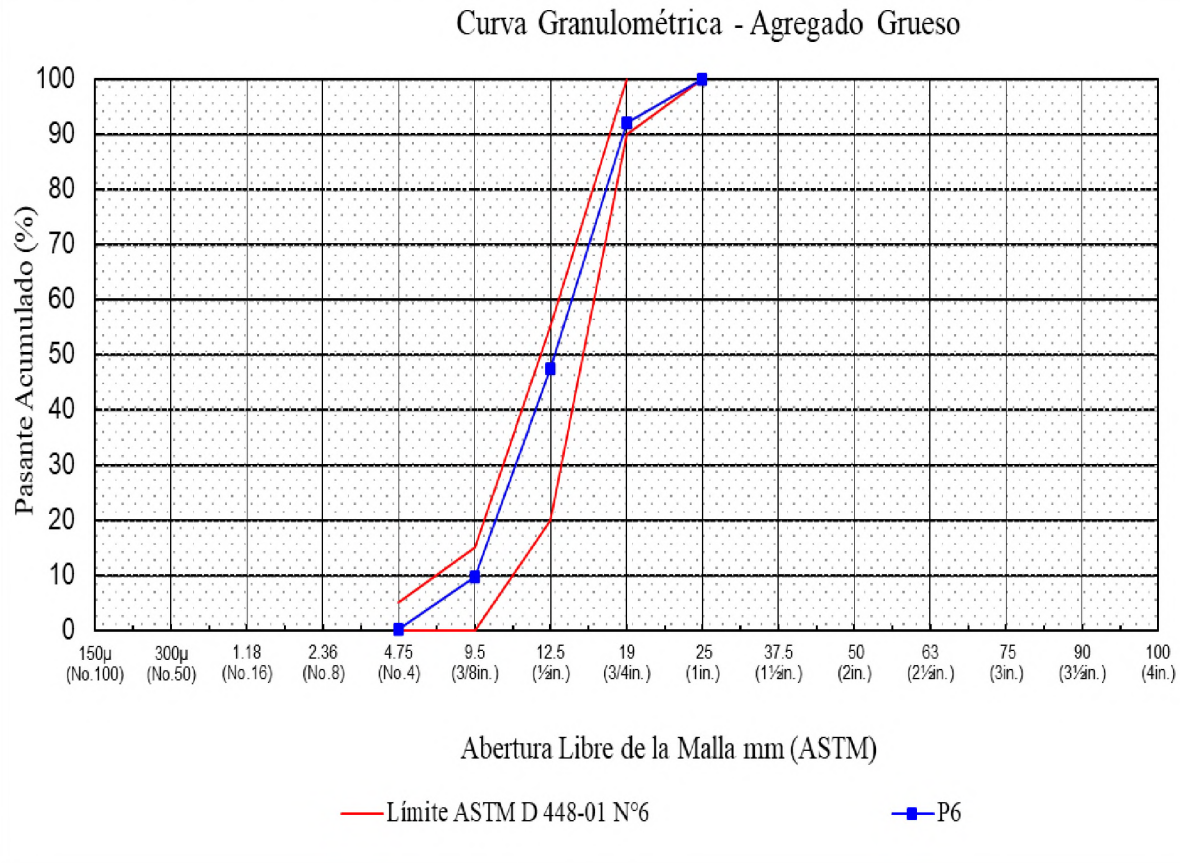
Anexo 3 Ensayo de granulometría del agregado grueso.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:**	NTE-INEN 696
LABORATORIO:	FICM		

TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN

ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Peso muestra (gr):		5000		**Pérdida de muestra (%):**		0.10%
Tamiz	**Abertura (mm)**	**Retenido parcial (gr)**	**Retenido acumulado (gr)**	**% Retenido acumulado**	**% que pasa**	**Límites ASTM % que pasa**
2"	50.8	0	0	0.00%	100.00%	-
1 ½"	38.1	0	0	0.00%	100.00%	-
1"	25.4	0	0	0.00%	100.00%	100
3/4"	19.05	404.4	404.4	8.10%	91.90%	100 - 90
1/2"	12.7	2221.3	2625.7	52.57%	47.43%	55-20
3/8"	9.53	1882.3	4508	90.25%	9.75%	0-15
#4	4.75	479.3	4987.3	99.85%	0.15%	0-5
#8	2.36	5	4992.3	99.95%	0.05%	-
BANDEJA		2.6	4994.9	100.00%	0.00%	-
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO:				**3/4"**		



