



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

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

---

**DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL  
MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON  
AGREGADOS DE LAS MINAS GADMFO: LA CONDE, GUAYUSA Y  
PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE  
ORELLANA.**

---

**AUTOR:** Jefferson Ismael Manosalvas Ramos

**TUTOR:** Ing. Mg. Santiago Medina Robalino

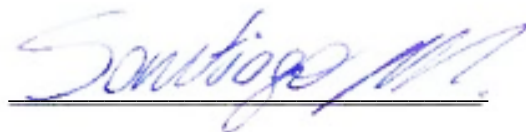
**AMBATO – ECUADOR**

**2019**

## APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ing. Mg. Santiago Medina certifico que el presente Informe del Trabajo Experimental **“DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS GADMFO: LA CONDE, GUAYUSA Y PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA”** realizado por el Sr. Jefferson Ismael Manosalvas Ramos, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato, se desarrolló bajo mi supervisión y tutoría, siendo un trabajo elaborado de manera personal e inédita.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad



Ing. Mg. Santiago Medina Robalino

TUTOR

## AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Jefferson Ismael Manosalvas Ramos, con C.I. 210041359-6 egresado de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil, por medio del presente, certifico que el siguiente proyecto de investigación: **“DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS GADMFO: LA CONDE, GUAYUSA Y PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA”**, es de mi completa autoría.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad



Jefferson Ismael Manosalvas Ramos

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 lectura, 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 de 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, septiembre del 2019



---

Jefferson Ismael Manosalvas Ramos

**AUTOR**

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de calificación de grado aprueban el Trabajo Experimental: **“DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS GADMFO: LA CONDE, GUAYUSA Y PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA”**, realizado por el Sr. Jefferson Ismael Manosalvas Ramos, egresado de la Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Civil.

Para constancia firman:



Ing. Mg. Jorge Cevallos Cabrera



Ing. Mg. Christian Medina Robalino

## DEDICATORIA

*“Para ti madre mía,  
Mujer fuerte y decidida,  
Mi más grande amiga;  
Para ti hermana querida  
Ejemplo de constancia  
Al buscar ser mejor cada día;  
Ambas modelos de superación  
Y mis fuentes de inspiración.*

*Para ti sobrina bella  
Princesita del hogar  
Que alegras nuestras vidas;  
Para mis tres amores  
Martha, Alejandra y Aniely;  
Para mi querida familia”*

*Para mis tres amores*

## **AGRADECIMIENTO**

A mí querida familia por todo su apoyo incondicional, comprensión y paciencia a lo largo de todos estos años.

Al Ing. Mg. Santiago Medina, por su excelsa guía en la elaboración del presente proyecto de titulación y compartir sus conocimientos para conmigo.

A todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Civil, por tener esa vocación para enseñar y formar a las nuevas generaciones.

Al personal de los Laboratorios y Biblioteca de Ingeniería Civil, por toda su ayuda brindada.

A todo el personal de la Jefatura de Áridos y Pétreos del GADMFO, en especial al Ing. Marco Celi.

A esos amigos que han estado en las buenas y en las malas y a sus respectivas familias por haberme acogido como un hijo más.

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera me han ayudado desinteresadamente.

## ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

<b>APROBACIÓN DEL TUTOR</b> .....	<b>II</b>
<b>AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b> .....	<b>III</b>
<b>DERECHOS DE AUTOR</b> .....	<b>IV</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO</b> .....	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VI</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b> .....	<b>XIV</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>XV</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	1
1.1.1. Justificación.....	6
1.1.2. Fundamentación teórica .....	8
1.1.2.1. Áridos o agregados.....	8
1.1.2.2. Cemento portland.....	26
1.1.2.3. Agua .....	28
1.1.2.4. Aditivo.....	30
1.1.2.5. El hormigón.....	31
1.2.3. Hipótesis.....	44
1.2. OBJETIVOS .....	44
1.3.1. Objetivo General .....	44
1.3.2. Objetivos Específicos.....	44
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>45</b>
<b>METODOLOGÍA</b> .....	<b>45</b>
2.1. NIVEL O TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	45
2.2. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	46
2.3. MATERIALES Y EQUIPOS .....	46
2.3.1. Materiales.....	46



2.3.2. Equipos.....	47
2.4. PLAN DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN .....	48
2.5. PLAN DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	50
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>51</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>51</b>
3.1. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	51
3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento.....	51
3.1.2. Ensayos en los áridos para determinar su aptitud para utilizarlos en el hormigón. ....	51
3.1.1.1. Toma y reducción de muestras.....	52
3.1.1.2. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200), mediante lavado .....	53
3.1.1.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.....	54
3.1.1.4. Análisis granulométrico en los áridos .....	55
3.1.1.5. Determinación de la densidad SSS del árido fino y grueso .....	66
3.1.1.6. Determinación de la capacidad de absorción en los áridos fino y grueso .....	67
3.1.1.7. Determinación de la densidad suelta de los agregados .....	68
3.1.1.8. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles .....	73
3.1.3. Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima .....	74
3.1.3.1. Antecedentes .....	74
3.1.3.2. Diseño de mezcla final .....	77
3.1.4. Ensayos realizados con la dosificación final.....	81
3.1.4.1. Ensayos del hormigón en estado fresco .....	81
3.1.4.2. Ensayos del hormigón en estado endurecido .....	82
3.1.4. Análisis de los resultados .....	95
3.1.4.1. MEE del hormigón.....	95
3.2. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....	98
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>99</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>99</b>
4.1. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	99
4.2. RECOMENDACIONES.....	100
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>108</b>
ANEXO 1.-TABLAS 1 Y 6 RECOPIADAS POR VAKHSHOURI Y NEJADI.....	108
ANEXO 2. _RESUMEN PRINCIPALES DATOS OBTENIDOS POR DIFERENTES AUTORES PARA LAS PROPIEDADES DEL CEMENTO Y LOS AGREGADOS .....	111

ANEXO 3._RESUMEN DE LOS FACTORES PROPUESTOS Y OTROS DATOS OBTENIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN POR LOS AUTORES .....	112
ANEXO 4._REQUISITOS DE GRADACIÓN PARA ÁRIDOS GRUESOS .....	113
ANEXO 5._MAPAS DE UBICACIÓN MINAS GADMFO .....	114
ANEXO EA.-RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS.....	117
a. Material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200), mediante lavado: INEN 697:2010 (ASTM C 117-04).....	117
b. Colorimetría: INEN 855:2010 (ASTM C 40-04).....	118
c. Análisis granulométrico en el árido fino: INEN 696:2011 .....	120
d. Análisis granulométrico en el árido grueso: INEN 696:2011 .....	121
e. Ensayo de la densidad SSS del árido fino y capacidad de absorción: NTE INEN 856 .....	123
f. Ensayo de la densidad SSS del árido grueso y capacidad de absorción: NTE INEN 857 .....	126
g. Ensayo densidad suelta de los agregados: NTE INEN 858 .....	130
Condiciones: suelta y compactada .....	130
h. Ensayo de abrasión: NTE INEN 860 .....	133
ANEXO DM.-DISEÑO DE MEZCLAS DE PRUEBA.....	137
a. Diseños 1 y 2 realizados.....	137
b. Estado fresco: Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico); NTE INEN 1579 .....	141
c. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico INEN 1573 .....	143
d. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico INEN 1573 dosificación final .....	145
ANEXO FOTOGRÁFICO.....	153

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Recopilación ecuaciones del ME propuestas .....	4
Tabla 2. Ecuaciones propuestas en relación a ACI-318: $E_c = 15000f'c$ .....	6
Tabla 3. Principales sustancias nocivas y sus efectos sobre el hormigón de cemento portland .....	18
Tabla 4. Interpretación del color .....	19
Tabla 5. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino y grueso para hormigón .....	20
Tabla 6. Requisitos de gradación para árido fino.....	21
Tabla 7. Requisitos de gradación para árido de tamaño No. 357.....	21
Tabla 8. Requisitos de gradación para árido de tamaño No. 467.....	22
Tabla 9. Ensayos en los agregados para determinar su aptitud para utilizarlos en el hormigón .....	25
Tabla 10. Principales componentes del cemento portland.....	26
Tabla 11. Clasificación de los tipos de cemento portland.....	27
Tabla 12. Sustancias perjudiciales en el agua .....	28
Tabla 13. Requisitos de desempeño del hormigón por el agua de mezcla.....	29
Tabla 14. Límites químicos opcionales del agua combinada para la mezcla.....	29
Tabla 15. Clasificación de los aditivos .....	30
Tabla 16 Relación entre docilidad, consistencia y asentamiento del hormigón .....	34
Tabla 17. Datos requeridos por el método de la densidad óptima .....	36
Tabla 18. Cantidad de pasta según asentamientos .....	36
Tabla 19. Resistencia a la compresión del hormigón para relación a/c .....	36
Tabla 20. Temperatura mínima del hormigón al ser colocado.....	38
Tabla 21. Factores que afectan el módulo de elasticidad del hormigón .....	41
Tabla 22. Ensayos en el hormigón .....	43
Tabla 23. Número de cilindros a ser elaborados en fase final .....	46
Tabla 24. Ensayos realizados en los áridos para su caracterización .....	52
Tabla 25. Resultados para el material más fino que pasa el tamiz No 200.....	53
Tabla 26. Resultados del ensayo de colorimetría.....	54
Tabla 27. Resumen granulometría en el AF Guayusa.....	55
Tabla 28. Resumen granulometría en el AF La Conde .....	57

Tabla 29. Resumen granulometría en AF Punino .....	59
Tabla 30. Resumen granulometría en el AG zarandeado de Guayusa .....	61
Tabla 31. Resumen granulometría en el AG triturado de Guayusa .....	62
Tabla 32. Resumen granulometría en el AG de La Conde .....	63
Tabla 33. Resumen granulometría en el AG de Punino .....	64
Tabla 34. Densidades SSS obtenidas para el AF de las minas GADMFO .....	66
Tabla 35. Densidades SSS obtenidas para los áridos gruesos.....	66
Tabla 36. Capacidades de absorción para el AF de las minas GADMFO .....	67
Tabla 37. Capacidades de absorción para los áridos gruesos.....	67
Tabla 38. Densidades aparentes en los áridos finos para condiciones: suelta y compactada.....	68
Tabla 39. Densidades aparentes en los AG para condiciones: suelta y compactada .	68
Tabla 40. Densidad aparente para una mezcla de AG con AF mina GADMFO: Guayusa.....	69
Tabla 41. Densidad aparente para una mezcla de AG triturado con AF mina GADMFO: Guayusa .....	70
Tabla 42. Densidad aparente para una mezcla de AG con AF mina GADMFO: La Conde .....	71
Tabla 43. Densidad aparente para una mezcla de AG con AF mina GADMFO: Punino .....	72
Tabla 44. Porcentajes de desgaste del árido grueso .....	73
Tabla 45. Coeficientes de uniformidad .....	73
Tabla 46. Resumen de las propiedades en el árido fino.....	74
Tabla 47. Resumen de las propiedades en el árido grueso.....	75
Tabla 48. Densidades aparentes para una mezcla de AG con AF y porcentajes óptimos.....	75
Tabla 49. Comparativa entre MEE experimental y teórico del hormigón .....	95
Tabla 50. Factores de la zona para el MEE del hormigón .....	97
Tabla 51. Factores locales Ka y Kb propuestos .....	98

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación diagramática de la humedad en el agregado .....	11
Figura 2. Cinco tipos de graduación de los agregados .....	23
Figura 3. Porcentajes de participación de los materiales en el diseño del hormigón. 31	
Figura 4. Esquema a considerar para el diseño de la mezcla del hormigón.....	32
Figura 5 Relación entre a/c vs porosidad y permeabilidad del hormigón.....	33
Figura 6. Influencia del curado en la resistencia del hormigón .....	35
Figura 7. Resistencias a temprana edad de una misma mezcla expuesta a diferentes temperaturas ambiente .....	39
Figura 8. Evolución de la resistencia final de una misma mezcla expuesta a diferentes temperaturas ambiente .....	39
Figura 9 Curva genérica esfuerzo-deformación unitaria.....	41
Figura 10.Criterio para definir el MEE a compresión del concreto.....	42
Figura 11. Curva granulométrica del árido fino de Guayusa .....	55
Figura 12. Curva granulométrica del árido fino de La Conde .....	57
Figura 13. Curva granulométrica del árido fino de Punino.....	59
Figura 14. Curva granulométrica del AG zarandeado de Guayusa.....	61
Figura 15. Curva granulométrica del AG triturado de Guayusa .....	62
Figura 16. Curva granulométrica del AG de La Conde .....	63
Figura 17. Curva granulométrica del AG de Punino.....	64
Figura 18.Comparativa en función de resistencia a la compresión de 21 MPa .....	76
Figura 19. Comparativa en función de resistencia a la compresión de 24 MPa .....	76

## RESUMEN EJECUTIVO

**TEMA:** DETERMINACIÓN DE UNA CONSTANTE PARA EL CÁLCULO DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO DEL HORMIGÓN CON AGREGADOS DE LAS MINAS GADMFO: LA CONDE, GUAYUSA Y PUNINO 2, DEL CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCIA DE ORELLANA

**AUTOR:** Jefferson Ismael Manosalvas Ramos

**TUTOR:** Ing. Mg. Santiago Medina

El estudio se inició con la toma de muestras de los áridos de las tres minas, bajo norma INEN 695 y su posterior reducción a tamaño de ensayo según INEN 2566; a continuación se realizaron los ensayos de caracterización de los agregados para establecer su aptitud a ser utilizados en el hormigón indicados en la INEN 872; además de la obtención de la densidad real del cemento INEN 156. En base a lo anterior se procedió al diseño de mezclas para resistencias a la compresión del hormigón de 21 y 24 Mpa, con el método de la densidad óptima.

Para las dosificaciones finales se realizaron un total de 168 especímenes cilíndricos según INEN 3124, con los correspondientes ensayos en estado fresco como: toma de muestras INEN 1763, asentamiento INEN 1578, densidad, rendimiento y contenido de aire INEN 1579; así como en estado endurecido obteniéndose las resistencias a la compresión INEN 1573 a edades de 7, 14, 21 y 28 días, permitiendo graficar las curvas edad vs resistencia a la compresión y esfuerzo vs deformación del hormigón, finalmente la determinación del módulo de elasticidad estático (MEE) se lo realizó en un total de 72 probetas siguiendo la normativa de la ASTM C469.

En función de esto se proponen las siguientes constantes para su aplicación local según sea la procedencia del material y ecuación utilizada, teniéndose así los valores de **0.0408, 0.0356, 0.0445 y 0.0439** para las minas de Guayusa zarandeado, triturado, La Conde y Punino respectivamente para sustituir en la ecuación (15) el valor de 0.043 y los valores de **4850, 4140, 5275 y 5190** de la misma manera en la ecuación (16), ambas en MPa.

## SUMMARY

**THEME:** DETERMINATION OF A CONSTANT FOR THE CALCULATION OF THE STATIC ELASTICITY MODULE OF THE CONCRETE WITH AGGREGATES OF THE GADMFO MINES: LA CONDE, GUAYUSA AND PUNINO 2, OF THE CANTÓN FRANCISCO DE ORELLANA, PROVINCE OF ORELLANA

**AUTHOR:** Jefferson Ismael Manosalvas Ramos

**TUTOR:** Ing. Mg. Santiago Medina

The study began with the sampling of the aggregates of the three mines, under the INEN 695 standard and its subsequent reduction to test size according to INEN 2566; The characterization tests of the aggregates were then carried out to establish their suitability to be used in the concrete indicated in INEN 872; In addition to obtaining the real density of the INEN 156 cement. Based on the above, mixtures for compressive strengths of concrete of 21 and 24 Mpa were carried out, using the optimum density method.

For the final dosages, a total of 168 cylindrical specimens according to INEN 3124 were performed, with the corresponding tests in the fresh state such as: INEN 1763 sampling, INEN 1578 settlement, density, performance and air content INEN 1579; as well as in a hardened state obtaining the compressive strengths INEN 1573 at ages of 7, 14, 21 and 28 days, allowing to graph the age curves vs. resistance to compression and stress vs deformation of the concrete, finally the determination of the modulus of static elasticity (MEE) was performed in a total of 72 specimens following the regulations of ASTM C469.

Based on this, the following constants are proposed for your local application depending on the origin of the material and equation used, thus having the values of **0.0408, 0.0356, 0.0445 and 0.0439** for the mines of Guayusa shaken, crushed, La Conde and Punino respectively for replacement in the equation (15) the value of 0.043 and the values of **4850, 4140, 5275 and 5190** in the same way in the equation (16) both in MPa.

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1. Antecedentes investigativos

Múltiples son las investigaciones y estudios realizados referentes al módulo de elasticidad del concreto a lo largo de los años en todo el mundo, ya sea de manera experimental (ensayos destructivos y no destructivos) o con métodos numéricos, en las que los autores han propuesto ecuaciones que se ajusten más a la realidad de cada sitio o condición y en general han concluido que los diversos códigos subestiman o sobrestiman éste valor.

Vakhshouri y Nejadi [1] miembros del Centro de Investigación de Infraestructura Construida de la Universidad de Tecnología de Sydney (Australia) indican que: el módulo de elasticidad (ME) es un parámetro clave en el diseño de hormigón reforzado, el cual representa la relación tensión-deformación en el rango elástico y su estimación fuera de rango en los códigos de práctica existentes afecta fuertemente el diseño y el rendimiento de las estructuras de hormigón. Los resultados muestran una subestimación del ME del hormigón convencional en la mayoría de los modelos existentes (Ver Anexo 1). Algunas de las conclusiones a las que llegaron fueron:

- La aplicación de algunos modelos nacionales en otras regiones del mundo debe ser verificada por las condiciones ambientales, los agregados locales, los equipos y métodos de prueba.
- Los modelos que incluyen el efecto de densidad proporcionan una mejor estimación del ME a partir de la resistencia a la compresión.
- Los modelos primarios, como Pauw (1960), son más compatibles con los resultados experimentales seleccionados al azar con una amplia variedad de agregados, condiciones de curado, métodos y estándares de prueba.



En el comentario R19.2.2.1 del ACI 318S-14 referente al ME del hormigón se indica que éste es sensible al ME del agregado y a su dosificación,  $E_c$  se define como la pendiente de la línea trazada desde un esfuerzo nulo hasta un esfuerzo de compresión de  $0.45f'_c$  y los estudios que condujeron a su expresión están resumidos en Pauw (1960), además de que los valores medidos pueden variar entre el 80 a 120 por ciento y por último se menciona que la norma ASTM C469M da un método de ensayo para su obtención [2].

Para Alaejos y Fernández [3] pertenecientes a la División de Tecnología del Hormigón de CEDEX, España y a la Universidad Politécnica de Madrid respectivamente, determinar con precisión el ME es muy importante para las estructuras que requieren un control estricto de la deformabilidad, además que el efecto del agregado es un factor significativo a tener en cuenta, a veces más relevante que la resistencia del hormigón en sí misma o incluso la edad y proponen la fórmula  $E_c = \alpha_\beta 8480 \sqrt[3]{f_{cm}}$  ( $E_c$  y  $f_{cm}$  en Mpa), en donde el valor de  $\alpha_\beta$  es un parámetro propuesto para diferentes agregados, para calcular el ME hasta una resistencia de 100 Mpa. Asimismo algunas conclusiones a las que llegaron fueron:

- Existe una gran variedad de fórmulas propuestas para el ME del hormigón en los códigos internacionales. De acuerdo con los resultados experimentales, el mejor ajuste entre el hormigón normal y de alta resistencia se obtiene con las curvas de función de la raíz cúbica” [...].
- La influencia del tipo de agregado es muy importante para el módulo del hormigón. Los agregados especiales pueden duplicar o reducir a la mitad el módulo para el mismo hormigón. Los agregados normales introducirán diferencias de 30% o más [...].

Yildirim y Sengul [4] miembros del Istanbul Technical University llevaron a cabo una investigación experimental sobre el ME del hormigón, preparando 60 mezclas para ver los efectos de la relación agua / cemento; el tamaño máximo del árido, el tipo de agregado y el contenido de cenizas volantes, reportando que los hormigones en muchas estructuras existentes en Estambul no cumplen con las normas pertinentes; además las pruebas para esta propiedad requieren mucho tiempo y se necesitan más núcleos. De los resultados obtenidos indican las siguientes conclusiones:

- Para una relación  $a/c$  dada, el ME del hormigón fue casi el mismo para los tamaños máximos de agregados de 32, 16 y 8 mm. Para 4 mm, sin embargo, los resultados fueron más bajos que los de los otros tamaños.
- El ME estimado por los códigos puede ser sustancialmente diferente de los valores reales. El error en estas estimaciones puede ser tan alto como 60% para los hormigones con resistencias a la compresión muy bajas. Una diferencia tan importante puede afectar significativamente la evaluación estructural y, por lo tanto, modernizar las estructuras existentes.
- Sobre la base de estos resultados de prueba, se puede concluir que, en lugar de usar una sola expresión para un amplio rango de resistencias a la compresión (como las de los códigos), diferentes expresiones para diversos tipos de hormigón pueden dar mejores resultados al estimar el ME.

Referente a la relación  $a/c$ , Quintero *et al.* [5] del Grupo de Investigación en Desarrollo y Tecnología de Nuevos Materiales (GIMAT) de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales, Universidad Industrial de Santander (UIS) midieron la resistencia a la compresión, la porosidad y la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) a probetas de concreto fabricadas con cemento Portland tipo I y relaciones  $a/c$  de 0,45, 0,50, 0,55 y 0,60, curadas bajo condiciones ambientales, permitiéndoles confirmar que “al incrementar la relación  $a/c$ , se incrementa el valor porcentual de la porosidad y disminuye la resistencia a la compresión y la velocidad de pulso ultrasónico.”

Alsalman *et al.*[6] enseñan que el uso de materiales locales para desarrollar concreto de rendimiento ultra-alto (UHPC) es beneficioso para ahorrar energía y reducir el costo del concreto. Sin embargo, esta práctica posiblemente disminuye el módulo de elasticidad (ME) del UHPC. Además presentan una tabla que resumen las ecuaciones que se han propuesto para estimar el ME del hormigón, encontradas en la literatura desde 2000s (ver Tabla 1).

Asimismo expresan que la ecuación propuesta por el Comité 318-14 de ACI se usa ampliamente para estimar el ME del hormigón (Pues los datos de prueba no siempre están disponibles). No obstante, los resultados demuestran que esta ecuación sobreestima el ME del hormigón de alta resistencia.

**Tabla 1. Recopilación ecuaciones del ME propuestas**

Committee or Researcher (s)	Equation	Note
ACI Committee 318-14	$E_c = 4730\sqrt{f'_c}$	Normal-strength concrete, $f'_c < 41.4 \text{ MPa}$ and $1440 \leq \omega \leq 2480 \text{ kg/m}^3$
ACI Committee 363-10	$E_c = 3320\sqrt{f'_c} + 6900$	High-strength concrete, $f'_c \leq 83 \text{ MPa}$
FIP-CEB	$E_c = 21500\alpha_\beta \left[ \frac{f_{ck}}{8} \right]^{\frac{1}{3}}$	$f'_c < 80 \text{ MPa}$ ; $\alpha_\beta$ is a variable for the aggregate type, $f_{ck}$ is the characteristic compressive strength of 150x300mm cylinders
	$E_c = 21500\alpha_\beta \left[ \frac{f_{cm}}{10} \right]^{\frac{1}{3}}$	$f'_c < 80 \text{ MPa}$ ; $\alpha_\beta$ is a variable for the aggregate type, $f_{cm}$ is the compressive strength at 28 days of 150x300mm cylinders
Norwegian Standard NS 3473	$E_c = 9500(f'_c)^{0.3}$	$25 \leq f'_c \leq 85 \text{ MPa}$
Ma et al.	$E_c = 19000 \left( \frac{f'_c}{10} \right)^{\frac{1}{3}}$	UHPC without coarse aggregates, $150 \leq f'_c \leq 180 \text{ MPa}$
	$E_c = 21902 \left( \frac{f'_c}{10} \right)^{\frac{1}{3}}$	UHPC without basalt coarse aggregates, $150 \leq f'_c \leq 180 \text{ MPa}$
Association Française de Génie Civil (AFGC)	$E_c = 9500(f'_c)^{\frac{1}{3}}$	Heat-cured UHPC, $f'_c \geq 140 \text{ MPa}$
Sritharan et al.	$E_c = 4150\sqrt{f'_c}$	UHPC, $f'_c = 177 \text{ MPa}$ (on average)
Ma and Schneider	$E_c = 16365 \ln(f'_c) - 34828$	UHPC, $f'_c \geq 140 \text{ MPa}$
Kollmorgen	$E_c = 11800(f'_c)^{\frac{1}{3.14}}$	$34 \leq f'_c \leq 207 \text{ MPa}$
Graybeal	$E_c = 3840\sqrt{f'_c}$	$126 \leq f'_c \leq 193 \text{ MPa}$
Graybeal	$E_c = 4069\sqrt{f'_c}$	$97 \leq f'_c \leq 179 \text{ MPa}$

Note:  $f'_c$  = compressive strength (MPa);  $E_c$  = modulus of elasticity (MPa);  $\omega$  = unit weight of concrete ( $\text{kg/m}^3$ )

**Fuente: Alsalman et al.[6]**

Varias son las universidades del Ecuador con la carrera de Ingeniería Civil que han desarrollado temas de tesis relacionados a la determinación del módulo de elasticidad estático (MEE) del hormigón, destacándose el aporte de la Universidad Central del Ecuador, que desde el año 1992 con la Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática ha realizado estudios en las canteras de distintos puntos del país, principalmente de aquellas cuyo uso es generalizado en el ámbito constructivo ecuatoriano [7]; las investigaciones realizadas en todas éstas, han arrojado una gran variedad de valores que casi siempre son menores a las constantes recomendadas por el comité del American Concrete Institute (A.C.I.) y se observa que el MEE no depende únicamente de la resistencia a la compresión y la densidad del hormigón, sino también obedece a las propiedades del agregado, en especial a la porosidad y al ME del mismo como concluye Arequipa et al [7].

Serpa y Vázquez [8] de la Universidad de Cuenca determinaron el ME y la resistencia a compresión del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados procedentes de los ríos Paute y Jubones de la ciudad de Cuenca, con una combinación en el árido grueso; para esto fabricaron 12 tipos de hormigón distintos con seis réplicas por tipo, de los cuales dos especímenes se ensayaron a compresión

según INEN 1573, los 4 sobrantes según la ASTM C-469 y la totalidad (72) de acuerdo a la ASTM C-597 para determinar el ME por ultrasonido.

Procesaron los datos mediante un análisis de varianzas para determinar si los factores ejercen efectos sobre las variables dependientes, siendo éstos: la relación agua-cemento, relación agregado fino-agregado grueso y el tipo de agregado; obteniendo las siguientes observaciones y conclusiones:

- El ME disminuye en la medida en que la relación árido fino-árido grueso aumenta, es decir mezclas con mayor cantidad de arena lo reducen.
- A menor relación a/c se producen módulos de elasticidad más altos y viceversa
- Si el agregado utilizado es el mismo en todos los diseños se ve una pequeña influencia en la variación del ME representado en un 17.7%
- La relación a/c genera diferencias estadísticamente significativas en la resistencia a compresión simple del hormigón; mientras la relación Af/Ag y el tipo de agregado no.
- La relación a/c es más influyente que la relación Af/Ag presentando valores del 87.8% y 56.4% para los métodos ASTM C496 y C597 respectivamente, frente al 66% y 49.1% de la relación Af/Ag.
- Los errores relativos del ME con la ecuación ACI 318 respecto a ASTM C469 varían en un rango entre -7.39% a 4.65% para una relación a/c de 0.60, mientras en relaciones a/c de 0.50 varían hasta un máximo de 14.49%; validándose la aplicabilidad de esta ecuación, pues la dispersión de los errores es menor al  $\pm 20\%$  presentado por ésta.

En el Anexo 2 se presenta una tabla de resumen de las propiedades del cemento y los agregados de varias fuentes encontrados en tesis relacionadas con la obtención del MEE, datos que son utilizados para establecer la idoneidad de los materiales y realizar la dosificación del hormigón. En el Anexo 3 se indica el método de dosificación empleado, los factores encontrados para el cálculo del MEE, entre otros datos recopilados. (Ver anexos 2 y 3)

Se aprecia que los métodos principales utilizados para la dosificación del hormigón son los de ACI-211 y densidad óptima o máxima, teniendo éste último una aplicación más satisfactoria en agregados que presenten una granulometría deficiente respecto de las normas y límites que se recomiendan en el A.C.I. [9] y [10].

### 1.1.1. Justificación

“Millones de obras, miles de kilómetros de puentes y de vías, cientos de pisos de estructuras, nos recuerdan día a día que después del agua nada se usa sobre la tierra como el hormigón” [11], convirtiéndolo en el segundo producto más usado en el mundo después del agua [12] y es que su uso masivo hace preciso conocer sus propiedades mecánicas para tener diseños acertados de los proyectos constructivos, por ejemplo su ME que es considerado uno de los más importantes parámetros en el diseño y construcción [13], pues “influye de manera determinante en las deflexiones, las distorsiones de entrepiso y en la rigidez de una estructura” [14], además de que este permite determinar la idoneidad de los materiales con los cuáles fue fabricado (agregados y cemento) y la calidad de los diseños de las edificaciones construidas con hormigón [7].

Estudios como los de Vakhshouri y Nejadi [1] que al investigar 35 códigos existentes de diseño internacionales y 19 modelos empíricos concluyeron que: “los resultados muestran una subestimación del ME del hormigón convencional en la mayoría de los modelos existentes”; de igual manera Lizarazo y López [15] mencionan: “las ecuaciones propuestas en códigos estándar como ACI-318, NSR-10 y ACI-363 sobreestiman el ME del hormigón de alta resistencia fabricado con agregado grueso obtenido del área de influencia de Bogotá, Colombia”, otro aporte son las investigaciones realizadas en universidades del Ecuador, que han arrojado una gran variedad de valores del ME que casi siempre son menores a las constantes recomendadas por el A.C.I.

En la Tabla 2 se muestran algunos de los factores propuestos, notándose su variedad.

**Tabla 2. Ecuaciones propuestas en relación a ACI-318:  $E_c = 15100\sqrt{f'c}$**

Autores	Año	Ecuación (kg/cm <sup>2</sup> )	Lugar
Bruno y Peralta [16]	2014	$E_c = 18000\sqrt{f'c}$	Planta Concretara de DINO-CHIMBOTE. (Ancash, Perú)
García [17]	2013	$E_c = 10361\sqrt{f'c}$	Mina Villacrés (Ambato)
Arequipa, Coba, Garzón y Vargas [7]	2012	$E_c = 10000\sqrt{f'c}$	Cantera “San Joaquín”, parroquia Mulaló, cantón Latacunga
Carvajal y Gonzáles [18]	2012	$E_c = 6605\sqrt{f'c}$	Materiales pétreos de Pescadero (Colombia)
Morales, Ojeda, Rodríguez y Rosero [19]	2012	$E_c = 13600\sqrt{f'c}$	Mina “Prima II” del sector de Guayllabamba (Quito)
Serrano y Pérez [20]	2010	$E_c = 6250\sqrt{f'c}$	Bucaramanga (Colombia)
Torrado y Porras [21]	2009	$E_c = 6008\sqrt{f'c}$	Bucaramanga y su área Metropolitana (Colombia)
Herrería y Villegas [22]	2008	$E_c = 11065\sqrt{f'c}$	Planta Pifo y con Cemento Holcim (Quito)

**Realizado por: Ismael Manosalvas**

La normativa NEC-SE-HM-2015 ha adoptado la ecuación empírica propuesta por ACI 318 para el cálculo del ME del hormigón, pero ésta ha presentado variabilidad importante de acuerdo al lugar donde se ha aplicado alrededor del mundo como han explicado varios investigadores, justificándose como principal factor los agregados que corresponden entre el 75 a 80% aproximadamente del volumen del hormigón [8], [23] y [24]; Ecuador al contar con cuatro regiones, posee una amplia diversidad de materiales de diverso origen, haciendo indispensable generar resultados para cada lugar de procedencia y aún más en la región amazónica, donde la obtención de éstos ha estado limitada al no contar con universidades o institutos propios para aportar datos que estén disponibles a los sectores que precisan su utilización, como la provincia de Orellana.

Por lo ya mencionado es de importancia conocer el valor del MEE que se determine con los materiales de las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2; mismas que son de libre aprovechamiento y por ende de éstas se da la explotación de materiales de construcción para obra pública, y al ser Francisco de Orellana uno de los cantones con mayor crecimiento de la provincia de Orellana se ha provocado una importante expansión de los suelos urbanizados [25], con esto se lograrán cálculos más acertados a la realidad de la zona y al estar a cargo del GAD Municipal de Orellana se facilitaría la utilización de ésta constante.

## **1.1.2. Fundamentación teórica**

### **1.1.2.1. Áridos o agregados**

#### **Introducción**

La NTE INEN 694 indica que un árido es un “material granular como: arena, grava, piedra triturada o escoria de altos hornos de hierro, que se usa con un cementante para elaborar hormigón o mortero de cemento hidráulico” [26].

Los áridos constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante [24], siendo aproximadamente entre el 75 a 80%, por lo que la calidad de éste es de gran interés, pues no sólo puede limitar la resistencia del hormigón, sino que sus propiedades físicas, térmicas, e incluso químicas pueden afectar enormemente su durabilidad y desempeño [23], [24].

Los áridos conforman el armazón granular del hormigón al poseer entre el 80 a 90% de su peso total siendo el elemento mayoritario que actúa como relleno para reducir la cantidad de pasta de cemento necesaria en la mezcla, pues presentan una estabilidad volumétrica mayor que ésta. Entonces, la maximización de la cantidad de éste mejora, hasta un cierto punto, la calidad de la mezcla, teniendo como límite la docilidad por el contenido de los áridos gruesos y la presencia mínima de finos para no afectar la resistencia; de tal manera que se obtengan las propiedades requeridas al costo mínimo [28] y [29].

#### **Naturaleza y procedencia de los áridos**

Neville [30] señala que varias de las propiedades de los áridos dependen de las de la roca original, por ejemplo, estructura petrográfica, propiedades químicas, composición mineral, densidad, dureza, resistencia, entre otras. En cambio, hay propiedades que posee el árido, pero ausentes en la roca original: forma y tamaño de la partícula, textura superficial y absorción. Todas éstas pueden ejercer una influencia considerable en la calidad del hormigón fresco o endurecido.

Los áridos naturales proceden de la desintegración natural (arrastre de los ríos) o artificial (explotación de canteras) de rocas y según la naturaleza de éstas reciben el nombre de silíceos, calizos, graníticos, basálticos, etc.; se pueden clasificar en triturados y rodados [23].

Los obtenidos por desintegración artificial mediante trituración (generalmente en canteras), poseen superficies rugosas y aristas vivas y se denominan "áridos triturados"; si se consiguen como producto de la trituración de los sobretamaños del material de río, adquieren las características físicas mencionadas y conservan las cualidades mecánicas, propias como resistencia al desgaste y al intemperismo, que tenía el material de río que le dio origen [27] y [23]. En cambio a las arenas así como los áridos gruesos procedentes de la desintegración natural y erosión de rocas son, en general, redondeados con superficies lisas sin aristas y se les denomina "cantos rodados", en los cuales su calidad es muy variable, así como su granulometría, lo que obliga a que tengan que lavarse y tamizarse para clasificarlos en fracciones de tamaños adecuados al uso que se vaya a hacer de ellos [23].

Los cantos rodados, arenas y gravas silíceas, son las de uso más extendido y los más económicos, proporcionando hormigones dóciles y trabajables con una cantidad de agua discreta; mientras que los áridos triturados dan lugar a hormigones más cerrados y resistentes física y químicamente, pero con mayor requerimiento de agua y menor docilidad si se tiene una angulosidad excesiva [23] y [31].

Los áridos utilizados en la construcción de estructuras de hormigón armado como señala la NEC-SE-HM deben cumplir con la especificación NTE INEN 872, resumiéndose su aceptación en tener una distribución granulométrica uniforme; ser limpio, duro, sano y durable [32].



## **Árido fino y árido grueso**

### **➤ Árido fino o arena**

Árido que pasa por el tamiz 3/8" (9.5mm) y que la mayor parte de sus partículas pasa el tamiz No. 4 (4.75mm) y son retenidas en su mayoría en el tamiz No. 200 (75 µm), ésta definición aplicada en su totalidad, ya sea en un estado natural o después de su procesamiento; mientras que para una porción: parte de un árido que pasa por el tamiz No. 4 (4.75mm) y es retenido en el tamiz No. 200 (75 µm) [33].

La arena deberá ser limpia, libre de contaminación con arcilla, limo o materia orgánica, ni exceso de partículas muy finas y livianas, con una procedencia preferente de minas de antiguos lechos de ríos o de ríos de régimen vigente. El polvo de la trituración de la piedra es una opción de sustituto de la arena, pero requiere un mayor cuidado en la granulometría (exceso de finos y partículas muy gruesas) [12].

Considerando que un exceso de arena afectará las resistencias, su presencia debe ser la mínima de tal manera que permita una buena docilidad y ofrezca cohesión a la mezcla [29].

### **➤ Árido grueso, ripio o grava**

Árido en que la mayor parte de sus partículas quedan retenidas en el tamiz No. 4 (4.75mm), o la porción de un árido retenido sobre el tamiz No. 4 (4.75mm). Aplicándose la primera definición a la totalidad del árido, ya sea en un estado natural o después de su procesamiento, mientras que la segunda a una porción de un árido [33].

Éste debe estar limpio, sin adherencias de limo o arcilla y no tener partículas livianas (pómez) o terrones. No son ventajosas las partículas demasiado lisas. Tampoco son ansiadas las partículas planas porque son livianas y muy poco resistentes [12].

La mezcla se volverá difícil de trabajar si la cantidad de agregados gruesos es excesiva, y habrá una tendencia de éstos a separarse del mortero (segregación) [29], evitándose con una graduación continua [27].

## Condiciones de humedad de los agregados

Li [34] indica que la condición de humedad define la presencia y la cantidad de agua en los poros y en la superficie del agregado. En la Figura 1 se muestran las cuatro condiciones de humedad.

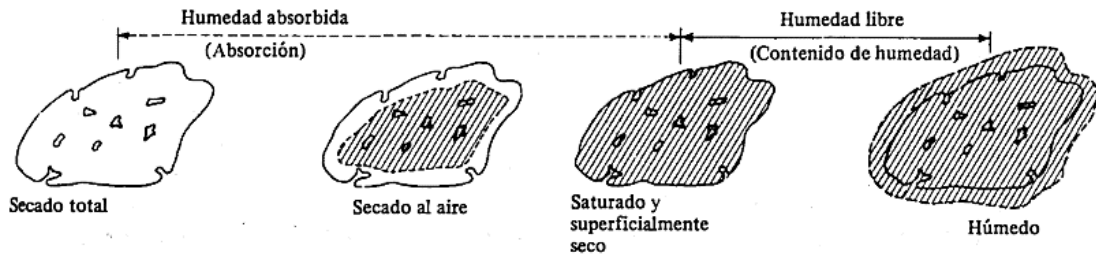


Figura 1. Representación diagramática de la humedad en el agregado

Fuente: A. M. Neville, Fig. 3.5 [30]

- a. **Seco al horno (SH):** Condición en la cual los áridos han sido secados por calentamiento en un horno a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por el tiempo necesario para conseguir una masa constante al expulsar toda el agua de los poros internos [35].
- b. **Humedad natural o secado al aire (SA):** Los poros dentro del agregado están parcialmente llenos de agua; se logra con el árido a temperatura y humedad ambiental. Cuando el agregado está bajo la condición SH o SA, absorberá agua durante el proceso de mezcla del concreto hasta que los poros internos estén completamente llenos de agua [34].
- c. **Saturado superficie seca (SSS):** En ésta condición los poros permeables de las partículas del árido se llenan con agua al sumergirlos por un determinado período de tiempo (24h), pero sin agua libre en la superficie (secado con un paño húmedo); el árido SSS no absorberá ni dará agua durante el proceso de mezcla. Por lo tanto, es una condición equilibrada y se utiliza como índice estándar para la dosificación del hormigón [34] y [35].
- d. **Saturado superficie húmeda (SSH):** Los poros del agregado están completamente llenos de agua y la superficie del agregado tiene una película de agua. Cuando el agregado está en una condición húmeda, dará agua a la mezcla de concreto durante el proceso de mezcla [34].

## Absorción y contenido de humedad

### ➤ Absorción

Incremento de la masa de un cuerpo sólido poroso como resultado de la penetración de un líquido en sus poros permeables o proceso por el cual un líquido tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso [26]. En resumen humedad contenida en la condición SSS [28].

La capacidad de absorción del árido se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 h  $\pm$ 4h de inmersión en agua y de secado superficial. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto; siendo esto el principio de las normas INEN 856 y 857, para áridos finos y gruesos respectivamente [35] y [36]; la siguiente fórmula indica su cálculo; en donde A, es la masa de la muestra seca al horno en gramos y S, es la masa de muestra SSS en gramos.

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S-A)}{A} \times 100 \quad (1)$$

El árido grueso tiene un nivel de absorción que varía del 0.2% al 4%, mientras que en el árido fino es del 0.2% al 2% [31]; en la instrucción española del hormigón por ejemplo indica que la absorción de los áridos sea  $\leq$  al 5% [23].

### ➤ Contenido de humedad

Saber su valor, en especial en las arenas, es muy significativo pues ésta puede tener un gran efecto, en la relación a/c real que se esté empleando en el hormigón [23].

La NTE INEN 862 indica el procedimiento, en el cual a una muestra del árido en estado natural se le elimina toda la humedad tanto superficial como aquella ubicada entre los poros del árido al ser secada en horno. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad de árido. El contenido total de humedad evaporable P se calcula con la siguiente fórmula, en donde W y D son las masa en gramos de la muestra original y seca respectivamente.

$$P = 100(W - D)/D \quad (2)$$

El contenido de humedad superficial o humedad libre es igual a la diferencia entre el contenido total de humedad evaporable y la absorción, con todos los valores basados en la masa de la muestra seca [37].