Anexo 4 Ensayo densidad real y capacidad de absorción de agregado fino.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:**	NTE-INEN 856
LABORATORIO:	FICM		

TEMA:"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"

ENSAYO DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ARIDO FINO

DENSIDAD REAL

Datos	Descripción	Unidad	Valor
M1	Masa del picnómetro	gr	157.90
M2	Masa del picnómetro + muestra SSS	gr	657.90
M3=M2-M1	Masa de la muestra (muestra SSS)	gr	500.00
M4	Masa del picnómetro + muestra SSS + agua	gr	926.80
M5=M4-M3	Masa agua añadida	gr	268.90
M6	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	655.50
M7=M6-M2	Masa de 500cc de agua	gr	497.60
DA=M7/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	1.00
M8=M7-M5	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	228.70
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	229.80
DRA=M3/Vsss	**Densidad real de la arena**	**gr/cm3**	**2.176**

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Datos	Descripción	Unidad	Valor
M7	Masa del recipiente	gr	53.90
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	678.60
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	624.70
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	670.50
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	616.60
CA=((M9-M11)/M11)*100	**Capacidad de absorción**	**%**	**1.30**

Anexo 5 Ensayo densidad real y capacidad de absorción del agregado grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:**	NTE-INEN 857
LABORATORIO:	FICM		

TEMA::"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"

ENSAYO DE DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL ARIDO GRUESO

LA DENSIDAD REAL

Datos	Descripción	Unidad	Valor
M1	Masa de la canastilla en el aire	gr	1178.50
M2	Masa de la canastilla en el agua	gr	1024.50
M3	Masa de la canastilla + muestra SSS en el aire	gr	4178.00
M4	Masa de la canastilla + muestra SSS en el agua	gr	2864.00
DA	Densidad real del agua	gr/cm3	1.00
M5 = M3-M1	Masa de la muestra SSS en el aire	gr	2999.50
M6 = M4-M2	Masa de la muestra SSS en el agua	gr	1839.50
VR=(M5-M6)/DA	Volumen real de la muestra	cm3	1160.00
DR=M5/VR	**Densidad real**	**gr/cm3**	**2.586**

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN

Datos	Descripción	Unidad	Valor
M7	Masa del recipiente	gr	290.60
M8	Masa del recipiente + muestra SSS	gr	3136.50
M9=M8-M7	Masa de la muestra SSS	gr	2845.90
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	3090.00
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	2799.40
CA=((M9-M11)/M11)*100	**Capacidad de absorción**	**%**	**1.66**

Anexo 6 Ensayo Densidad real y capacidad de absorción del material de reemplazo – Arcilla.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL		
ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:**	ASTM D854
LABORATORIO:	FICM		
TEMA:"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"			
ENSAYO DENSIDAD REAL Y CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DEL REEMPLAZO - ARCILLA			
DEMSIDAD REAL			
Datos	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
M1	Masa del picnómetro	gr	149.50
M2	Masa del picnómetro + muestra	gr	199.50
M3=M2-M1	Masa de la muestra (muestra)	gr	50.00
M4	Masa del picnómetro + muestra + agua	gr	677.00
M5=M4-M3	Masa agua añadida	gr	477.50
M6	Masa picnómetro + 500cc de agua	gr	649.50
M7=M6-M2	Masa de 500cc de agua	gr	500.00
DA=M7/500cm3	Densidad del agua	gr/cm3	1.00
M8=M7-M5	Masa del agua desalojada por la muestra	gr	22.50
Vsss=M7/DA	Volumen del agua desalojada	cm3	22.50
DRA=M3/V	**Densidad real de la arena**	**gr/cm3**	**2.222**
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN			
Datos	**Descripción**	**Unidad**	**Valor**
M7	Masa del recipiente	gr	104.80
M8	Masa del recipiente + muestra	gr	166.95
M9=M8-M7	Masa de la muestra	gr	62.15
M10	Masa del recipiente + muestra seca	gr	150.80
M11=M10-M7	Masa de la muestra seca	gr	46.00
CA=((M9-M11)/M11)*100	**Capacidad de absorción**	**%**	**25.99**

Anexo 7 Densidad suelta y compacta del agregado grueso.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR:	Danny Flores		**NORMA:**	NTE-INEN 858
LABORATORIO:	FICM			
TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN				
ENSAYO DE DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA DEL ÁRIDO GRUESO				
Masa del Recipiente (Kg):	9.82			
Volumen del Recipiente (dm^3):	20.50			
Agregado	**Agregado + Recipiente (kg)**	**Agregado (kg)**	**Peso Unitario (kg/dm^3)**	**Peso Unitario Promedio (kg/dm^3)**
SUELTA	37.60	27.78	1355.254	1347
	37.28	27.46	1339.643	
COMPACTA	40.08	30.26	1476.242	1489
	40.62	30.80	1502.586	

Anexo 8 Densidad suelta y compacta del agregado fino.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL				
ENSAYADO POR:	Danny Flores		**NORMA:**	NTE-INEN 858
LABORATORIO:	FICM			
TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN				
ENSAYO DE DENSIDAD SUELTA Y COMPACTADA DEL ÁRIDO FINO				
Masa del Recipiente (Kg):	3.54			
Volumen del Recipiente (dm^3):	2.80			
Agregado	**Agregado + Recipiente (kg)**	**Agregado (kg)**	**Peso Unitario (kg/m^3)**	**Peso Unitario Promedio (kg/m^3)**
SUELTA	7.82	4.28	1529.118	1515
	7.74	4.20	1500.536	
COMPACTA	8.10	4.56	1629.153	1633
	8.12	4.58	1636.299	

Anexo 9 Ensayo densidad real del cemento.

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO **FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA** **INGENIERÍA CIVIL**		
ENSAYADO POR:	Danny Flores	**NORMA:**	NTE-INEN 156
LABORATORIO:	FICM		

TEMA:"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN

ENSAYO DE DENSIDAD REAL DEL CEMENTO

NOMENCLATURA	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	VALOR
M1	Masa del picnómetro+Gasolina	gr	321.60
V1	Volumen inicial de gasolina	cm3	0.50
M2	Masa del picnómetro+gasolina+cemento	gr	383.70
V2	volumen final de la gasolina	cm3	21.30
Mc=M2-M1	Masa del cemento ocupado	gr	62.10
V=V2-V1	Volumen desplazado	gr	20.80
Dc=Mc/V	**Densidad del cemento**	**gr/cm3**	**2.99**

Anexo 10 Análisis Granulométrico - Material de reemplazo (Arcilla).

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

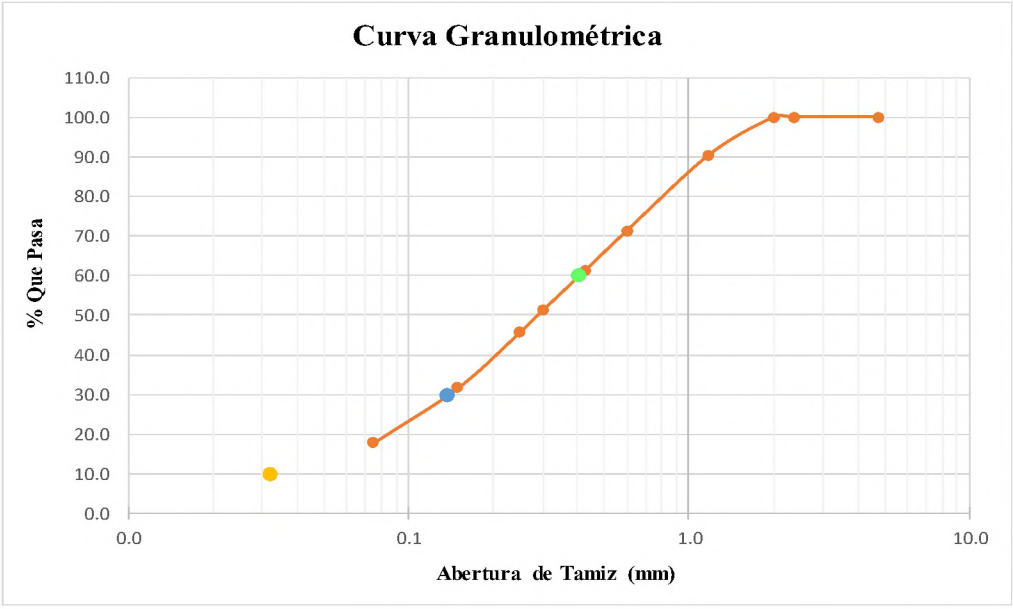
PROYECTO:	"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"		
ELABORADO POR	Danny Vladimir Flores Tipan	**UBICACIÓN:**	Pujili
REVISADO POR:	ING. Carlos Navarro	**SECTOR:**	La victoria
NORMAS:	ASTM D6913/D6913M y AASHTO T27	**NO. CALICATA**	1