Para calcular el aporte de agua, se multiplicará la humedad superficial del agregado expresada en fracción decimal por su peso seco [38], es decir:

$$\text{Aporte de agua} = \frac{P - \% \text{Absorción}}{100} \times D \quad (3)$$

Se presentan dos casos como menciona Abanto [38]:

**a. Si  $P > \% \text{Absorción}$**

En esta condición el agregado contribuye con agua a la mezcla (agua libre), la cual debe ser reducida del agua de diseño para encontrar el agua efectiva y no disminuir la resistencia del hormigón al modificar la relación a/c [24] y [38].

**b. Si  $P < \% \text{Absorción}$**

Aquí el agregado robará agua de la mezcla (agua que le falta) para llegar a la condición ideal, para no modificar el agua de diseño dicha cantidad debe aumentarse a la mezcla., para no perder trabajabilidad del hormigón al modificar la relación a/c [24] y [38].

## **Porosidad**

Relación existente entre el volumen de huecos accesibles al agua y el volumen real de una partícula de árido, considerada independiente [23]. Suele ser del 0.4% al 3.8% para los graníticos, de 0% al 37% para los calizos, de 0% al 48% para areniscas, del 1.9% al 15.1% para cuarcitas y del 2% al 15% para los silíceos [23] y [30].

Como el árido constituye aproximadamente 3/4 partes del volumen del hormigón, queda claro que la porosidad del árido contribuye notablemente a la porosidad total del mismo, así como conjuntamente con la permeabilidad y absorción influyen en las propiedades de los áridos: adherencia entre éste y la pasta de cemento hidratada, en la resistencia del hormigón a la congelación y al deshielo, también en su estabilidad química y en la resistencia a la abrasión [30].

## Densidad

Se define como la masa por unidad de volumen de material; en el caso de los agregados tiene relación directa con la roca que les dio origen, por ejemplo los áridos de alta densidad (densidad relativa > 3.3) proceden de baritas, magnetitas, limonitas entre otras rocas mineralizadas; mientras que los áridos de baja densidad (densidad relativa < 1.12) se originan de la piedra pómez, escoria, ceniza volcánica, pizarra, entre otros. Se considera una densidad normal a áridos con densidad relativa entre 2,4 y 3,0, o con la masa unitaria alrededor de 1.120 kg/m<sup>3</sup> a 1.920 kg/m<sup>3</sup> [26]-[28].

Como se puede ver en el párrafo anterior existen distintos tipos de densidad debido a que las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar llenos, parcialmente saturados o vacíos según su permeabilidad interna, haciéndose necesaria su diferenciación como se presenta más adelante [27]. Ésta propiedad tanto en los áridos como aglomerantes debe tenerse en cuenta al elegir las proporciones de la mezcla, al tratarse del diseño de mezclas de hormigón [28].

### ➤ Densidad suelta (peso volumétrico o masa unitaria) y contenido de vacíos

Es la masa o el peso del árido necesario para llenar un molde con un volumen conocido, en el cual se incluyen los volúmenes de las partículas individuales y los vacíos entre las mismas. Se expresa en kg/m<sup>3</sup> [39].

Se define a los vacíos como: “espacio entre las partículas de una masa de árido, no ocupado por la materia mineral sólida” [39]. Sabiéndose que se tendrá un mayor contenido de vacíos mientras los áridos sean de mayor tamaño [40].

La NTE INEN 858 establece el método de ensayo para determinar la masa unitaria (peso volumétrico) y contenido de vacíos del árido con un TNM menor a 125 mm (5in) pudiendo ser fino, grueso o una mezcla de ambos, esto mediante los procedimientos de varillado, sacudidas o paladas, para lo cual se dan las siguientes fórmulas [39].

#### i. Para el peso volumétrico:

$$M = \frac{(G-T)}{V} \quad (4)$$

ii. **Para el contenido de vacíos**

$$\text{Vacíos, \%} = \frac{[(S \times M) - Da] \times 100}{(S \times Da)} \quad (5)$$

Dónde:

**M**, masa unitaria del árido ( $\text{Kg/m}^3$ )

**G**, masa del árido más molde ( $\text{Kg}$ )

**T**, masa molde ( $\text{Kg}$ )

**V**, volumen molde ( $\text{m}^3$ )

**S**, gravedad específica (condición seca) INEN 857/856

**Da**, densidad del agua ( $\text{Kg/m}^3$ )

Para las siguientes condiciones el agregado debe estar en estado seco, teniéndose:

**a) Condición suelta**

Se descarga el árido por medio de una pala desde una altura no superior a 50 mm por encima de la parte superior del molde hasta rebosar, para luego enrasar la superficie. Se debe evitar la segregación de las partículas que componen la muestra [39].

El valor de ésta condición es relevante para pasar de una dosificación de los agregados al peso a una por volumen [41].

**b) Condición compactada**

Se realiza con el procedimiento por varillado para áridos con un TNM menor o igual a 37.5mm (1½ in), de ser mayor se realiza por medio de sacudidas [39].

Para el caso de estudio se realizará la compactación por varillado, (se cumple la condición) que consiste en llenar el molde en tres capas a cada tercio de su altura, para el 1/3 y 2/3 se nivela la superficie, mientras que para la última se llena el molde a rebosar; cada capa se compacta con 25 golpes de la varilla (lisa, Ø16mm, l=600mm, puntas redondeadas) distribuidos uniformemente sobre la superficie; finalmente se enrasa la superficie [39].

En la compactación del primer tercio, no se debe permitir que la varilla golpee fuertemente el fondo del molde; para los otros dos tercios debe ser vigorosa evitando que la varilla penetre la capa anterior del árido [39].

### c) Condición combinada

Se procede de igual manera que la condición anterior, pero con una mezcla de árido grueso y fino en las que se varía las proporciones con porcentajes grueso/fino de: 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 y 40/60, para poder graficar una curva (parábola) y obtener lo siguiente:

#### a. Densidad máxima

Valor que se da en el vértice de la curva y permite determinar el porcentaje de cada agregado en la mezcla, teniendo con esto el máximo rendimiento de los mismos, traduciéndose en economía [41].

#### b. Densidad óptima

Se la obtiene al disminuir un 4% del porcentaje máximo del árido fino implicando con esto, el aumento del árido grueso. Es menor que la densidad máxima [9].

#### ➤ Densidad relativa SSS (gravedad específica)

La NTE INEN 856 y 857 la definen como: “relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada” [35] y [36].

El principio básico es el mismo para los áridos fino (INEN 856) y grueso (INEN 857); a una muestra previamente secada sumergirla en agua durante  $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$ , con el propósito de llenar sus poros; a continuación se seca el agua superficial hasta obtener la condición de humedad SSS y se establece su masa; por último aplicando el método de desplazamiento de agua se calcula su volumen [35] y [36].

### Tenacidad y resistencia al desgaste

La capacidad de los áridos para resistir el efecto dañino de la erosión, abrasión o, en general, el desgaste está relacionado con la dureza (resistencia de un sólido a ser rayado) de sus partículas constituyentes, describiéndose mediante la tenacidad (resistencia de un sólido a romperse cuando es golpeado) o la resistencia a la abrasión [28].

Éstas se evalúan con la determinación del valor de degradación del árido grueso conocido más comúnmente como la prueba de abrasión “Los Ángeles” (ASTM C131-06, C535-09) en la que se da una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio (máquina de los Ángeles), que como se indica en la **NTE INEN 860 y 861** gira a 500 o 1000 revoluciones (860/861) a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min; siendo el porcentaje de pérdida de peso el valor de degradación o coeficiente de Los Ángeles [42]; los áridos silíceos poseen coeficientes de alrededor de 18, mientras que los calizos alrededor de 26 [23]; en cuanto a los límites recomendados están de acuerdo al uso que el árido vaya a tener, teniéndose así un valor <35% para pavimentos rígidos o lozas de concreto y menores al 40% para otras estructuras [27], valor que coincide con el indicado en la Instrucción española, que en hormigones en general requiere valores menores o iguales a 40% [23]; referente a esto en la INEN 872 indica que no debe superar el 50% [43].

De igual manera la **NTE INEN 860 y 861** señala que se puede obtener información valiosa sobre la uniformidad de la muestra a ser ensayada mediante la determinación de la pérdida después de 100 o 200 revoluciones respectivamente que al relacionarse con las 500 o 1000 revoluciones totales debería ser menor a 0.20 para una material de dureza uniforme [42].

### **Sustancias perjudiciales o nocivas**

Una sustancia perjudicial en los áridos es cualquier material que afecta adversamente a la calidad del hormigón fabricado con los mismos [28]; en los agregados se pueden encontrar tres categorías generales de sustancias nocivas [24]:

1. Impurezas que interfieren los procesos de hidratación del cemento;
2. Coberturas que impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento;
3. Algunas partículas individuales que son débiles y defectuosas por sí mismas.



La Tabla 3 identifica las principales sustancias nocivas de los áridos, junto con sus efectos sobre el hormigón de cemento portland, presentándose como un preámbulo de lo expuesto más adelante.

**Tabla 3. Principales sustancias nocivas y sus efectos sobre el hormigón de cemento portland**

Sustancia	Efecto dañino
Impurezas orgánicas	Retarda el asentamiento y el endurecimiento, puede reducir la resistencia y causar deterioros
Materiales más finos que 0.075 mm (N <sup>o</sup> 200)	Debilita las uniones, puede incrementar el requerimiento de agua
Masas de arcilla y partículas desmenuzables	Ampollas, reduce la durabilidad y las resistencia al desgaste
Carbón, lignito u otros materiales de baja densidad	Reduce la durabilidad, puede provocar la aparición de ampollas o manchas
Partículas blandas	Reduce la durabilidad y la resistencia al desgaste, ampollas






**Fuente: M. S. Mamlouk and J. P. Zaniewski [28]**

### ➤ **Impurezas orgánicas**

Un agregado aún con buenas resistencias decaerá mucho si posee impurezas orgánicas, las cuales aparecen al entrar éstos en contacto con tierra vegetal o humus que contienen taninos o derivados de los mismos que interfieran con las reacciones químicas de hidratación, especialmente en el árido fino, puesto que en los agregados gruesos estas sustancias se lavan más fácilmente [27], [23] y [30].

Para verificar los efectos de las impurezas orgánicas y ahorrar tiempo, se ejecuta un ensayo cualitativo, conocido como prueba colorimétrica, incluida en la norma ASTM C 40-04 que es la base de estudio de la NTE INEN 855 en la que se resume el ensayo de la siguiente manera; a una muestra de árido fino se le agrega una solución normalizada de hidróxido de sodio (NaOH) al 3%, se la agita vigorosamente y luego de 24 horas el contenido orgánico se puede juzgar por el tono de la solución: si la muestra produce un color más oscuro que el No. 3 del comparador (Tabla 4), se considera que el árido fino bajo ensayo, posiblemente contiene cantidades inapropiadas de impurezas orgánicas, entonces se deben efectuar más análisis como el indicado en la NTE INEN 866 referente al efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia, antes de aprobar o rechazar el uso del árido fino en el hormigón o mortero [30] y [44].

**Tabla 4. Interpretación del color**

Placa orgánica N <sup>0</sup>	Gardner N <sup>0</sup>	Color	Color de referencia práctico	Propiedades
1 	5	Blanco claro a transparente	Claro transparente o jugo de limón	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas
2 	8	Amarillo pálido	Jugo de piña	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad
3 	11	Marrón Anaranjado (color base)	Anaranjado	Contiene impurezas orgánicas en altas cantidades. Puede usarse en hormigones de baja resistencia.
4 	14	Anaranjado rojizo	Tamarindo	Contiene impurezas orgánicas en concentraciones muy elevadas. Se considera de mala calidad.
5 	16	Anaranjado oscuro	Rojo oscuro	Arena de muy mala calidad. Existen demasiadas impurezas orgánicas, limos o arcilla. No se usa.

**Fuente: ASTM C40**

### ➤ Arcillas y partículas finas

En agregados con un alto porcentaje de limos, arcillas y polvos muy finos con diámetros inferiores a 0.074mm (tamiz No.200) son perjudiciales, pues interfieren en la adherencia entre el árido y la pasta de cemento propiciando su rotura; de igual manera debido a su finura y a su gran área superficial, aumentan la cantidad de agua necesaria para humedecer todas las partículas de la mezcla y por consiguiente la cantidad de cemento [27], [29] y [30].

En vista de lo anterior, es necesario controlar el porcentaje de árido más fino que pasa el tamiz No. 200, cuya obtención se muestra en la **NTE INEN 697** y se evalúa con los límites señalados en la **NTE INEN 872** que se exponen en la Tabla 5.

### ➤ Otras partículas indeseables

Éstas pueden poner en peligro la integridad del hormigón o disminuir su resistencia, por ejemplo las partículas de baja densidad, como pueden ser las procedentes de pizarras, o que forman inclusiones blandas dentro de la masa de hormigón, como el carbón, madera, terrones de arcillas, etc., en proporciones superiores del 2% al 5% [23]. Así existen diversas partículas indeseables pero dentro de las principales en la Tabla 5 se indican los límites de los valores correspondientes al carbón y lignito que son los considerados por la **NTE INEN 872** en este grupo.

**Tabla 5. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino y grueso para hormigón**

Detalle	Máximo permisible, %	
	Fino	Grueso
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables		
Hormigón sujeto a abrasión		2.0 5S
Todos los demás hormigones	3.0	10.0 2N
Material más fino que 0.075mm (Nº200):		
Hormigón sujeto a abrasión	3.0	1.0 5S
Todos los demás hormigones	5.0	1.0 2N
Carbón y lignito:		
Hormigón sujeto a abrasión	0.5	0.5 5S
Todos los demás hormigones	1.0	1.0 2N

Nota: Para el AG se consideró el valor mínimo como 5S (hormigón arquitectónico expuesto) en condiciones de intemperismo severo y el máximo en 2N (todas las demás clases de hormigón)

*Fuente: NTE INEN 872:2011 [43]*

### **Análisis granulométrico (NTE INEN 696)**

La granulometría o gradación representa la distribución de los tamaños que posee el agregado y mientras mejor sea, es decir, mientras menor sea el volumen de vacíos, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacíos, traducándose en ahorro de cemento (el más costoso de los componentes del hormigón) y logrando una resistencia adecuada, una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo [45].

La NTE INEN 696 [33] resume el procedimiento en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor, obteniéndose la masa de las fracciones del agregado retenidas en cada uno de los tamices. Eventualmente se calcula la masa retenida que pasa, también los porcentajes parciales y acumulados.

#### **➤ Granulometría del árido fino**

La NTE INEN 872 [43] presenta los requisitos para el árido fino referente a su graduación, como se observa en la Tabla 6, así como éstas observaciones e indicaciones:

1. A veces se puede presentar dificultades con la docilidad, bombeo o exudación excesiva en hormigones en los que la gradación del árido fino, tiene porcentajes que pasan el tamiz Nº50 y Nº100 cercanos al límite inferior.

2. El módulo de finura del árido fino no debe ser menor que 2,3 ni mayor que 3,1.

**Tabla 6. Requisitos de gradación para árido fino**

Tamiz (INEN 154)	Tamiz (ASTM E11)	% que pasa	Curva granulométrica con límites superiores e inferiores
9.5 mm	3/8 in	100	
4.75 mm	No. 4	95 a 100	
2.36 mm	No. 8	80 a 100	
1.18 mm	No. 16	50 a 85	
600 μm	No. 30	25 a 60	
300 μm	No. 50	5 a 30	
150 μm	No. 100	0 a 10	

Fuente: NTE INEN 872 [43]

➤ **Granulometría del árido grueso**

De igual manera la NTE INEN 872 señala los requisitos de gradación del árido grueso que debe cumplir para el número de tamaño especificado, indicados en el Anexo 4 que para adecuarse a las condiciones de todo el país son muy amplios. Cuando se utilizan los números de tamaño 357 (Ver Tabla 7) o 467 (Ver Tabla 8), el árido debe ser suministrado al menos en dos tamaños diferentes [33].

**Tabla 7. Requisitos de gradación para árido de tamaño No. 357**

Tamiz INEN 154	Tamiz ASTM E11	% Que pasa	Curva granulométrica tamaño No 357
63mm	2 ½ in	100	
50 mm	2 in	95 a 100	
25 mm	1 in	35 a 70	
12.5 mm	½ in	10 a 30	
4.75 mm	No. 4	0 a 5	

Fuente: NTE INEN 872 [43]

**Tabla 8. Requisitos de gradación para árido de tamaño No. 467**

Tamiz INEN	Tamiz ASTM	% Que pasa	Curva granulométrica tamaño No 467
154	E11		
50 mm	2 in	100	
37.5 mm	1 1/2 in	95 a 100	
19 mm	3/4 in	35 a 70	
9.5 mm	3/8 in	10 a 30	
4.75 mm	No. 4	0 a 5	

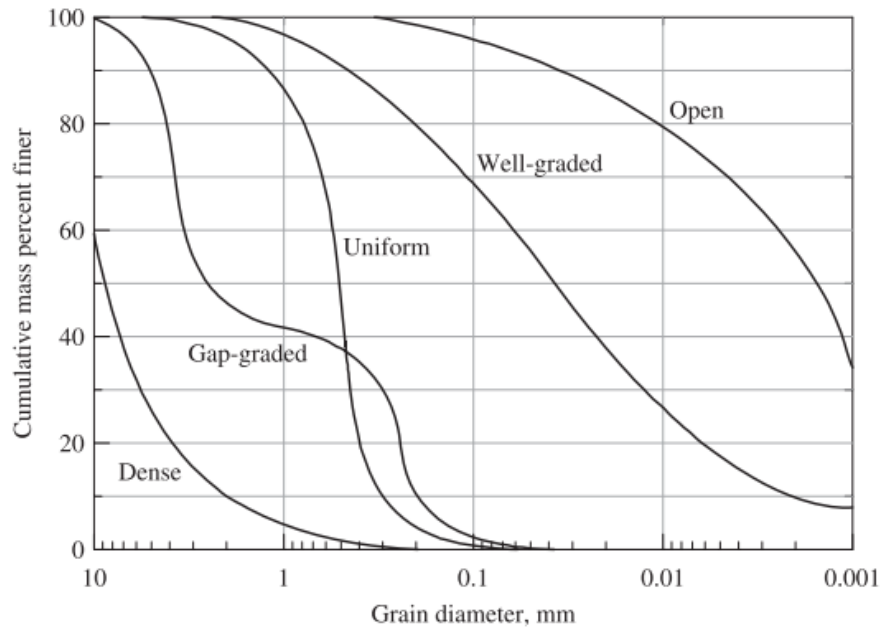
Fuente: NTE INEN 872 [43]

### Curva granulométrica

La NTE INEN 1762 la define como una representación gráfica de la granulometría, que proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado [33], permitiendo ver si la granulometría de éste se ajusta a las especificaciones o si es demasiado fina, gruesa o deficiente en un tamaño particular, según sea el caso [23] y [30].

Se obtiene llevando en las abscisas, en escala logarítmica, la abertura de los tamices y sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices (Ver Figura 2) [27]. Li [34] señala que la gradación determina el requerimiento de pasta para un concreto trabajable ya que la cantidad de huecos entre las partículas de agregados requiere la misma cantidad de pasta de cemento para rellenar la mezcla de concreto.

Li [34] presenta en la Figura 2 cinco distribuciones de tamaño: densas, graduación discontinua, graduación uniforme, bien graduada, y graduación abierta. Además interpreta que las distribuciones del tipo denso (para agregados gruesos) y bien graduado (para agregados finos) son esencialmente los grandes rangos de tamaño con una distribución uniforme, pues los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni escasez de un tamaño determinado. Son la gradación deseada para hacer hormigón [27] y [34].



**Figura 2. Cinco tipos de graduación de los agregados**  
*Fuente: Li[34].*

La graduación discontinua carece de uno o más tamaños intermedios; por lo tanto, una región horizontal casi plana aparece en la curva granulométrica.

Para una gradación uniforme, solo unos pocos tamaños dominan los materiales a granel, y la curva granulométrica cae casi verticalmente en el tamaño dominante [34].

La graduación abierta se define como estar bajo condiciones compactas, los vacíos entre el agregado son todavía relativamente grandes y generalmente el tamaño más pequeño del agregado domina el volumen y puede ser fácilmente perturbado por una pequeña cavidad [34].

### **Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico**

Los términos tamaño máximo y tamaño máximo nominal se aplican exclusivamente al árido grueso.

#### **➤ Tamaño máximo (TM)**

Indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra [27]. Se define como la abertura más pequeña de tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra [26].

### ➤ **Tamaño nominal máximo (TNM)**

Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que hay dentro de una masa de árido. Definido como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más [27].

En los requisitos para las mezclas de concreto del ACI 318 [2] indica que el TNM no debe exceder al menor de: 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre armaduras, 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado o 1/3 del espesor de las losas, adicionándose a estos requisitos el no ser mayor que el recubrimiento de las varillas de acero de refuerzo como señala la NEC-SE-HM [32].

Un TNM de hasta 38 mm (1 ½") permite obtener resistencias hasta los 25 MPa, para resistencias medias hasta 35 MPa se debe emplear un TNM de 25 mm (1 in). Mientras más alta sea la resistencia que se quiere obtener, más pequeño debe ser el tamaño de las partículas [12].

Dependiendo del uso que tendrá el hormigón, un agregado menor a ¾ in hará que la superficie específica del material aumente y con esto la cantidad de cemento requerida; por el contrario uno mayor a 1 ½ in podría causar atascamiento del hormigón al momento del colado en el acero de refuerzo formando vacíos interiores en el elemento y pérdida de resistencia del hormigón [31].

### ➤ **Módulo granulométrico, módulo de fineza o módulo de finura**

Éste da una idea del tamaño medio del árido empleado en un hormigón [23].

Es un factor que se obtiene sumando los porcentajes de material en la muestra, que son más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados) y dividiendo la suma para 100: No. 100 (150 µm), No. 50 (300 µm), No. 30 (600 µm), No. 16 (1,18), No. 8 (2,36 mm), No. 4 (4,75 mm), 3/8" (9,5 mm), 3/4" (19,0 mm), 1 ½" (37,5 mm), 3" (75 mm), 6" (150 mm) [33].

Su uso se ha restringido al árido fino y según este módulo las arenas se clasifican en: muy finas (0.5 a 1.5), finas (1.5 a 2.5) y gruesas (2.5 a 3.5) [27]. La NTE INEN 872:2011 señala que su valor debe estar en el rango de 2,3 a 3,1 [43], pues un valor menor (arena muy fina) produce segregación del agregado grueso; lo contrario ocurre con una arena muy gruesa (MF>3.1) obteniendo mezclas ásperas [28].

## Ensayos de caracterización de los agregados

Los ensayos a realizarse en los áridos para determinar su calidad o aptitud para utilizarlos en el hormigón (exceptuando los áridos de baja y de alta densidad) se indican en la **NTE INEN 872:2011**; en la Tabla 9 se enlistan junto con las normas ASTM que se toman como base de estudio.

**Tabla 9. Ensayos en los agregados para determinar su aptitud para utilizarlos en el hormigón**

No.	Título del ensayo	Normas	
		INEN	ASTM
1	Áridos. Muestreo	695:2010	D 75-09
2	Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo	2566:2010	C 702-03
3	Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso	696:2011	C 136-06
4	Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200), mediante lavado	697:2010	C 117-04
5	Áridos para hormigón. Determinación del contenido de terrones de arcilla y partículas desmenuzables	698:2010	C 142-04
6	Áridos. Determinación de partículas livianas (Carbón y lignito)	699:2011	C 123-04
7	Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón	855:2010	C 40-04
8	Árido fino para hormigón. Determinación del efecto de las impurezas orgánicas en la resistencia de morteros	866:2011	C 87-05
9	Áridos. Determinación de la solidez de los áridos mediante el uso de sulfato de sodio o de sulfato de magnesio	863:2011	C 88-05
10	Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino	856:2010	C 128-07a
11	Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso	857:2010	C 127-07
12	Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos	858:2010	C 29-09
13	Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso mediante el uso de la Máquina de los Ángeles	860:2011 861:2011	C 131-06 C 535-09
14	Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad	862:2011	C 566-04
15	Áridos para hormigón. Examen petrográfico	870:1982	C 295-73

**Fuente: NTE INEN 872 [43]**



### 1.1.2.2.Cemento portland

La unión de los áridos en la elaboración del hormigón se logra por medio de los llamados cementos hidráulicos, siendo el cemento Portland el más común de todos; éstos al reaccionar con el agua dan lugar a un producto sólido con resistencia elevada y estabilidad tanto en el aire como en el agua [23], [29] y [45].

El cemento Portland es un material grisáceo finamente pulverizado, conformado por los componentes principales presentados en la Tabla 10, resultando en una mezcla de composición heterogénea de caliza, arcilla y yeso, además de otros materiales asociados con sílice, alúmina y óxido de hierro. Estos materiales se muelen, mezclan y funden en hornos hasta obtener el llamado Clinker, que se enfría y muele de nuevo para lograr la finura requerida [27], [24] y [45]. La razón de que el cemento portland y sus derivados sean los más utilizados de entre todos los conglomerantes hidráulicos radica en que posee unas propiedades muy acordes para su uso requerido, además de que los minerales que lo conforman son muy abundantes en la naturaleza, haciendo su precio un poco más bajo en comparación con otros tipos [23].

**Tabla 10. Principales componentes del cemento portland**

Nombre	Composición oxida	Abrev.	Función
Silicato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_3\text{S}$	Confiere resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación. A mayor rapidez de endurecimiento de la pasta mayor calor de hidratación.
Silicato dicálcico	$2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$	$\text{C}_2\text{S}$	Causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento.
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{C}_3\text{A}$	Catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento contrarrestado con la adición de yeso.
Aluminoferrita tetracálcica	$4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{C}_4\text{AF}$	Influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación
Yeso natural	$\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$		Retardar el tiempo de fraguado

Nota: Estos componentes constituyen más del 90% del peso del cemento, siendo el porcentaje restante complementado por óxidos menores de: magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio.

**Fuente: [27], [24] y [38]**

## Tipos de cemento

En la Tabla 11 se muestra una clasificación de los tipos presentados en las NTE INEN 152, 490 y 2380; la INEN 152 cubre diez tipos de cemento portland, siendo los principales del tipo I al V y los restantes presentando mejoras sin perjuicio del uso principal como la incorporación de aire (Tipos IA, IIA y IIIA), o un moderado calor de hidratación (Tipo II(MH)) y por último ambas (Tipo II(MH)A ) [46].

La INEN 490 norma a los cementos hidráulicos compuestos, pudiendo ser utilizados en aplicaciones generales y especiales; presentandose dos tipos: binarios, que consisten en cementos portland con cemento de puzolana o con escoria y ternarios, formados de cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria y una puzolana [47].

Finalmente la INEN 2380 considera requisitos específicos de desempeño para su clasificación como: resistencia al ataque por sulfatos, alta resistencia inicial, calor de hidratación y uso general [48].

**Tabla 11. Clasificación de los tipos de cemento portland**

INEN	Norma		Tipo	Característica				
	INEN	ASTM						
152		C-150	<b>PUROS</b>	I	Uso general, no se requiere propiedades especiales			
				II	Moderada resistencia a los sulfatos , bajo calor de hidratación			
				III	Uso general, no se requiere propiedades especiales			
				IV	Uso general, no se requiere propiedades especiales			
				V	Uso general, no se requiere propiedades especiales			
			También se tienen los tipos IA, IIA, IIIA, II(MH) y II(MH)A, que poseen incorporación de aire (A) o un moderado calor de hidratación (MH), conservando las propiedades anteriores					
					<b>IS</b>	Portland con escoria de altos hornos		
					<b>IS(MS)</b>	Portland con escoria de altos hornos		
			490		C-595	<b>COMPUESTOS</b>	<b>S</b>	Cemento de escoria con moderada resistencia a los sulfatos
							<b>IP</b>	Portland puzolánico
<b>IP(MS)</b>	Portland puzolánico con moderada resistencia a los sulfatos							
<b>P</b>	Portland puzolánico (no se requiere altas resistencias iniciales)							
<b>IT</b>	Cemento compuesto ternario							
<b>I(MS)</b>	Portland de escoria modificado (cont. escoria < 25%)							
<b>I(PM)</b>	Portland puzolánico modificado (cont. puzolana < 15%)							
2380		C-1157	<b>POR DESEMPEÑO</b>	<b>GU</b>	Para construcción en general			
				<b>HE</b>	Alta resistencia inicial			
				<b>MS</b>	Moderada resistencia a los sulfatos			
				<b>HS</b>	Alta resistencia a los sulfatos			
				<b>MH</b>	Moderado calor de hidratación			
				<b>LH</b>	Bajo calor de hidratación			

Una (R) después del tipo principal indica baja reactividad con áridos reactivos álcali-sílice.

**Fuente:[31], [46], [47] y [48]**

## Densidad del cemento hidráulico

Se considera aproximadamente de  $3.15 \text{ g/cm}^3$  como mencionan Mamlouk y Zaniewski [28] y Abanto [38], pudiendo fluctuar alrededor de  $2.90 \text{ g/cm}^3$  como señala Medina [31].

La NTE INEN 156 [49] indica que su determinación consiste en establecer la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo desplazado por la misma en el frasco de Le Chatelier; además de que se permite el uso de equipo o métodos alternativos para su obtención referenciado en el literal 4.2.5. Partiendo de esto se aplicará el método del picnómetro con la utilización de nafta.

### 1.1.2.3. Agua

Su función principal es hidratar el cemento para que desarrolle su capacidad ligante, siendo fundamental en las mezclas de hormigones y morteros [27] y [50]; además de colaborar en gran medida con la resistencia y todas las propiedades mecánicas del hormigón [32], ya que se emplea en el amasado y curado del mismo [23].

Su calidad desempeña un papel importante, pues sus impurezas pueden llevar a la corrosión del refuerzo, interferir en el fraguado del cemento, reducir la resistencia del hormigón u ocasionar su manchado superficial [30]. En general, el agua potable (NTE INEN 1108) es adecuada, pero también se puede utilizar aguas corrientes o duras, siempre que no contengan materia orgánica o exceso de cloruros, sulfatos o ácidos [12] y [50]. En la Tabla 12 expuesta por la UNACEM [12] se resumen las afectaciones que producen al hormigón o al acero de refuerzo la presencia en el agua de cantidades nocivas de sales, álcalis, aceites, materiales orgánicos u otras sustancias [32].

*Tabla 12. Sustancias perjudiciales en el agua*

Presencia de	Afectación
Desperdicios industriales	Reducción de resistencia
Aceite	Reducción de resistencia
Impurezas orgánicas	Fraguado más lento y disminución de resistencia
Azúcar	Retarda fraguado y reduce resistencia
Algas	Reducción de resistencia y adherencia
Agua de mar	Corrosión acelerada de armaduras y producción de eflorescencias

**Fuente:** Fabricación de hormigones de alta calidad, UNACEM [12]

## Agua de mezclado

Es aquella que se añade junto con los demás componentes del hormigón al momento de su elaboración, teniendo tres misiones principales como lo enuncia Fernández [23]:

- i. Hidratación de los componentes activos del cemento
- ii. Brindar trabajabilidad al actuar como lubricante
- iii. Crear espacio para los productos resultantes de la hidratación del cemento

Los requisitos de composición y desempeño que debe cumplir el agua los establece la NTE INEN 2617 [51], ésta permite el uso del agua potable sin la realización de ensayos para verificar su cumplimiento.

Cuando el agua de mezcla esté compuesta total o parcialmente por fuentes de agua no potable o de las operaciones de producción de hormigón, su uso se limita al cumplimiento de los requisitos presentados en las tablas 13 y 14 [51].

**Tabla 13. Requisitos de desempeño del hormigón por el agua de mezcla**

	Límites	Normas aplicables
Resistencia a la compresión; % mínimo de control a 7 días <sup>A,B</sup>	90%	NTE INEN 1573 o 1576
Tiempo de fraguado, control de desviación, h:min <sup>A</sup>	Desde 1:00 antes hasta 1:30 después	ASTM C 403

<sup>A</sup> Las comparaciones se basan en proporciones fijas para el diseño de mezcla de hormigón representativo del suministro de agua cuestionable y de la mezcla de control utilizando el 100% de agua potable.

<sup>B</sup> Los resultados de resistencia a la compresión se basan en al menos dos ensayos normalizados de especímenes elaborados de una mezcla compuesta.

**Fuente: Tabla 1, NTE INEN 2617 [51]**

**Tabla 14. Límites químicos opcionales del agua combinada para la mezcla**

Máxima concentración	Límites en ppm <sup>A</sup>	Normas aplicables
I. Cloruro, Cl		
1. Hormigón pretensado, losas de puentes	500 <sup>B</sup>	NTE INEN 160
2. Hormigones reforzados en ambientes húmedos	1000 <sup>B</sup>	NTE INEN 160
II. Sulfato, SO <sub>4</sub>	3000	NTE INEN 160
III. Álcalis, Na <sub>2</sub> O + 0.658 K <sub>2</sub> O	600	NTE INEN 160
IV. Total de sólidos en masa	50000	ASTM C 1603

<sup>A</sup> ppm, partes por millón

<sup>B</sup> Para condiciones que permitan el uso de cloruro de calcio (CaCl<sub>2</sub>) como aditivo acelerante, se puede ignorar el límite para el cloruro.

**Fuente: Tabla 2, NTE INEN 2617 [51]**

## Agua de curado

Se utiliza la misma agua de mezclado para el curado; pero como su contacto con el hormigón se da en un tiempo relativamente corto, se pueden utilizar de menor calidad, con más materia orgánica e inorgánica, debido a que el peligro de las sustancias nocivas es menor en comparación con el proceso de elaboración siempre que no sean curados prolongados o contengan sales de hierro que provoquen manchas superficiales del hormigón [23].

### 1.1.2.4. Aditivo

La NTE INEN 1762 lo define como: “producto químico, que no sea cemento Portland, árido o agua, utilizado eventualmente como un ingrediente del mortero u hormigón y que se añade antes o durante su mezclado para mejorar ciertas propiedades” [33].

La NEC-SE-HM enlista las siguientes normas para los aditivos [32]:

- ASTM C494: Aditivos químicos para hormigón
- ASTM C1017: Aditivos químicos para uso en la producción de hormigón fluido
- ASTM C260: Aditivos incorporadores de aire utilizados en la elaboración de hormigón
- ACI 212.3R: Aditivos químicos para hormigón
- ACI 212.4R: Aditivos reductores de agua de alto rango en el hormigón (superplastificantes)

La Tabla 15 presenta las subclasificaciones de la ASTM C494 y 1017

*Tabla 15. Clasificación de los aditivos*

ASTM C494						ASTM C1017		
Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F	Tipo G	Tipo I	Tipo II
Reductor de agua	Retardante de fraguado	Acelerante	Reductor de agua y retardante	Reductor de agua y acelerante	Reductor de agua de alto rango	Reductor de alto rango y retardante	Superplastificante	Superplastificante e y retardante

**Fuente: ASTM**

### 1.1.2.5.El hormigón

Es una mezcla homogénea de cemento, agua, árido fino, árido grueso y muchas veces aditivos, componentes que determinan su calidad; éste posee una alta resistencia a la compresión, no siendo así a la tracción donde ronda el 0.1 de  $f'c$  [12], [27] y [28].

Para obtener un buen hormigón es necesario tener en cuenta factores como el proceso de mezclado, transporte, colocación o vaciado y curado, variables numerosas e influyentes que son inherentes al diseño y proceso de fabricación; todo esto demanda un control técnico adecuado y oportuno, siendo los ingenieros civiles y los técnicos responsables directos de su control de calidad, en donde su experiencia marca la diferencia [27], [28], [50], [52] y [53].

#### Diseño de mezcla

Trata sobre las proporciones de los materiales necesarios para producir hormigón que cumpla con las características de resistencia y/o durabilidad especificadas, así como demás propiedades requeridas [53].

UNACEM [12] sugiere que estas proporciones pueden estar dentro de los rangos mostrados en la Figura 3, además de la medición frecuente del contenido de humedad de los áridos, pues al ser variable y para conservar la relación agua cemento fijado en el diseño obliga a corregir la cantidad de agua de mezclado.

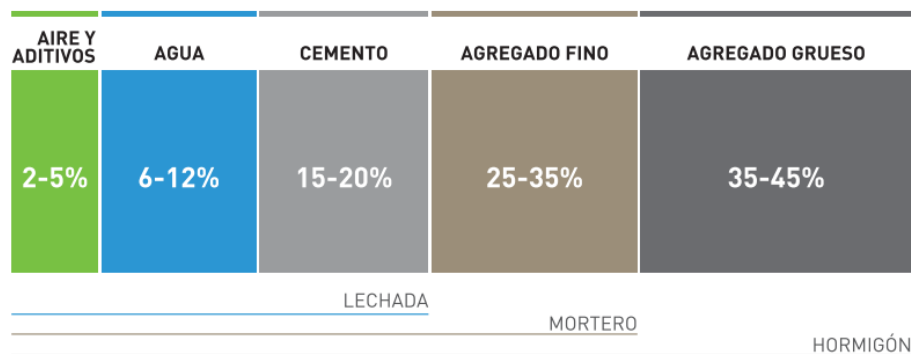


Figura 3. Porcentajes de participación de los materiales en el diseño del hormigón

Fuente: UNACEM [12]

En la Figura 4 se presentan un esquema de los pasos a seguir para el diseño de la mezcla hormigón, en donde se toma en cuenta una serie de condicionantes de partida que van a permitir delimitar algunos de los factores que intervienen, esto sin importar si este diseño se hace en función del contenido de cemento o de la resistencia característica deseada [23].

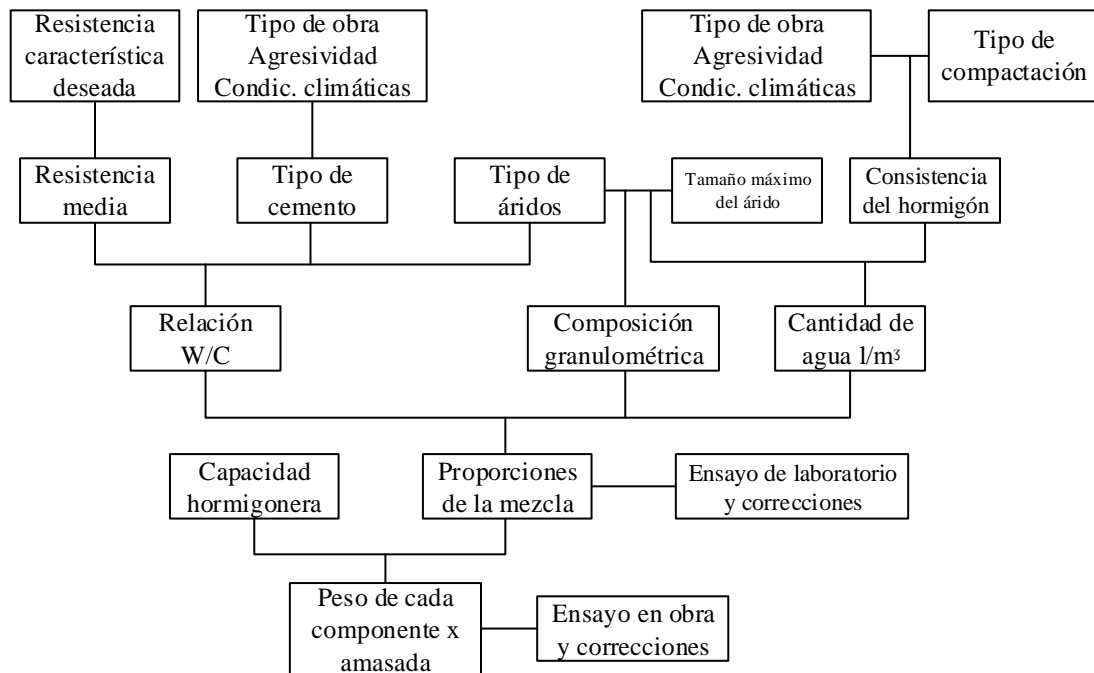


Figura 4. Esquema a considerar para el diseño de la mezcla del hormigón

Fuente: Fernández [23]

## Parámetros de diseño de mezclas

### ➤ Resistencia especificada a compresión ( $f^c$ )

Resistencia con la que se diseña la estructura, usualmente medida a los 28 días pero que puede ser especificada para cualquier edad; está asociada a un nivel de confianza del 95% [53].

### ➤ Resistencia promedio requerida a compresión ( $f'cr$ )

Resistencia que debe utilizarse para el diseño de la mezcla en el laboratorio. Ésta debe ser mayor que la resistencia requerida ( $f'cr > f^c$ ). Ejemplo para el rango  $20 \leq f^c \leq 35$  MPa se tiene  $f'cr = f^c + 8.5MPa$  [53].

De esta manera se asegura que la resistencia de los ensayos del hormigón tenga alta probabilidad de cumplir los criterios de aceptación de la resistencia indicados por ACI 318 y NEC-SE-HM [32], así:

- (1) Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a  $f^c$
- (2) Ningún resultado del ensayo de resistencia es menor que  $f^c$  en más de 3.5 MPa para hormigones de hasta 35MPa

### ➤ Relación agua/cemento

De acuerdo con H. Rüsck, para completar la hidratación de una cantidad dada de cemento se requiere químicamente una cantidad de agua con peso igual a aproximadamente el 25% del cemento, es decir, una relación a/c de 0.25; el resto del agua sólo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto, va a crear porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiera una mezcla bastante fluida no debe lograrse su fluidez con agua, sino agregando aditivos plastificantes [27] y [45].

Para concretos normales la relación a/c varía por lo general en el intervalo de 0.40 a 0.60 [45]. La Figura 5 muestra el efecto de la reducción de agua sobre la disminución de la porosidad.

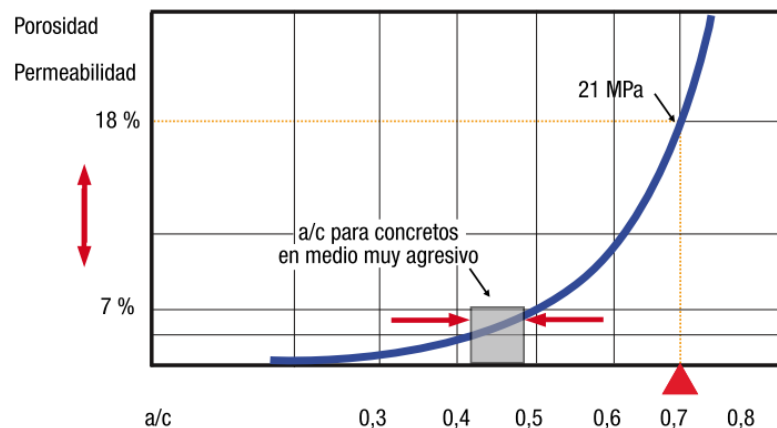


Figura 5 Relación entre a/c vs porosidad y permeabilidad del hormigón

Fuente: Sika Colombia [11]



A menor cantidad de agua de amasado, menor exudación, permeabilidad y cantidad de poros capilares y mayor densidad. Adicionalmente la resistencia mecánica a todas las edades será superior, la contracción de secado será menor así como la tendencia a agrietarse [11].