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

# TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO ACUMULADO (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00
8	2.36	0.00	0.00	0.00	100.00
10	2	0.60	0.60	0.06	99.94
16	1.18	93.40	94.00	9.43	90.57
30	0.6	190.40	284.40	28.52	71.48
40	0.425	100.60	385.00	38.60	61.40
50	0.3	100.50	485.50	48.68	51.32
60	0.25	53.70	539.20	54.07	45.93
100	0.15	140.90	680.10	68.19	31.81
200	0.075	138.20	818.30	82.05	17.95
BANDEJA		179.00	997.30	100.00	0.00

RESULTADOS

COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD Y CURVATURA			PORCENTAJE DE MATERIAL		
D10	0.032	mm	**GRAVA (%)**	**ARENA (%)**	**LIMO Y ARCILLA (%)**
D30	0.137	mm	0.00	82.05	17.95
D60	0.405	mm			
Cu	12.66		**SUCS**	Arena arcillosa - (SC)	
Cc	1.45				



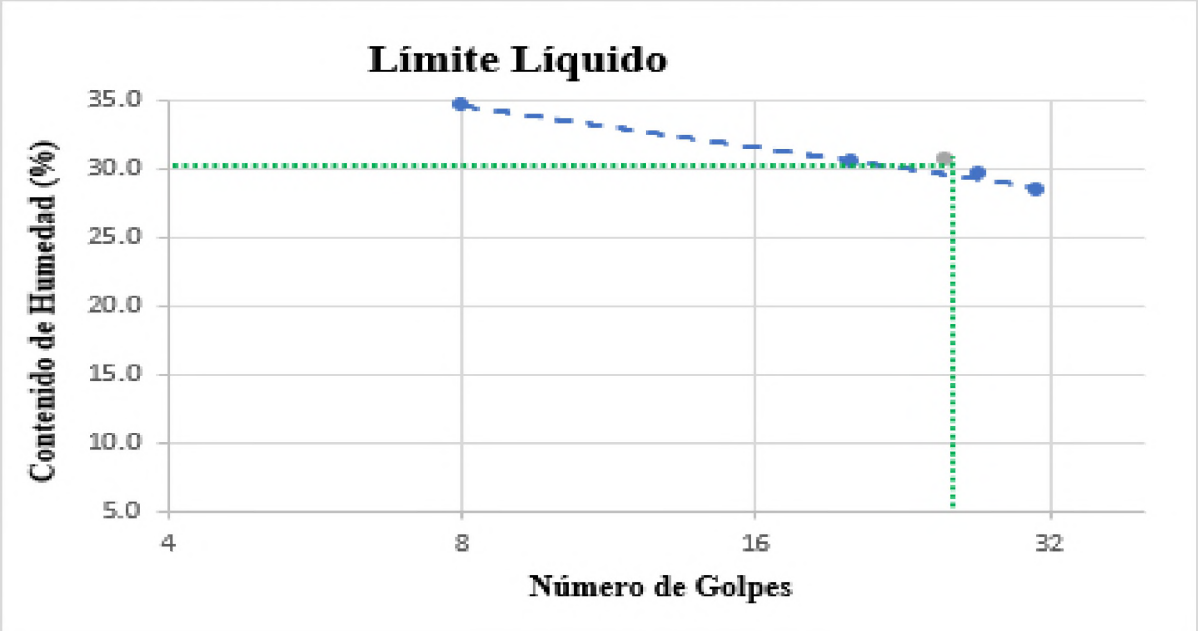
Anexo 11 Ensayo límites de atterberg.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO:	**"ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"**		
ELABORADO POR:	Danny Vladimir Flores Tipan	**UBICACIÓN:**	Pujili
REVISADO POR:	ING.Carlos Navarro	**SECTOR:**	La victoria
NORMAS:	AASHTO T 89-90 / ASTM D 4318	**NO CALICATA:**	1