### ➤ **Consistencia y docilidad**

La consistencia es una propiedad física inherente al propio hormigón, definida como la oposición que presenta el hormigón fresco a experimentar deformaciones [23].

La docilidad (trabajabilidad) es una propiedad perceptible a la vista; es la facilidad que tiene un hormigón o mortero en estado fresco para poder colocarse y resistir la segregación de sus componentes [33].

La consistencia a elegirse dependerá de la aplicación a la que esté dirigido el hormigón, así como los sistemas de colocación y compactación que se dispongan (Ver Tabla 16).

**Tabla 16 Relación entre docilidad, consistencia y asentamiento del hormigón**

Docilidad	Consistencia	Asent (cm)	Ejemplo de aplicación	Sistemas de	
				Colocación	Compactación
Muy Baja	Muy Seca	0 a 2	Prefabricados de alta resistencia, revestimientos de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; hormigón de proyección neumática	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
	Seca	2 a 3.5	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Baja	Semi-seca	3.5 a 5	Pavimentos, fundaciones en HS o con refuerzo simple	Con máquinas operadas manualmente	Vibración mecánica
Media	Plástica	5 a 10	Pavimentos, losas, muros, vigas y secciones medianamente reforzadas	Colocación manual	Vibración mecánica
Alta	Fluida	10 a 15	Elementos estructurales esbeltos y secciones bastante reforzadas	Bombeo	Vibración mecánica
Muy alta	Muy fluida	>15	Elementos muy esbeltos, pilotes fundidos in situ	Bombeo, tubo-embudo, tremie	Normalmente no adecuados para vibrarse

**Fuente: UNACEM [12] y Manual de Pepe Hormigón [31]**

## Curado del hormigón

Fernández [23] menciona que el curado tiene como misión impedir que el agua dentro del hormigón se evapore afectando a su durabilidad y provocando fisuras en el mismo, a la vez que asegura la evolución de su resistencia como se observa en la Figura 6. Como bien cita la UNACEM [12] “Es uno de los procesos más importantes dentro de la construcción”.

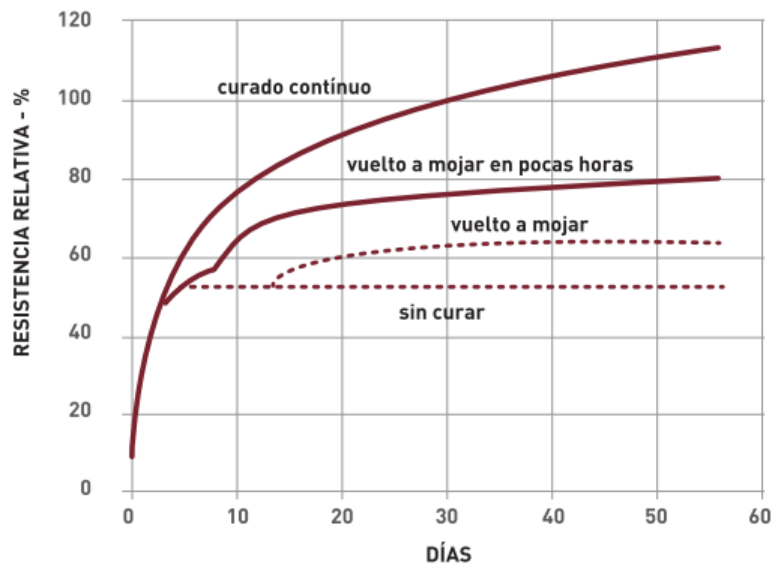


Figura 6. Influencia del curado en la resistencia del hormigón

Fuente: UNACEM [12]

Se puede observar que para que el hormigón desarrolle su máxima resistencia el curado debe ser continuo, es decir no se debe permitir que éste se seque en ningún momento, por tales motivos no debería ser menor a 7 días (salvo condiciones especiales) [12].

## Método de la densidad óptima

Consiste en determinar la densidad óptima de la mezcla de agregados y la cantidad de pasta y agua necesaria para rellenar los espacios vacíos que existen y dejan los agregados. Por lo tanto, el objetivo será determinar la pasta necesaria para recubrir cada partícula de agregado constituyendo enlaces entre ellas, y así lograr un hormigón con la resistencia deseada [54].

En la Tabla 17 se presentan los parámetros necesarios para realizar el diseño de la mezcla aplicando el método mencionado.

**Tabla 17. Datos requeridos por el método de la densidad óptima**

Datos requeridos para la dosificación	Nomenclatura
Resistencia del hormigón a los 28 días	f'c
Asentamiento en el Cono de Abrams	Asent
Densidad real del cemento	DRC
Densidad real árido fino	DRF
Densidad real árido grueso	DRG
Densidad suelta AF	DSAF
Densidad suelta AG	DSAG
Porcentaje óptimo de AF	POF
Porcentaje óptimo de AG	POG
Densidad óptima de la mezcla	DOM

*Fuente: Garzón [54]*

A continuación se presentan las fórmulas de cálculo para 1m<sup>3</sup> de hormigón [54].

**1. Densidad real de la mezcla (DRM)**

$$DRM = \frac{DRF \times POF + DRG \times POG}{100} \quad (6)$$

**2. Porcentaje Óptimo de Vacíos (POV)**

$$POV = \frac{DRM - DOM}{DRM} \times 100 \quad (7)$$

**3. Cantidad de Pasta (CP) (Para el asentamiento requerido)**

**Tabla 18. Cantidad de pasta según asentamientos**

Asentamiento (cm)	Cantidad de pasta en dm <sup>3</sup>
0-3	[POV + 2 + 0.03 (POV)]*10
3-6	[POV + 2 + 0.06 (POV)]*10
6-9	[POV + 2 + 0.08 (POV)]*10
9-12	[POV + 2 + 0.11 (POV)]*10
12-15	[POV + 2 + 0.13 (POV)]*10

*Fuente: Garzón [54]*

**4. Relación a/c**

**Tabla 19. Resistencia a la compresión del hormigón para relación a/c**

f'c en MPa a los 28 días	Relación agua/cemento (a/c)
40	0.42
35	0.46
32	0.50
30	0.51
28	0.52
25	0.55
24	0.56
21	0.58
18	0.60

*Fuente: Garzón [54]*

**5. Cantidad de cemento (Cc)**

$$Cc = \frac{CP}{\frac{a}{c} + \frac{1}{DRC}} \quad (8)$$

**6. Cantidad de agua (Ca)**

$$Ca = (a/c) * Cc \quad (9)$$

**7. Cantidad de árido fino (Cf)**

$$Cf = (1000dm^3 - CP) \times DRF \times \frac{POF}{100} \quad (10)$$

**8. Cantidad de árido grueso (Cg)**

$$Cg = (1000dm^3 - CP) \times DRG \times \frac{POG}{100} \quad (11)$$

**9. Dosificación**

Para el agua, AF o AG se calcula de la siguiente manera:

$$Dosif \text{ al peso}(A, AF, AG) = \frac{Cant \text{ de Material}(Ca, Cf \text{ o } Cg)}{Cant \text{ de Cemento}} \quad (12)$$

Cuando se necesiten volúmenes diferentes a 1m<sup>3</sup> basta aplicar una regla de 3 para encontrar la nueva cantidad de cemento requerida para multiplicarla con la dosificación al peso original.

**10. Corrección por humedad a la dosificación.**

Una vez obtenida la dosificación se aplica la corrección por humedad del AF y AG

$$Corrección \text{ por humedad} = Masa * \frac{100 + \%humedad}{100 + \%absorción} \quad (13)$$

## Propiedades del hormigón en estado fresco

### ➤ Temperatura

La NTE INEN 1855 referente a los requisitos de hormigón preparado en obra señala la temperatura mínima del hormigón al ser colocado (ver Tabla 20) cuando es suministrado en clima frío, mientras que en el proceso de producción con agua caliente, áridos precalentados o ambos a temperatura máxima no debe exceder de 32 °C [53], esto se verifica con la realización de la toma de temperatura en estado fresco de la NTE INEN 3119, utilizando un dispositivo capaz de medirla con una aproximación de  $\pm 0,5$  °C dentro de un rango de 0 °C a 50 °C y que permita una inmersión de 75 mm o más, durante la operación [55].

**Tabla 20. Temperatura mínima del hormigón al ser colocado**

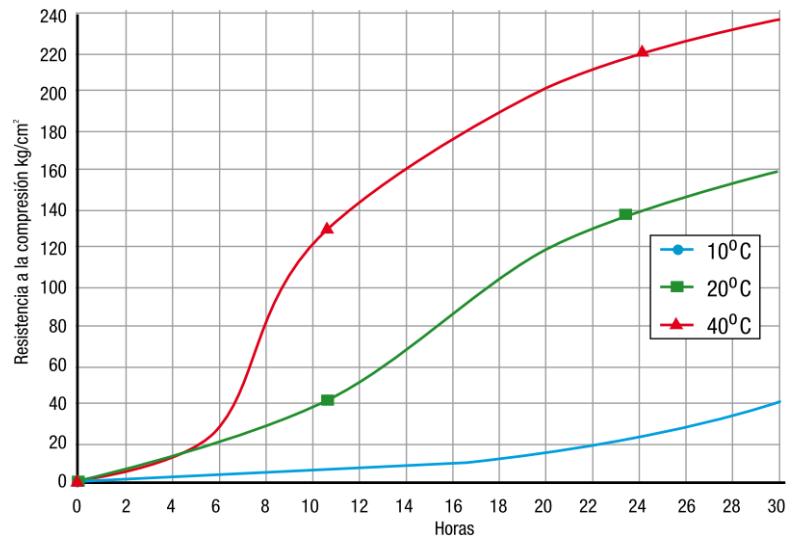
Tamaño de la sección (cm)*	Temperatura mínima (°C)
<30	13
30 a 90	10
90 a 180	7
>180	5
*La menor dimensión de la sección transversal del elemento estructural	

**Fuente: Tabla 4, INEN 1855**

En la publicación de Sika Colombia “El concreto de hoy” se presentan las siguientes figuras ( Figura 7 y Figura 8) referentes a la influencia de la temperatura en el desarrollo de resistencia de los concretos, donde se expone lo siguiente:

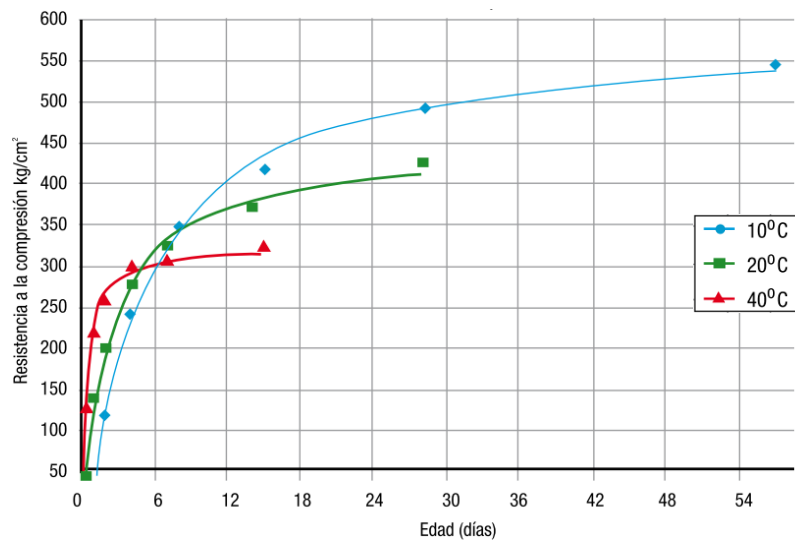
*“Mezclas muy frías demoran en aportar resistencia inicial, pero terminan muy bien. Mezclas calientes generan resistencia muy rápido, pero se pasan al final”.*

Concluyendo en que la mejor temperatura para hacer estructuras de hormigón es aquella cercana a los 20°C [11].



**Figura 7. Resistencias a temprana edad de una misma mezcla expuesta a diferentes temperaturas ambiente**

*Fuente: Sika Colombia [12]*



**Figura 8. Evolución de la resistencia final de una misma mezcla expuesta a diferentes temperaturas ambiente**

*Fuente: Sika Colombia [12]*

### ➤ Asentamiento

Para hormigones en estado plástico (asentamientos de 1.5 a 23cm) la NTE INEN 1578 establece el método de ensayo por medio del cono de Abrahams [56], siendo éste ensayo un medio de control muy útil en obra, pues permite detectar cambios entre diferentes masas y relacionar la docilidad con la consistencia del hormigón [23].

➤ **Homogeneidad**

Cuanto mejor sea la cohesividad del hormigón a la par que dóciles, se propicia a obtener características similares dentro de una misma amasada, resultando así un “hormigón homogéneo” [23], siendo una cualidad que puede perderse por la segregación de sus componentes posiblemente por una inadecuada relación finos/gruesos, el tamaño máximo del árido, vibraciones excesiva en el transporte o una inadecuada puesta en obra [31].

➤ **Peso volumétrico**

El peso unitario del concreto normal, es decir, el concreto con agregados de piedras naturales, varía aproximadamente entre 2250 y 2450 kg/m<sup>3</sup> y puede generalmente suponerse igual a 2300 kg/m<sup>3</sup>. Los concretos livianos y los concretos pesados se han venido utilizando cada vez con mayor frecuencia para propósitos especiales [45].

Su determinación se establece en la NTE INEN 1579 la cual resume el método de ensayo de la siguiente manera: La muestra se obtiene conforme a la NTE INEN 1763, misma que una vez compactada dentro de una recipiente por un método en función de su consistencia, permite relacionarla con su volumen, permitiendo calcular su densidad, contenido de aire y rendimiento [57].

### **Propiedades del hormigón en estado endurecido**

➤ **Densidad**

Su valor oscila entre 2155 y 2560 kg/m<sup>3</sup> (se toma entre 2320 y 2400 kg/m<sup>3</sup>) para hormigones de peso normal, mientras que para concreto liviano entre 1440 y 1840 kg/m<sup>3</sup> y depende de la densidad real y de la proporción participante de los materiales que componen el hormigón [2] y [31].

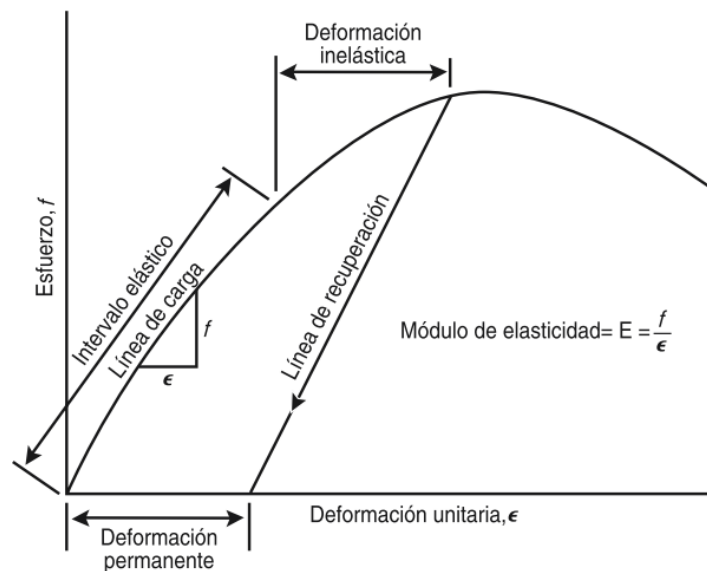
➤ **Resistencia a la compresión**

Los propósitos de las pruebas de resistencia del hormigón son para determinar el cumplimiento de una especificación de resistencia y para medir la variabilidad del hormigón [52].

➤ **Módulo de elasticidad del hormigón**

Conocer su valor es muy importante pues controla el comportamiento del hormigón tanto como la resistencia a compresión y más aún en elementos sujetos a flexión [58].

Se define como la relación entre el esfuerzo normal y su correspondiente deformación para los estados de tensión o compresión menores que el límite de proporcionalidad del material [33]. En el hormigón es una medida de la rigidez y se da con la relación entre esfuerzo y deformación unitaria en el rango elástico de la curva esfuerzo-deformación unitaria del hormigón (Figura 9), su magnitud depende de la resistencia a compresión del hormigón y de la cantidad, tipo y gradación de los áridos como definen Kosmatka, Kerkhoff, Panarese y Tanesi [59].



**Figura 9 Curva genérica esfuerzo-deformación unitaria**

**Fuente: Steven Kosmatka et al [59]**

Serrano y Pérez mencionan que son varios los factores que afectan el ME del hormigón, expuestos en la Tabla 21, además explican como Módulos de Elasticidad de materiales no porosos con alta densidad (áridos de buena calidad) y morteros con relaciones a/c bajas producen un incremento de éste parámetro [20].

**Tabla 21. Factores que afectan el módulo de elasticidad del hormigón**

Concreto fresco		Concreto endurecido
Pasta	Agregado	Experimentales
ME de la matriz de pasta	ME de los áridos	Aplicación de la carga
Porosidad de la mezcla	Porosidad	Contenido de humedad de las probetas
Condiciones de matriz de pasta	Fracción volumétrica de los áridos	

Adaptado de Topcu y Ugurlu, 2007

**Fuente: Serrano y Pérez [20]**



## Métodos de determinación del módulo de elasticidad

### I. Experimental

La norma ASTM C469 [60] señala la siguiente fórmula para su cálculo:

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\epsilon_2 - 0.000050)} \quad (14)$$

En donde,

$S_1$ , esfuerzo correspondiente a la 50 millonésima deformación unitaria

$S_2$ , esfuerzo correspondiente al 40% de la carga última

$\epsilon_2$ , deformación unitaria longitudinal producida por  $S_2$

En la Figura 10 se muestran los puntos considerados en la fórmula

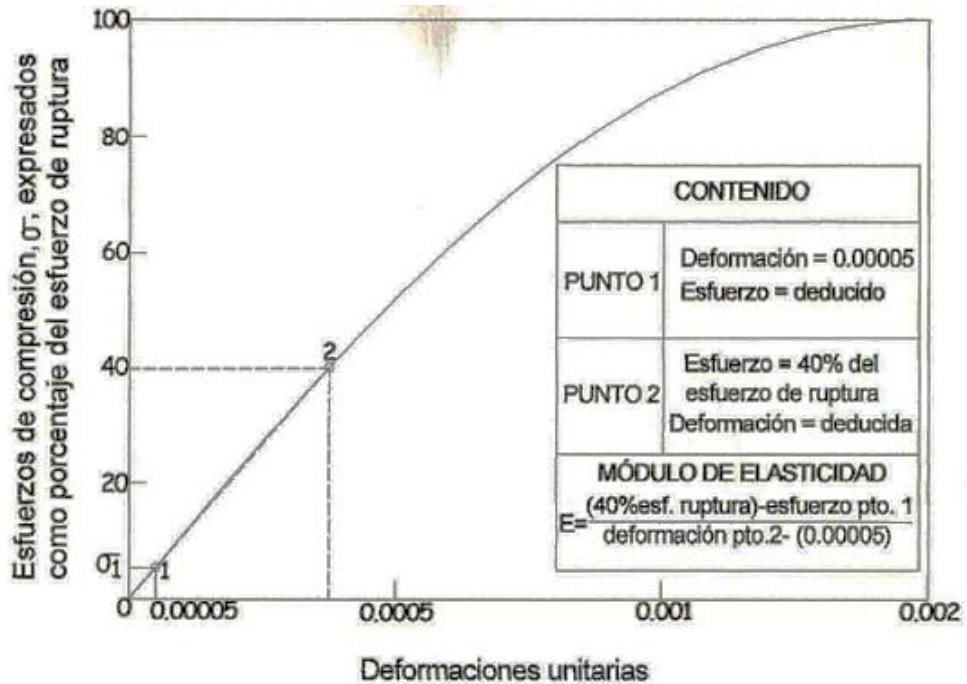


Figura 10. Criterio para definir el MEE a compresión del concreto

Fuente: [58]

### II. Empírico

El ACI-318-14 [2] en su literal 19.2.2.1 permite calcular el módulo de elasticidad,  $E_c$ , para el concreto por medio de (a) o (b):

(a) Para valores de  $w_c$  entre 1440 y 2560 kg/m<sup>3</sup>

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'_c} \quad (\text{en MPa}) \quad (19.2.2.1.a) \quad E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'_c} \quad (\text{en Kg/cm}^2) \quad (15)$$

(b) Para concreto de peso normal

$$E_c = 4700\sqrt{f'_c} \text{ (en MPa)} \quad (19.2.2.1.b) \quad E_c = 15100\sqrt{f'_c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)} \quad (16)$$

Donde,

$f'_c$  = Resistencia especificada a la compresión del concreto, MPa

$w_c$  =Densidad, peso unitario, del concreto de peso normal o densidad de equilibrio del concreto liviano, kg/m<sup>3</sup>

## Ensayos del hormigón

En la Tabla 22 se presentan los ensayos a realizarse para una efectiva evaluación y aceptación del hormigón como indica la NEC-SE-HM siempre que no exista especificación de cada proyecto en particular [32].

Para el presente estudio se realizarán los ensayos nombrados para cada amasada pues se fabricarán especímenes para pruebas de resistencia y MEE.

**Tabla 22. Ensayos en el hormigón**

No.	Ensayo	Normas		Frecuencia
		INEN	ASTM	
ESTADO FRESCO				
1	Muestreo	1763:2010	C 172-08	Siempre que se solicite la ejecución de una prueba al hormigón.
2	Determinación del asentamiento	1578:2010	C 143-08	Primera amasada del día.
3	Contenido de aire		C 173	Siempre que la consistencia parezca variar Siempre que se fabriquen especímenes para pruebas de resistencia
4	Determinación de la densidad y rendimiento	1579:2013	C 138-10b	Siempre que se fabriquen especímenes para pruebas de resistencia. Cuando se requiera determinar el hormigón producido
5	Temperatura	3119:2016	C 1064-12	Siempre que se fabriquen especímenes para pruebas de resistencia.
6	Elaboración y curado de especímenes de ensayo en el laboratorio	3124:2017	C 192-16	Siempre que se fabriquen especímenes para pruebas de resistencia u otros tipos de ensayos.
ESTADO ENDURECIDO				
7	Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico	1573:2010	C 39-05	A la edad de 28 días. Cuando se requiera según la especificación del proyecto. Cuando se requiera determinar la edad de desencofrado.
8	Método estándar para la determinación del MEE y de la relación de Poisson del concreto sometido a compresión	-----	C 469-02	A la edad de 28 días

**Fuente: Tabla 20, NEC-SE-HM [32]**

### **1.2.3. Hipótesis**

El MEE del hormigón obtenido con la norma ASTM C469 se mantendrá en una variación del  $\pm 20\%$  respecto a la ecuación empírica propuesta por ACI 318, al utilizar los agregados de las minas GADMFO: Guayusa, La Conde y Punino 2, del cantón Fco. de Orellana, provincia de Orellana.

## **1.2. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar una constante para el cálculo del MEE del hormigón para el cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, con agregados de las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados de las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2, requeridas para la dosificación del hormigón.
- Diseñar las mezclas de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de: 210 y 240 kg/cm<sup>2</sup>, aplicando el método de la densidad óptima
- Proponer una constante para el cálculo del MEE del hormigón, a partir de las correlaciones entre los agregados utilizados, el peso específico y la resistencia a la compresión del hormigón, que reemplace los valores dados en las normativas ACI-318-14 y NEC-SE-HM 2015 para su aplicación en el cantón Francisco de Orellana.

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA

#### 2.1. Nivel o tipo de investigación

Carrasco [61] considera cuatro niveles que caracterizan y a través de los cuales se desarrolla la investigación científica, siendo éstos estudios preliminares o exploratorios, y luego descriptivos, explicativos o causales y finalmente experimentales.

**Nivel preliminar o exploratorio:** Se espera determinar una constante para el cálculo del MEE del hormigón que sea aplicable para el cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, con la utilización de los agregados del cantón, y ver en qué porcentaje el MEE obtenido con la norma ASTM C-469M variará respecto a las propuestas por ACI 318-14. Para ello se tomarán muestras de los agregados de las minas de libre aprovechamiento GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2 que son de ocupación para todas las obras realizadas por el municipio

**Nivel descriptivo:** Aquí se estima realizar una caracterización de las propiedades de los agregados en estudio.

**Nivel explicativo:** Se procede a exponer como la calidad de los agregados en estudio afectarán al MEE obtenido con la norma ASTM C-469M.

**Nivel experimental:** Se propone una nueva constante para el cálculo del MEE del hormigón, a partir de las correlaciones entre los agregados utilizados, el peso específico y la resistencia a la compresión del hormigón, que reemplace los valores dados en las normativas ACI-318-14 y NEC-SE-HM 2015 para su aplicación en el cantón Francisco de Orellana

## 2.2. Población y muestra

Para las dosificaciones de prueba se elaborarán 6 probetas por cada mina (3 para cada resistencia), obteniéndose un número de 24 cilindros a ensayarse a la edad de 7 días a compresión; en caso de no cumplir las resistencias requeridas, se harán las correcciones pertinentes y se repetirá el proceso de verificación.

La distribución total de muestras para la fase final se detalla en la Tabla 23.

*Tabla 23. Número de cilindros a ser elaborados en fase final*

ORIGEN MINAS GADMFO	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	# cilindros para cada edad para ensayar a compresión (días)				# cilindros para MEE edad: 28 días	TOTAL
		7	14	21	28		
GUAYUSA ZARANDEADO	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
GUAYUSA TRITURADO	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
LA CONDE	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
PUNINO 2*	210	3	3	3	3	9	21
	240	3	3	3	3	9	21
SUMATORIA		24	24	24	24	72	168

\* Sector de Paco Playa

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

## 2.3. Materiales y Equipos

Para la realización de los diferentes ensayos se requirieron los equipos y materiales listados a continuación:

### 2.3.1. Materiales

- Áridos fino y grueso de las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2 (Ver mapas de ubicación Anexo 5)
- Cemento hidráulico tipo GU por sacos de 50kg
- Agua potable
- Solución normalizada de hidróxido de sodio al 3%
- Gasolina

### 2.3.2. Equipos

- Horno ventilado
- Máquina de los ángeles
- Máquina para ensayo a compresión
- Compresómetro
- Concretera eléctrica de medio saco
- Balanza mecánica con capacidad de 100kg
- Balanza con precisión de 0.1g, capacidad de 6000g
- Balanza con precisión de 1g, capacidad de 30kg
- Tamizadora
- Juego de tamices cuadrados 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4
- Juego de tamices redondos números:4, 8, 16, 30, 50, 100 y 200 más fuente, tapa y tamiz #12
- Comparador de colores ASTM C 40
- 21 Moldes cilíndricos
- Cono de Abrahams
- Varilla de compactación
- Cinta métrica
- Cepillo de acero
- Martillo de goma
- Palustre
- Pala cuadrada y de mano
- Probetas graduadas
- Bandejas metálicas y recipientes varios
- Molde de 22lt
- Picnómetro y pipeta
- Molde (cónico) y compactador para ensayo de humedad superficial
- Canastilla metálica
- Termómetro
- Equipo de protección personal
- Cámara fotográfica y Computadora

## **2.4. Plan de recolección de información**

Inicialmente se procede a la obtención de fuentes bibliográficas, así como el estudio de las diversas normas aplicadas, recopilando información necesaria para el inicio de las actividades que se dividirán en tres fases como son: toma de muestras, ensayos de caracterización y elaboración de cilindros. Los ensayos que se realicen siempre que sea posible serán por triplicado.

### **Toma de muestras**

1. Recolección de muestras de los agregados de 3 minas para material zarandeado, norma INEN 695
2. Traslado a centro de acopio local. Distancias aproximadas de las minas GADMFO: La Conde a 3km vía Los Zorros, Guayusa a 20km vía San José de Guayusa y Punino 2 a 20km vía a Paco Playa
3. Reducción a tamaño de ensayo, norma INEN 2566
4. Pesado y etiquetado final
5. Traslado a los laboratorios Ingeniería Civil de la UTA

### **Ensayos de caracterización y obtención de datos para diseño de mezclas**

6. Determinación de la densidad del cemento hidráulico, INEN 156
7. Secado de los áridos fino y grueso
8. Determinación del material más fino que pasa el tamiz #200, INEN 697
9. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón, INEN 855.
10. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso, norma INEN 696
11. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, INEN 856.
12. Determinación de la densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso, INEN 857.
13. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) para condiciones suelta y compactada, INEN 858.
14. Ensayo de abrasión con la máquina de los ángeles, INEN 860.

15. Diseño de mezclas para resistencias a la compresión del hormigón de 210 y 240 kg/cm<sup>2</sup>, con el método de la densidad óptima
16. Separación por tamaños del árido grueso de las 3 minas por recomendación de INEN 3124

### **Elaboración de cilindros**

17. Realización de primeras probetas cilíndricas de prueba INEN 3124, para ensayarse a una edad de 7 días (en total 24)

Las siguientes actividades irán a la par con la elaboración de las probetas:

- Toma de muestras de hormigón fresco, INEN 1763.
  - Ensayos en estado fresco, asentamiento del hormigón, INEN 1578.
  - Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire, INEN 1579.
  - Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, a la edad de 7 días, INEN 1573.
18. Elaboración y curado de especímenes finales, INEN 3124 (168 en total)
    - Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, a edades de 7, 14, 21 y 28 días, INEN 1573
  19. Determinación de las curvas: edad vs resistencia a la compresión y esfuerzo-deformación del hormigón
  20. Aplicación de la norma ASTM C-469 para la obtención del MEE. El compresómetro a utilizarse (Ver Anexo Fotográfico) posee dos micrómetros diametralmente opuestos permitiendo utilizar su valor directo; en cada probeta se realizarán precargas hasta obtener una curva similar y de ahí se tomarán dos mediciones para su media aritmética, el valor final del ME será el promedio de todas las probetas ensayadas para cada caso.
  21. Propuesta de una constante para el MEE correlacionándole con la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y el peso unitario.



## **2.5. Plan de procesamiento y análisis de información**

De las 3 fases presentadas en el plan de recolección de información, se procederá de la siguiente manera para su procesamiento y análisis.

### **Toma de muestras**

En esta primera etapa se realizará una diferenciación del material procedente de cada mina; asignando los códigos LC, G, Gt y P seguidos de una t para triturado, f para fino y g de grueso para las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino.

Luego seguirá el etiquetado y registro de pesos totales para cada tipo de agregado para el traslado de muestras.

### **Ensayos de caracterización y obtención de datos para diseño de mezclas como la elaboración de probetas cilíndricas**

Aquí se elaboraran formatos para llevar registros ordenados de cada ensayo con su posterior procesamiento en hojas de cálculo que permitan controlar parámetros estadísticos como el rango, desviación estándar y coeficiente de desviación conforme a los indicados en las diferentes normas.

Además se realizarán tablas de resumen con las propiedades de los agregados de cada mina con el fin de que su revisión sea más eficiente y permita tener todos los datos requeridos para el diseño de las mezclas.

Se realizarán las curvas edad vs resistencia a la compresión y esfuerzo vs deformación del hormigón, así como el procesamiento de los datos obtenido para la obtención del MEE, logrando así la propuesta de una constante que correlacione la raíz cuadrada de la resistencia especificada a la compresión del hormigón y el peso unitario.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis y discusión de resultados

##### 3.1.1. Determinación de la densidad real del cemento

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Norma:** INEN 156:2009

**Tipo:** Hidráulico GU

**Fecha Ensayo:** 04/01/2019

DENOMINACIÓN	FÓRMULA	ENSAYOS			U
		I	II	III	
Masa del picnómetro vacío	<b>m1</b>	154.70	153.30	151.90	g
Masa del picnómetro + cemento	<b>m2</b>	269.50	251.80	274.70	g
Masa picnómetro + cemento + gasolina	<b>m3</b>	608.40	595.00	611.50	g
Masa gasolina añadida	<b>m4=m3-m2</b>	338.90	343.20	336.80	g
Masa del picnómetro + 500cc de gasolina	<b>m5</b>	522.50	521.30	519.70	g
Masa 500cc gasolina	<b>m6=m5-m1</b>	367.80	368.00	367.80	g
Densidad de la gasolina	<b>dg=m6/500</b>	0.7356	0.7360	0.7356	g/cm <sup>3</sup>
Masa desalojada de gasolina por el cemento	<b>m7=m6-m4</b>	28.90	24.80	31.00	g
Masa cemento	<b>mc=m2-m1</b>	114.80	98.50	122.80	g
Volumen gasolina desalojada	<b>Vc=m7/dg</b>	39.29	33.70	42.14	cm <sup>3</sup>
<b>Densidad del cemento</b>	<b>dc=mc/Vc</b>	2.922	2.923	2.914	g/cm <sup>3</sup>
<b>DENSIDAD PROMEDIO</b>		2.920			g/cm <sup>3</sup>

Parámetros de control		
Medidas	Valores	Precisión 1 Op (INEN 156)
Rango	0.009	<0.03
Desviación estándar	0.005	<0.012
Coefficiente de desviación	0.17%	<1%
<b>Promedio densidad del cemento</b>		<b>2.92 g/cm<sup>3</sup></b>

##### 3.1.2. Ensayos en los áridos para determinar su aptitud para utilizarlos en el hormigón.

De los ensayos presentados por la INEN 872 para la caracterización de los áridos se realizaron los siguientes expuestos en la Tabla 24:

**Tabla 24. Ensayos realizados en los áridos para su caracterización**

No.	Título del ensayo	Normas	
		INEN	ASTM
1	Muestreo	695:2010	D 75-09
2	Reducción de muestras a tamaño de ensayo	2566:2010	C 702-03
3	Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200), mediante lavado	697:2010	C 117-04
4	Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón	855:2010	C 40-04
5	Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso	696:2011	C 136-06
6	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino	856:2010	C 128-07a
7	Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso	857:2010	C 127-07
8	Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico)	858:2010	C 29-09
9	Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles	860:2011	C 131-06

**Fuente: NTE INEN 872 [43]**

En el **Anexo EA** se presenta la totalidad de los datos obtenidos en cada ensayo

### 3.1.1.1. Toma y reducción de muestras

Debido a que la ruta de acceso a la mina GADMFO: Punino 2 se encontraba a un mes de finalizar el proceso de apertura, la toma de muestras se la realizó en el sector de Paco Playa a 1km río arriba (extremo opuesto); así mismo como la mina GADMFO: Guayusa no posee material procesado, la toma del árido triturado se lo realizó de la trituradora perteneciente a la mina “Lomas” ubicada río abajo de la misma área minera de Guayusa.

Para las minas GADMFO: Guayusa y La Conde, el muestreo de los agregados se realizó desde una pila, tomándose porciones en el tercio superior, punto medio y en el tercio inferior para formar una muestra compuesta; mientras que para la mina GADMFO: Punino se realizó lo referente a depósitos, ambos procedimientos señalados en los apéndices W y X de la norma INEN 695 respectivamente.

En la reducción de las muestras a tamaño de ensayo conforme a INEN 2566 se utilizaron los métodos B (cuarteo) y C (pila en miniatura), para el árido grueso y fino (húmedo) respectivamente.

### 3.1.1.2. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 $\mu\text{m}$ (No. 200), mediante lavado

*Tabla 25. Resultados para el material más fino que pasa el tamiz No 200*

Parámetro	ÁRIDO FINO MINAS GADMFO			Precisión 1Op (INEN 697)
	GUAYUSA	LA CONDE	PUNINO	
Rango	0.25	0.08	0.26	<0.43
Desviación estándar	0.13	0.04	0.14	<0.15
Coefficiente de variación	0.08	0.09	0.08	---
<b>PROMEDIO</b>	1.58%	0.47%	1.82%	<3%

*Realizado por: Ismael Manosalvas*


#### **Análisis**

Los valores obtenidos para las tres minas se ajustan al límite máximo permisible del 3% para hormigón sujeto a abrasión señalado en la NTE INEN 872 (Tabla V), correspondiendo los valores de **1.58%**, **0.47%** y **1.82%** a **Guayusa**, **La Conde** y **Punino** respectivamente, indicando que el árido fino no presentará los problemas debido a materiales más finos que 0.075mm como: adherencia entre árido y pasta de cemento, aumento en el requerimiento de agua y por consiguiente cantidad de cemento como se menciona en [27]-[29] y [23].

La precisión para un operador que establece la norma INEN 697 en cuanto al rango (<0.43) y la desviación (<0.15) se ajusta para los tres ensayos realizados en cada mina, cumpliendo así con éstas medidas de control; el coeficiente de variación inferior al 10% indica que la dispersión de los datos respecto a la media obtenida es buena.

### 3.1.1.3. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón

Tabla 26. Resultados del ensayo de colorimetría

PARÁMETRO	ÁRIDO FINO MINAS GADMFO	
	Guayusa	La Conde y Punino
Color de la muestra placa orgánica		
	Claro transparente	Amarillo pálido
Referencial	Jugo de limón	Jugo de piña
Nº comparador	1	2
Color escala Gardner	5	8
Cont orgánico aceptable	Sí	
Propiedad ASTM C40	Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas	Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad

Realizado por: *Ismael Manosalvas*

#### Análisis

Las muestras de árido fino no produjeron un color más oscuro que el No. 3 del comparador, obteniéndose los números 1 (Guayusa) y 2 (La Conde y Punino) de la placa orgánica, por lo que no fue necesario efectuar más análisis como el de la norma INEN 866 referente al efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia.

Esto refleja arenas con poca o casi ninguna presencia de materia orgánica, considerándose las de buena calidad, evitándose efectos de aplazamiento en el asentamiento y endurecimiento del hormigón, así como la reducción de su resistencia mencionados por Mamlouk y Zaniewski [28] en la Tabla 3.

### 3.1.1.4. Análisis granulométrico en los áridos

#### Análisis granulométrico en el árido fino

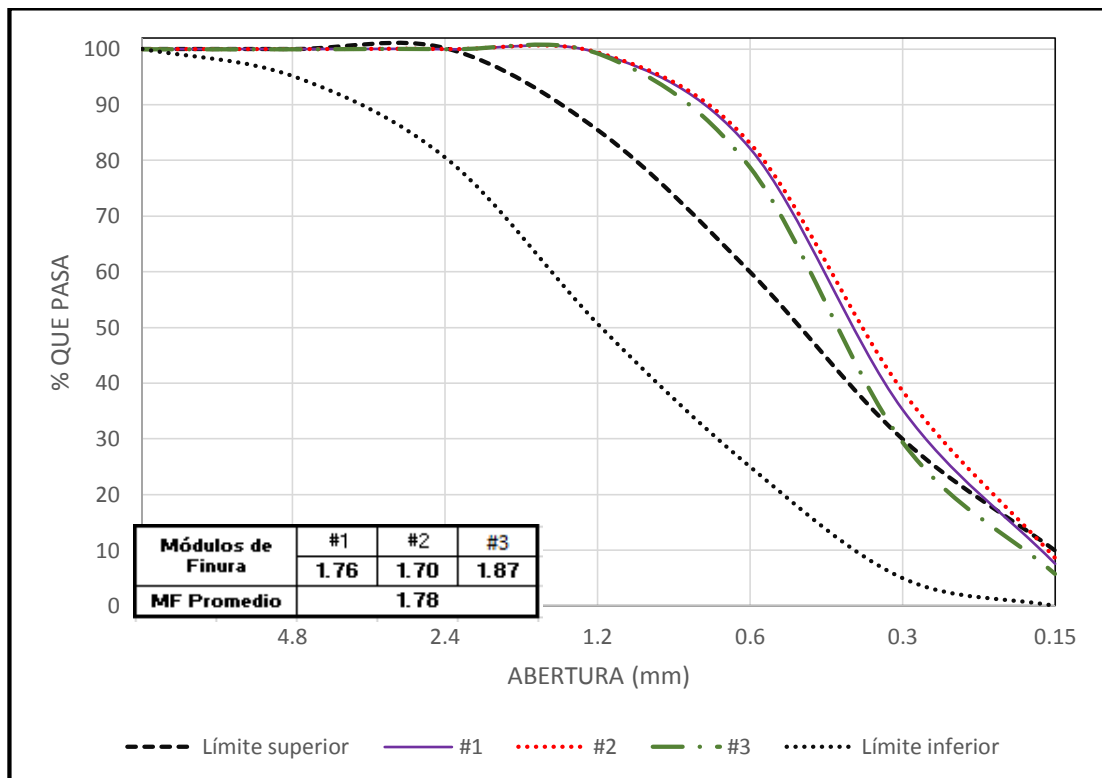
➤ **GADMFO: Guayusa (Río Coca)**

*Tabla 27. Resumen granulometría en el AF Guayusa*

Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Límites AF INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
3/8 "	9.5	100	100	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.75	95	100	100.0	100.0	100.0
No. 8	2.36	80	100	100.0	100.0	100.0
No. 16	1.18	50	85	99.1*	99.2*	99.0*
No. 30	0.6	25	60	82.2*	83.1*	78.8*
No. 50	0.3	5	30	35.2*	38.7*	29.4
No. 100	0.15	0	10	7.6	8.7	5.7

\*Valores fuera de los límites

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



*Figura 11. Curva granulométrica del árido fino de Guayusa*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

## **Comentario de las curvas granulométricas del árido fino GADMFO: Guayusa**

Se aprecia que éstas están fuera de los límites establecidos por la INEN 872 específicamente el superior, teniendo así, una tendencia a fino; éstas se asemejan a una distribución de tamaño del tipo bien graduado respecto a la clasificación presentada por Li [34] (Figura 2), pues poseen una distribución uniforme.

El módulo de finura medio obtenido de 1.78 queda fuera del rango de 2.3 a 3.1 (a mayor sea éste valor, más gruesa es la arena) establecido por la norma INEN 872 ; además según la clasificación dada por Gutiérrez de López [27] sería una arena fina (Mf de 1.5 a 2.5).