LÍMITE LÍQUIDO

Número de Golpes	**8**		**20**		**27**		**31**	
Número de muestra	1	1'	2	2'	3	3'	4	4'
Número de recipiente	26	25	31	4	32	2	58	21
Peso del recipiente (Wr) (gr)	6.71	7.02	6.10	3.86	7.50	7.40	7.40	6.10
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	26.20	26.47	27.50	25.24	31.70	30.90	26.30	26.80
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	21.20	21.47	22.50	20.24	26.10	25.60	22.23	22.10
Peso del agua (Ww) (gr)	5.00	5.00	5.00	5.00	5.60	5.30	4.07	4.70
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	14.49	14.45	16.40	16.38	18.60	18.20	14.83	16.00
Contenido de humedad (W%)	34.51	34.60	30.49	30.53	30.11	29.12	27.44	29.38
Promedio (W%)	34.56		30.51		29.62		28.41	
Límite Líquido (LL%)	**30.64**							



LÍMITE PLÁSTICO						
Número de muestra	1	2	3	4	5	6
Número de recipiente	25	26	24	8	5	14
Peso del recipiente (Wr) (gr)	8.06	10.15	8.78	9.66	11.58	11.51
Peso de muestra húmeda + recipiente (Wm+Wr) (gr)	24.54	26.68	25.30	26.11	28.09	28.07
Peso de muestra seca + recipiente (Ws+Wr) (gr)	22.17	24.31	22.93	23.74	25.72	25.73
Peso del agua (Ww) (gr)	2.37	2.37	2.37	2.37	2.37	2.34
Peso de la muestra seca (Ws) (gr)	14.11	14.16	14.15	14.08	14.14	14.22
Contenido de humedad (W%)	16.80	16.74	16.75	16.83	16.76	16.46
Promedio (W%)	16.72					

RESULTADOS		
LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)
30.64	16.72	13.91

CLASIFICACIÓN DEL SUELO		
Material excelente a bueno, con presencia de Arena Arcillosa	**SUCS**	Arena arcollosa (SC)

Anexo 12 Dosificación Patron 240 kg/cm^2.

DOSIFICACIÓN MÉTODO ACI		
AIRE INCLUIDO EN EL HORMIGÓN	NO	
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c	240	kg/cm^2
RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA fcr'	324	kg/cm^2
ASENTAMIENTO	7	cm
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO	3/4"	
CANTIDAD DE AGUA	205	L
% DE AIRE ATRAPADO	2	%
MÓDULO DE FINURA	2.99	
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	2586	kg/m^3
DENSIDAD REAL DE LA ARENA	2176	kg/m^3
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO	2656	kg/m^3
%W AGREGADO GRUESO	0.71	%
%W AGREGADO FINO	7.67	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. GRUESO	1.66	%
DENSIDAD DEL CEMENTO	2990	kg/m^3
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. FINO	1.3	%
INTERPOLACIÓN	**RESISTENCIA f'c**	**RELACIÓN W/C**
	300	0.54
	350	0.47
	RESISTENCIA fcr'	**W/C SELECCIONADO**
	324	0.51
CONTENIDO DE CEMENTO	405	kg
INTERPOLACIÓN	**MÓDULO DE FINURA**	**VOLUMEN AGR. GRUESO**
	2.8	0.62
	3	0.6
	MODULO DE FINURA AGR. FINO	**VOLUMEN AGR. GRUESO compactado en seco**
	2.99	0.601
RIPIO	65	Kg
CEMENTO	29	Kg
ARENA	51	Kg
AJUSTE POR HUMEDAD		
CANTIDAD DE AGUA DE LA MEZCLA	12	L

Anexo 13 Dosificación 5% de reemplazo.