### **Análisis:**

Como la arena tiende a ser muy fina al utilizarse en el hormigón, podría producir segregación del agregado grueso [28] y necesitar más agua para humedecer todas las partículas de la mezcla debido a su mayor superficie específica, traduciéndose en la necesidad de más cemento; por el contrario los hormigones no presentarán problemas de exudación excesiva, la docilidad será buena y facilitarán texturas superficiales tersas al ser los porcentajes que pasan los tamices N°50 y N°100 mayores y cercanos al límite superior respectivamente, esto interpretando lo mencionado por Minetti [29], Gutiérrez [27] e INEN 872 [43].

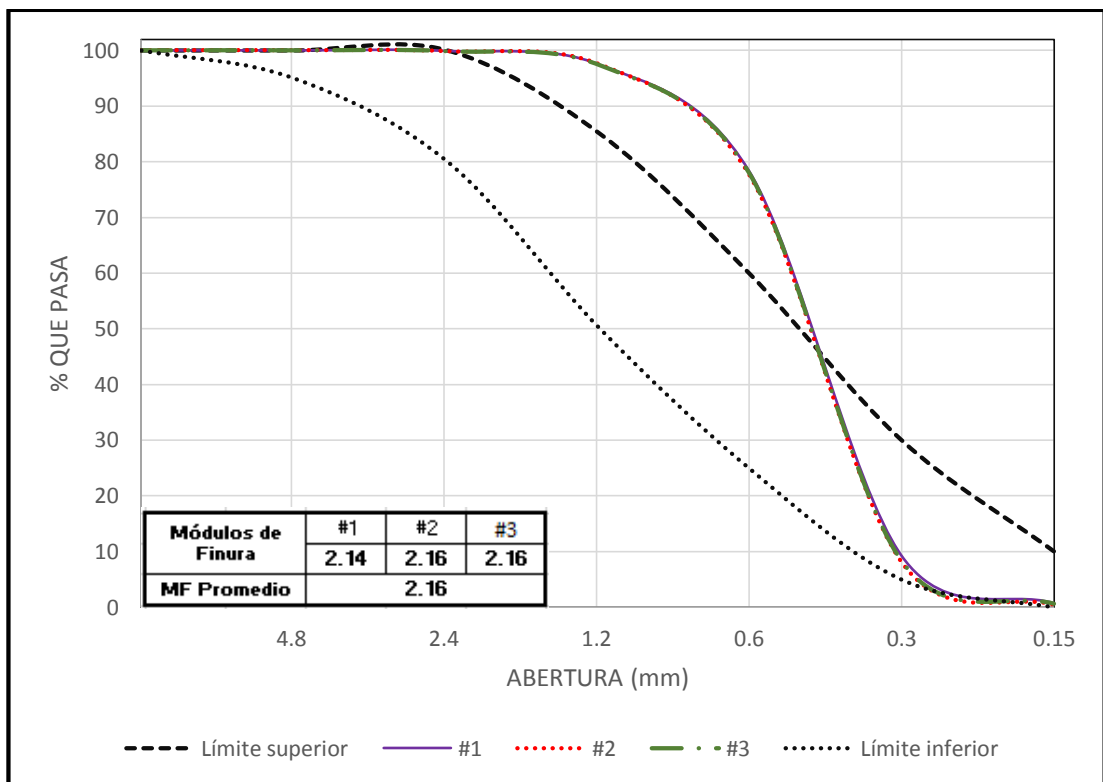
➤ **GADMFO: La Conde (Río Napo)**

*Tabla 28. Resumen granulometría en el AF La Conde*

Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Límites AF INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
3/8 "	9.5	100	100	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.75	95	100	100.0	100.0	100.0
No. 8	2.36	80	100	99.9	99.8	99.8
No. 16	1.18	50	85	97.4*	97.4*	97.3*
No. 30	0.6	25	60	78.4*	77.7*	78.0*
No. 50	0.3	5	30	9.2	8.2	8.3
No. 100	0.15	0	10	0.7	0.5	0.6

\*Valores fuera de los límites

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



*Figura 12. Curva granulométrica del árido fino de La Conde*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



## **Comentario de las curvas granulométricas del árido fino GADMFO: La Conde**

Las curvas se asemejan a una distribución de tamaño del tipo gradación uniforme (Figura 2), pues éstas caen casi verticalmente en el tamaño dominante [34]. Éstas están fuera del límite superior establecidos por la INEN 872 concretamente en los tamices #16 y 30 teniendo así, una tendencia a fino.

El módulo de finura promedio fue de 2.16, siendo  $< 2.3$  que el mínimo establecido por la norma INEN 872 ; se consideraría una arena fina (Mf 1.5 a 2.5) [27].

### **Análisis:**

Debido a que los porcentajes que pasan los tamices N°50 y N°100 del árido se encuentra cercanos al límite inferior, posiblemente se presenten dificultades con la docilidad, bombeo o exudación excesiva en hormigones como sugiere la INEN 872, pero serían adecuados al hacer acabados mecánicamente o con colocación fácil, como en los pavimentos [27].

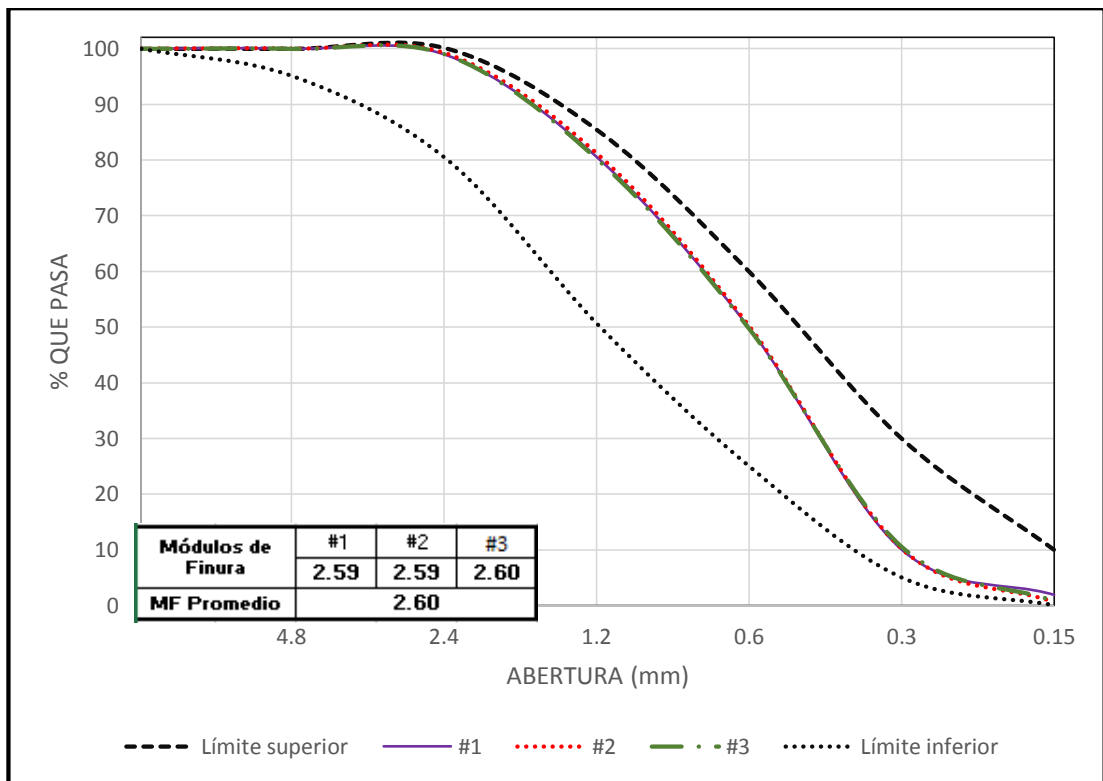
De igual manera se podría alterar la relación agua/cemento al requerirse más agua por el incremento de la superficie a mojar, teniéndose que aumentar el contenido de cemento [29].

➤ **GADMFO: PUNINO (Río Payamino)**

*Tabla 29. Resumen granulometría en AF Punino*

Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Límites AF INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
3/8 "	9.5	100	100	100.0	100.0	100.0
No. 4	4.75	95	100	100.0	100.0	100.0
No. 8	2.36	80	100	98.8	99.0	98.8
No. 16	1.18	50	85	80.0	80.6	79.7
No. 30	0.6	25	60	49.9	50.2	49.7
No. 50	0.3	5	30	10.1	10.2	10.6
No. 100	0.15	0	10	1.9	0.6	0.8

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



*Figura 13. Curva granulométrica del árido fino de Punino*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

## **Comentario de las curvas granulométricas del árido fino GADMFO: Punino**

Las curvas se encuentran dentro de los límites establecidos por la INEN 872, pero se aprecia una ligera tendencia a finos al aproximarse al límite superior hasta el tamiz #30, mientras que para los tamices #50 y # 100 se acercan al límite inferior resultando en posibles dificultades con la docilidad, bombeo o exudación excesiva en hormigones [43]. Se tiene una distribución de tamaño del tipo bien graduado (**figura 1**) al tener una distribución uniforme [34].

Su módulo de finura de 2.60 se encuentra en el rango establecido por la norma y se clasificaría en una arena gruesa [27], beneficiando de esta manera la no alteración de la relación agua/cemento por requerimiento de más agua, manteniéndose el contenido de cemento [29].

### **Análisis:**

Considerando que los porcentajes que pasan los tamices N°50 y N°100 se encuentran cercanos al límite inferior, posiblemente se presenten dificultades con la docilidad, bombeo o exudación excesiva en hormigones como sugiere la INEN 872, pero serían adecuados al hacer acabados mecánicamente o con colocación fácil, como en los pavimentos [27].

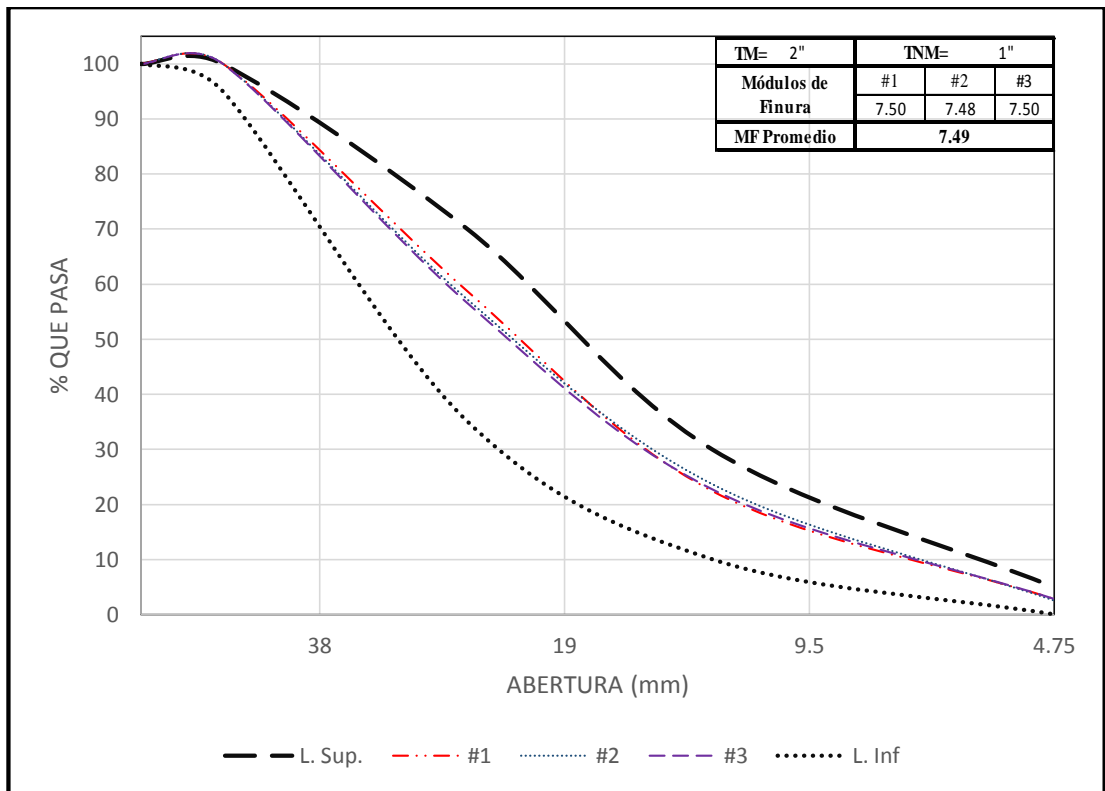
## Análisis granulométrico en el árido grueso

### ➤ GADMFO: Guayusa Zarandeado (Río Coca)

*Tabla 30. Resumen granulometría en el AG zarandeado de Guayusa*

Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Tamaño No. 357 según INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
2 1/2"	63	100	100	100.0	100.0	100.0
2"	50	95	100	100.0	100.0	100.0
1"	25	35	70	58.6	57.2	56.5
1/2"	12.5	10	30	22.4	23.7	22.7
No. 4	4.75	0	5	2.8	2.6	2.8

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



*Figura 14. Curva granulométrica del AG zarandeado de Guayusa*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

### Comentario:

Los límites presentados para el tamaño No 357 enmarcaron de mejor manera la distribución del árido grueso de Guayusa; se observa una buena distribución.

➤ Triturado Guayusa (Río Coca)

Tabla 31. Resumen granulometría en el AG triturado de Guayusa

Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Tamaño No. 57 según INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
1 1/2"	37.5	100	100	100.0	100.0	100.0
1"	25	95	100	98.7	98.9	99.0
1/2"	12.5	25	60	44.5	43.7	42.0
No. 4	4.75	0	10	6.8	5.2	4.8
No. 8	2.36	0	5	3.6	2.5	2.5

Realizado por: Ismael Manosalvas

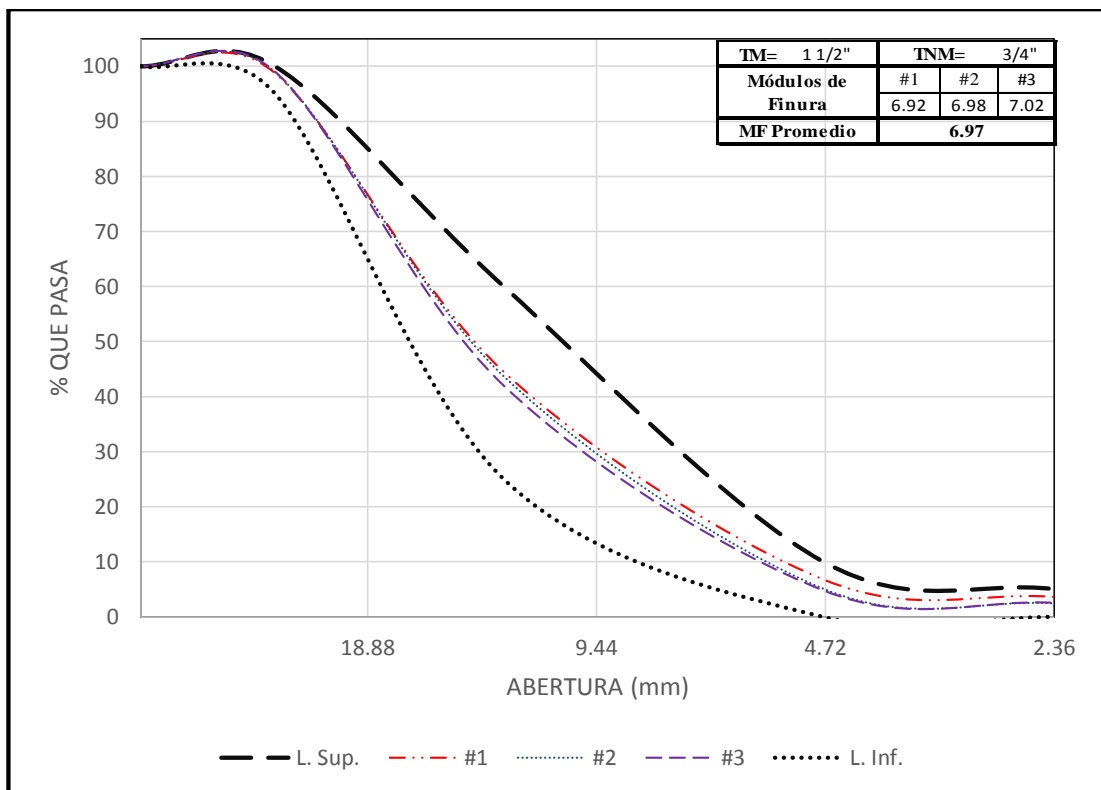


Figura 15. Curva granulométrica del AG triturado de Guayusa

Realizado por: Ismael Manosalvas

**Comentario:**

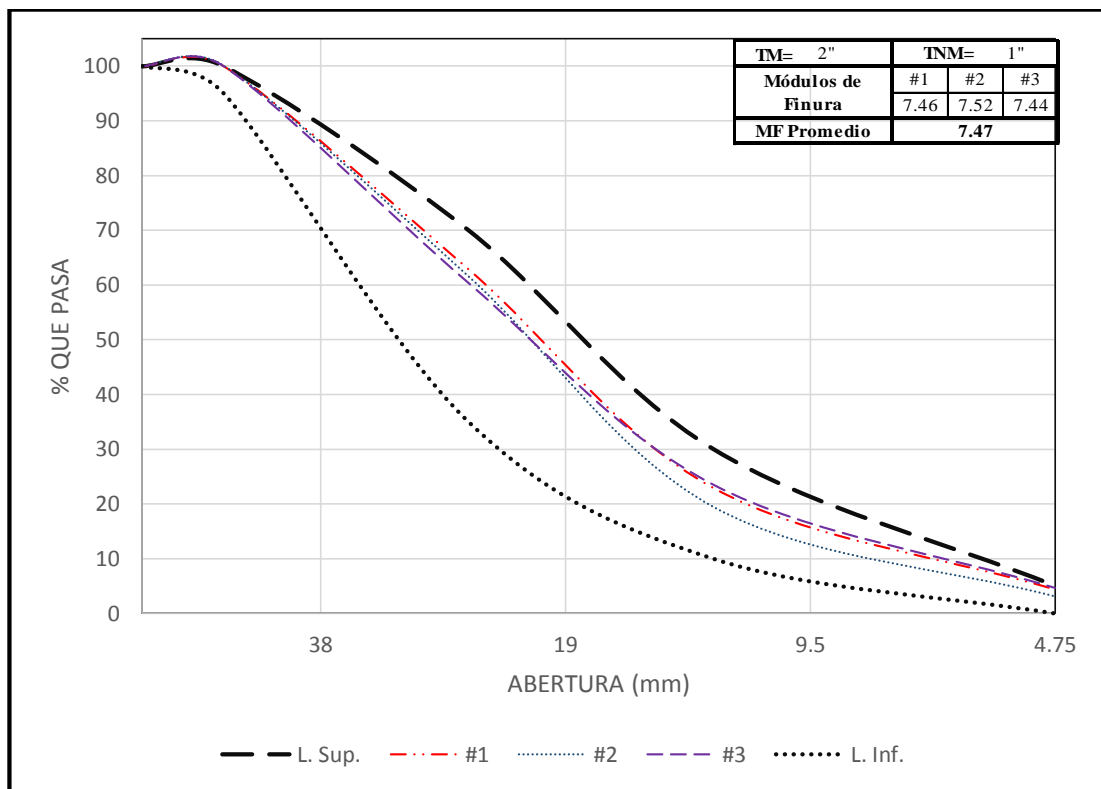
La curva granulométrica del árido triturado, se ajustó correctamente al tamaño No 57, permaneciendo en el centro de los límites superior e inferior, dando así una distribución óptima.

➤ **GADMFO: La Conde (Río Napo)**

*Tabla 32. Resumen granulometría en el AG de La Conde*

Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Tamaño No. 357 según INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
2 1/2"	63	100	100	100.0	100.0	100.0
2"	50	95	100	100.0	100.0	100.0
1"	25	35	70	62.9	61.5	60.4
1/2"	12.5	10	30	22.9	19.5	23.5
No. 4	4.75	0	5	4.4	3.1	4.6

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



*Figura 16. Curva granulométrica del AG de La Conde*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

**Comentario:**

Se visualiza un acercamiento al límite superior pronunciado, es decir una tendencia a fino, pero el tamaño asignado fue el que mejor encasillo a la distribución del árido grueso de La Conde.

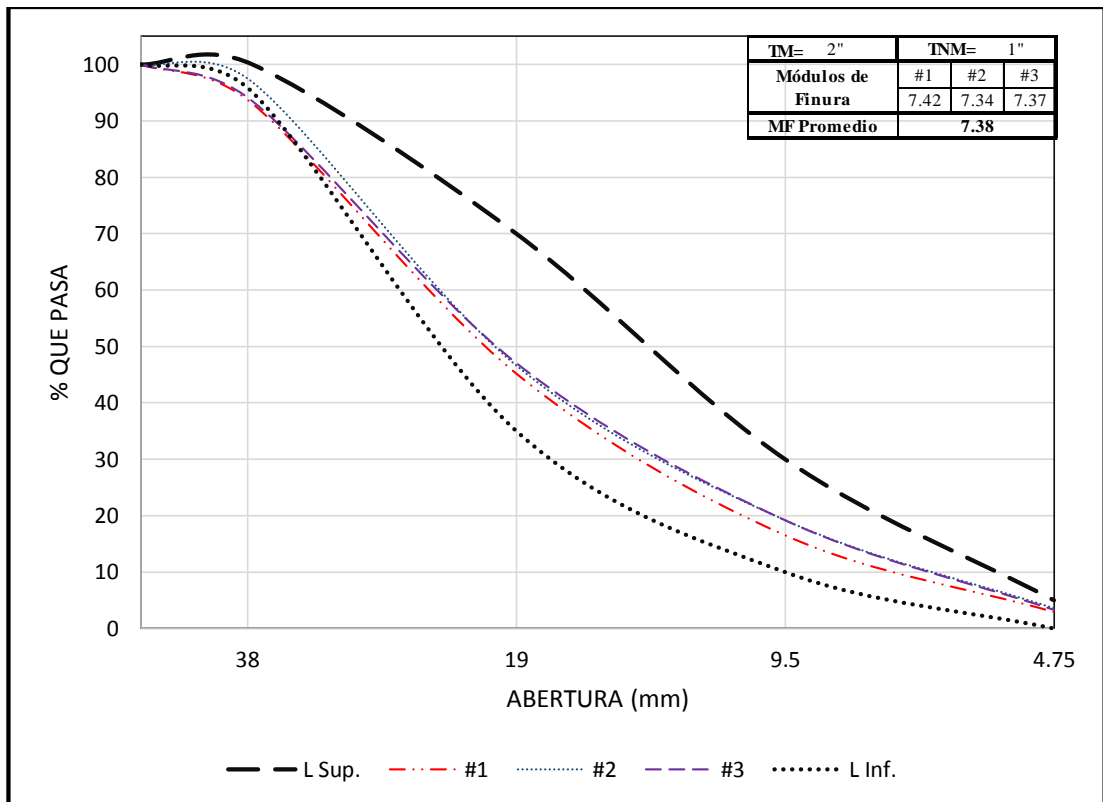
➤ **GADMFO: Punino 2 (Río Payamino)**

*Tabla 33. Resumen granulometría en el AG de Punino*

<b>GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)</b>						
Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Tamaño No. 467 según INEN 872		% QUE PASA		
		Límite Inferior	Límite Superior	Ensayo I	Ensayo II	Ensayo III
2"	50	100	100	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	37.5	95	100	93.0*	96.8	93.5*
3/4"	19	35	70	45.2	46.6	47.1
3/8"	9.5	10	30	16.5	19.2	19.2
No. 4	4.75	0	5	2.9	3.5	3.3

*\*Valores fuera de rango*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



*Figura 17. Curva granulométrica del AG de Punino*

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

### **Comentario:**

La curva granulométrica se acerca al límite inferior en los tamices de 1 ½” y ¾”, inclusive siendo menor en el primero, es decir una tendencia a gruesos (tamaño No 357), podría considerarse una distribución del tipo densa con una distribución uniforme como expone Li [34] aunque no ideal para los límites presentados.

### **Análisis**

Considerando que el TNM para las tres minas con material zarandeado fue de 1”, se puede propiciar la obtención de resistencias medias de hasta 35MPa como menciona la UNACEM [12].

Si se comparara el tamaño del árido grueso de las tres minas en función de sus MF desde el más grueso al más fino, se tendría lo siguiente: Guayusa (7.49), La Conde (7.47), Punino (7.38) y Triturado (6.97).

Para el árido triturado con un tamaño No 57, se tiende a tener una superficie específica mayor ( $TNM < 3/4''$ ), requiriendo más cantidad de agua y a la par más cemento [27]. Por el contrario con un material muy grueso ( $TNM > 1 1/2''$ ) en el momento del colado en el acero de refuerzo se podrían formar vacíos interiores en el elemento por el atascamiento del hormigón y acarreado su pérdida de resistencia [31], siendo propenso a este efecto el material con un tamaño No 357 cuando su curva granulométrica tienda al límite inferior.



### 3.1.1.5. Determinación de la densidad SSS del árido fino y grueso

Los valores obtenidos tanto para los áridos finos (Tabla 34) como los gruesos (Tabla 35) se encuentran dentro del intervalo de 2.4 a 3 (densidad relativa), por lo que se consideran áridos de densidad normal como establece la NTE INEN 694 [26].

**Tabla 34. Densidades SSS obtenidas para el AF de las minas GADMFO**

Parámetros	Árido Fino Minas GADMFO			Precisión 1 Operador INEN 856
	GUAYUSA	LA CONDE	PUNINO	
Rango	0.011	0.009	0.009	<0.027
Desviación estándar	0.0055	0.0044	0.0051	<0.0095
Coefficiente de variación	0.20%	0.17% los %	0.20%	%
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.688</b>	<b>2.624</b>	<b>2.614</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

**Tabla 35. Densidades SSS obtenidas para los áridos gruesos**

Parámetros	GUAYUSA		LA CONDE	PUNINO	Precisión 1 Operador INEN 857
	Zarandeado	Triturado			
Rango	0.009	0.009	0.012	0.008	<0.02
Desviación estándar	0.004	0.005	0.007	0.004	<0.007
Coefficiente de variación	0.17%	0.17%	0.26%	0.16%	%
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.681</b>	<b>2.674</b>	<b>2.652</b>	<b>2.645</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

#### **Comentario:**

Respecto a los valores obtenidos para el árido grueso de densidad, al ser normal reflejan materiales resistentes, poco porosos y de baja absorción.

### 3.1.1.6. Determinación de la capacidad de absorción en los áridos fino y grueso

Tabla 36. Capacidades de absorción para el AF de las minas GADMFO

Parámetros	Árido Fino Minas GADMFO			Precisión 1 Op INEN 856
	GUAYUSA	LA CONDE	PUNINO	
Rango	0.05%	0.09%	0.06%	<0.31%
Desviación estándar	0.03%	0.05%	0.03%	<0.11%
Coefficiente de variación	1.72%	3.95%	1.70%	%
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.68%</b>	<b>1.30%</b>	<b>1.75%</b>	<b>%</b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

Los valores de absorción que presentan las arenas son menores al 2% encontrándose en el rango de variación (0.2-2%) siendo áridos de buena calidad [31]; cabe sugerir que el efecto de los materiales más finos que el tamiz No 200 (Tabla 25) en el requerimiento de agua, es más influyente que su módulo de finura, de ahí la importancia de tener arenas limpias, esto al observar la tendencia presentada, así:

Punino: **1.75% absorción, Mf 2.6 y más finos que No 200 1.82%**

Guayusa: **1.68% de absorción, Mf 1.78 y más finos que No 200 1.58%**

La Conde: **1.30% de absorción, Mf 2.16 y más finos que No 200 0.47%**

Tabla 37. Capacidades de absorción para los áridos gruesos

Parámetros	GUAYUSA		LA CONDE	PUNINO	Precisión 1 Operador INEN 856
	Zarandeado	Triturado			
Rango	0.12%	0.12%	0.06%	0.18%	<0.31%
Desviación estándar	0.06%	0.06%	0.03%	0.10%	<0.11%
Coefficiente de variación	3.96%	2.08%	2.63%	5.89%	%
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.55%</b>	<b>2.85%</b>	<b>1.08%</b>	<b>1.74%</b>	<b>%</b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

Los valores obtenidos son  $\leq$  al 5%, ajustándose por ejemplo a los requerimientos de la instrucción española; éstos se encuentran en el rango de 0.2 al 4% [31].

Se refleja un mayor requerimiento de agua en el árido triturado ya que debido a su tipo de procesamiento posee una superficie específica mayor, esto complementado al ser su tamaño (No 57) más pequeño en comparación de los demás (No 467 y 357).

### 3.1.1.7. Determinación de la densidad suelta de los agregados

#### Condiciones: suelta y compactada

La NTE INEN 694 considera que los áridos poseen una densidad normal cuando su masa unitaria se encuentra alrededor de 1.120 g/cm<sup>3</sup> a 1.920 g/cm<sup>3</sup>; los valores obtenidos presentados en las tablas Tabla 38 y Tabla 39 se encuentran en ese intervalo.

*Tabla 38. Densidades aparentes en los áridos finos para condiciones: suelta y compactada*

Parámetro	SUELTA			COMPACTADA			Precisión 1 Op INEN 858
	Guayusa	La Conde	Punino	Guayusa	La Conde	Punino	
Rango	0.012	0.025	0.017	0.025	0.007	0.014	<0.04
Desviación Estándar	0.006	0.013	0.009	0.013	0.004	0.007	<0.014
Coefficiente de Variación	0.40%	0.88%	0.60%	0.81%	0.26%	0.42%	<1%
<b>Densidades Aparentes Promedio</b>	<b>1.487</b>	<b>1.424</b>	<b>1.535</b>	<b>1.574</b>	<b>1.514</b>	<b>1.623</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

*Tabla 39. Densidades aparentes en los AG para condiciones: suelta y compactada*

Parámetro	SUELTA				COMPACTADA				Precisión 1 Op INEN 858
	Guayusa		La Conde	Punino	Guayusa		La Conde	Punino	
	Zarand	Tritur			Zarand	Tritur			
Rango	0.014	0.009	0.012	0.014	0.010	0.014	0.004	0.021	<0.04
Desviación Estándar	0.007	0.004	0.006	0.007	0.006	0.007	0.002	0.011	<0.014
Coefficiente de Variación	0.45%	0.32%	0.36%	0.41%	0.32%	0.44%	0.11%	0.62%	<1%
<b>Densidades Aparentes Promedio</b>	<b>1.665</b>	<b>1.409</b>	<b>1.700</b>	<b>1.683</b>	<b>1.797</b>	<b>1.557</b>	<b>1.798</b>	<b>1.780</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

Condición: mezcla de árido grueso más fino

➤ GADMFO: Guayusa Zarandeado (Río Coca)

Tabla 40. Densidad aparente para una mezcla de AG con AF mina GADMFO: Guayusa

Fecha Ensayo: 25/01/2019				Método: Densidad Óptima				
Masa molde: 10000 g				Volumen molde: 20190 cm <sup>3</sup>				
% Mezcla		Masa árido (g)		Árido fino a añadir (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	46350	36350	36325	1.799
					46300	36300		
90	10	40000	4444.4	4444.4	49550	39550	39525	1.958
					49500	39500		
80	20	40000	10000.0	5555.6	53100	43100	43125	2.136
					53150	43150		
70	30	40000	17142.9	7142.9	53350	43350	43400	2.150
					53450	43450		
60	40	40000	26666.7	9523.8	52450	42450	42500	2.105
					52550	42550		
50	50	40000	40000.0	13333.3	50950	40950	41000	2.031
					51050	41050		
40	60	40000	60000.0	20000.0	49650	39650	39575	1.960
					49500	39500		

Curva densidad compactada vs % de mezcla

RESULTADOS GADMFO: GUAYUSA		
% máximo AF: 34%	% máximo AG: 66%	Densidad aparente máxima: 2.145 g/cm <sup>3</sup>
% óptimo AF: 30%	% óptimo AG: 70%	Densidad aparente óptima: 2.14 g/cm <sup>3</sup>

Realizado por: Ismael Manosalvas

➤ Triturado Guayusa (Río Coca)

Tabla 41. Densidad aparente para una mezcla de AG triturado con AF mina GADMFO: Guayusa

Fecha Ensayo: 28/01/2019				Método: Densidad Óptima				
Masa molde: 10000 g				Volumen molde: 20190 cm <sup>3</sup>				
% Mezcla		Masa árido (g)		Árido fino a añadir (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	41950	31950	31975	1.584
					42000	32000		
90	10	40000	4444.4	4444.4	45950	35950	35925	1.779
					45900	35900		
80	20	40000	10000.0	5555.6	49600	39600	39575	1.960
					49550	39550		
70	30	40000	17142.9	7142.9	52050	42050	42075	2.084
					52100	42100		
60	40	40000	26666.7	9523.8	51650	41650	41625	2.062
					51600	41600		
50	50	40000	40000.0	13333.3	50950	40950	40925	2.027
					50900	40900		
40	60	40000	60000.0	20000.0	49850	39850	39875	1.975
					49900	39900		

Curva densidad compactada vs % de mezcla

RESULTADOS TRITURADO		
% máximo AF: 40%	% máximo AG: 60%	Densidad aparente máxima: 2.08 g/cm <sup>3</sup>
% óptimo AF: 36%	% óptimo AG: 64%	Densidad aparente óptima: 2.072 g/cm <sup>3</sup>

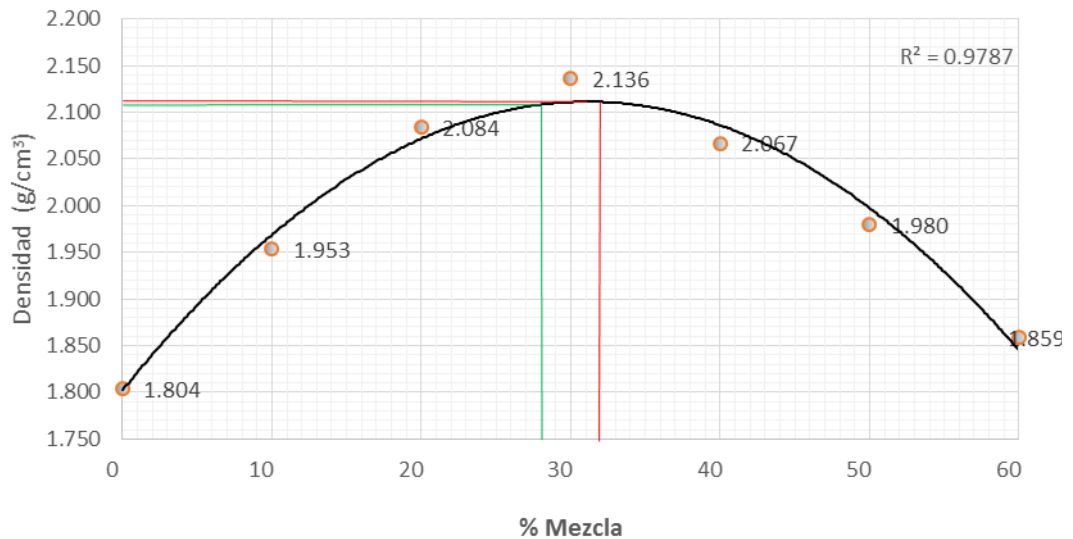
Realizado por: Ismael Manosalvas

➤ **GADMFO: La Conde (Río Napo)**

*Tabla 42. Densidad aparente para una mezcla de AG con AF mina GADMFO: La Conde*

Fecha Ensayo: 29/01/2019				Método: Densidad Óptima				
Masa molde: 10000 g				Volumen molde: 20190 cm <sup>3</sup>				
% Mezcla		Masa árido (g)		Árido fino a añadir (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	46450	36450	36425	1.804
					46400	36400		
90	10	40000	4444.4	4444.4	49420	39420	39435	1.953
					49450	39450		
80	20	40000	10000.0	5555.6	52100	42100	42075	2.084
					52050	42050		
70	30	40000	17142.9	7142.9	53150	43150	43125	2.136
					53100	43100		
60	40	40000	26666.7	9523.8	51750	41750	41725	2.067
					51700	41700		
50	50	40000	40000.0	13333.3	50000	40000	39975	1.980
					49950	39950		
40	60	40000	60000.0	20000.0	47500	37500	37525	1.859
					47550	37550		

Curva densidad compactada vs % de mezcla



**RESULTADOS GADMFO: LA CONDE**

% máximo AF: 32%	% máximo AG: 68%	Densidad aparente máxima: 2.112 g/cm <sup>3</sup>
% óptimo AF: 28%	% óptimo AG: 72%	Densidad aparente óptima: 2.108 g/cm <sup>3</sup>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

➤ **GADMFO: Punino 2**

**Tabla 43. Densidad aparente para una mezcla de AG con AF mina GADMFO: Punino**

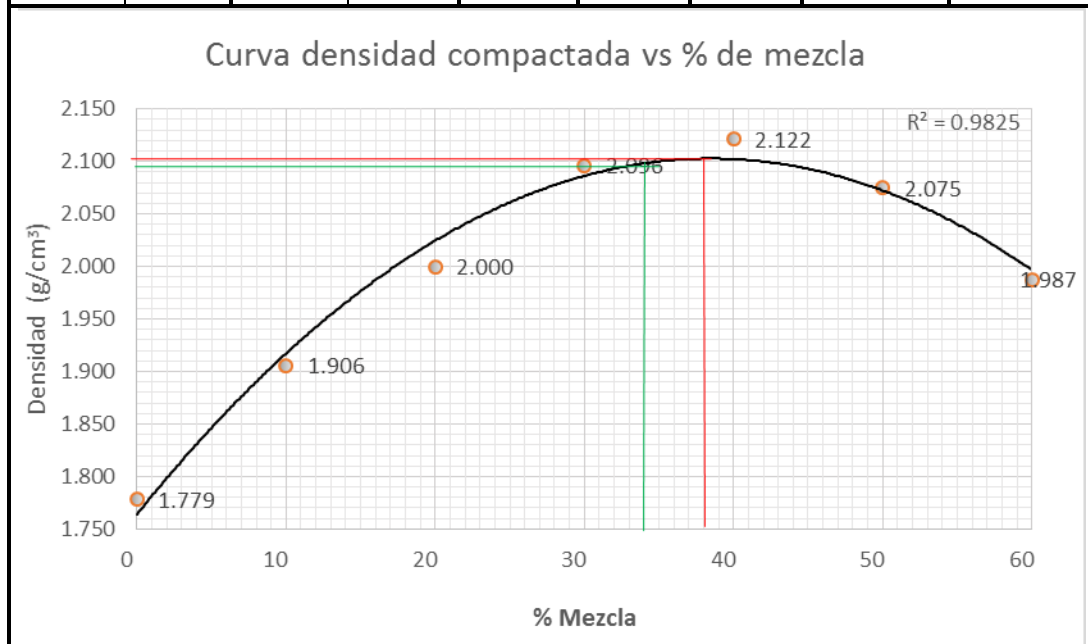
**Fecha Ensayo:** 30/01/2019

**Método:** Densidad Óptima

**Masa molde:** 10000 g

**Volumen molde:** 20220 cm<sup>3</sup>

% Mezcla		Masa árido (g)		Árido fino a añadir (g)	Masa mezcla + molde (g)	Masa mezcla (g)	Promedio de la mezcla (g)	Densidad Aparente (g/cm <sup>3</sup> )
Grueso	Fino	Grueso	Fino					
100	0	40000	0	0	45920	35920	35910	1.779
					45900	35900		
90	10	40000	4444.4	4444.4	48500	38500	38475	1.906
					48450	38450		
80	20	40000	10000.0	5555.6	50350	40350	40375	2.000
					50400	40400		
70	30	40000	17142.9	7142.9	52300	42300	42325	2.096
					52350	42350		
60	40	40000	26666.7	9523.8	52820	42820	42835	2.122
					52850	42850		
50	50	40000	40000.0	13333.3	51870	41870	41885	2.075
					51900	41900		
40	60	40000	60000.0	20000.0	50150	40150	40125	1.987
					50100	40100		



<b>RESULTADOS GADMFO: PUNINO</b>		
% máximo AF: 38%	% máximo AG: 62%	Densidad aparente máxima: 2.105 g/cm <sup>3</sup>
% óptimo AF: 34%	% óptimo AG: 66%	Densidad aparente máxima: <b>2.10</b> g/cm <sup>3</sup>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

### 3.1.1.8. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles

Los porcentajes presentados en la Tabla 44 reflejan agregados de buena calidad, permitiendo por ejemplo su utilización en pavimentos rígidos al ser su valor <35% [27].

Se presenta el mayor valor en el árido triturado, reflejando como su proceso de manufactura propició un mayor desgaste.

**Tabla 44. Porcentajes de desgaste del árido grueso**

DESCRIPCIÓN	Guayusa		La Conde	Punino	Precisión un operador INEN 860
	Zarand	Tritur			
Rango	0.003	0.005	0.004	0.002	<0.045
Desviación estándar	0.001	0.00232	0.002	0.001	--
Coefficiente de variación	0.73%	0.85%	1.22%	0.59%	<2%
<b>PROMEDIO 500 rev</b>	<b>19.06%</b>	<b>27.40%</b>	<b>17.72%</b>	<b>21.51%</b>	<b>≤50% INEN 872</b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

Referente a los coeficientes de uniformidad presentados en la Tabla 45, los áridos triturado y de Punino no cumplen este parámetro.

Para el agregado triturado podría deberse al procesamiento al que fue sometido, puesto que la roca original ya sufrió un proceso de desgaste y sus capas de menor dureza quedaron expuestas, de igual manera al poseer mayor rugosidad la interacción entre sus partículas es más severa.

En cuanto al árido procedente de Punino esto indica una mayor variabilidad en sus partículas constituyentes.

**Tabla 45. Coeficientes de uniformidad**

DESCRIPCIÓN	Guayusa		La Conde	Punino	Material de dureza uniforme <0.20
	Zarand	Tritur			
Rango	0.004	0.012	0.005	0.008	
Desviación estándar	0.20%	0.65%	0.29%	0.43%	
Coefficiente de variación	1.18%	2.88%	1.57%	1.97%	
<b>PROMEDIO Cu</b>	<b>0.173</b>	<b>0.226</b>	<b>0.183</b>	<b>0.217</b>	

*Realizado por: Ismael Manosalvas*



### 3.1.3. Diseño de mezclas con el método de la densidad óptima

#### 3.1.3.1. Antecedentes

En las Tablas 46, 47 y 48 se proporcionan los requisitos para realizar el diseño de las mezclas por el método de dosificación óptima señalada en la Tabla 17 en cuanto a los áridos, además de los resultados adicionales que permitieron realizar la caracterización de las propiedades físico mecánicas de los mismos y comentarios generales al respecto.