DOSIFICACIÓN MÉTODO ACI		
AIRE INCLUIDO EN EL HORMIGÓN	NO	
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c	240	kg/cm^2
RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA fcr'	324	kg/cm^2
ASENTAMIENTO	7	cm
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO	3/4"	
CANTIDAD DE AGUA	205	L
% DE AIRE ATRAPADO	2	%
MÓDULO DE FINURA	2.99	
DENSIDAD ARCILLA	2222	kg/m^3
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	2586	Kg/m^3
DENSIDAD REAL DE LA ARENA	2176	Kg/m^3
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO	2656	Kg/m^3
%W AGREGADO GRUESO	0.53	%
%W AGREGADO ARCILLA	5.53	%
%W AGREGADO FINO	6.79	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. GRUESO	1.66	%
Densidad del cemento	2990	kg/m^3
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. ARCILLA	25.99	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. FINO	1.3	%
INTERPOLACIÓN	RESISTENCIA f'c	RELACIÓN W/C
	300	0.54
	350	0.47
	RESISTENCIA fcr'	W/C SELECCIONADO
	324	0.51
CONTENIDO DE CEMENTO	404.82	kg
INTERPOLACIÓN	MÓDULO DE FINURA	VOLUMEN AGR. GRUESO
	2.8	0.62
	3	0.6
	MODULO DE FINURA AGR. FINO	VOLUMEN AGR. GRUESO compactado en seco
	2.99	0.601
RIPIO	65	kg
ARCILLA	3	kg
CEMENTO	29	
ARENA	48	kg
AJUSTE POR HUMEDAD		
CANTIDAD DE AGUA DE LA MEZCLA	14	L

Anexo 14 Dosificación 10% de reemplazo.

DOSIFICACIÓN MÉTODO ACI		
AIRE INCLUIDO EN EL HORMIGÓN	NO	
RESISTENCIA DE DISEÑO f'c	240	kg/cm^2
RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA fcr'	324	kg/cm^2
ASENTAMIENTO	7	cm
TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO	3/4"	
CANTIDAD DE AGUA	205	L
% DE AIRE ATRAPADO	2	%
MÓDULO DE FINURA	2.99	
DENSIDAD ARCILLA	2222	kg/m^3
DENSIDAD REAL DEL RIPIO	2586	Kg/m^3
DENSIDAD REAL DE LA ARENA	2176	Kg/m^3
DENSIDAD APARENTE DEL RIPIO	2656	Kg/m^3
%W AGREGADO GRUESO	0.46	%
%W AGREGADO ARCILLA	6.89	%
%W AGREGADO FINO	6.31	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. GRUESO	1.66	%
Densidad del cemento	2990	kg/m^3
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. ARCILLA	25.99	%
CAPACIDAD DE ABSORCIÓN AGR. FINO	1.3	%
INTERPOLACIÓN	RESISTENCIA f'c	RELACIÓN W/C
	300	0.54
	350	0.47
	RESISTENCIA fcr'	W/C SELECCIONADO
	324	0.51
CONTENIDO DE CEMENTO	404.82	kg
INTERPOLACIÓN	MÓDULO DE FINURA	VOLUMEN AGR. GRUESO
	2.8	0.62
	3	0.6
	MODULO DE FINURA AGR. FINO	VOLUMEN AGR. GRUESO COMPACTADO EN SECO
	2.99	0.601
RIPIO	65	kg
ARCILLA	5	kg
CEMENTO	29	kg
ARENA	46	kg
AJUSTE POR HUMEDAD		
CANTIDAD DE AGUA DE LA MEZCLA	14	L

Anexo 15 Pesos de las muestras – 0% de reemplazo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"