La densidad real del cemento obtenida fue de **2.92 g/cm<sup>3</sup>**.

#### Ensayos de caracterización de los agregados

**Árido fino:** Los valores obtenidos para cada mina mostrados en la Tabla 46 de manera general se ajustan a los límites establecidos por las normas, esto en gran medida por su procedencia (arena de río) que propicia a que sean áridos limpios, sin excesos de contenido orgánico o partículas muy finas.

Sin embargo sus módulos de finura señalan arenas finas y no se encuentran dentro de los límites establecidos por la INEN 872 para su uso en la elaboración de hormigón.

*Tabla 46. Resumen de las propiedades en el árido fino*

PROPIEDAD	GADMFO:			
	Guayusa	La Conde	Punino	
% Mat. + fino tamiz #200 <5%	1.58%	0.47%	1.82%	
Colorimetría ≤3	1	2	2	
Módulo de finura (2.3 a 3.1)	1.780	2.160	2.6	
Cumple granulometría INEN 872	No	No	Sí	
Densidad SSS (g/cm <sup>3</sup> )	2.688	2.624	2.614	
%Absorción <2%	1.68%	1.30%	1.75%	
Densidades aparentes (g/cm <sup>3</sup> )	Suelta	1.487	1.424	1.535
	Compacta	1.574	1.514	1.623

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

**Árido grueso:** Presentan valores dentro de los límites establecidos, son materiales de buena calidad y de densidad normal. (Ver Tabla 47)

**Tabla 47. Resumen de las propiedades en el árido grueso**

PROPIEDAD		Guayusa		La Conde	Punino
		Zarandeado	Triturado		
Análisis granulométrico	TM	2in	1 1/2 in	2in	2in
	TNM	1in	3/4 in	1in	1in
	Nº según INE 872	357	57	357	467
	Cumple Lím INEN 872	Sí	Sí	Sí	Sí
Densidad SSS (g/cm <sup>3</sup> )		<b>2.681</b>	<b>2.674</b>	<b>2.652</b>	<b>2.645</b>
%Absorción <5%		<b>1.55%</b>	<b>2.85%</b>	<b>1.08%</b>	<b>1.74%</b>
Densidades aparentes (g/cm <sup>3</sup> )	Suelta	<b>1.665</b>	<b>1.409</b>	<b>1.7</b>	<b>1.683</b>
	Compacta	1.797	1.557	1.798	1.78
Ángeles	% Abrasión<50%	19.06%	27.40%	17.72%	21.51%
	Cu<0.2	0.173	0.226	0.183	0.217

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

En la Tabla 48 se aprecian los valores de partida para la realización de las mezclas de prueba para los porcentajes óptimos de peso unitario y mezcla.

**Tabla 48. Densidades aparentes para una mezcla de AG con AF y porcentajes óptimos**

PROPIEDAD	Guayusa		La Conde	Punino
	Zarandeado	Triturado		
Peso Unitario Máximo	2.145	2.08	2.112	2.105
Peso Unitario Óptimo	<b>2.14</b>	<b>2.072</b>	<b>2.108</b>	<b>2.10</b>
% Óptimo Fino	<b>30</b>	<b>36</b>	<b>28</b>	<b>34</b>
% Óptimo Grueso	<b>70</b>	<b>64</b>	<b>72</b>	<b>66</b>

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

## Resultados mezclas de prueba

En el Anexo DM, *literal a* se exponen los dos diseños de prueba realizados, mientras que en el *literal c* los respectivos resultados obtenidos para la resistencia a la compresión.

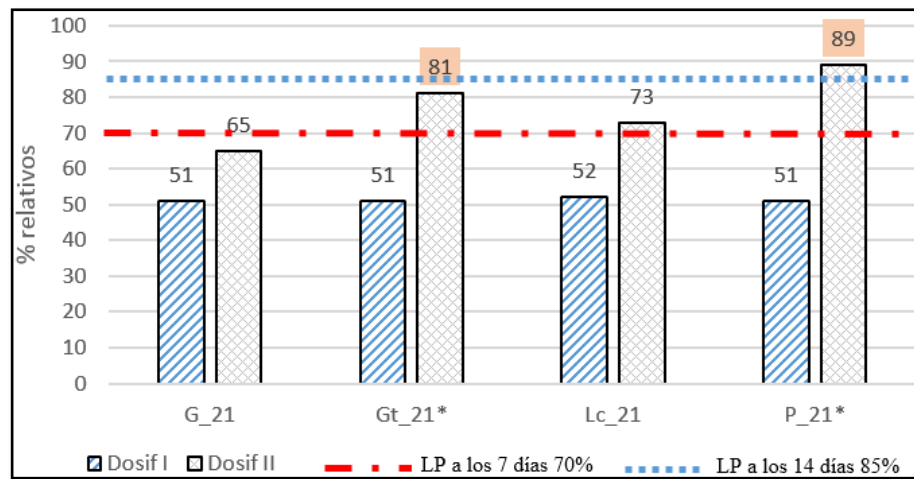
La figuras 18 y 19 permiten apreciar como las dos dosificaciones de prueba realizadas no alcanzaron el valor promedio del 70% para la resistencia a la compresión a los 7 días y del 85% a los 14 días, sobre todo para el primer diseño; razón por la cual para la dosificación final se realizaron los siguientes cambios:

Se volverá a corregir el valor del peso unitario óptimo, considerando que por cada 50kg de cemento en 1m<sup>3</sup>, la resistencia del hormigón incrementa en 2.5 MPa [62]. Esta

corrección se debe a que el método de la densidad óptima posee una aplicación más satisfactoria en áridos que presentan deficiencias granulométricas [9], [10] y [63], que para el caso de estudio no se dio.

- En función de las propiedades en estado fresco, se obtuvo para el caso de Guayusa zarandeado y La Conde mezclas poco homogéneas y muy propensas a segregación, razón por la cual se mantendrán los porcentajes máximos para fino y grueso.
- Se utilizará un aditivo plastificante, para lograr una mejor docilidad

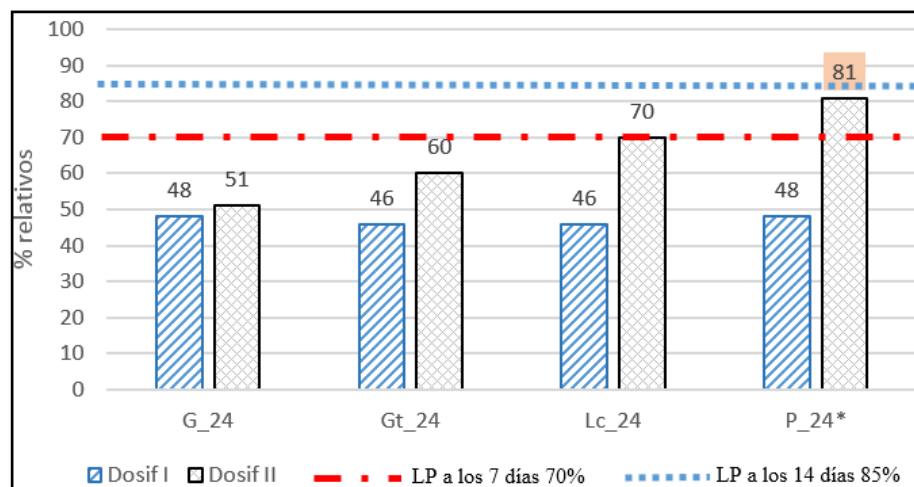
**Figura 18. Comparativa en función de resistencia a la compresión de 21 MPa**



\*Para Dosif II, Gt\_21 y P\_21 se realizó el ensayo a los 14 días

**Realizado por: Ismael Manosalvas**

**Figura 19. Comparativa en función de resistencia a la compresión de 24 MPa**



\*Para Dosif II, P\_24 se realizó el ensayo a los 14 días

**Realizado por: Ismael Manosalvas**

### 3.1.3.2. Diseño de mezcla final

## GADMFO: GUAYUSA ZARANDEADO (RÍO COCA) F

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: G_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); G_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )	
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 2" (50 mm)	
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 1" (25mm)	
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 357	
DATOS TABLAS 18 y 19			
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56	
POV + 2% + 8%(POV)			

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	66	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.688	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	1.905	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.681	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.68	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.489	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	1.55	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.665	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	---	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	34	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	---	%

### 3. RESULTADOS

Dosificación para G_21 (Resistencia a la compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 Días)				
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>
W	209.7	0.58	29.0	29.0 lt
C	361.5	1.00	50.0	1.0 saco
AF	609.2	1.69	84.3	2.1 caj.
AG	1179.5	3.26	163.2	3.6 caj.
DH= 2359.77 kg/m <sup>3</sup>				

Dosificación para G_24 (Resistencia a la compresión de 240 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 Días)				
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>
W	206.9	0.56	28.0	28.0 lt
C	369.5	1.00	50.0	1.0 saco
AF	609.2	1.65	82.4	2.0 caj.
AG	1179.5	3.19	159.6	3.5 caj.
DH= 2365.04 kg/m <sup>3</sup>				

## GADMFO: GUAYUSA TRITURADO (RÍO COCA) F

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: Gt_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); Gt_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )		
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 1 1/2" (37.5 mm)		
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 3/4" (19mm)		
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 57		
<b>DATOS TABLAS 18 y 19</b>				
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%	POV + 2% + 8%(POV)
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56		

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	64	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.688	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	1.924	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.674	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.68	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.487	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	2.85	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.409	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	---	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	36	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	---	%

### 3. RESULTADOS

Dosificación para Gt_21 (Resistencia a la compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 Días)					
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	204.0	0.58	29.0	29.0	lt
C	351.7	1.00	50.0	1.0	saco
AF	653.7	1.86	92.9	2.3	caj.
AG	1156.3	3.29	164.4	4.3	caj.
DH= 2365.75 Kg/m <sup>3</sup>					

Dosificación para Gt_24 (Resistencia a la compresión de 240 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 Días)					
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	201.3	0.56	28.0	28.0	lt
C	359.5	1.00	50.0	1.0	saco
AF	653.7	1.82	90.9	2.3	caj.
AG	1156.3	3.22	160.8	4.2	caj.
DH= 2370.88 kg/m <sup>3</sup>					

## GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO) F

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: LC_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); LC_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )		
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 2" (50 mm)		
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 1" (25 mm)		
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 357		
<b>DATOS TABLAS 18 y 19</b>				
<b>Relación A/C</b>	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	<b>CP%</b>	POV + 2% + 8%(POV)
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56		

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	68	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.624	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	1.899	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.652	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.68	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.424	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	1.08	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.700	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	---	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	32	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	---	%

### 3. RESULTADOS

Dosificación para LC_21 (Resistencia a la compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 Días)					
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
<b>W</b>	203.7	0.58	29.0	<b>29.0</b>	lt
<b>C</b>	351.2	1.00	50.0	<b>1.0</b>	saco
<b>AF</b>	588.6	1.68	83.8	<b>2.2</b>	caj.
<b>AG</b>	1264.1	3.60	180.0	<b>3.9</b>	caj.
DH= 2407.69 kg/m <sup>3</sup>					

Dosificación para LC_24 (Resistencia a la compresión de 240 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 Días)					
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
<b>W</b>	201.0	0.56	28.0	<b>28.0</b>	lt
<b>C</b>	359.0	1.00	50.0	<b>1.0</b>	saco
<b>AF</b>	588.6	1.64	82.0	<b>2.1</b>	caj.
<b>AG</b>	1264.1	3.52	176.1	<b>3.8</b>	caj.
DH= 2412.81 kg/m <sup>3</sup>					

## GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO) F

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: P_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); P_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )	
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 2" (50 mm)	
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 1" (25 mm)	
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 467	
DATOS TABLAS			
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%      POV + 2% + 8%(POV)
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56	

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

DATOS ENSAYOS PREVIOS							
Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	66	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.614	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	1.898	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.645	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.75	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.535	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	1.74	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.683	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	---	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	34	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	---	%

### 3. RESULTADOS

Dosificación para P_21					
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosif. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
<b>W</b>	202.3	0.58	29.0	<b>29.0</b>	lt
<b>C</b>	348.7	1.00	50.0	<b>1.0</b>	saco
<b>AF</b>	625.2	1.79	89.6	<b>2.2</b>	caj.
<b>AG</b>	1227.6	3.52	176.0	<b>3.9</b>	caj.
		DH= 2403.76 kg/m <sup>3</sup>			

Dosificación para P_24					
Material	Cant. Kg @m <sup>3</sup> Hormigón	Dosif. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
<b>W</b>	199.6	0.56	28.0	<b>28.0</b>	lt
<b>C</b>	356.4	1.00	50.0	<b>1.0</b>	saco
<b>AF</b>	625.2	1.75	87.7	<b>2.1</b>	caj.
<b>AG</b>	1227.6	3.44	172.2	<b>3.8</b>	caj.
		DH= 2408.84 kg/m <sup>3</sup>			

### 3.1.4. Ensayos realizados con la dosificación final

#### 3.1.4.1. Ensayos del hormigón en estado fresco

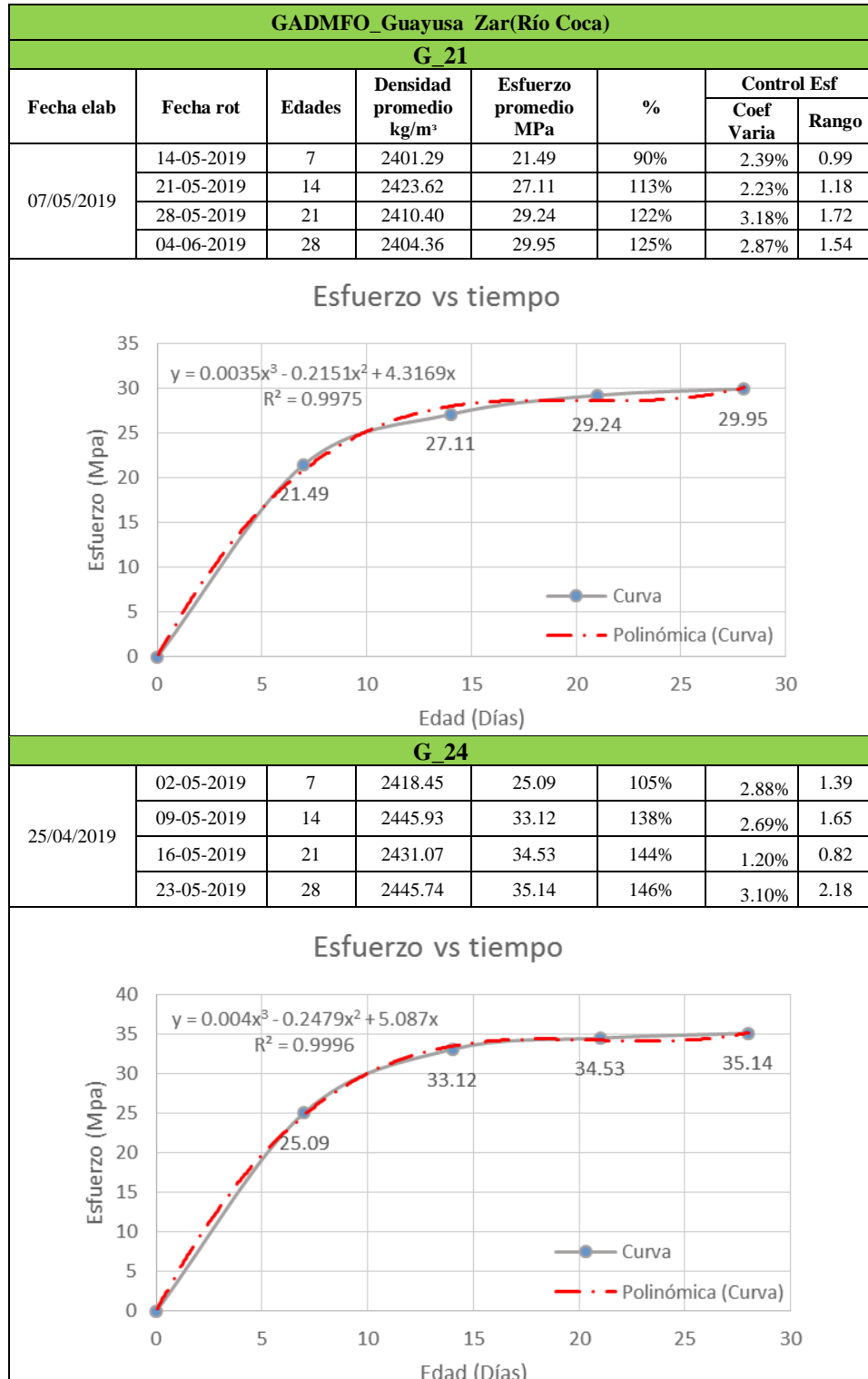
Resumen estado fresco									
Código	Fecha Elab	Hora	Docilid	Homog	Temp °C	Asent. (cm)	Consist	$\delta r$ (kg/m <sup>3</sup> )	Ry
G_21	07/05/2019	15h30	Media	Buena	17.8	5	Plástica	<b>2407.0</b>	<b>0.96</b>
		16h40	Media	Buena	18.4	5.5	Plástica	<b>2410.9</b>	<b>0.96</b>
G_24	25/04/2019	16h00	Buena	Excel	19.8	9.5	Plástica	<b>2423.5</b>	<b>0.95</b>
		17h10	Buena	Excel	19.6	7.0	Plástica	<b>2436.9</b>	<b>0.94</b>
Gt_21	13/05/2019	15h45	Buena	Buena	19.3	6	Plástica	<b>2379.2</b>	<b>0.99</b>
		17h00	Buena	Buena	17.8	8.0	Plástica	<b>2381.8</b>	<b>0.99</b>
Gt_24	09/05/2019	16h00	Baja	Buena	22.30	4.50	Semi-Sec	<b>2402.4</b>	<b>0.97</b>
		17h15	Baja	Buena	19.30	4.5	Semi-Sec	<b>2398.9</b>	<b>0.97</b>
LC_21	23/04/2019	15h30	Buena	Buena	19.5	7.5	Plástica	<b>2429.3</b>	<b>0.97</b>
LC_24	24/04/2019	15h30	Buena	Buena	19.5	8.5	Plástica	<b>2423.3</b>	<b>0.98</b>
		16h30	Buena	Buena	19.2	8	Plástica	<b>2429.2</b>	<b>0.97</b>
P_21	06/05/2019	14h55	Buena	Buena	19.2	7	Plástica	<b>2431.3</b>	<b>0.97</b>
		16h05	Buena	Buena	19.4	7	Plástica	<b>2428.4</b>	<b>0.97</b>
P_24	29/04/2019	15h10	Media	Reg	19.90	6.50	Plástica	<b>2422.9</b>	<b>0.97</b>
		16h30	Media	Reg	19.40	6.00	Plástica	<b>2429.9</b>	<b>0.96</b>

**Comentario:** Se utilizó un plastificante tipo E al 0.5% del peso del cemento, el cual redujo entre un 5 a 15% el agua requerida originalmente manteniendo el asentamiento de diseño.



### 3.1.4.2. Ensayos del hormigón en estado endurecido

Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico; INEN 1573 a edades de 7, 14, 21 y 28 días

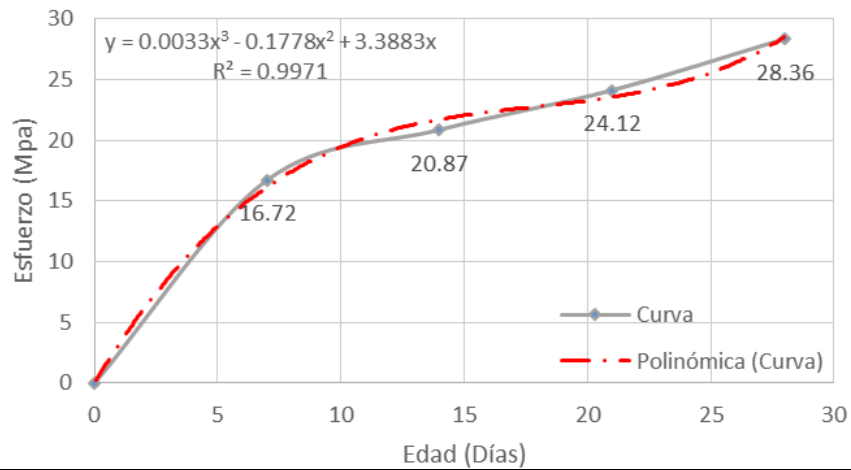


GADMFO\_Guayusa Trit (Río Coca)

Gt\_21

Fecha elab	Fecha rot	Edades	Densidad promedio kg/m³	Esfuerzo promedio MPa	%	Control Esf	
						Coef Varia	Rango
13/05/2019	20-05-2019	7	2376.09	16.72	70%	1.22%	0.35
	27-05-2019	14	2401.76	20.87	87%	1.43%	0.59
	03-06-2019	21	2416.69	24.12	101%	3.04%	1.33
	10-06-2019	28	2362.39	28.36	118%	1.82%	1.03

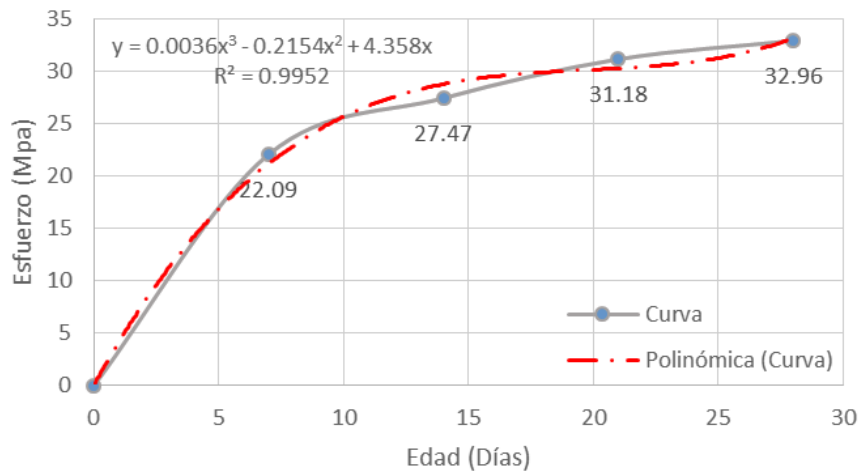
Esfuerzo vs tiempo



Gt\_24

09/05/2019	16-05-2019	7	2413.20	22.09	92%	3.33%	1.43
	23-05-2019	14	2409.04	27.47	114%	3.25%	1.65
	30-05-2019	21	2417.26	31.18	130%	3.10%	1.91
	06-06-2019	28	2389.08	32.96	137%	1.51%	0.90

Esfuerzo vs tiempo

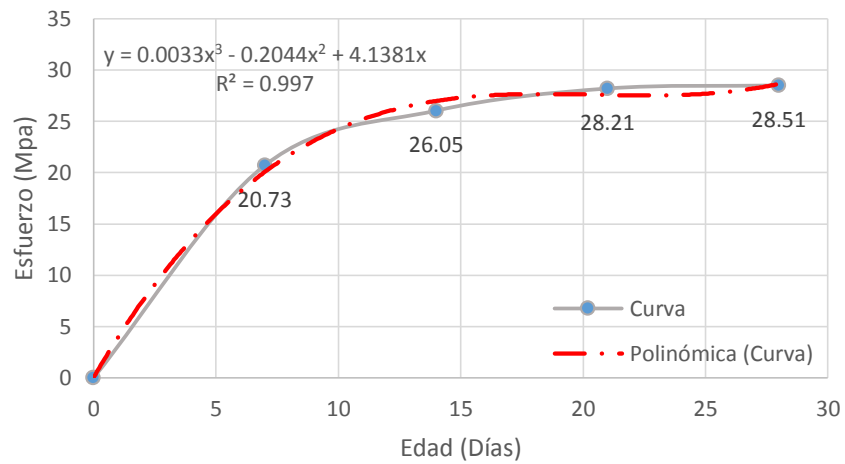


**GADMFO\_La Conde (Río Napo)**

**Lc\_21**

Fecha elab	Fecha rot	Edades	Densidad promedio kg/m³	Esfuerzo promedio MPa	%	Control Esf	
						Coef Varia	Rango
23/04/2019	30-04-2019	7	2428.19	20.73	99%	1.91%	0.69
	07-05-2019	14	2420.56	26.05	124%	3.08%	1.53
	14-05-2019	21	2417.46	28.21	134%	3.15%	1.74
	21-05-2019	28	2414.00	28.51	136%	2.84%	1.61

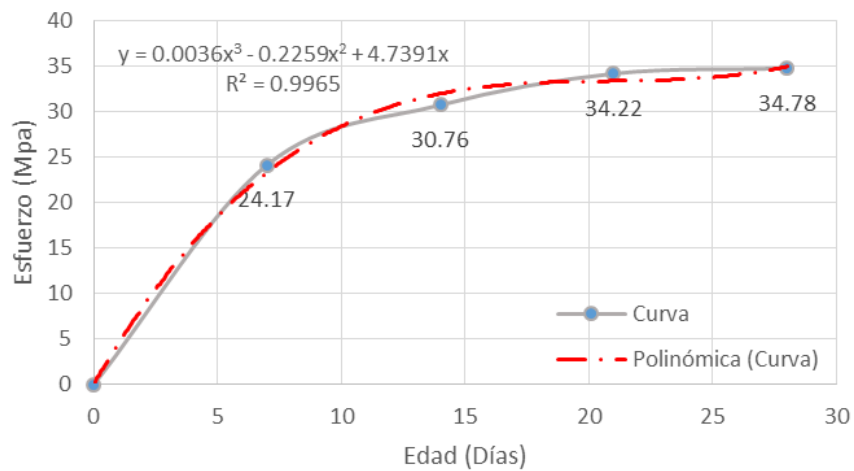
**Esfuerzo vs tiempo**

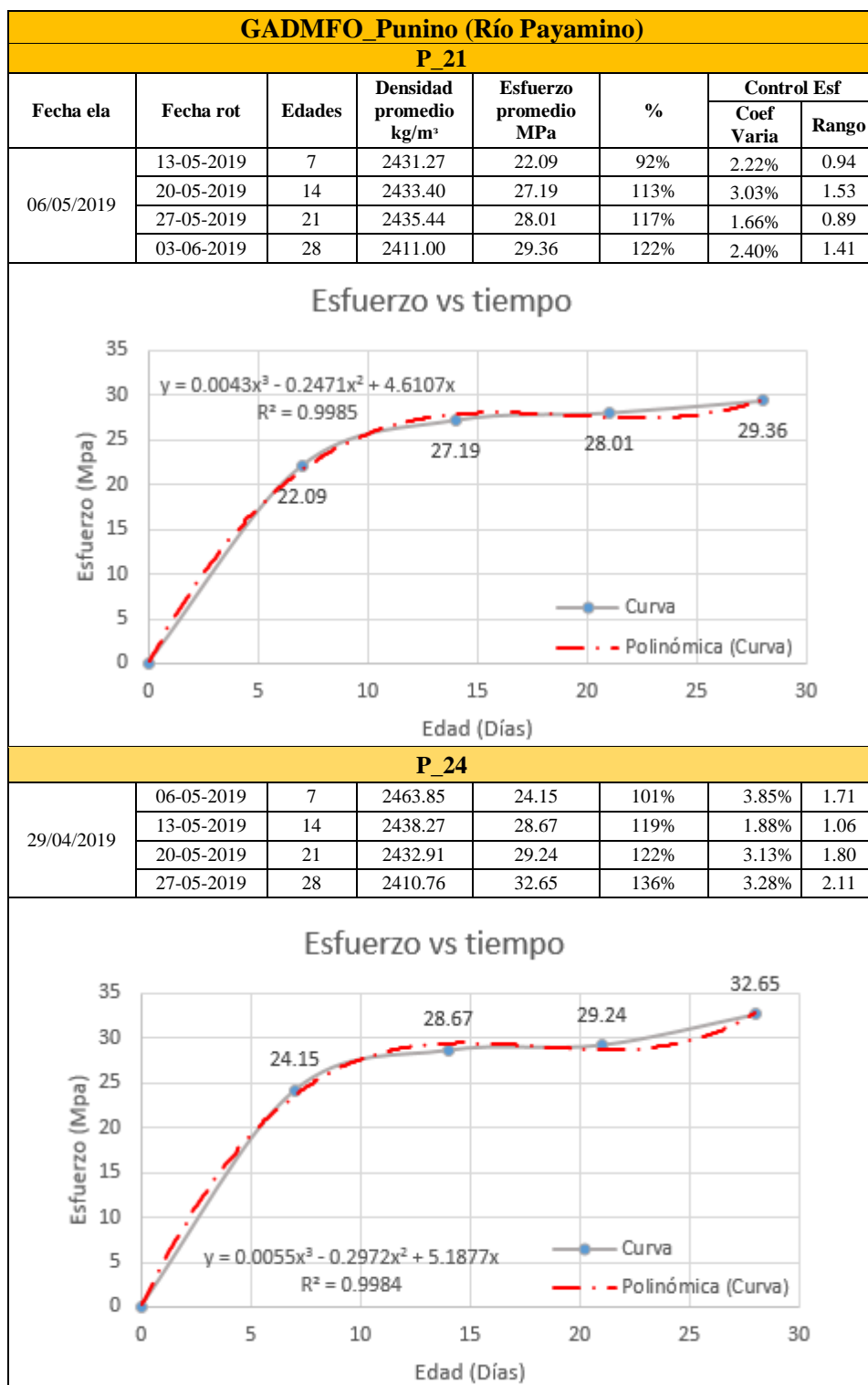


**Lc\_24**

24/04/2019	01-05-2019	7	2452.99	24.17	101%	1.51%	0.70
	08-05-2019	14	2445.49	30.76	128%	2.77%	1.53
	15-05-2019	21	2430.56	34.22	143%	2.54%	1.65
	22-05-2019	28	2401.99	34.78	145%	3.05%	1.88

**Esfuerzo vs tiempo**





Debido a la utilización del aditivo tipo E, las resistencias a edades tempranas se elevaron rápidamente alcanzando entre el 90 al 100%; de igual manera las resistencias finales a la compresión superaron el límite superior del 105% en todos los casos, pues éste redujo la cantidad de agua manteniendo una docilidad aceptable, implicando una reducción de la relación a/c hasta en un 11%.

## **Determinación del MEE del hormigón; ASTM C469-02**

### **Comentarios:**

El MEE obtenido para cada probeta proviene del promedio de las dos lecturas efectuadas, mientras que la densidad en relación de la masa y el volumen.

Las probetas con la marca de asterisco\* (7 en total) no fueron consideradas para el cálculo del MEE pero sí para la densidad, debido a que al momento de efectuar su ensayo no se retiraron las guías del equipo (4) o sus valores obtenidos estaban fuera de rango (3), percatándose su influencia solo hasta el procesamiento de los datos brutos.

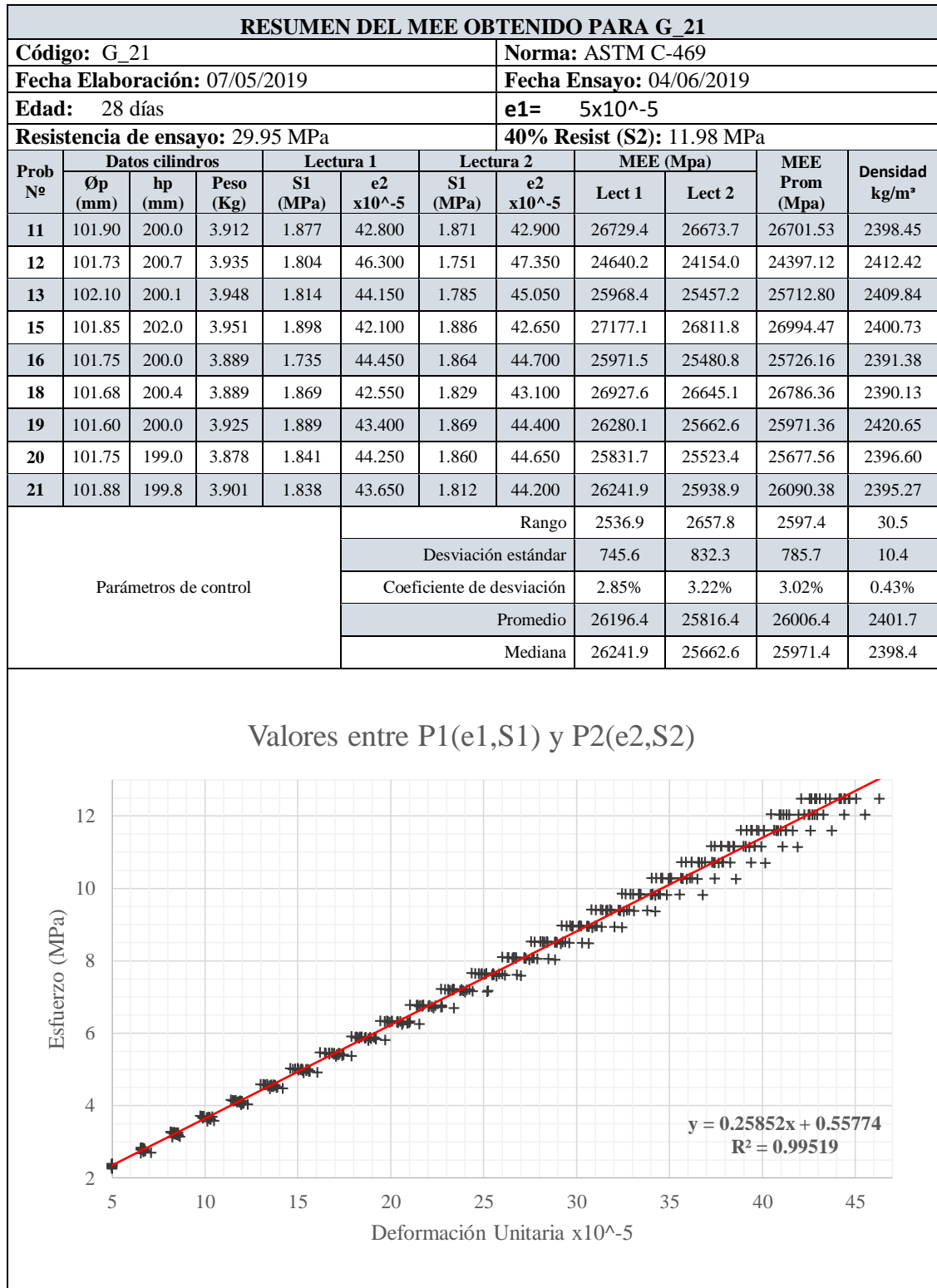
Los parámetros de control más relevantes son tres: coeficiente de desviación, promedio y mediana, pues para el primero se considera que los datos obtenidos se encuentran agrupados y son representativos cuando su valor es lo más cercano al 0%, esto confirmándose con la interacción de los otros dos, ya que si la mediana y la media son iguales o muy cercanos la distribución de los datos será simétrica.

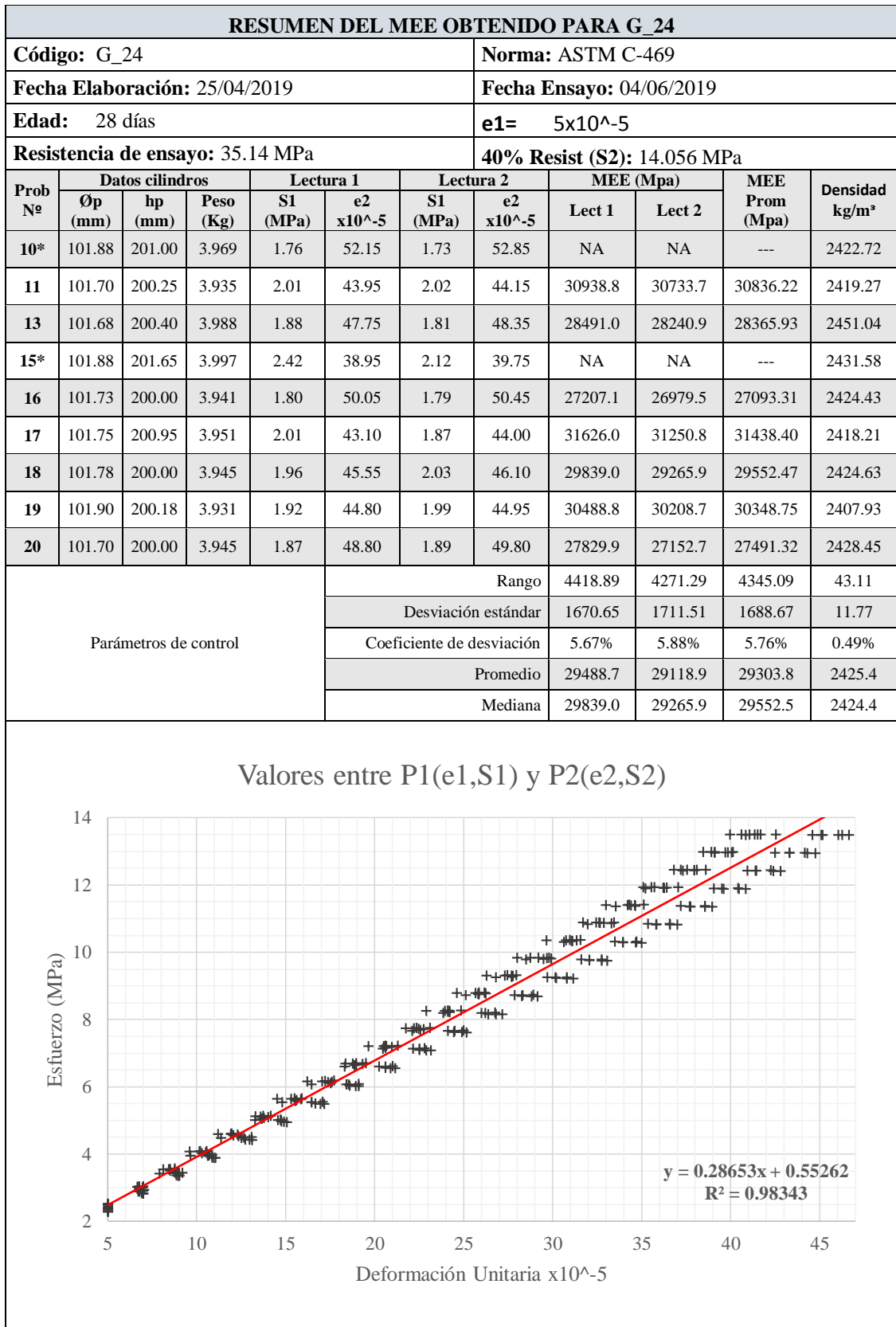
El valor adoptado para el MEE y la densidad será el correspondiente al de la media aritmética de todos las probetas ensayadas para cada caso.

Respecto a las gráficas se consideraron 24 valores para cada lectura, tomando el rango entre S2 y S1, para luego distribuirlo en parte iguales e interpolar linealmente los datos para los valores intermedios entre los puntos de inicio y fin es decir  $P1=(0.00005, S1)$  y  $P2=(e2, S2)$  respectivamente; de esta manera se presentan un máximo de 432 puntos para obtener una línea de tendencia que representa el total de las probetas ensayadas en cada caso; además se muestran la ecuación y el R cuadrado, recordando para este último que mientras más cercano sea su valor de 1, mejor será el ajuste del modelo.

**GADMFO: Guayusa (Río Coca)**

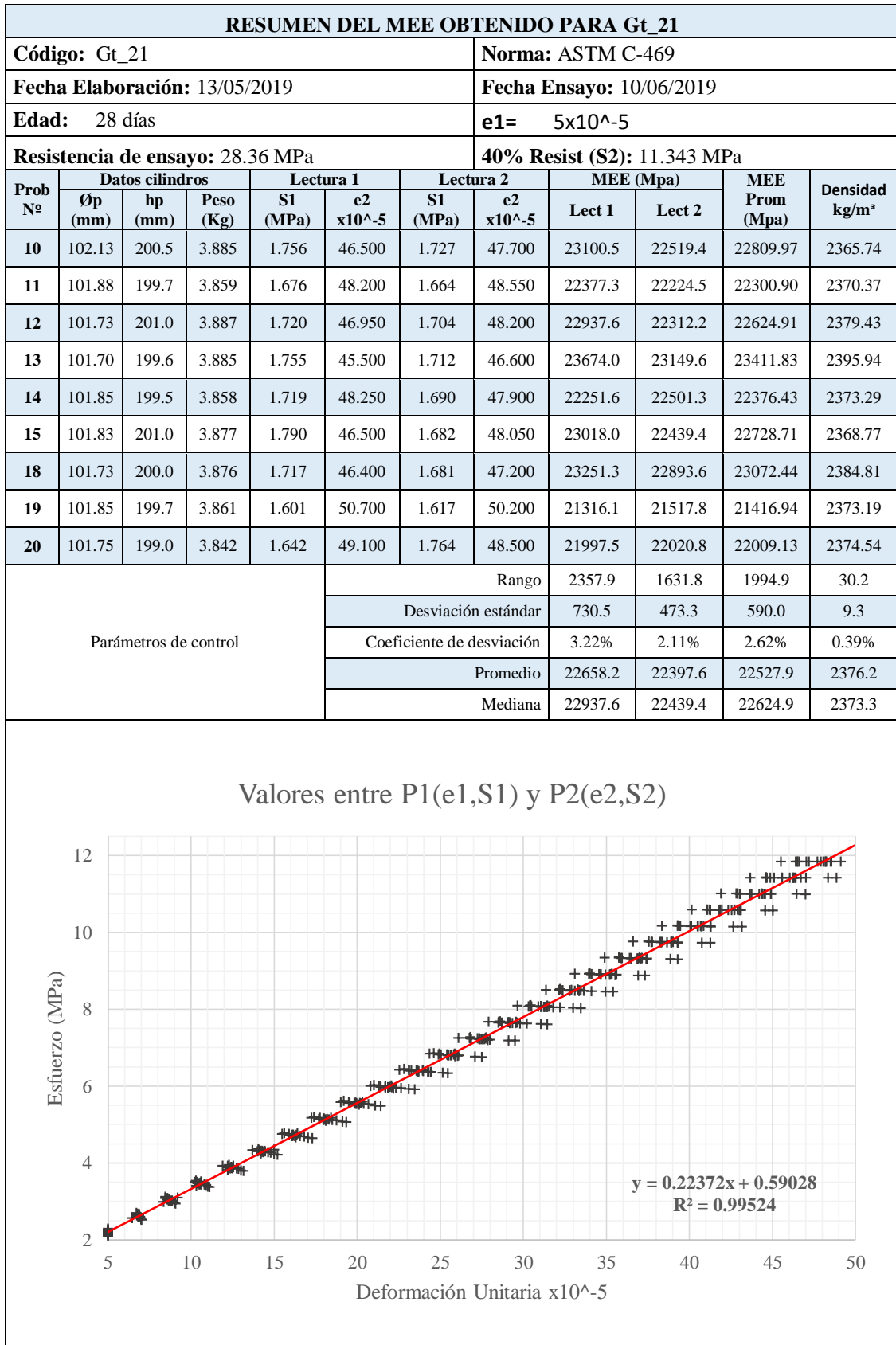
➤ **Zarandeado**





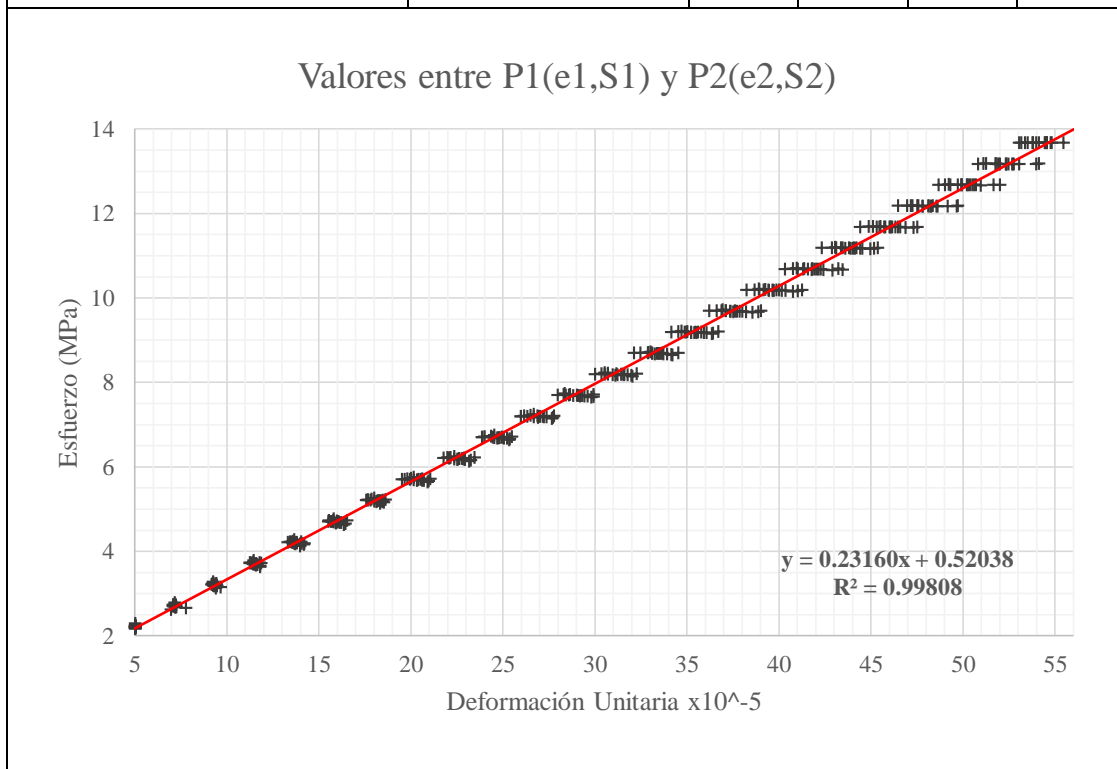
\*Valor no considerado

➤ Triturado





RESUMEN DEL MEE OBTENIDO PARA Gt_24													
Código: Gt_24						Norma: ASTM C-469							
Fecha Elaboración: 09/05/2019						Fecha Ensayo: 06/06/2019							
Edad: 28 días						e1= 5x10 <sup>-5</sup>							
Resistencia de ensayo: 32.96 MPa						40% Resist (S2): 13.18 MPa							
Prob Nº	Datos cilindros			Lectura 1		Lectura 2		MEE (Mpa)		MEE Prom (Mpa)	Densidad kg/m <sup>3</sup>		
	Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	Lect 1	Lect 2				
10	101.93	201.0	3.920	1.695	54.750	1.705	54.500	23090.1	23186.1	23138.10	2390.10		
12	101.70	200.8	3.911	1.688	54.800	1.721	54.550	23081.0	23131.4	23106.17	2397.38		
13	101.95	199.7	3.894	1.730	53.150	1.705	54.100	23785.1	23375.4	23580.22	2388.66		
14	101.75	199.8	3.889	1.764	53.800	1.753	52.950	23399.3	23836.2	23617.75	2393.65		
16	101.98	199.5	3.888	1.682	54.400	1.731	53.500	23280.6	23611.1	23445.82	2386.07		
17	101.93	200.7	3.905	1.628	55.450	1.738	54.450	22901.8	23142.6	23022.21	2384.33		
18	101.70	200.0	3.877	1.718	53.950	1.803	53.350	23421.1	23534.9	23477.97	2386.29		
19	101.78	199.5	3.868	1.664	56.050	1.752	56.150	22562.3	22347.3	22454.81	2383.26		
20	101.68	199.3	3.875	1.730	53.750	1.712	54.500	23491.9	23171.5	23331.72	2394.92		
Parámetros de control								Rango		1222.75	1488.93	1162.94	14.12
								Desviación estándar		360.44	421.42	363.67	4.97
								Coeficiente de desviación		1.55%	1.81%	1.56%	0.21%
								Promedio		23223.7	23259.6	23241.6	2389.4
								Mediana		23280.6	23186.1	23331.7	2388.7



**GADMFO: La Conde (Río Napo)**

RESUMEN DEL MEE OBTENIDO PARA LC_21												
Código: LC_21						Norma: ASTM C-469						
Fecha Elaboración: 23/04/2019						Fecha Ensayo: 21/05/2019						
Edad: 28 días						e1= 5x10 <sup>-5</sup>						
Resistencia de ensayo: 28.51 MPa						40% Resist (S2): 11.40 MPa						
Prob Nº	Datos cilindros			Lectura 1		Lectura 2		MEE (Mpa)		MEE Prom (Mpa)	Densidad kg/m³	
	Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	Lect 1	Lect 2			
12	102.13	201.0	3.962	1.920	40.400	1.829	40.050	26790.9	27317.9	27054.38	2406.44	
13*	102.08	200.2	3.951	2.824	33.200	4.080	28.400	N/A	N/A	N/A	2411.77	
14	101.53	200.0	3.919	2.001	39.800	1.972	40.250	27021.3	26756.7	26888.99	2420.71	
15	101.85	201.0	3.985	2.033	37.250	2.010	37.150	29056.7	29217.8	29137.26	2433.19	
16	102.08	200.0	3.947	1.935	39.250	1.882	39.750	27647.3	27401.9	27524.59	2411.56	
18	101.75	200.4	3.929	1.926	39.400	1.929	39.300	27552.4	27624.7	27588.53	2411.40	
20	101.60	199.8	3.884	1.748	40.550	1.736	40.850	27160.7	26968.3	27064.50	2397.64	
21*	101.73	200.0	3.896	3.410	28.450	3.325	29.450	N/A	N/A	N/A	2396.62	
Parámetros de control								Rango	2265.8	2461.2	2248.3	36.6
								Desviación estándar	810.7	875.3	829.4	11.9
								Coeficiente de desviación	2.94%	3.18%	3.01%	0.49%
								Promedio	27538.2	27547.9	27543.0	2411.2
								Mediana	27356.5	27359.9	27294.5	2411.5
Valores entre P1(e1,S1) y P2(e2,S2)												
<p style="text-align: center;">Esfuerzo (MPa)</p> <p style="text-align: center;">Deformación Unitaria x10<sup>-5</sup></p> <p style="text-align: right;">y = 0.27260x + 0.55729 R<sup>2</sup> = 0.99463</p>												

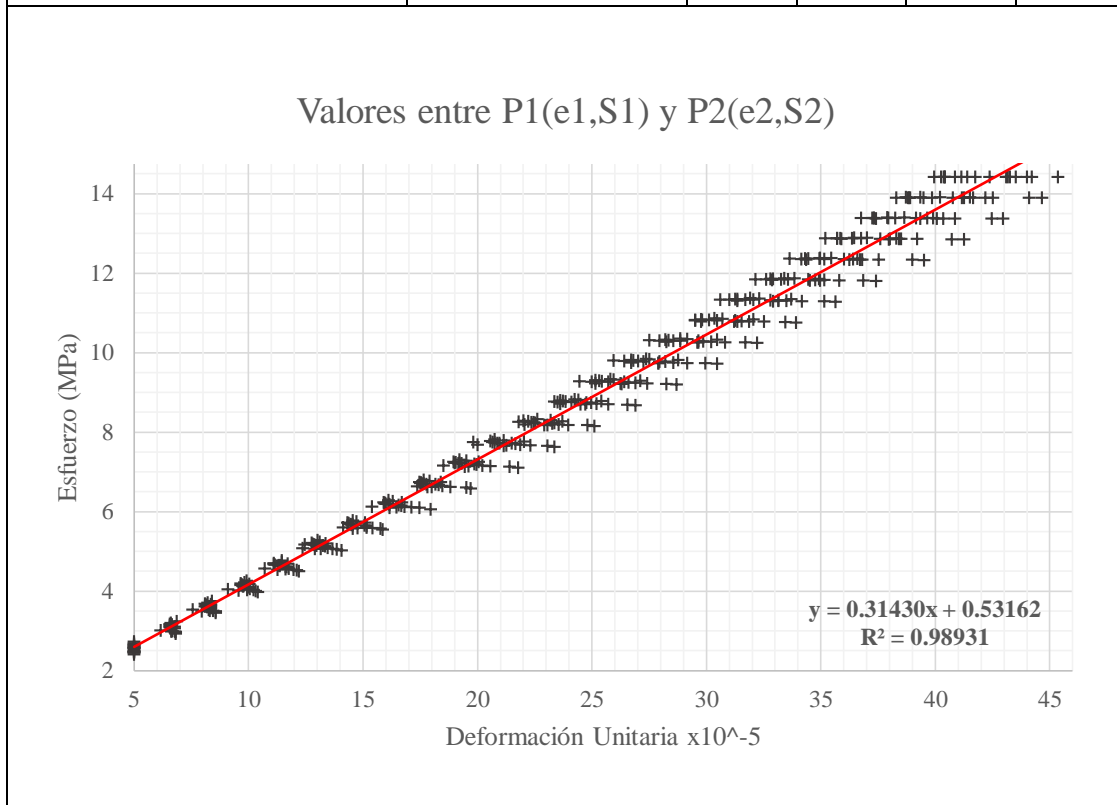
\*Valor no considerado

**RESUMEN DEL MEE OBTENIDO PARA LC\_24**

<b>Código:</b> LC_24	<b>Norma:</b> ASTM C-469
<b>Fecha Elaboración:</b> 24/04/2019	<b>Fecha Ensayo:</b> 22/05/2019
<b>Edad:</b> 28 días	<b>e1=</b> 5x10 <sup>-5</sup>
<b>Resistencia de ensayo:</b> 34.78 MPa	<b>40% Resist (S2):</b> 13.91 MPa

Prob Nº	Datos cilindros			Lectura 1		Lectura 2		MEE (Mpa)		MEE Prom (Mpa)	Densidad kg/m³
	Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	Lect 1	Lect 2		
10	101.98	201.6	3.979	2.155	40.250	2.128	40.400	33353.9	33289.7	33321.79	2416.67
11	101.65	200.4	3.961	1.970	44.000	1.967	44.200	30620.5	30472.6	30546.58	2435.83
12	101.80	201.0	3.965	1.958	43.500	2.145	43.150	31049.5	30846.2	30947.89	2423.30
13	101.85	199.5	3.945	2.044	43.100	1.997	43.250	31151.3	31150.4	31150.81	2426.82
14	101.58	200.0	3.933	2.095	41.100	2.072	41.400	32734.7	32527.3	32630.98	2426.72
16	101.85	200.2	3.922	2.110	39.950	2.083	40.350	33768.5	33462.6	33615.56	2404.54
17	101.93	200.0	3.953	1.948	45.800	1.908	46.300	29324.2	29066.8	29195.53	2422.34
19	101.70	200.8	3.935	1.990	40.400	2.232	40.850	33680.4	32581.6	33131.00	2412.22
21	101.93	200.9	3.944	2.185	41.750	2.062	42.300	31911.2	31771.0	31841.11	2405.81

Parámetros de control	Rango	4444.3	4395.7	4420.0	31.3
	Desviación estándar	1541.1	1439.2	1482.1	10.4
	Coficiente de desviación	4.82%	4.54%	4.66%	0.43%
	Promedio	31954.9	31685.4	31820.1	2419.4
	Mediana	31911.2	31771.0	31841.1	2422.3



## GADMFO: Punino 2 (Río Payamino)

RESUMEN DEL MEE OBTENIDO PARA P_21												
Código: P_21						Norma: ASTM C-469						
Fecha Elaboración: 06/05/2019						Fecha Ensayo: 03/06/2019						
Edad: 28 días						e1= 5x10 <sup>-5</sup>						
Resistencia de ensayo: 29.36 Mpa						40% Resist (S2): 11.746 Mpa						
Prob N°	Datos cilindros			Lectura 1		Lectura 2		MEE (Mpa)		MEE Prom (Mpa)	Densidad kg/m³	
	Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	Lect 1	Lect 2			
10	102.05	202.00	3.953	1.891	41.300	1.905	42.150	27148.2	26489.0	26818.62	2392.54	
11	102.20	200.50	3.921	1.832	42.900	1.827	43.350	26158.4	25863.2	26010.77	2383.92	
13	101.83	200.00	3.918	1.931	40.900	1.922	41.800	27338.8	26693.5	27016.17	2405.67	
15	101.83	201.70	3.959	1.982	39.450	1.979	39.300	28341.7	28474.7	28408.20	2410.35	
16	101.65	200.30	3.921	1.921	39.700	1.949	40.100	28313.3	27909.9	28111.59	2412.19	
17*	101.68	200.60	3.901	1.757	45.300	1.742	45.700	NA	NA	---	2395.12	
19	101.68	200.50	3.920	1.964	39.000	1.951	39.250	28769.2	28596.3	28682.76	2407.98	
20*	101.75	199.20	3.915	3.974	21.900	3.933	23.050	NA	NA	---	2417.04	
21	101.90	200.60	3.942	2.063	37.400	2.052	37.700	29885.3	29645.0	29765.13	2409.61	
Medidas de control								Rango	3726.9	3781.8	3754.4	33.1
								Desviación Estándar	1218.9	1358.7	1283.2	10.8
								Coeficiente de desviación	4.35%	4.91%	4.61%	0.45%
								Promedio	27993.6	27667.4	27830.5	2403.8
								Mediana	28313.3	27909.9	28111.6	2408.0

Valores entre P1(e1,S1) y P2(e2,S2)

Esfuerzo (MPa)

Deformación Unitaria x10<sup>-5</sup>

$y = 0.27459x + 0.60319$   
 $R^2 = 0.98922$

RESUMEN DEL MEE OBTENIDO PARA P_24											
Código: P_24						Norma: ASTM C-469					
Fecha Elaboración: 29/04/2019						Fecha Ensayo: 27/05/2019					
Edad: 28 días						e1= 5x10 <sup>-5</sup>					
Resistencia de ensayo: 32.65 Mpa						40% Resist (S2): 13.06 Mpa					
Prob Nº	Datos cilindros			Lectura 1		Lectura 2		MEE (Mpa)		MEE Prom (Mpa)	Densidad kg/m <sup>3</sup>
	Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	S1 (MPa)	e2 x10 <sup>-5</sup>	Lect 1	Lect 2		
10	102.13	201.10	3.925	2.728	39.350	2.550	40.000	30080.2	30029.3	30054.71	2382.54
11	101.85	200.60	3.930	2.549	40.250	2.566	40.500	29818.7	29560.9	29689.82	2404.88
12	101.90	201.40	3.962	2.325	39.150	2.127	40.400	31436.3	30886.2	31161.29	2412.04
14	101.88	200.50	3.957	2.680	38.300	2.664	38.350	31171.3	31172.6	31171.92	2420.87
15	101.70	202.00	3.977	2.604	40.100	2.558	40.450	29790.1	29627.1	29708.60	2423.36
17	102.00	200.30	3.942	2.729	40.900	2.617	42.300	28777.6	27997.8	28387.72	2408.62
19	101.70	200.10	3.957	2.091	40.200	2.106	41.200	31163.2	30261.7	30712.48	2434.43
20*	102.10	200.00	3.924	1.939	44.300	1.925	45.900	N/A	N/A	N/A	2396.21
21	101.90	200.60	3.961	2.053	43.000	1.871	43.900	28965.6	28764.7	28865.16	2421.41
Medidas de control				Rango		2658.8	3174.7	2784.2	51.9		
				Desviación Estándar		1018.0	1051.2	1020.7	15.7		
				Coeficiente de desviación		3.38%	3.53%	3.41%	0.65%		
				Promedio		30150.4	29787.5	29969.0	2411.6		
				Mediana		29949.4	29828.2	29881.7	2412.0		

Valores entre P1(e1,S1) y P2(e2,S2)

$y = 0.29733x + 0.96536$   
 $R^2 = 0.98823$

\*Valor no considerado

### 3.1.4. Análisis de los resultados

#### 3.1.4.1.MEE del hormigón

En la Tabla 49 se aprecia que la variación entre el valor experimental obtenido y la primera fórmula para el cálculo del ME mencionada en el ACI 318-14 (a)  $E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'c}$  (en MPa) y  $E_c = w_c^{1.5} 0.14 \sqrt{f'c}$  (en Kg/cm<sup>2</sup>) [2] varía entre el -19.4% al 1.3%, siendo las más altas para el árido triturado, esto se justificaría por la porosidad en la mezcla obtenida, ya que a comparación del resto poseen el las densidades más bajas, así como su contenido de humedad, justificándose con lo expuesto en la Tabla 21 por Serrano y Pérez [20], además de poseer un tamaño de agregado menor provocando que la relación final de árido fino-árido grueso aumente, reduciendo de esta manera el ME por la mayor cantidad de arena que posee como concluyeron Serpa y Vázquez [8].

Se considera que de manera general la fórmula que incluye el efecto de la densidad (a) proporciona una mejor estimación del ME a partir de la resistencia a la compresión [1], pero a su vez es la más sensible a su variación, observándose ambos casos, el primero para las minas La Conde y Punino, mientras el segundo en Guayusa.

**Tabla 49. Comparativa entre MEE experimental y teórico del hormigón**

IDENTIFICACIÓN		DATOS OBTENIDOS			MEE TEÓRICO				FACTORES OBTENIDOS			
GADMFO	Cód	Resist de ensayo (MPa)	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	MEE ASTM C496-02 (MPa)	ACI 318-14				Ec en Mpa		Ec en Kg/cm <sup>2</sup>	
					(a) Wc entre 1440 a 2560 kg/m <sup>3</sup>	% Var	(b) Concreto peso normal	% Var	ka	kb	ka	kb
GUAYUSA	G_21	29.95	2401.72	26006.4	27698.51	-6.1%	25721.84	1.1%	0.0404	4752.0	0.1289	15174.6
	G_24	35.14	2428.45	29303.8	30504.16	-3.9%	27860.87	5.2%	0.0413	4943.4	0.1319	15785.8
	Gt_21	28.36	2376.23	22527.9	26523.28	-15.1%	25027.85	-10.0%	0.0365	4230.5	0.1166	13509.4
	Gt_24	32.96	2389.41	23241.6	28831.72	-19.4%	26981.41	-13.9%	0.0347	4048.6	0.1107	12928.2
LA CONDE	Lc_21	28.51	2411.17	27543.0	27183.60	1.3%	25095.47	9.8%	0.0436	5158.4	0.1391	16472.3
	Lc_24	34.78	2419.36	31820.1	30177.92	5.4%	27718.41	14.8%	0.0453	5395.5	0.1448	17229.4
PUNINO	P_21	29.36	2403.82	27830.5	27461.89	1.3%	25468.64	9.3%	0.0436	5135.9	0.1392	16400.3
	P_24	32.65	2411.60	29969.0	29098.68	3.0%	26856.29	11.6%	0.0443	5244.7	0.1414	16748.0

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

### Factores locales $ka$ y $kb$

La Tabla 49 también presenta los factores  $ka$  y  $kb$ , aludiendo a los literales en que se presentan dichas fórmulas expuestas por el ACI-318-14 [2], que se relacionan con el MEE experimental, peso específico y resistencia a la compresión del hormigón, obteniéndoselos así:

(a) Para valores de  $w_c$  entre 1440 y 2560 kg/m<sup>3</sup>

$$E_c = w_c^{1.5} \mathbf{0.043} \sqrt{f'_c} \quad E_c = w_c^{1.5} \mathbf{0.043} \sqrt{f'_c} \text{ (en MPa) (19.2.2.1.a)} \quad E_c = w_c^{1.5} \mathbf{0.14} \sqrt{f'_c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)} \quad (15)$$

$$E_c = w_c^{1.5} \mathbf{ka} \sqrt{f'_c}$$

$$\mathbf{ka} = \frac{E_c}{w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}} \quad (17)$$

(b) Para concreto de peso normal

$$E_c = \mathbf{4700} \sqrt{f'_c} \quad E_c = \mathbf{4700} \sqrt{f'_c} \text{ (en MPa) (19.2.2.1.b)} \quad E_c = \mathbf{15100} \sqrt{f'_c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)} \quad (16)$$

$$E_c = \mathbf{kb} \sqrt{f'_c}$$

$$\mathbf{kb} = \frac{E_c}{\sqrt{f'_c}} \quad (18)$$

Para trabajar en Kg/cm<sup>2</sup>

$$\mathbf{ka} = \frac{E_c}{w_c^{1.5}} \sqrt{\frac{10.1972}{f'_c}} \rightarrow E_c = w_c^{1.5} \mathbf{ka} \sqrt{f'_c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

$$\mathbf{kb} = E_c \sqrt{\frac{10.1972}{f'_c}} \rightarrow E_c = \mathbf{kb} \sqrt{f'_c} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

Donde,

$E_c$  = MEE del hormigón experimental, MPa

$f'_c$  = Resistencia a la compresión del concreto obtenida, MPa

$w_c$  = Peso unitario del hormigón obtenido por el método gravimétrico, kg/m<sup>3</sup>

$1\text{Mpa} = 10.1972 \text{ kg/cm}^2$

De los parámetros de control que se consideraron en la Tabla 50 se tiene el coeficiente de desviación en porcentajes que van desde el 1.14 al 3.69%, manteniendo un buen ajuste de los valores obtenidos, ratificándose al comparar la mediana con el promedio en donde la variación es muy pequeña.

Respecto a los porcentajes de variación entre el valor experimental vs el teórico se tienen valores entre el 2.17 al -17.2%.

**Tabla 50. Factores de la zona para el MEE del hormigón**

GADMFO	CÓD	FACTORES (Ec en Mpa)		Parámetros de control					% Var E/T	
				Rango	Desv	Coef Desv	Mediana	Promedio Ec en Mpa		Promedio Ec en Kg/cm <sup>2</sup>
GUAYUSA ZARAND	G_21	ka	0.0404	9.3E-04	0.0007	1.62%	0.0408	0.0408	0.1304	-5.02%
	G_24		0.0413							
	G_21	kb	4752.0	191.41	135.349	2.79%	4847.70	4847.7	15480.2	3.14%
	G_24		4943.4							
GUAYUSA TRIT	Gt_21	ka	0.0365	1.9E-03	0.0013	3.69%	0.0356	0.0356	0.1137	-17.2%
	Gt_24		0.0347							
	Gt_21	kb	4230.5	181.98	128.680	3.11%	4139.55	4139.5	13218.8	-11.9%
	Gt_24		4048.6							
LA CONDE	Lc_21	ka	0.0436	1.8E-03	0.0013	2.82%	0.0445	0.0445	0.1420	3.4%
	Lc_24		0.0453							
	Lc_21	kb	5158.4	237.11	167.660	3.18%	5276.95	5276.9	16850.9	12.3%
	Lc_24		5395.5							
PUNINO	P_21	ka	0.0436	7.1E-04	0.0005	1.14%	0.0439	0.0439	0.1403	2.17%
	P_24		0.0443							
	P_21	kb	5135.9	108.88	76.992	1.48%	5190.29	5190.3	16574.2	10.43%
	P_24		5244.7							

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

En ésta misma tabla se presentan los factores unificados por lugar de origen, observándose que para La Conde y Punino sus valores se acercan mucho el uno al otro, en ambos casos ka y kb y de igual manera presentan valores más altos a diferencia de los agregados procedentes de Guayusa, que en el caso de ka tienen los valores más



alejados al igual que kb para el material triturado, todos estos porcentajes relacionados a las constantes ka de 0.043 y kb de 4700 para f'c en MPa.

Finalmente en la Tabla 51 se exponen los factores ka y kb para su utilización según sea la procedencia del material y de esta manera obtener el ME necesario.

**Tabla 51. Factores locales Ka y Kb propuestos**

Procedencia	(a)	Ka		(b)	Kb	
		Para MPa	Para Kg/cm <sup>2</sup>		Para MPa	Para Kg/cm <sup>2</sup>
GADMFO: Guayusa zarandeado	$E_c = w_c^{1.5} k a \sqrt{f'c}$	0.0408	0.1304	$E_c = k b \sqrt{f'c}$	4850	15490
Guayusa triturado (Río Coca)		0.0356	0.1137		4140	13220
GADMFO: La Conde (Río Napo)		0.0445	0.1420		5275	16840
GADMFO: Punino (Río Payamino)		0.0439	0.1403		5190	16570

*Realizado por: Ismael Manosalvas*

### 3.2. Verificación de hipótesis

El módulo de elasticidad estático (MEE) que se logró con la norma ASTM C469 se mantuvo en una variación del  $\pm 20\%$  respecto a la ecuación empírica propuesta por ACI 318, al obtenerse valores del **-19.4% al 5.4%** para la ecuación que considera la densidad (a) y del **-13.9% al 14.8%** para la ecuación (b) que solo relaciona la resistencia a la compresión señalados en la Tabla 49, esto al haberse utilizado los agregados de las minas GADMFO: Guayusa, La Conde y Punino 2, del cantón Fco. de Orellana, provincia de Orellana.

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. Conclusiones específicas

- Se determinaron las propiedades físico-mecánicas fundamentales de los agregados de las minas GADMFO: La Conde, Guayusa y Punino 2, requeridas para la dosificación del hormigón, así como otras indicadas en la INEN 872 para su aceptación, resultando en materiales que se adecúan a los parámetros establecidos, a excepción de los límites granulométricos del árido fino.
- Se obtuvo el diseño de las mezclas de hormigón para resistencias a la compresión a los 28 días de: 210 y 240 kg/cm<sup>2</sup>, aplicando el método de la densidad óptima, obteniéndose resistencias superiores a la de diseño al incorporar aditivo plastificante a la mezcla y mantener el asentamiento de diseño.
- Se proponen los siguientes constantes para el cálculo del MEE del hormigón para su aplicación en el cantón Francisco de Orellana, a partir de las correlaciones entre los agregados utilizados, el peso específico y la resistencia a la compresión del hormigón, teniéndose así los valores de **0.0408**, **0.0356**, **0.0445** y **0.0439** para las minas de Guayusa zarandeado, triturado, La Conde y Punino respectivamente para sustituir en la ecuación de  $E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'c}$  el valor de 0.043 y los valores de **4850**, **4140**, **5275** y **5190** de la misma manera en la ecuación  $E_c = 4700 \sqrt{f'c}$ , ambas en MPa.

## 4.2.Recomendaciones

- Para el árido fino se recomienda su ajuste granulométrico de acuerdo a los límites establecidos por la INEN 872 para su uso en hormigón, para así evitar los inconvenientes debido al aumento de su superficie específica.
- Las actividades de muestreo y reducción a tamaño de ensayo de los agregados deberán ser ejecutadas por personal capacitado y equipos calibrados, logrando que un estudio sea representativo para el sitio de interés.
- Para el árido grueso se recomienda realizar su separación en fracciones de tamaños individuales una vez que se haya ejecutado el análisis granulométrico para así prevenir su segregación y evitar de esta manera la afectación en los resultados de otros ensayos en donde éste parámetro sea muy sensible.
- Procurar que una sola persona sea la encargada de la compactación de las probetas, para mantener una misma energía y propiciar una mayor concentración en su ejecución.
- Utilizar galgas extensiométricas para de esta manera obtener los valores de rotura de las probetas cilíndricas en el mismo ensayo que el del MEE, incrementando así el número de datos para resistencia a la compresión.
- Mantener los especímenes dentro de la cámara de curado mientras se realiza cada ensayo de módulo de elasticidad y solo sacarlos una vez que se dé inicio al mismo, evitando así su pérdida de humedad.
- Se recomienda obtener la densidad de las probetas de hormigón por medio de dos métodos para contrastar los resultados, pues su variación afecta el valor obtenido al aplicar la fórmula (a) del ACI para el cálculo del ME del hormigón.

- Realizar el ensayo a flexión de cuatro puntos para obtener el módulo cortante y el MEE, permitiría contrastar los datos obtenidos y el despeje teórico del módulo de Poisson.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. Vakhshouri and S. Nejadi, “Empirical models and design codes in prediction of modulus of elasticity of concrete,” *Front. Struct. Civ. Eng.*, pp. 1–11, 2018.
- [2] C. ACI 318, “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14),” 2014.
- [3] P. Alaejos and M. Fernández, “The modulus of elasticity of high performance concrete,” *Mater. Struct.*, vol. 28, no. 10, pp. 559–568, 1995.
- [4] H. Yildirim and O. Sengul, “Modulus of elasticity of substandard and normal concretes,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 4, pp. 1645–1652, 2011.
- [5] L. A. Quintero, J. Herrera, and L. Corzo, “Relación entre la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto evaluada a partir de parámetros ultrasónicos,” *Rev. ION, Bucaramanga*, vol. 24, no. 1, pp. 69–76, 2011.
- [6] A. Alsalman, C. N. Dang, G. S. Prinz, and W. M. Hale, “Evaluation of modulus of elasticity of ultra-high performance concrete,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 153, pp. 918–928, 2017.
- [7] E. R. Arequipa, W. A. Coba, D. F. Garzon, and L. A. Vargas, “Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión simple  $F'_c=21\text{MPa}$  y  $30\text{MPa}$  elaborado con los agregados de la mina San Joaquín provincia del Cotopaxi y el cemento Selva Alegre,” Universidad Central del Ecuador, 2012.
- [8] D. Vázquez Maita and V. Serpa Bojorque, “Determinación del módulo de elasticidad y la resistencia a compresión del hormigón en función de la variabilidad y caracterización de los agregados,” Universidad de Cuenca, 2018.
- [9] M. A. Paucar and G. S. Sacasari, “Caracterización del módulo estático de

elasticidad del hormigón a partir de pruebas a compresión simple en probetas cilíndricas con diferentes agregados del canton Quito, provincia de Pichincha,” Universidad Central del Ecuador, 2017.

- [10] A. P. Quingaluiza, “Determinación del módulo de rotura y deflexiones en vigas de hormigón, en base a su resistencia a la compresión ( $f'_c=24\text{Mpa}$ ), fabricado con cemento Lafarge y materiales procedentes de la cantera del Río Anzú, cantón Tena, provincia del Napo,” Universidad Central del Ecuador, 2014.
- [11] Sika Colombia S.A., “El concreto de hoy,” *Sika informaciones Técnicas*, Bogotá D.C., pp. 1–16, 2010.
- [12] UNACEM, “Fabricación de hormigones de alta calidad.” pp. 1–24, 2009.
- [13] R. N. Quimbay, “Estimación del módulo de elasticidad del concreto y del mortero mediante TCTM,” Bogotá, 2012.
- [14] E. Vidaud and I. N. Vidaud, “Ultrasonido: Aplicación para la determinación del módulo de elasticidad dinámico,” *Construcción y tecnología en concreto*, México, pp. 31–35, Jan-2016.
- [15] J. Lizarazo Marriaga and L. López Yépez, “Effect of sedimentary and metamorphic aggregate on static modulus of elasticity of high-strength concrete,” *DYNA*, vol. 78, no. 170, pp. 235–242, 2011.
- [16] E. A. Bruno and J. C. Peralta, “Determinación del módulo de elasticidad estático a compresión del concreto producido en la planta concretera Dino-Chimbote,” Universidad Nacional del Santa, 2014.
- [17] E. W. García, “Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencias a la compresión ( $f'_c=24\text{Mpa}$ ), fabricado con materiales de la mina Villacres, ubicada en el sector de la península cantón Ambato en la provincia de Tungurahua y cemento Holcim,” Universidad Central del Ecuador, 2013.
- [18] M. F. Carvajal and E. A. Gonzáles, “Comparación de los módulos de elasticidad de concreto normal, con el ensayo de compresión y el ensayo de flexión,” Universidad Pontificia Bolivariana Seccional, 2012.
- [19] D. A. Morales, F. S. Ojeda, D. D. Rodríguez, and A. J. Rosero, “Módulo estático

de elasticidad el hormigón, en base a su resistencia a la compresión:  $f^c=21$  y 28 Mpa, fabricado con materiales de la mina de Guayllabamba-Pichincha y Cemento Selvalegre,” Universidad Central del Ecuador, 2012.

- [20] M. Serrano Guzmán and D. D. Pérez Ruiz, “Análisis de sensibilidad para estimar el módulo de elasticidad estático del concreto,” *Concreto y Cem. Investig. y Desarro.*, vol. 2, no. 1, pp. 17–30, 2010.
- [21] L. M. Torrado and N. A. Porras, “Determinación de las ecuaciones del módulo de elasticidad estático y dinámico del concreto producido en Bucaramanga y su Área Metropolitana,” Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, 2009.
- [22] S. E. Herrería and F. M. Villegas, “Modulos de elasticidad y curvas de esfuerzo deformacion, en base a la compresion del hormigon a 21, 28 ,35 MPA,” Escuela Politécnica del Ejército, 2008.
- [23] M. Fernández, *Hormigón. 10a Edición*, 10<sup>o</sup> Ed. Madrid: Ibergarceta Publicaciones, S.L., 2013.
- [24] A. M. Neville and J. J. Brooks, *Tecnología del concreto*, 1<sup>o</sup> ed. es. México, D. F.: edit. Trillas, S. A. de C. V., 1998.
- [25] GADMFO, “Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Municipal de Francisco de Orellana 2014-2019,” Orellana, 2014.
- [26] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 694:2010; Hormigón y áridos para elaborar hormigón. Terminología.” Quito, pp. 1–7, 2010.
- [27] L. Gutiérrez de Lopez, *El concreto y otros materiales para la construcción*, 2.<sup>o</sup> Ed., vol. 2. Manizales: Universidad Nacional de Colombia, 2003.
- [28] M. S. Mamlouk and J. P. Zanievski, *Materiales para ingeniería civil*, 2<sup>o</sup> ed. Madrid: Pearson Educación, S. A., 2009.
- [29] H. MINETTI, “Guía Práctica : Hormigón Elaborado,” HCB Cementverkauf AG, Argentina, 2008.
- [30] A. M. Neville, *Tecnología del concreto.*, 1<sup>o</sup> ed. México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 1999.

- [31] S. Medina, *Hormigón*, 1º ed. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014.
- [32] MIDUVI (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda), *NEC - Estructuras de hormigón armado*, 2014th ed. Quito, 2015.
- [33] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 1762:2015; Hormigón. Definiciones y terminología.” Quito, pp. 1–7, 2015.
- [34] Z. Li, “Materials for Making Concrete,” in *Advanced Concrete Technology*, Wiley Online Library, 2011, pp. 23–93.
- [35] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 856:2010; Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino.” Quito, pp. 1–12, 2010.
- [36] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 857:2010; Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso.” Quito, pp. 1–11, 2010.
- [37] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 862:2011; Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad.” Quito, 2011.
- [38] F. Abanto, *Tecnología del concreto (Teoría y problemas)*, 2º ed. Lima: Editorial San Marcos, 2009.
- [39] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 858:2010; Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos.” Quito, pp. 1–8, 2010.
- [40] J. A. Escobar, “Determinación del módulo elástico estático del concreto en laboratorio,” Universidad de Guayaquil, 2016.
- [41] J. Chacón Espín and F. Torres Obando, “Comprobación de las propiedades físico-mecánicas de un hormigón elaborado con agregados gruesos de origen triturado y zarandeado,” Universidad Central del Ecuador, 2016.
- [42] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 860:2011; Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas

menores a 37,5mm mediante el uso de la Máquina de los Ángeles.” Quito, pp. 1–7, 2011.

- [43] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 872:2011; Áridos para hormigón. Requisitos.” Quito, pp. 1–16, 2008.
- [44] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 855:2010; Áridos. Determinación de las impurezas orgánicas en el árido fino para hormigón.” Quito, pp. 1–4, 2010.
- [45] A. H. Nilson, *Diseño de estructuras de concreto*, 12°. Santafé de Bogotá, Colombia: McGRAW-HILL INTERAMERICANA, S.A, 1999.
- [46] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 152:2012; Cemento portland. Requisitos.” Quito, pp. 1–14, 2012.
- [47] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 490:2011; Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos.” Quito, pp. 1–14, 2011.
- [48] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 2380:2011; Cemento Hidraulico. Requisitos de desempeño para cementos hidráulicos.” Quito, pp. 1–8, 2011.
- [49] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 156:2009; Cemento hidráulico. Determinación de la densidad.” Quito, 2009.
- [50] T. Harmsen, *El concreto y sus componentes*, 3era ed. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2002.
- [51] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 2617:2012; Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.” Quito, pp. 1–7, 2012.
- [52] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), *Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia de concreto (ACI 214-77)*, 1º ed. México, D. F.: Editorial LIMUSA, S. A. de C. V., 1978.
- [53] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 1855-2:2002;



- Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos.” Quito, pp. 1–23, 2002.
- [54] M. Garzón, “Seminario de graduación, investigación sobre el módulo de elasticidad del hormigón,” Universidad Central del Ecuador, 2010.
- [55] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 3119:2016; Hormigón fresco de cemento hidráulico. Método para determinar la temperatura.” Quito, pp. 1–4, 2016.
- [56] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 1578:2010; Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento.” Quito, pp. 1–6, 2012.
- [57] Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NTE INEN 1579:2013; Hormigón de cemento hidráulico . Determinación de la densidad , rendimiento y contenido de aire ( Método gravimétrico ).” Quito, pp. 1–6, 2013.
- [58] J. G. Cevallos and P. E. Estrella, “Obtención del módulo de elasticidad y coeficiente de poisson del hormigón mediante compresión simple para la provincia de Loja,” Universidad Técnica Particular de Loja, 2004.
- [59] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese, and J. Tanesi, *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Sokie, Illinois: Portland Cement Association, 2004.
- [60] American Society of Testing Materials, “ASTM C469-02.” Filadelfia, pp. 1–5, 2002.
- [61] S. Carrasco, *Metodología de la investigación científica*, 1º ed. Perú: Editorial San Marcos, 2005.
- [62] UCLM and (Universidad de Castilla La Mancha), “Hormigón: Dosificación,” Castilla.
- [63] E. E. Guaño, “Módulo de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión de 21 Mpa, elaborado con agregados del sector la Providencia y cemento Chimborazo,” Universidad Nacional de Chimborazo, 2015.
- [64] A. B. Cadena and P. A. Palacios, “Influencia de la temperatura de curado en la resistencia a la compresión del hormigón y parámetros mecánicos:módulo de elasticidad y coeficiente de Poisson,” Escuela Politécnica Nacional, 2017.

- [65] E. R. Yucato, “Determinación del módulo de rotura y deflexiones en vigas de hormigón, en base a su resistencia a la compresión ( $f^c=28\text{Mpa}$ ), fabricado con cemento Lafarge y materiales procedentes de la cantera del Río Anzú, cantón Tena, provincia del Napo,” Universidad Central del Ecuador, 2014.
- [66] V. X. Ulloa, “Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencias a la compresión ( $f^c=21\text{Mpa}$ ), fabricado con materiales de la mina Villacres, ubicada en el sector de la península cantón Ambato en la provincia de Tungurahua y cemento Holcim,” Universidad Central Del Ecuador, 2013.
- [67] A. Ortega, “La calidad de los agregados de tres canteras de la ciudad de Ambato y su influencia en la resistencia del hormigón empleado en la construcción de obras civiles,” Universidad Técnica de Ambato, 2013.
- [68] J. M. Carvajal, “Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ( $f^c=21\text{ Mpa}$ ), fabricado con materiales de la mina San Ramón, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo,” Universidad Central del Ecuador, 2013.
- [69] B. P. Rivadeneira, “Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resistencia a la compresión ( $f^c=24\text{ Mpa}$ ), fabricado con materiales de la mina San Ramón, ubicada en la parroquia de Mulaló en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo,” Universidad Central del Ecuador, 2013.