Porcentaje de reemplazo:		**0%**		
Dias de curado		**28 dias**		
Fecha de elaboración:		**07/04/2026**		
Fecha de ensayo		**05/05/2026**		
Lugar de ensayo:		**Laboratorio FICM-UTA**		
ID Cilindro	**Diámetro (cm)**	**Largo (cm)**	**Volumen (cm3)**	**PESO (kg)**
A10-28	15.00	30.00	5301.44	12.66
A11-28	15.00	30.00	5301.44	12.03
A12-28	15.00	30.00	5301.44	12.57
		Promedio	5301.44	12.42

Anexo 16 Pesos de las muestras – 5% de reemplazo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"

Porcentaje de reemplazo:		**5%**		
Dias de curado		**28 dias**		
Fecha de elaboración:		**14/04/2026**		
Fecha de ensayo		**12/05/2026**		
Lugar de ensayo:		**Laboratorio FICM-UTA**		
ID Cilindro	**Diámetro (cm)**	**Largo (cm)**	**Volumen (cm3)**	**PESO (kg)**
B10-28	15.00	30.00	5301.44	12.3455
B11-28	15.00	30.00	5301.44	12.4995
B12-28	15.00	30.00	5301.44	12.255
		Promedio	5301.44	12.37

Anexo 17 Pesos de las muestras – 10% de reemplazo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TEMA: "ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE UN HORMIGÓN TRADICIONAL Y UN HORMIGÓN CON SUSTITUCIÓN DEL AGREGADO FINO POR ARCILLA AL 5% Y 10% EN VOLUMEN"

Porcentaje de reemplazo:	**10%**
Dias de curado	**28 dias**
Fecha de elaboración:	**16/04/2026**
Fecha de ensayo	**14/05/2026**
Lugar de ensayo:	**Laboratorio FICM-UTA**

ID Cilindro	Diámetro (cm)	Largo (cm)	Volumen (cm3)	PESO (kg)
C10-28	15.00	30.00	5301.44	11.97
C11-28	15.00	30.00	5301.44	12.21
C12-28	15.00	30.00	5301.44	12.44
		Promedio	5301.44	12.21

Anexo 18 Resistencia a compresión a los 28 días de curado 0% de reemplazo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ensayado por:	Danny Flores
Lugar de ensayo:	Laboratorio FICM

ENSAYOS PROBETAS DE HORMIGON 0% ARCILLA

ID CILINDRO	Fechas		Edad	f'c (kg/cm2)	Carga máxina	Resistencia (Mpa)	Promedio		Porcentaje de resistencia
	Moldeo	Ensayo	Dias de curado				Mpa	kg/cm2	
A10-28	07/04/2026	05/05/2026	28	240	453	25.6	25.9	263.77	109.90
A11-28	07/04/2026	05/05/2026	28		454	25.7			
A12-28	07/04/2026	05/05/2026	28		465	26.3			

Anexo 19 Resistencia a compresión a los 28 días de curado 5% de reemplazo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ensayado por:	Danny Flores
Lugar de ensayo:	Laboratorio FICM

ENSAYOS PROBETAS DE HORMIGON 5% ARCILLA

ID CILINDRO	Fechas		Edad	f'c (kg/cm2)	Carga máxina (Kn)	Resistencia (Mpa)	Promedio		Porcentaje de resistencia
	Moldeo	Ensayo	Dias de curado				Mpa	kg/cm2	
B10-28	14/04/2026	12/05/2026	28	240	406	22.8	23.25	237.08	98.79
B11-28	14/04/2026	12/05/2026	28		421	23.1			
B12-28	14/04/2026	12/05/2026	28		426	23.4			

Anexo 20 Resistencia a compresión a los 28 días de curado 10% de reemplazo.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Ensayado por:	Danny Flores
Lugar de ensayo:	Laboratorio FICM

ENSAYOS PROBETAS DE HORMIGON 10% ARCILLA

ID CILINDRO	Fechas		Edad	f'c (kg/cm2)	Carga máxina	Resistencia (Mpa)	Promedio		Porcentaje de resistencia
	Moldeo	Ensayo	Dias de curado				Mpa	kg/cm2	
C10-28	16/04/2026	14/05/2026	28	240	403	22.5	22.767	232.156	96.73
C11-28	16/04/2026	14/05/2026	28		408	22.8			
C12-28	16/04/2026	14/05/2026	28		413	23			