## ANEXOS

### Anexo 1.-Tablas 1 y 6 recopiladas por Vakhshouri y Nejadi

**Table 1** Existing models in codes of practice to predict MOE of normal strength concrete

Design code	Model	Limits and coefficients
ACI 318- 08 [38]	$E_c = 0.043w^{1.5}(f'_c)^{0.5}$ MPa, kg/m <sup>3</sup> , $E_c = 4730(f'_c)^{0.5}$ MPa	1440 < w < 2500 kg/m <sup>3</sup>
Modified ACI 318-95 [54]	$E_c = 30.16w^{1.5}(f'_c)^{0.5} + 484200$ , E in psi; $f'_c$ in psi; w in pcf	
ACI 363R-92, (1997) [55]	$E_c = 3320(f'_c)^{0.5} + 6890$	21 MPa < $f'_c$ < 83 MPa
ACI-209-2R-08 [56]	$E_c = 0.043w^{1.5}(f'_c)^{0.5}$ MPa, kg/m <sup>3</sup> , $E_c = 4730(f'_c)^{0.5}$ MPa	for 1440 < w < 2500 kg/m <sup>3</sup>
ACI 312-92 [8]	$E = 14000 + 3250f'_c$ , $E = 9500(f'_c + 8)^{1/3}$ , $E = 0.043w^{1.5}f'_c$ MPa	
CSA A23.3-04 [48]	$E_c = \left(3300(f'_c)^{0.5} + 6900\right)\left(\frac{w}{2300}\right)^{1.5}$ MPa, $E_c = 4500(f'_c)^{0.5}$	20 ≤ $f'_c$ ≤ 40 MPa 1500 < w < 2500 kg/m <sup>3</sup>
CAN A23.3- M94 [39]	$E_c = 5(f'_c)^{0.5}$ GPa	
NZS-3101-95 [57]	$E_c = \left(3320(f'_c)^{0.5} + 6900\right)\left(\frac{w}{2300}\right)^{1.5}$ MPa	
CEB-FIP (1993) [44]	$E_c = 10000(f'_c + 8)^{\frac{1}{3}}$	
CEB-FIP (1990) [58]	$E_c = 21500\alpha\left(\frac{f'_c}{10}\right)^{\frac{1}{3}}$	$\alpha = 1.2$ basalt, dense limestone, 1 = quartzite, 0.9 limestone, 0.7 sandstone aggregate
EC2-04 (2004) [59]	$E_c = 22000\left(\frac{f'_c}{10}\right)^{0.3}$ MPa	sc between 0 and 0.4 $f_{cm}$
AASHTO-LRFD [45]	$E_c = 0.043k_1w_c^{1.5}(f'_c)^{0.5}$ kg/m <sup>3</sup> and MPa, $K_1 = 1.0$ unless determined by physical test	1280 < w < 2400 kg/m <sup>3</sup> 14 MPa ≤ $f'_c$ ≤ 48 MPa
FHWA (2000) [42]	$E_c = 3837(f'_c)^{0.5}$	28 MPa ≤ $f'_c$ ≤ 193 MPa
OHBDC-1983 [46]	$E_c = 5000(f'_c)^{0.5}$ psi	
NCHRP-2003 [43]	$E_c = 33000k_1k_2(0.14 + f'_c/1000)^{1.5}(f'_c)^{0.5}$ ksi	$k_1 = 1.0$ , $k_2 = 90$ th percentile upper bound and the 10th percentile lower bound 2320 < w < 2480 kg/m <sup>3</sup>
AS-3600(2009) [51]	$E_c = 0.043w_c^{1.5}(f'_c)^{0.5}$ , $E_c = 5050(f'_c)^{0.5}$ normal weight concrete	< 40 MPa, sc between 0 and 0.4 $f_{cm}$
AS-3600(2009) [51]	$E_c = w_c^{1.5}\left(0.024(f'_c)^{0.5} + 0.12\right)$	$f'_c > 40$ MPa
JSCE (2007) [36]	$E_c = 4700(f'_c)^{0.5}$ (ACI-318-08), $E_c = 10.792\ln(f'_c) - 9.0675$ best fit	18 MPa ≤ $f'_c$ ≤ 80 MPa
NS-3473(1992) [60]	$E_c = 9.5(f'_c)^{0.3}\left(\frac{W}{2400}\right)^{1.5}$ GPa, kg/m <sup>3</sup> , $E_c = 9500(f'_c)^{0.3}$	
EHE (1998) [61]	$E_c = 10000\sqrt[3]{f'_c}$	
NBR-6118 (2003) [62]	$E_c = 5600(f'_c)^{0.5}$	
(AIJ- Japan) [47]	$E_c = 2.1 \times 10^5\left(\frac{w}{2.3}\right)^{1.5}\left(\frac{f'_c}{200}\right)^{0.5}$ , E, $f'_c$ in: kgf/cm <sup>2</sup> , w = t/m <sup>3</sup>	
TS-500 (2000) [63]	$E_c = 3.25(f'_c)^{0.5} + 14$	
IS 456 (BIS, 2000) [52]	$E_c = 5000(f'_c)^{0.5}$	
GBJ 11-89 (1994) [1]	$E_c = 10^2\left[2.2 + \left(\frac{34.7}{f'_c}\right)\right]$	
IDC 3274 [1]	$E_c = 5.7(f'_c)^{0.5}$	
GDC 2000 [1]	$E_c = 4.76(f'_c)^{0.5}$	

SABS-0100 (1992) Modified [4]	$E_c = K_0 + \alpha f_{cu}$ GPa	$K_0$ (GPa) = 17 (ferro quartzite); 20 ( Jukskei granite); 29 (Eikenhof andesit) $\alpha$ (GPa/MPa) = 0.4 (ferro quartzite); 0.2 ( Jukskei granite and Eikenhof andesit)
NTE E.060(2009) [49]	$E_c = 0.043w^{1.5}(f'_c)^{0.5}$ MPa, kg/m <sup>3</sup> $E_c = 4730(f'_c)^{0.5}$ MPa	
SP 52-101-2003 [14]	$E_c = 11.652 \ln(f'_c) - 7.4713$	10 MPa $\leq f'_c \leq 60$ MPa
BS 5400-4(1990) [37]	$E_c = 8.6475(f'_c)^{0.348}$	20 MPa $\leq f'_c \leq 60$ MPa
BS 8110 (1997)[50]	$E_c = 20 + 0.2f'_c$	20 MPa $\leq f'_c \leq 60$ MPa
Dutch VBC-95 [40]	$E_c = 22250 + 250f'_c$ MPa	
RakMK-D3-2012 [53]	$E_c = 5000 \left( \frac{w}{2400} \right) + (f'_c)^{0.5}$	

**Fuente: Vakhshouri y Nejadi [1]**

**Table 6** Empirical models to predict the modulus of elasticity of normal strength concrete

Researchers(s)	Model	Limits and coefficients
Carrasquillo, et al.(1981) [64]	$E_c = 3.320(f'_c)^{0.5} + 6.900 \left( \frac{w}{2346} \right)$ GPa , kg/m <sup>3</sup> $E_c = 3.320(f'_c)^{0.5} + 6.900$	
Dinakar (2008) [65]	$E_c = 4.55(f'_c)^{0.5}$ in fsp	
Yanjun Liu (2006) [17]	$E_c = \alpha(f'_c)^{0.5} E_c, f'_c$ in psi	$\alpha = 55949$ Miami oolite limestone, 62721 for Georgia granite , 43777 for stalite lightweight aggregate
Rashid et al. (2002) [16]	$E_c = 8900(f'_c)^{0.33}$	20 MPa $< f'_c < 130$ MPa
Kheder and Al-Windawi (2005) [6]	$E_c = 5.323(f'_c)^{0.453}$ MPa, GPa	
Soleymani (2006) [66]	$E_c = \left( \frac{w_c}{2300} \right)^{1.5} (3000(f'_c)^{0.5} + 6900)$ $E_c = \left( \frac{w_c}{2300} \right)^{1.5} (3000(f'_c)^{0.5} + 6900)$ $E_c = 4500(f'_c)^{0.5}$	-Best fit with eq. 8-6 in CSA-A23.3(1994) -Best fit with eq. 8-6 in CSA-23.3(1994) -worst fit with eq. 8-7 in CSA-A23.3(1994)
Ravindrarajah et al. (1985) [67]	$E_c = 4.630(f'_c)^{0.5}$	
San Luis Obispo (2011) [68]	$E_c = 6.59(f'_c)^{0.38}$	
Noguchi et al. (2009) [3]	MPa, kg/m <sup>3</sup>	40 MPa $\leq f'_c \leq 160$ MPa
Haranki (2009) [5]	$E_c = 31.92 \times w^{1.5}(f'_c)^{0.5} + 345,328$ psi, lb/ft <sup>3</sup>	
Gardner and Zhao(1991) [69]	$E_c = 9(f'_c)^{\frac{1}{3}}$	$f'_c > 27$ MPa
Ahmad and Shah (1985) [70]	$E_c = 3.38 \times 10^{-5} \times \lambda^{2.5} (\sqrt{f'_c})^{0.65}$	
Jobse and Mustafa (1984) [71]	$E_c = 0.103w_c^{1.5} (\sqrt{f'_c})^{0.5}$	
Cook (1989) [72]	$E_c = 3.22 \times 10^{-5} \times \lambda^{2.5} (f'_c)^{0.315}$ kg/m <sup>3</sup> , MPa	
Gutierrez and Canovas (1995) [73]	$E_c = 8430 \sqrt[3]{f'_c}$	
Leemann and Hoffmann (2005) [26]	$E_c = 5480(f'_c)^{0.5}$	
Min and Gjorv (1991) [7]	$E_c = 1.19(f'_c)^{2/3}$ GPa , MPa	For light-weight concrete
Levtchitch et el. (2004) [15]	$E_c = 10000(1.9 + 0.45f'_c)$ MPa	
Jensen (1943) [52]	$E_c = 6 \times 10^6 / (1 + 2000/f'_c)$ psi	1280 $< w < 2400$ kg/m <sup>3</sup> 14 MPa $\leq f'_c \leq 48$ MPa
Pauw (1960) [41]	$E_c = 13.82w^{1.79} (f'_c)^{0.44}$	

**Fuente: Vakhshouri y Nejadi [1]**



## Anexo 2. Resumen principales datos obtenidos por diferentes autores para las propiedades del cemento y los agregados

Autores	Año	Instit.	Lugar	Propiedades del cemento			Propiedades de los agregados																					
				Marca	Tipo	$\delta$ Real g/cm <sup>3</sup>	$\delta$ Real (g/cm <sup>3</sup> )		$\delta$ Aparentes (g/cm <sup>3</sup> )				$\delta$ Opt g/cm <sup>3</sup>	% Opt. Agreg.		% Abs		% Cont Humedad Corrección		Mod. Finu		% Abras (G)		TNM G	Color N°	Cu		
							G	F	G	F	G	F		G	F	G	F	G	F	G	F	G	F				100	500
Paucar y Sacasari [9]	2017	UCE	Pichincha, Píntag (Piedras Rojas)	Holcim	GU	2.64	2.39	2.51	1.71	1.55	1.84	1.68	1.717	74	26	4.75	1.13	1.18	4.14	7.56	2.76	7.30	27.82	1 1/2"	2	0.26		
			Pichincha, San Antonio de Pichincha (El Guabo)				2.51	2.66	1.23	1.56	1.35	1.67	1.818	64	36	5.15	1.83	0.13	0.21	6.95	2.44	10.86	49.67	1"	1	0.22		
			Pichincha, Guayllabamba (Prima II)				2.58	2.51	1.74	1.60	1.88	1.70	1.711	64	36	2.41	3.02	0.52	0.73	6.86	2.98	6.15	27.05	3/4"	1	0.23		
Cadena y Palacios [64]	2017	EPN	Pichincha, Pifo, (Holcin-Pifo)	Selvalegre	IP	2.90	2.63	2.63	1.39	1.59	1.53	1.75	-	-	-	1.76	2.06	-	-	6.90	2.95	7.19	22.86	1"	1	0.31		
Escobar [40]	2016	UG	Guayas, Guayaquil (Basalto N°56 y arena hom VSI)	Holcim	HE	2.99	2.96	2.84	1.54	1.74	1.66	1.88	-	70% N°56 + 30% N°7	30% VSI + 70% Bol	1.04	1.61	0.27	0.45	7.20	2.80	-	-	1"	1	-		
			Guayas, Guayaquil (Basalto N°7 y arena R Boliche)				2.90	2.69	1.45	1.60	1.58	1.73	-	-	-	1.15	2.28	0.34	6.93	6.40	2.70	-	-	1/2"	1	-		
Guaño [63]	2015	UNACH	Chimborazo, Guano (La Providencia)	Chimborazo	IP	2.99	2.70	2.52	1.49	1.60	1.63	1.80	1.808	64	36	1.33	2.32	0.12	3.32	7.59*	2.98	4.90	24.00	1 1/2"	2	0.20		
Quingaluisa [10] y Yucato [65]	2014	UCE	Napo, Tena, Puerto Napo (Cantera Río Anzú)	Selvalegre	IP	2.99	2.68	2.64	1.37	1.52	1.53	1.66	1.978	64	36	1.47	1.42	0.27	0.41	6.77*	2.32	3.96	20.9	3/4"	2	0.19		
Ulloa [66] y García [17]	2013	UCE	Tungurahua, Ambato, La Península (Mina Villacres)	Holcim	IP	2.90	2.53	2.54	1.40	1.53	1.56	1.60	1.91 1.90	69	31	2.72	1.69	0.68 0.66	0.52 0.54	7.50	3.15	7.85	35.93	1"	1	0.22		
Ortega [67]	2013	UTA	Tungurahua, Ambato, Vía Aguaján, (Playa Llagchoa)	-	-	3.00	2.55	2.51	1.40	1.31	1.55	1.53	1.799	67	33	3.04	0.61	-	-	7.31*		-	40.40	1 1/2"	-	-		
Carvajal [68] y Rivadeneira [69]	2013	UCE	Cotopaxi, Latacunga, Mulaló, (San Ramón)	Chimborazo	IP	2.82	2.46	2.53	1.34	1.50	1.48	1.64	1.87	69	31	2.65	0.67	0.48	0.39	6.92	2.61	7.55	34.97	1"	1	0.22		

G, agregado grueso y F, agregado fino; \*Valores calculados por el autor

Fuente: Recopilación autor

### Anexo 3. Resumen de los factores propuestos y otros datos obtenidos para la dosificación por los autores

Autores	Año	Inst.	Lugar	f'c req kg/cm <sup>2</sup>	Método de dosificación	Dosificación al peso mezclas definitivas N/S correc %CH				Propiedades físicas del HF		Propiedades mecánicas del hormigón		Fac. Cte Ecuación ACI 318-14	
						W	C	F	G	Asent (cm)	Peso unit kg/m <sup>3</sup>	f'c 28d kg/cm <sup>2</sup>	Ec (kg/cm <sup>2</sup> ) ASTM 469	kg/cm <sup>2</sup>	MPa**
Paucar y Sacasari* [9]	2017	UCE	Pichincha, Píntag (Piedras Rojas)	280	Densidad máxima	0.56	1.00	1.46	3.00	-	-	306.5	275249.1	<b>15722.56</b>	<b>4924</b>
			0.49			1.00	1.42	3.11	-	-	275.8	163061.7	<b>9818.14</b>	<b>3075</b>	
			0.53			1.00	1.71	2.50	-	-	291.5	218032.7	<b>12769.26</b>	<b>3999</b>	
Pichincha, San Antonio de Pichincha (El Guabo)	0.49	1.00	1.70	2.55	-	-	291.5	218032.7	<b>12769.26</b>	<b>3999</b>					
											Pichincha, Guayllabamba (Prima II)	0.48	1.00	2.19	3.36
Cadena y Palacios [64]	2017	EPN	Pichincha, Pifo, (Holcin-Pifo)	210	ACI 211.1	0.53	1.00	2.10	2.71	8	2300	280.4	233237.9	<b>13927**</b>	<b>4361</b>
						0.62	1.00	2.06	2.67	8	2300	280.4	233237.9	<b>13927**</b>	<b>4361</b>
Escobar* [40]	2016	UG	Guayas, Guayaquil (Basaltos N°56 y N°7; arenas hom VSI y río Boliche)	210	ACI 211-15	0.62	1.00	3.26**	3.21**	20	2451	335.3	295713	<b>16150**</b>	<b>5058</b>
						0.57	1.00	3.27**	3.22**	20	2460	389.5	293673.6	<b>14880**</b>	<b>4660</b>
						0.59	1.00	2.91**	3.02**	20	2460	389.5	293673.6	<b>14880**</b>	<b>4660</b>
240	0.54	1.00	2.91**	3.02**	20	2501	468.3	346698	<b>16020**</b>	<b>5017</b>					
											0.54	1.00	2.59**	2.80**	20
280	0.54	1.00	2.59**	2.79**	20	2501	468.3	346698	<b>16020**</b>	<b>5017</b>					
											0.54	1.00	2.59**	2.79**	20
Guaño [63]	2015	UNACH	Chimborazo, Guano (La Providencia)	210	Densidad óptima	0.58	1.00	1.87	3.32	8	2400	222.8	197291.58	<b>13220.70</b>	<b>4140</b>
Quingaluisa* [10]	2014	UCE	Napó, Tena, Puerto Napó (Cantera Río Anzú)	240	Densidad óptima	0.52	1.00	2.35	4.18	7.5	-	260.6	245390.4	<b>15200**</b>	<b>4760</b>
						0.52	1.00	2.05	3.66	7.5	-	260.6	245390.4	<b>15200**</b>	<b>4760</b>
Yucato* [65]	2014	UCE	Napó, Tena, Puerto Napó (Cantera Río Anzú)	280	Densidad óptima	0.49	1.00	2.27	4.03	8	-	311.0	258928.3	<b>14682**</b>	<b>4598</b>
						0.49	1.00	1.97	3.51	8	-	311.0	258928.3	<b>14682**</b>	<b>4598</b>
Ulloa* [66]	2013	UCE	Tungurahua, Ambato, La Península (Mina Villacres)	210	Densidad máxima	0.67	1.00	1.89	3.47	7	2310	261.1	169709.6	<b>10500</b>	<b>3288</b>
						0.58	1.00	1.85	3.17	7	2310	261.1	169709.6	<b>10500</b>	<b>3288</b>
García* [17]	2013	UCE	Tungurahua, Ambato, La Península (Mina Villacres)	240	Densidad máxima	0.56	1.00	1.81	3.10	-	-	304.6	180878.2	<b>10361</b>	<b>3245</b>
						0.64	1.00	1.79	3.03	-	-	304.6	180878.2	<b>10361</b>	<b>3245</b>
Carvajal* [68]	2013	UCE	Cotopaxi, Latacunga, Mulaló, (San Ramón)	210	ACI 211.1	0.58	1.00	1.95	3.03	6	2280	226.4	189541.8	<b>12600</b>	<b>3946</b>
						0.67	1.00	1.94	2.97	6	2280	226.4	189541.8	<b>12600</b>	<b>3946</b>
Rivadeneira* [69]	2013	UCE	Cotopaxi, Latacunga, Mulaló, (San Ramón)	240	ACI 211.1	0.56	1.00	1.85	2.93	6	2250	307.3	193936.029	<b>11060</b>	<b>3464</b>
						0.56	1.00	1.91	2.92	6	2250	307.3	193936.029	<b>11060</b>	<b>3464</b>

Se realizó conversión de unidades de MPa a Kg/cm<sup>2</sup> (1MPa=10.197 Kg/cm<sup>2</sup>), \*\*Valores calculados por el investigador, ++ Aditivos: retardante de fraguado y superplastificante reductor de agua

Fuente: Recopilación Autor

#### Anexo 4. Requisitos de gradación para áridos gruesos

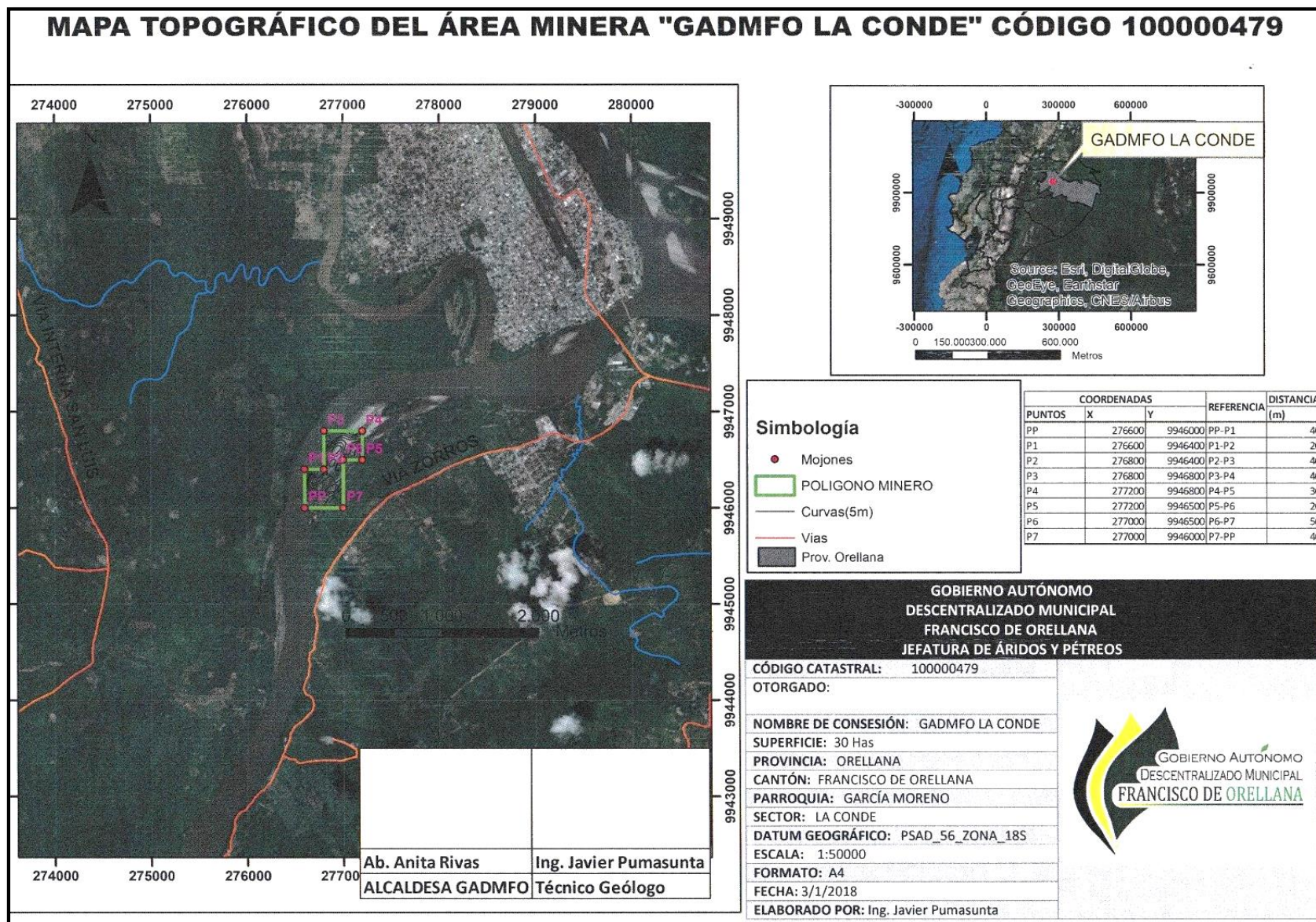
Número de tamaño	Tamaño nominal (Tamices con aberturas cuadradas) (mm)	Porcentaje acumulado en masa que debe pasar cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas)													
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	300 µm
1	de 90 a 37,5	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
2	de 63 a 37,5	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	de 50 a 25,0	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
357	de 50 a 4,75	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---
4	de 37,5 a 19,0	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---
467	de 37,5 a 4,75	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---
5	de 25,0 a 12,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---
56	de 25,0, a 9,5	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---
57	de 25,0 a 4,75	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---
6	de 19,0 a 9,5	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---
67	de 19,0 a 4,75	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---
7	de 12,5 a 4,75	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---
8	de 9,5 a 2,36	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---
89	de 9,5 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 <sup>A</sup>	de 4,75 a 1,18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

<sup>A</sup> Al árido con número de tamaño 9, se lo define en la NTE INEN 694 como árido fino. Se lo incluye como árido grueso cuando está combinado con un material con número de tamaño 8 para crear el número de tamaño 89, que es árido grueso según se define en la NTE INEN 694.

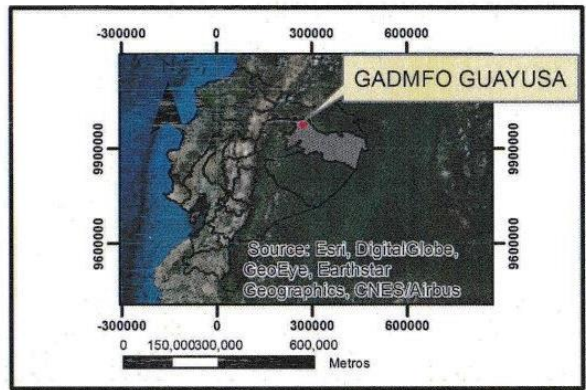
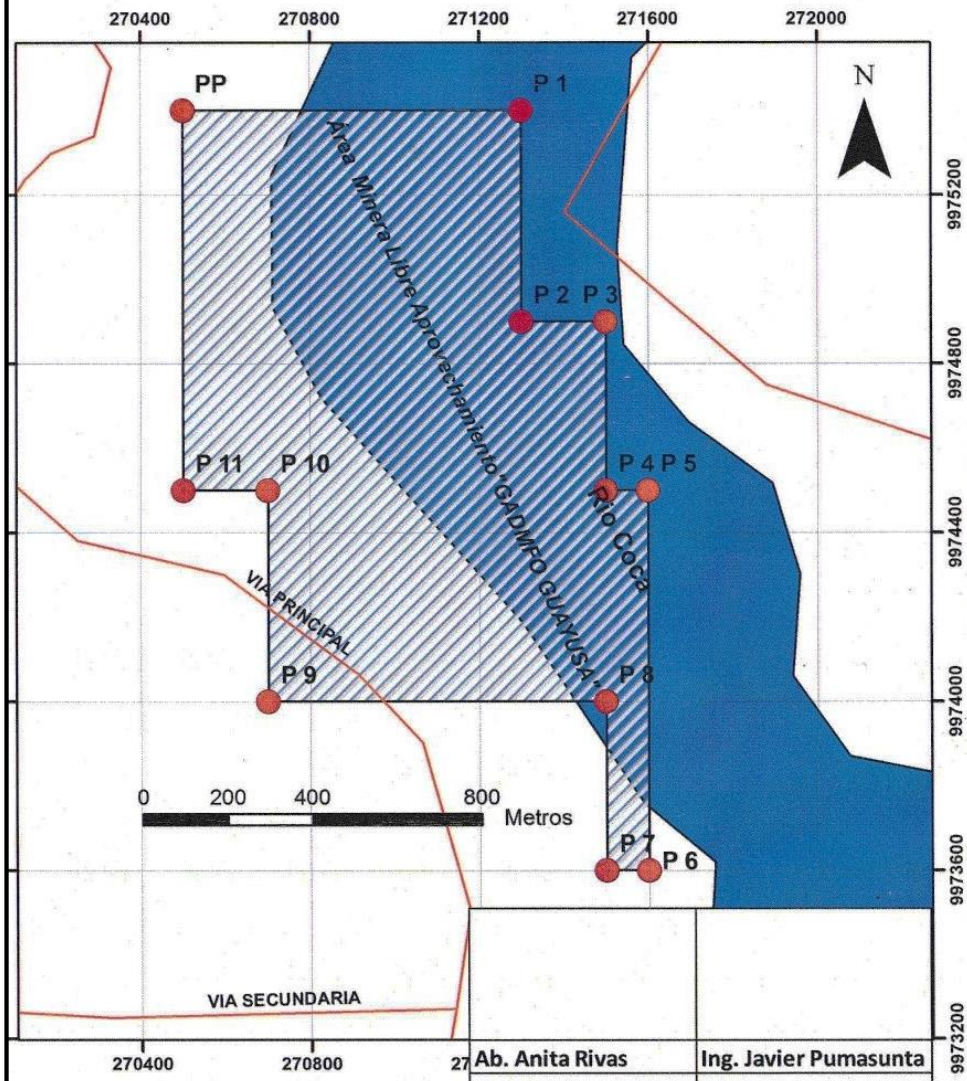
Fuente: NTE INEN 872:2011, Tabla 2. Requisitos de gradación para áridos gruesos [43].



Anexo 5. Mapas de ubicación minas GADMFO



# MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA MINERA "GADMFO GUAYUSA" CÓDIGO 100000195



**Simbología**

- Puntos\_GADMFO
- Vias
- Área de libre aprovechamiento
- Río
- Prov. Orellana

COORDENADAS UTM		
PUNTOS	X	Y
PP	270500	9975400
P 1	271300	9975400
P 2	271300	9974900
P 3	271500	9974900
P 4	271500	9974500
P 5	271600	9974500
P 6	271600	9973600
P 7	271500	9973600
P 8	271500	9974000
P 9	270700	9974000
P 10	270700	9974500
P 11	270500	9974500

**GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL  
FRANCISCO DE ORELLANA  
JEFATURA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS**

<b>CÓDIGO CATASTRAL:</b> 100000195
<b>OTORGADO:</b> LA SUBSECRETARÍA REGIONAL DE MINERÍA NORTE DEL MINISTERIO DE MINERÍA
<b>NOMBRE DE CONESIÓN:</b> GADMFO GUAYUSA
<b>SUPERFICIE:</b> 129 Has
<b>PROVINCIA:</b> ORELLANA
<b>CANTÓN:</b> FRANCISCO DE ORELLANA
<b>PARROQUIA:</b> SAN JOSE DE GUAYUSA
<b>SECTOR:</b> COMUNA GUAYUSA
<b>DATUM GEOGRÁFICO:</b> PSAD_56_ZONA_18S
<b>ESCALA:</b> 1:15000
<b>FORMATO:</b> A4
<b>FECHA:</b> 26/10/2017
<b>ELABORADO POR:</b> Ing. Javier Pumasunta

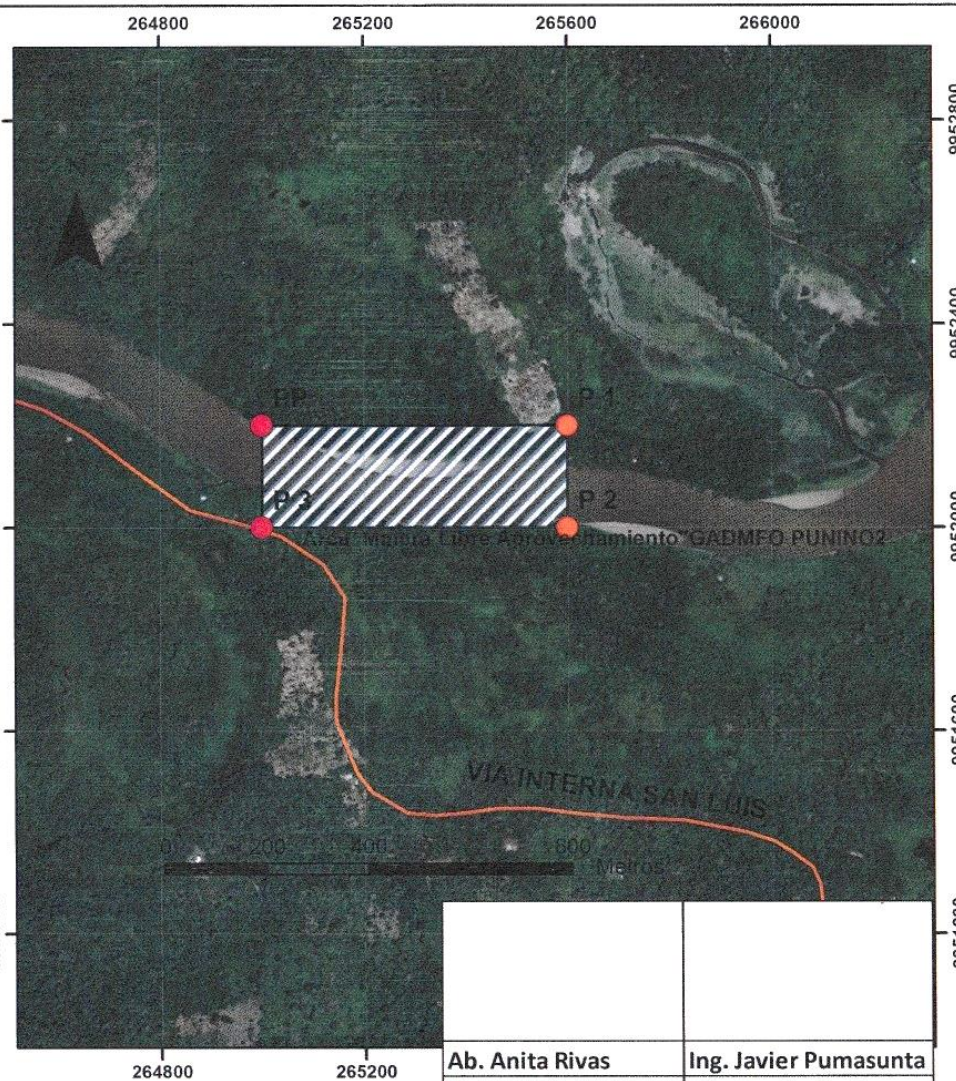


GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL  
**FRANCISCO DE ORELLANA**

Ab. Anita Rivas  
ALCALDESA GADMFO

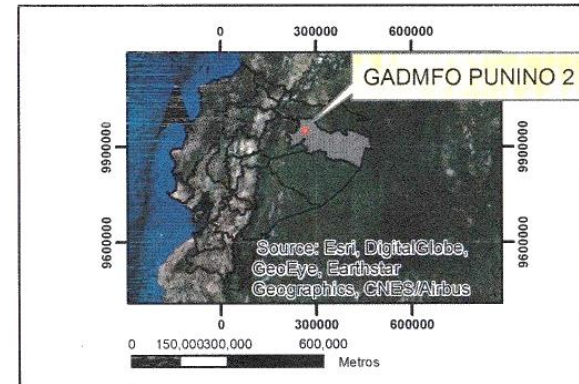
Ing. Javier Pumasunta  
Técnico Geólogo

# MAPA DE UBICACIÓN DEL ÁREA MINERA "PUNINO 2" CÓDIGO 100000174



Ab. Anita Rivas  
ALCALDESA GADMFO

Ing. Javier Pumasunta  
Técnico Geológico



## Simbología

- Puntos\_GADMFO
- Vias
- Área de libre aprovechamiento
- Prov. Orellana

## COORDENADAS UTM

PUNTOS	X	Y
PP	265000	9952200
P 1	265600	9952200
P 2	265600	9952000
P 3	265000	9952000

GOBIERNO AUTÓNOMO  
DESCENTRALIZADO MUNICIPAL  
FRANCISCO DE ORELLANA  
JEFATURA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS

CÓDIGO CATASTRAL: 100000174  
OTORGADO: LA SUBSECRETARÍA REGIONAL DE MINERÍA NORTE DEL MINISTERIO DE MINERÍA

NOMBRE DE CONSESIÓN: PUNINO 2  
SUPERFICIE: 12 Has  
PROVINCIA: ORELLANA  
CANTÓN: FRANCISCO DE ORELLANA  
PARROQUIA: NUEVO PARAÍSO  
SECTOR: LA PUNINO  
DATUM GEOGRÁFICO: PSAD\_56\_ZONA\_18S  
ESCALA: 1:12500  
FORMATO: A4  
FECHA: 08/01/2018  
ELABORADO POR: Ing. Javier Pumasunta



## Anexo EA.-Resultados de los ensayos realizados

- a. **Material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 µm (No. 200),  
mediante lavado: INEN 697:2010 (ASTM C 117-04)**

### GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)

Fecha Muestreo: 05/12/2018

Fecha Ensayo: 17/12/2018

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			U
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	590.00	590.00	590.00	g
Masa seca de la muestra luego del lavado	580.50	581.50	580.00	g
Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz No. 200, mediante lavado	1.61	1.44	1.69	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	1.58%			%

MEDIDAS DE CONTROL		
Parámetro	Cantidad	Precisión 1Op (INEN 697)
Rango	0.25	<0.43
Desviación estándar	0.13	<0.15
Coefficiente de variación	8.18%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.58%</b>	<3% INEN 872

### GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)

Fecha Muestreo: 07/12/2018

Fecha Ensayo: 17/12/2018

DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			U
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	550.60	562.00	600.00	g
Masa seca de la muestra luego del lavado	548.20	559.10	597.30	g
Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz No. 200, mediante lavado	0.44	0.52	0.45	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	0.47%			%

MEDIDAS DE CONTROL		
Parámetro	Cantidad	Precisión 1Op (INEN 697)
Rango	0.08	<0.43
Desviación estándar	0.04	<0.15
Coefficiente de variación	9.15%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>0.47%</b>	<3% INEN 872

### GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)

Fecha Muestreo: 09/12/2018      Fecha Ensayo: 17/12/2018

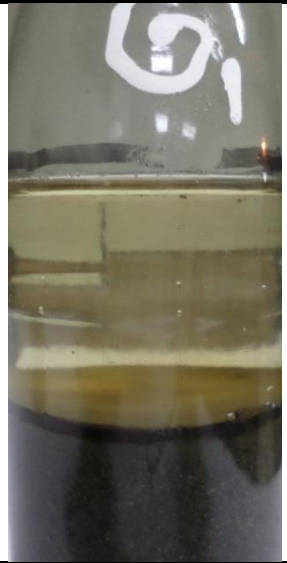
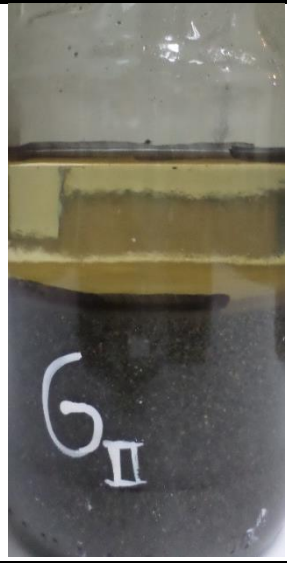
DESCRIPCIÓN	ENSAYOS			U
	I	II	III	
Masa seca original de la muestra	600.00	580.00	600.00	g
Masa seca de la muestra luego del lavado	588.70	568.90	590.10	g
Porcentaje del material más fino que pasa el tamiz No. 200, mediante lavado	1.88	1.91	1.65	%
Promedio material más fino que el tamiz No. 200	1.82%			%

MEDIDAS DE CONTROL		
Parámetro	Cantidad	Precisión 1Op (INEN 697)
Rango	0.26	<0.43
Desviación estándar	0.14	<0.15
Coefficiente de variación	7.95%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>1.82%</b>	<3% INEN 872

**b. Colorimetría: INEN 855:2010 (ASTM C 40-04)**

### GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)



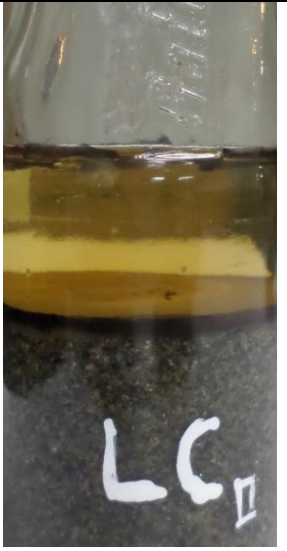
Fecha Muestreo: 05/12/2018      Fecha Ensayo: 18/12/2018

Placa orgánica Nº	Muestra 1	Muestra 2
1		
2		
3		
4		
5		
Color: Claro transparente (jugo de limón)		Nº de orden comparador: 1
Contenido orgánico aceptable: Sí		Color escala Gardner: 5
Propiedad ASTM C-40: Arena de muy buena calidad por no contener materia orgánica, limos o arcillas		

**GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)**

Fecha Muestreo: 07/12/2018

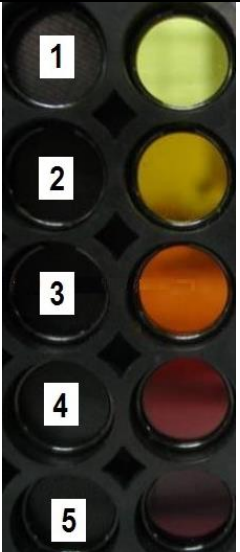


Fecha Ensayo: 18/12/2018

Placa orgánica Nº	Muestra 1	Muestra 2
		
Color: Amarillo pálido (jugo de piña)	Nº de orden comparador: 2	
Contenido orgánico aceptable: Sí	Color escala Gardner: 8	
Propiedad ASTM C-40: Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad		

**GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)**

Fecha Muestreo: 09/12/2018

Fecha Ensayo: 18/12/2018

Placa orgánica Nº	Muestra 1	Muestra 2
		
Color: Amarillo pálido (jugo de piña)	Nº de orden comparador: 2	
Contenido orgánico aceptable: Sí	Color escala Gardner: 8	
Propiedad ASTM C-40: Arena de poca presencia de materia orgánica, limos o arcillas. Se considera de buena calidad		

c. Análisis granulométrico en el árido fino: INEN 696:2011

**GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)**

Masa. inicial (g): 500      Fecha Muestreo: 05/12/2018      Fecha Ensayo: 19/12/2018

TAMIZ	Abert INEN 154 (mm)	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Inf	Sup
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
3/8 "	9.5	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	100	100
No. 4	4.75	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	95	100
No. 8	2.36	0.2	0.2	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	80	100
No. 16	1.18	4.1	4.3	0.9	99.1	3.9	3.9	0.8	99.2	4.9	4.9	1.0	99.0	50	85
No. 30	0.6	84.9	89.2	17.8	82.2	80.6	84.5	16.9	83.1	101.2	106.1	21.2	78.8	25	60
No. 50	0.3	234.6	323.8	64.8	35.2	222.2	306.7	61.3	38.7	246.9	353	70.6	29.4	5	30
No. 100	0.15	138.4	462.2	92.4	7.6	150	456.7	91.3	8.7	118.5	471.5	94.3	5.7	0	10
No. 200	0.075	32.8	495	99.0	1.0	37.5	494.2	98.8	1.2	23.9	495.4	99.1	0.9		
FUENTE		5	500	100.0	0.0	5.8	500	100.0	0.0	4.6	500	100.0	0.0		

**GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)**

Masa. inicial (g): 500      Fecha Muestreo: 07/12/2018      Fecha Ensayo: 19/12/2018

TAMIZ	Abert INEN 154 (mm)	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Inf	Sup
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
3/8 "	9.5	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	100	100
No. 4	4.75	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	95	100
No. 8	2.36	0.5	0.5	0.1	99.9	0.9	0.9	0.2	99.8	0.8	0.8	0.2	99.8	80	100
No. 16	1.18	12.5	13	2.6	97.4	12	12.9	2.6	97.4	12.7	13.5	2.7	97.3	50	85
No. 30	0.6	95.2	108.2	21.6	78.4	98.5	111.4	22.3	77.7	96.4	109.9	22.0	78.0	25	60
No. 50	0.3	345.6	453.8	90.8	9.2	347.8	459.2	91.8	8.2	348.5	458.4	91.7	8.3	5	30
No. 100	0.15	42.7	496.5	99.3	0.7	38.4	497.6	99.5	0.5	38.5	496.9	99.4	0.6	0	10
No. 200	0.075	2.9	499.4	99.9	0.1	2	499.6	99.9	0.1	2.8	499.7	99.9	0.1		
FUENTE		0.6	500	100.0	0.0	0.4	500	100.0	0.0	0.3	500	100.0	0.0		

**GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)**

Masa. inicial (g): 500      Fecha Muestreo: 09/12/2018      Fecha Ensayo: 19/12/2018

TAMIZ	Abert INEN 154 (mm)	ENSAYO 1				ENSAYO 2				ENSAYO 3				LÍMITES INEN 872	
		Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Pesos Ret		% Reten	% Que Pasa	Inf	Sup
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
3/8 "	9.5	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	100	100
No. 4	4.75	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	95	100
No. 8	2.36	6.2	6.2	1.2	98.8	4.8	4.8	1.0	99.0	5.8	5.8	1.2	98.8	80	100
No. 16	1.18	93.9	100.1	20.0	80.0	92	96.8	19.4	80.6	95.8	101.6	20.3	79.7	50	85
No. 30	0.6	150.4	250.5	50.1	49.9	152	248.8	49.8	50.2	149.7	251.3	50.3	49.7	25	60
No. 50	0.3	199.2	449.7	89.9	10.1	200	448.8	89.8	10.2	195.9	447.2	89.4	10.6	5	30
No. 100	0.15	40.8	490.5	98.1	1.9	48	496.8	99.4	0.6	48.8	496	99.2	0.8	0	10
No. 200	0.075	9.2	499.7	99.9	0.1	2.9	499.7	99.9	0.1	3.6	499.6	99.9	0.1		
FUENTE		0.3	500	100.0	0.0	0.3	500	100.0	0.0	0.4	500	100.0	0.0		

d. Análisis granulométrico en el árido grueso: INEN 696:2011

**GADMFO: GUAYUSA ZARANDEADO (RÍO COCA)**

Fecha Muestreo: 06/12/2018      Fecha Ensayo: 20/01/2019      TM: 2''      TNM: 1''

# Muestra		I				II				III				Tamaño No. 357 INEN 872	
Masa. Inic (g)		16083.4				15531				14735					
Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Inf	Sup
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
2 ½''	63	0	0	0	100.0	0	0	0	100.0	0	0	0	100.0	100	100
2''	50	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	95	100
1 ½''	37.5	176	176	1.1	98.9	196	196	1.3	98.7	95	95	0.6	99.4	--	--
1''	25	6476	6652	41.4	58.6	6456	6652	42.8	57.2	6314	6409	43.5	56.5	35	70
¾''	19	3697	10349	64.3	35.7	3065	9717	62.6	37.4	3135	9544	64.8	35.2	--	--
½''	12.5	2135	12484	77.6	22.4	2137	11854	76.3	23.7	1846	11390	77.3	22.7	10	30
⅜''	9.5	1567	14051	87.4	12.6	1603	13457	86.6	13.4	1441	12831	87.1	12.9	--	--
No. 4	4.75	1580	15631	97.2	2.8	1675	15132	97.4	2.6	1490	14321	97.2	2.8	0	5
FUENTE		452	16083.4	100.0	0.0	399	15531	100.0	0.0	414	14735	100.0	0.0		

**GADMFO: GUAYUSA TRITURADO (RÍO COCA)**

Fecha Muestreo: 27/12/2018      Fecha Ensayo: 04/01/2019      TM: 1 1/2''      TNM: ¾''

Muestra		I				II				III				Tamaño No. 57 INEN 872	
Masa. Inic (g)		15015				12992				18552					
Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Inf	Sup
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
1 1/2''	37.5	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	100	100
1''	25	195	195	1.3	98.7	141	141	1.1	98.9	191.9	191.9	1.0	99.0	95	100
¾''	19	3894	4089	27.2	72.8	3642	3783	29.1	70.9	5454	5645.9	30.4	69.6	--	--
½''	12.5	4249	8338	55.5	44.5	3533	7316	56.3	43.7	5123	10768.9	58.0	42.0	25	60
⅜''	9.5	2942	11280	75.1	24.9	2584	9900	76.2	23.8	3790	14558.9	78.5	21.5	--	--
No. 4	4.75	2716	13996	93.2	6.8	2420	12320	94.8	5.2	3100	17658.9	95.2	4.8	0	10
No. 8	2.36	478.9	14474.9	96.4	3.6	349.4	12669.4	97.5	2.5	420.7	18079.6	97.5	2.5	0	5
FUENTE		540.1	15015	100.0	0.0	322.6	12992	100.0	0.0	472.4	18552	100.0	0.0		



**GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)**

Fecha Muestreo: 07/12/2018		Fecha Ensayo: 08/01/2019				TM: 2"				TNM: 1"					
Muestra		I				II				III				Tamaño No. 357 INEN 872	
Masa. Inic (g)		16002				15745				19808					
Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Inf	Sup
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
2 ½"	63	0	0	0	100.0	0	0	0	100.0	0	0	0	100.0	100	100
2"	50	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	95	100
1 1/2"	37.5	176	176	1.1	98.9	243	243	1.5	98.5	281	281	1.4	98.6	--	--
1"	25	5761	5937	37.1	62.9	5812	6055	38.5	61.5	7570	7851	39.6	60.4	35	70
3/4"	19	3857	9794	61.2	38.8	3857	9912	63.0	37.0	3982	11833	59.7	40.3	--	--
1/2"	12.5	2536	12330	77.1	22.9	2770	12682	80.5	19.5	3323	15156	76.5	23.5	10	30
3/8"	9.5	1692	14022	87.6	12.4	1529	14211	90.3	9.7	2169	17325	87.5	12.5	--	--
No. 4	4.75	1278	15300	95.6	4.4	1047	15258	96.9	3.1	1570	18895	95.4	4.6	0	5
FUENTE		702	16002	100.0	0.0	487	15745	100.0	0.0	913	19808	100.0	0.0		

**GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)**

Fecha Muestreo: 09/12/2018		Fecha Ensayo: 09/01/2019				TM: 2"				TNM: 1"					
Muestra		I				II				III				Tamaño No. 467 INEN 872	
Masa. Inic (g)		17845.3				16041.9				15695					
Tamiz	Abert INEN 154 (mm)	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Pesos ret. (g)		% Ret	% Que pasa	Inf.	Sup.
		Parc	Acum			Parc	Acum			Parc	Acum				
2"	50	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	0	0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	37.5	1246	1246	7.0	93.0	515	515	3.2	96.8	1025	1025	6.5	93.5	95	100
1"	25	5202	6448	36.1	63.9	5290	5805	36.2	63.8	4645	5670	36.1	63.9	--	--
3/4"	19	3337	9785	54.8	45.2	2766	8571	53.4	46.6	2638	8308	52.9	47.1	35	70
1/2"	12.5	2576	12361	69.3	30.7	2193	10764	67.1	32.9	2128	10436	66.5	33.5	--	--
3/8"	9.5	2541	14902	83.5	16.5	2205	12969	80.8	19.2	2247	12683	80.8	19.2	10	30
No. 4	4.75	2427	17329	97.1	2.9	2505	15474	96.5	3.5	2493	15176	96.7	3.3	0	5
FUENTE		516.3	17845.3	100.0	0.0	567.9	16041.9	100.0	0.0	519	15695	100.0	0.0		

e. Ensayo de la densidad SSS del árido fino y capacidad de absorción: NTE

INEN 856

GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)

Fecha Muestreo: 05/12/2018

Fecha Ensayo: 30/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO FINO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa del picnómetro	m1	154.70	153.30	151.90	g
Masa picnómetro + agreg. SSS	m2	450.40	444.50	428.50	g
Masa picnómetro + agreg. SSS + agua	m3	838.80	834.70	824.40	g
Masa agua añadida	m4=m3-m2	388.40	390.20	395.90	g
Masa picnómetro + 500cc agua	m5	652.90	651.50	650.10	g
Masa 500cc agua	m6=m5-m1	498.20	498.20	498.20	g
Densidad del agua	Da=m6/500cc	0.99640	0.99640	0.99640	g/cm <sup>3</sup>
Agua desalojada por muestra	m7=m6-m4	109.80	108.00	102.30	g
Masa del agregado	Msss=m2-m1	295.70	291.20	276.60	g
Volumen agua desalojada	Vsss=m7/Da	110.20	108.39	102.67	cm <sup>3</sup>
Densidad SSS del árido	DRA=Msss/Vsss	2.683	2.687	2.694	g/cm <sup>3</sup>
Densidad SSS promedio		2.688			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO FINO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	#55	#56	#71	#67	#57	#79
Masa recipiente (g)	30.40	30.50	30.60	30.30	31.00	30.90
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	127.70	99.70	139.20	120.10	116.70	107.40
Masa recipiente + agreg seco (g)	126.10	98.60	137.40	118.60	115.30	106.10
Masa agreg. SSS (g)	97.30	69.20	108.60	89.80	85.70	76.50
Masa agreg. Seco (g)	95.70	68.10	106.80	88.30	84.30	75.20
Capacidad de absorción	1.67%	1.62%	1.69%	1.70%	1.66%	1.73%
Absorción promedio	1.64%		1.69%		1.69%	
Absorción promedio total	1.68%					

MEDIDAS DE CONTROL AF GADMFO:GUAYUSA				
Parámetro	Densidad real (SSS)	Precisión 1Op INEN 856	Capacidad de absorción	Precisión 1 Op INEN 856
Rango	0.011	<0.027	0.0005	<0.31
Desviación. Estándar	0.0055	<0.0095	0.03%	<0.11%
Coefficiente de Variación	0.20%	---	1.72%	---
Promedio	2.688 g/cm <sup>3</sup>		1.68%	

## GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)

**Fecha Muestreo:** 07/12/2018

**Fecha Ensayo:** 29/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO FINO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa del picnómetro	<b>m1</b>	154.70	153.30	151.90	g
Masa picnómetro + agreg. SSS	<b>m2</b>	387.10	426.30	395.80	g
Masa picnómetro + agreg. SSS + agua	<b>m3</b>	796.90	821.00	801.40	g
Masa agua añadida	<b>m4=m3-m2</b>	409.80	394.70	405.60	g
Masa picnómetro + 500cc agua	<b>m5</b>	652.90	651.50	650.10	g
Masa 500cc agua	<b>m6=m5-m1</b>	498.20	498.20	498.20	g
Densidad del agua	<b>Da=m6/500cc</b>	0.99640	0.99640	0.99640	g/cm <sup>3</sup>
Agua desalojada por muestra	<b>m7=m6-m4</b>	88.40	103.50	92.60	g
Masa del agregado	<b>Msss=m2-m1</b>	232.40	273.00	243.90	g
Volumen agua desalojada	<b>Vsss=m7/Da</b>	88.72	103.87	92.93	cm <sup>3</sup>
Densidad SSS del árido	<b>DRA=Msss/Vsss</b>	2.619	2.628	2.624	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS promedio</b>		<b>2.624</b>			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO FINO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	<b>#55</b>	<b>#56</b>	<b>#71</b>	<b>#67</b>	<b>#57</b>	<b>#79</b>
Masa recipiente (g)	30.40	30.50	31.00	30.30	30.50	30.90
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	109.50	142.90	131.70	109.20	138.20	130.40
Masa recipiente + agreg seco (g)	108.50	141.50	130.40	108.10	136.90	129.10
Masa agreg. SSS (g)	79.10	112.40	100.70	78.90	107.70	99.50
Masa agreg. Seco (g)	78.10	111.00	99.40	77.80	106.40	98.20
Capacidad de absorción	1.28%	1.26%	1.31%	1.41%	1.22%	1.32%
Absorción promedio parcial	1.27%		1.36%		1.27%	
<b>Absorción promedio total</b>	<b>1.30%</b>					

MEDIDAS DE CONTROL AF GADMFO: LA CONDE				
Parámetro	Densidad real (SSS)	Precisión 1 Op INEN 856	Capacidad de absorción	Precisión 1Op INEN 856
Rango	0.009	<0.027	0.0009	<0.31
Desviación. Estándar	0.0044	<0.0095	0.05%	<0.11%
Coefficiente de Variación	0.17%	---	3.95%	---
<b>Promedio</b>	<b>2.624 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.30%</b>	

## GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)

**Fecha Muestreo:** 09/12/2018

**Fecha Ensayo:** 30/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO FINO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa del picnómetro	<b>m1</b>	154.70	153.30	151.90	g
Masa picnómetro + agreg. SSS	<b>m2</b>	487.30	413.00	422.70	g
Masa picnómetro + agreg. SSS + agua	<b>m3</b>	858.90	812.00	817.80	g
Masa agua añadida	<b>m4=m3-m2</b>	371.60	399.00	395.10	g
Masa picnómetro + 500cc agua	<b>m5</b>	652.90	651.50	650.10	g
Masa 500cc agua	<b>m6=m5-m1</b>	498.20	498.20	498.20	g
Densidad del agua	<b>Da=m6/500cc</b>	0.99640	0.99640	0.99640	g/cm <sup>3</sup>
Agua desalojada por muestra	<b>m7=m6-m4</b>	126.60	99.20	103.10	g
Masa del agregado	<b>Msss=m2-m1</b>	332.60	259.70	270.80	g
Volumen agua desalojada	<b>Vsss=m7/Da</b>	127.06	99.56	103.47	cm <sup>3</sup>
Densidad SSS del árido	<b>DRA=Msss/Vsss</b>	2.618	2.609	2.617	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS promedio</b>		2.614			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO FINO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	<b>#55</b>	<b>#56</b>	<b>#71</b>	<b>#67</b>	<b>#57</b>	<b>#79</b>
Masa recipiente (g)	24.30	24.30	25.10	24.30	24.80	25.90
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	137.30	151.80	138.10	136.50	138.30	131.60
Masa recipiente + agreg seco (g)	135.40	149.50	136.20	134.50	136.40	129.80
Masa agreg . SSS (g)	113.00	127.50	113.00	112.20	113.50	105.70
Masa agreg. Seco (g)	111.10	125.20	111.10	110.20	111.60	103.90
Capacidad de absorción	1.71%	1.84%	1.71%	1.81%	1.70%	1.73%
Absorción promedio	1.77%		1.76%		1.72%	
<b>Absorción promedio total</b>	<b>1.75%</b>					

MEDIDAS DE CONTROL AF GADMFO: PUNINO				
Parámetro	Densidad real (SSS)	Precisión 1 Op INEN 856	Capacidad de absorción	Precisión 1Op INEN 856
Rango	0.009	<0.027	0.0006	<0.31
Desviación. Estándar	0.0051	<0.0095	0.03%	<0.11%
Coefficiente de Variación	0.20%	---	1.70%	---
<b>Promedio</b>	<b>2.614 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.75%</b>	

f. Ensayo de la densidad SSS del árido grueso y capacidad de absorción: NTE  
INEN 857

**GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)**

Fecha Muestreo: 06/12/2018

Fecha Ensayo: 24/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO GRUESO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa canastilla en el aire	<b>m1</b>	1181.70	1181.60	1181.70	g
Masa canastilla + árido SSS en aire	<b>m2</b>	5246.70	5189.20	5263.10	g
Masa árido SSS en aire	<b>Msss=m2-m1</b>	4065.00	4007.60	4081.40	g
Masa canastilla + árido SSS en agua	<b>m3</b>	3572.00	3531.00	3580.00	g
Masa canastilla en agua	<b>m4</b>	1019.00	1019.00	1019.00	g
Masa árido en agua	<b>Ma=m3-m4</b>	2553.00	2512.00	2561.00	g
Temperatura agua	<b>Ta</b>	17.00	17.00	17.00	°C
Densidad del agua	<b>DA según Ta</b>	0.9989	0.9989	0.9989	g/cm <sup>3</sup>
Volumen del árido	<b>Vsss=(Msss-Ma)/DA</b>	1513.73	1497.31	1522.14	cm <sup>3</sup>
Densidad SSS	<b>DRA=Mss/Vss</b>	2.685	2.677	2.681	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS del árido promedio</b>		<b>2.681</b>			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	<b>#57</b>	<b>#69</b>	<b>#76</b>	<b>#80</b>	<b>#86</b>	<b>#89</b>
Masa recipiente (g)	31.00	30.60	30.70	30.90	31.20	31.30
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	148.20	152.50	123.60	121.50	129.70	124.40
Masa recipiente + agreg seco (g)	146.40	150.50	122.20	120.20	128.20	123.00
Masa agreg . SSS (g)	117.20	121.90	92.90	90.60	98.50	93.10
Masa agreg. Seco (g)	115.40	119.90	91.50	89.30	97.00	91.70
Capacidad de absorción	1.56%	1.67%	1.53%	1.46%	1.55%	1.53%
Absorción promedio parcial	1.61%		1.49%		1.54%	
<b>Absorción promedio final</b>	<b>1.55%</b>					

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: GUAYUSA				
Parámetros	Densidad (SSS)	Precisión 1 Op INEN 857	Capacidad de absorción	Precisión 1 Op INEN 856
Rango	0.009	<0.02	0.12%	<0.31%
Desviación estándar	0.004	<0.007	0.06%	<0.11%
Coefficiente de variación	0.17%	---	3.96%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.681 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.55%</b>	

## GUAYUSA TRITURADO (RÍO COCA)

Fecha Muestreo: 06/12/2018

Fecha Ensayo: 29/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO GRUESO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa canastilla en el aire	<b>m1</b>	1167.6	1167.60	1167.60	g
Masa canastilla + árido SSS en aire	<b>m2</b>	4269.20	4169.20	4718.60	g
Masa árido SSS en aire	<b>Msss=m2-m1</b>	3101.60	3001.60	3551.00	g
Masa canastilla + árido SSS en agua	<b>m3</b>	2949.00	2890.00	3231.00	g
Masa canastilla en agua	<b>m4</b>	1007.00	1007.00	1007.00	g
Masa árido en agua	<b>Ma=m3-m4</b>	1942.00	1883.00	2224.00	g
Temperatura agua	<b>Ta</b>	18.00	18.00	18.00	°C
Densidad del agua	<b>DA según Ta</b>	0.9987	0.9987	0.9987	g/cm <sup>3</sup>
Volumen del árido	<b>Vsss=(Msss-Ma)/DA</b>	1161.13	1120.08	1328.75	cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS</b>	<b>DRA=Mss/Vss</b>	2.671	2.680	2.672	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS del árido promedio</b>		<b>2.674</b>			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	<b>#16</b>	<b>#25</b>	<b>#27</b>	<b>#30</b>	<b>#36</b>	<b>#37</b>
Masa recipiente (g)	24.30	24.30	25.10	24.30	24.80	25.90
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	107.30	110.90	99.40	102.20	110.50	116.90
Masa recipiente + agreg seco (g)	105.00	108.60	97.30	100.00	108.10	114.40
Masa agreg . SSS (g)	83.00	86.60	74.30	77.90	85.70	91.00
Masa agreg. Seco (g)	80.70	84.30	72.20	75.70	83.30	88.50
Capacidad de absorción	2.85%	2.73%	2.91%	2.91%	2.88%	2.82%
Absorción promedio parcial	2.79%		2.91%		2.85%	
<b>Absorción promedio final</b>	<b>2.85%</b>					

MEDIDAS DE CONTROL TRITURADO GUAYUSA				
Parámetros	Densidad (SSS)	Precisión 1 Op INEN 857	Capacidad de absorción	Precisión 1 Op INEN 856
Rango	0.009	<0.02	0.12%	<0.31%
Desviación estándar	0.005	<0.007	0.06%	<0.11%
Coefficiente de variación	0.17%	---	2.08%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.674 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>2.85%</b>	

## GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)

Fecha Muestreo: 07/12/2018

Fecha Ensayo: 23/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO GRUESO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa canastilla en el aire	<b>m1</b>	1168.60	1168.40	1168.40	g
Masa canastilla + árido SSS en aire	<b>m2</b>	4225.00	4477.10	4067.00	g
Masa árido SSS en aire	<b>Msss=m2-m1</b>	3056.40	3308.70	2898.60	g
Masa canastilla + árido SSS en agua	<b>m3</b>	2926.00	3072.00	2822.00	g
Masa canastilla en agua	<b>m4</b>	1019.00	1013.00	1013.00	g
Masa árido en agua	<b>Ma=m3-m4</b>	1907.00	2059.00	1809.00	g
Temperatura agua	<b>Ta</b>	18.00	18.00	19.00	°C
Densidad del agua	<b>DA según Ta</b>	0.9987	0.9987	0.9985	g/cm <sup>3</sup>
Volumen del árido	<b>Vsss=(Msss-Ma)/DA</b>	1150.92	1251.35	1091.25	cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS</b>	<b>DRA=Mss/Vss</b>	2.656	2.644	2.656	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS del árido promedio</b>		<b>2.652</b>			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	<b>#70</b>	<b>#56</b>	<b>#70</b>	<b>#56</b>	<b>#70</b>	<b>#56</b>
Masa recipiente (g)	57.60	30.50	30.90	30.20	30.80	31.20
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	242.80	194.10	193.90	205.00	193.20	195.30
Masa recipiente + agreg seco (g)	240.80	192.40	192.10	203.10	191.60	193.50
Masa agreg . SSS (g)	185.20	163.60	163.00	174.80	162.40	164.10
Masa agreg. Seco (g)	183.20	161.90	161.20	172.90	160.80	162.30
Capacidad de absorción	1.09%	1.05%	1.12%	1.10%	1.00%	1.11%
Absorción promedio parcial	1.07%		1.11%		1.05%	
<b>Absorción promedio final</b>	<b>1.08%</b>					

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: LA CONDE				
Parámetros	Densidad (SSS)	Precisión 1 Op INEN 857	Capacidad de absorción	Precisión 1 Op INEN 856
Rango	0.012	<0.02	0.06%	<0.31%
Desviación estándar	0.007	<0.007	0.03%	<0.11%
Coefficiente de variación	0.26%	---	2.63%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.652 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.08%</b>	

## GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)

Fecha Muestreo: 09/12/2018

Fecha Ensayo: 24/01/2019

DENSIDAD REAL DEL ÁRIDO GRUESO					
Descripción	Nomenclatura	Ensayos			U
		I	II	III	
Masa canastilla en el aire	m1	1181.70	1181.70	1181.70	g
Masa canastilla + árido SSS en aire	m2	5231.50	5244.00	5211.50	g
Masa árido SSS en aire	Msss=m2-m1	4049.80	4062.30	4029.80	g
Masa canastilla + árido SSS en agua	m3	3550.00	3555.00	3531.00	g
Masa canastilla en agua	m4	1028.00	1026.00	1026.00	g
Masa árido en agua	Ma=m3-m4	2522.00	2529.00	2505.00	g
Temperatura agua	Ta	17.00	17.00	17.00	°C
Densidad del agua	DA según Ta	0.9989	0.9989	0.9989	g/cm <sup>3</sup>
Volumen del árido	Vsss=(Msss-Ma)/DA	1529.54	1535.05	1526.54	cm <sup>3</sup>
Densidad SSS	DRA=Mss/Vss	2.648	2.646	2.640	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad SSS del árido promedio</b>		<b>2.645</b>			g/cm <sup>3</sup>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN ÁRIDO GRUESO						
Descripción	Ensayos					
	I		II		III	
Identificación recipiente	#25	#36	#16	#21	#26	#27
Masa recipiente (g)	24.30	24.80	24.30	27.60	23.10	25.20
Masa recipiente + agreg. SSS (g)	163.50	168.60	160.90	154.10	158.80	156.70
Masa recipiente + agreg seco (g)	161.20	166.20	158.40	151.80	156.50	154.60
Masa agreg . SSS (g)	139.20	143.80	136.60	126.50	135.70	131.50
Masa agreg. Seco (g)	136.90	141.40	134.10	124.20	133.40	129.40
Capacidad de absorción	1.68%	1.70%	1.86%	1.85%	1.72%	1.62%
Absorción promedio parcial	1.69%		1.86%		1.67%	
<b>Absorción promedio final</b>	<b>1.74%</b>					

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: PUNINO 2				
Parámetros	Densidad (SSS)	Precisión 1 Op INEN 857	Capacidad de absorción	Precisión 1 Op INEN 856
Rango	0.008	<0.02	0.18%	<0.31%
Desviación estándar	0.004	<0.007	0.10%	<0.11%
Coefficiente de variación	0.16%	---	5.89%	---
<b>PROMEDIO</b>	<b>2.645 g/cm<sup>3</sup></b>		<b>1.74%</b>	



**g. Ensayo densidad suelta de los agregados: NTE INEN 858**

**Condiciones: suelta y compactada**

**GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)**

**Fecha Muestreo:** 05-06/12/2018

**Fecha Ensayo:** 14-16/01/2019

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Norma:** INEN 858:2010

**Masa molde en g (T):** 10000

**Volumen molde cm<sup>3</sup> (V):** 20220

<b>ÁRIDO FINO</b>							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	39950	40150	40050	41620	42250	41700	g
	39930	40200	40150	41580	41950	41800	g
Promedio masa agregado + molde	39940	40175	40100	41600	42100	41750	g
Densidad aparente	1.481	1.492	1.489	1.563	1.588	1.570	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.487</b>			<b>1.574</b>			g/cm <sup>3</sup>

<b>ÁRIDO GRUESO</b>							
<b>Zarandeado</b>							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	43700	43600	43800	46450	46200	46350	g
	43730	43400	43780	46470	46300	46200	g
Promedio masa agregado + molde	43715	43500	43790	46460	46250	46275	g
Densidad aparente	1.667	1.657	1.671	1.803	1.793	1.794	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.665</b>			<b>1.797</b>			g/cm <sup>3</sup>
<b>Triturado</b>							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	38600	38300	38500	41200	41300	41700	g
	38350	38550	38700	41500	41600	41550	g
Promedio masa agregado + molde	38475	38425	38600	41350	41450	41625	g
Densidad aparente	1.408	1.406	1.414	1.550	1.555	1.564	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.409</b>			<b>1.557</b>			g/cm <sup>3</sup>

<b>MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: GUAYUSA</b>							
Parámetro	Fino		AG Zarandeado		AG Triturado		Precis 1 Op INEN 858
	Suelta	Comp	Suelta	Comp	Suelta	Comp	
Rango	0.012	0.025	0.014	0.010	0.009	0.014	<0.04
Desviación Estándar	0.006	0.013	0.007	0.006	0.004	0.007	<0.014
Coefficiente de Variación	0.40%	0.81%	0.45%	0.32%	0.32%	0.44%	<1%
<b>Promedio</b>	1.487	1.574	1.665	1.797	1.409	1.557	g/cm <sup>3</sup>

## GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)

**Fecha Muestreo:** 07/12/2018

**Fecha Ensayo:** 17-18/01/2019

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Norma:** INEN 858:2010

**Masa molde en g (T):** 10000

**Volumen molde cm<sup>3</sup> (V):** 20220

ÁRIDO FINO							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	38700	38650	39050	40470	40550	40670	g
	38450	38850	39100	40570	40750	40650	g
Promedio masa agregado + molde	38575	38750	39075	40520	40650	40660	g
Densidad aparente	1.413	1.422	1.438	1.509	1.516	1.516	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.424</b>			<b>1.514</b>			g/cm <sup>3</sup>

ÁRIDO GRUESO							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	44300	44400	44550	46450	46350	46250	g
	44200	44350	44450	46350	46300	46450	g
Promedio masa agregado + molde	44250	44375	44500	46400	46325	46350	g
Densidad aparente	1.694	1.700	1.706	1.800	1.796	1.798	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.700</b>			<b>1.798</b>			g/cm <sup>3</sup>

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: LA CONDE					
Parámetro	Fino		Grueso		Precisión 1 Operador INEN 858
	Suelta	Comp	Suelta	Comp	
Rango	0.025	0.007	0.012	0.004	<0.04
Desviación Estándar	0.013	0.004	0.006	0.002	<0.014
Coefficiente de Variación	0.88%	0.26%	0.36%	0.11%	<1%
<b>Promedio</b>	<b>1.424</b>	<b>1.514</b>	<b>1.700</b>	<b>1.798</b>	g/cm <sup>3</sup>

## GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO)

**Fecha Muestreo:** 09/12/2018

**Fecha Ensayo:** 21-22/01/2019

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Norma:** INEN 858:2010

**Masa molde en g (T):** 10000

**Volumen molde cm<sup>3</sup> (V):** 20220

ÁRIDO FINO							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	40900	40950	41050	42650	42950	42850	g
	40750	41270	41300	42750	43000	42750	g
Promedio masa agregado + molde	40825	41110	41175	42700	42975	42800	g
Densidad aparente	1.524	1.539	1.542	1.617	1.631	1.622	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.535</b>			<b>1.623</b>			<b>g/cm<sup>3</sup></b>

ÁRIDO GRUESO ZAR							
Descripción	Suelta			Compactada			U
	I	II	III	I	II	III	
Masa del agregado + molde	44300	43950	43800	46180	46100	45850	g
	44050	43850	44200	46170	46050	45650	g
Promedio masa agregado + molde	44175	43900	44000	46175	46075	45750	g
Densidad aparente	1.690	1.677	1.682	1.789	1.784	1.768	g/cm <sup>3</sup>
<b>Densidad aparente promedio</b>	<b>1.683</b>			<b>1.780</b>			<b>g/cm<sup>3</sup></b>

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: PUNINO 2					
Parámetro	Fino		Grueso Zar		Precisión 1 Op INEN 858
	Suelta	Comp	Suelta	Comp	
Rango	0.017	0.014	0.014	0.021	<0.04
Desviación Estándar	0.009	0.007	0.007	0.011	<0.014
Coficiente de Variación	0.60%	0.42%	0.41%	0.62%	<1%
<b>Promedio</b>	<b>1.535</b>	<b>1.623</b>	<b>1.683</b>	<b>1.780</b>	<b>g/cm<sup>3</sup></b>

**h. Ensayo de abrasión: NTE INEN 860**

**GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA) ZARANDEADO**

**Norma:** INEN 860:2011 (ASTM C 131-06)

**TNM:** 1"

**Fecha Ensayo:** 10/01/2019

**Número de esferas:** 12

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Gradación:** A (1", 3/4", 1/2" y 3/8")

FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	U	DATOS ENSAYOS		
			I	II	III
A	Masa seca original de la muestra	g	5000.00	5000.00	5000.00
B	Retenido en tamiz N°12 después de 100 rev.	g	4836.20	4837.40	4833.10
C=A-B	Pérdida después de 100 revoluciones	g	163.80	162.60	166.90
D	Retenido en tamiz N°12 después de 500 rev.	g	4041.00	4054.60	4045.00
E=A-D	Pérdida después de 500 revoluciones	g	959.00	945.40	955.00
F=(C/A)*100	Porcentaje de pérdida en 100 revoluciones	%	3.28	3.25	3.34
Ca=(E/A)*100	Porcentaje de pérdida en 500 revoluciones	%	19.18	18.91	19.10
Cu=C/E	<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD</b>		0.171	0.172	0.175
Ca	<b>VALOR DE LA DEGRADACIÓN</b>		19.18%	18.91%	19.10%

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: GUAYUSA				
Descripción	Coeficiente de Uniformidad		Degradación %	
	Cantidad	Material de dureza uniforme	Cant.	Precisión 1 Op (INEN 860)
Rango	0.004	--	0.003	<0.045
Desv. Estándar	0.20%	--	0.14%	--
Coef. Variación	1.18%	--	0.73%	<2%
<b>Promedio</b>	<b>0.173</b>	<b>&lt;0.20</b>	<b>19.06%</b>	<b>≤50% INEN 872</b>

## GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA) TRITURADO

**Norma:** INEN 860:2011 (ASTM C 131-06)

**TNM:** 3/4"

**Fecha Ensayo:** 08/01/2019

**Número de esferas:** 11

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Gradación:** B (1/2" y 3/8")

FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	U	DATOS ENSAYOS		
			I	II	III
A	Masa seca original de la muestra	g	5000.00	5000.00	5000.00
B	Retenido en tamiz N°12 después de 100 rev.	g	4687.00	4682.00	4703.50
C=A-B	Pérdida después de 100 revoluciones	g	313.00	318.00	296.50
D	Retenido en tamiz N°12 después de 500 rev.	g	3640.90	3617.80	3631.20
E=A-D	Pérdida después de 500 revoluciones	g	1359.10	1382.20	1368.80
F=(C/A)*100	Porcentaje de pérdida en 100 revoluciones	%	6.26	6.36	5.93
Ca=(E/A)*100	Porcentaje de pérdida en 500 revoluciones	%	27.18	27.84	27.18
Cu=C/E	<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD</b>		0.230	0.228	0.218
Ca	<b>VALOR DE LA DEGRADACIÓN</b>		27.18%	27.64%	27.38%

MEDIDAS DE CONTROL GUAYUSA TRITURADO				
Descripción	Coeficiente de Uniformidad		Degradación %	
	Cantidad	Material de dureza uniforme	Cant.	Precisión 1 Op (INEN 860)
Rango	0.012	--	0.005	<0.045
Desv. Estándar	0.65%	--	0.23%	--
Coef. Variación	2.88%	--	0.85%	<2%
<b>Promedio</b>	<b>0.226</b>	<b>&lt;0.20</b>	<b>27.40%</b>	<b>≤50% INEN 872</b>

## GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO) ZARANDEADO

Norma: INEN 860:2011 (ASTM C 131-06)

TNM: 1"

Fecha Ensayo: 10/01/2019

Número de esferas: 12

Realizado por: Jefferson Manosalvas R.

Gradación: A (1", 3/4", 1/2" y 3/8")

FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	U	DATOS ENSAYOS		
			I	II	III
A	Masa seca original de la muestra	g	5000.00	5000.00	5000.00
B	Retenido en tamiz Nº12 después de 100 rev.	g	4842.00	4834.10	4837.00
C=A-B	Pérdida después de 100 revoluciones	g	158.00	165.90	163.00
D	Retenido en tamiz Nº12 después de 500 rev.	g	4121.40	4101.50	4118.70
E=A-D	Pérdida después de 500 revoluciones	g	878.60	898.50	881.30
$F=(C/A)*100$	Porcentaje de pérdida en 100 revoluciones	%	3.16	3.32	3.26
$Ca=(E/A)*100$	Porcentaje de pérdida en 500 revoluciones	%	17.57	17.97	17.63

$Cu=C/E$	<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD</b>	0.180	0.185	0.185
Ca	<b>VALOR DE LA DEGRADACIÓN</b>	17.57%	17.97%	17.63%

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: LA CONDE				
Descripción	Coeficiente de Uniformidad		Degradación %	
	Cantidad	Material de dureza uniforme	Cant.	Precisión 1 Op (INEN 860)
Rango	0.005	--	0.004	<0.045
Desv. Estándar	0.29%	--	0.22%	--
Coef. Variación	1.57%	--	1.22%	<2%
<b>Promedio</b>	<b>0.183</b>	<b>&lt;0.20</b>	<b>17.72%</b>	<b>≤50% INEN 872</b>

## GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO) ZARANDEADO

**Norma:** INEN 860:2011 (ASTM C 131-06)

**TNM:** 1"

**Fecha Ensayo:** 10/01/2019

**Número de esferas:** 12

**Realizado por:** Jefferson Manosalvas R.

**Gradación:** A (1", 3/4", 1/2" y 3/8")

FÓRMULA	DESCRIPCIÓN	U	DATOS ENSAYOS		
			I	II	III
A	Masa seca original de la muestra	g	5000.00	5000.00	4990.00
B	Retenido en tamiz N°12 después de 100 rev.	g	4768.70	4768.10	4752.50
C=A-B	Pérdida después de 100 revoluciones	g	231.30	231.90	237.50
D	Retenido en tamiz N°12 después de 500 rev.	g	3917.10	3928.30	3920.10
E=A-D	Pérdida después de 500 revoluciones	g	1082.90	1071.70	1069.90
$F=(C/A)*100$	Porcentaje de pérdida en 100 revoluciones	%	4.63	4.64	4.76
$Ca=(E/A)*100$	Porcentaje de pérdida en 500 revoluciones	%	21.66	21.43	21.44
Cu=C/E	<b>COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD</b>		0.214	0.216	0.222
Ca	<b>VALOR DE LA DEGRADACIÓN</b>		21.66%	21.43%	21.44%

MEDIDAS DE CONTROL GADMFO: PUNINO 2				
Descripción	Coeficiente de Uniformidad		Degradación %	
	Cantidad	Material de dureza uniforme	Cant.	Precisión un operador (INEN 860)
Rango	0.008	--	0.002	<0.045
Desv. Estándar	0.43%	--	0.13%	--
Coef. Variación	1.97%	--	0.59%	<2%
<b>Promedio</b>	<b>0.217</b>	<b>&lt;0.20</b>	<b>21.51%</b>	<b>≤50% INEN 872</b>

## ANEXO DM.-Diseño de mezclas de prueba

### a. Diseños 1 y 2 realizados

#### GADMFO: GUAYUSA ZARANDEADO (RÍO COCA) X2

##### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: G_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); G_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )	
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 2" (50 mm)	
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 1" (25mm)	
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 357	
DATOS TABLAS 18 y 19			
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56	
POV + 2% + 8%(POV)			

##### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

DATOS ENSAYOS PREVIOS						
Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	70 %
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.688	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	2.14 g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.681	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.68 %
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.487	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	1.55 %
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.665	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	-- %
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	30	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	-- %
<b>Nota:</b> Cambios realizados en la segunda dosificación; POF→34%, POG 66% y DOM→1.949 g/cm <sup>3</sup>						

##### 3. CÁLCULOS

PROCESOS		Dosificación 1		Dosificación 2		U
		Gi_21	Gi_24	Gii_21	Gii_24	
Densidad real de la mezcla	<b>DRM</b>	2.68	2.68	2.68	2.68	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje óptimo de vacíos	<b>POV</b>	20.24	20.24	27.39	27.39	%
Cantidad de pasta	<b>CP</b>	238.63	238.63	315.76	315.76	dm <sup>3</sup>
Cantidad de cemento	<b>C</b>	258.69	264.43	342.30	349.89	kg
Cantidad de agua	<b>W</b>	150.04	148.08	198.54	195.94	lt
Cantidad de árido fino	<b>AF</b>	613.97	613.97	625.34	625.34	kg
Cantidad de árido grueso	<b>AG</b>	1428.91	1428.91	1210.78	1210.78	kg
Densidad del hormigón	<b>DH</b>	2451.62	2455.39	2376.96	2381.95	kg/m <sup>3</sup>

##### 4. RESULTADOS

###### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 1

Gi_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	150.0	0.58	29.0	29.0	lt
C	258.7	1.00	50.0	1.0	saco
AF	614.0	2.37	118.7	2.96	caj.
AG	1428.9	5.52	276.2	6.1	caj.

Gi_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	148.1	0.56	28.0	28.0	lt
C	264.4	1.00	50.0	1.0	saco
AF	614.0	2.32	116.1	2.9	caj.
AG	1428.9	5.40	270.2	6.0	lt

###### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 2

Gii_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	198.5	0.58	29.0	29.0	lt
C	342.3	1.00	50.0	1.0	saco
AF	625.3	1.83	91.3	2.27	caj.
AG	1210.8	3.54	176.9	3.9	caj.

Gii_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	195.9	0.56	28.0	28.0	lt
C	349.9	1.00	50.0	1.0	saco
AF	625.3	1.79	89.4	2.2	caj.
AG	1210.8	3.46	173.0	3.8	lt



## GADMFO: GUAYUSA TRITURADO (RÍO COCA) X2

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: Gt_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); Gt_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )	
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 1 1/2" (37.5 mm)	
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 3/4" (19mm)	
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 57	
DATOS TABLAS 18 y 19			
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56	
POV + 2% + 8%(POV)			

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

DATOS ENSAYOS PREVIOS							
Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	64	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.688	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	2.072	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.674	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.68	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.487	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	2.85	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.409	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	--	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	36	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	--	%
<b>Nota:</b> Cambios realizados en la segunda dosificación, DOM→1.933 g/cm <sup>3</sup>							

### 3. CÁLCULOS

PROCESOS		Dosificación 1		Dosificación 2		U
		Gti_21	Gti_24	Gtii_21	Gtii_24	
Densidad real de la mezcla	<b>DRM</b>	2.68	2.68	2.68	2.68	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje óptimo de vacíos	<b>POV</b>	22.67	22.67	27.85	27.85	%
Cantidad de pasta	<b>CP</b>	264.81	264.81	320.74	320.74	dm <sup>3</sup>
Cantidad de cemento	<b>C</b>	287.07	293.43	347.70	355.40	kg
Cantidad de agua	<b>W</b>	166.50	164.32	201.67	199.03	lt
Cantidad de árido fino	<b>AF</b>	711.43	711.43	657.31	657.31	kg
Cantidad de árido grueso	<b>AG</b>	1258.39	12558.39	1162.66	1162.66	kg
Densidad del hormigón	<b>DH</b>	2423.40	2427.58	2369.34	2374.41	kg/m <sup>3</sup>

### 4. RESULTADOS

#### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 1

Gti_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	166.5	0.58	29.0	29.0	lt
C	287.1	1.00	50.0	1.0	saco
AF	711.4	2.48	123.9	3.1	caj.
AG	1258.4	4.38	219.2	5.8	caj.

Gti_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	164.3	0.56	28.0	28.0	lt
C	293.4	1.00	50.0	1.0	saco
AF	711.4	2.42	121.2	3.0	caj.
AG	1258.4	4.29	214.4	5.6	lt

#### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 2

Gtii_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	201.7	0.58	29.0	29.0	lt
C	347.7	1.00	50.0	1.0	saco
AF	657.3	1.89	94.5	2.35	caj.
AG	1162.7	3.34	167.2	4.4	caj.

Gtii_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	199.0	0.56	28.0	28.0	lt
C	355.4	1.00	50.0	1.0	saco
AF	657.3	1.85	92.5	2.3	caj.
AG	1162.7	3.27	163.6	4.3	lt

## GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO) X2

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: LC_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); LC_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )	
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 2" (50 mm)	
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 1" (25 mm)	
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 357	
DATOS TABLAS			
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56	
POV + 2% + 8%(POV)			

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

DATOS ENSAYOS PREVIOS							
Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	72	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.624	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	2.108	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.652	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.30	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.424	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	1.08	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.700	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	--	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	28	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	--	%
<b>Nota:</b> Cambios realizados en la segunda dosificación; POF→32%, POG→68% y DOM→1.919 g/cm <sup>3</sup>							

### 3. CÁLCULOS

PROCESOS		Dosificación 1		Dosificación 2		U
		LCi_21	LCi_24	LCii_21	LCii_24	
Densidad real de la mezcla	<b>DRM</b>	2.64	2.64	2.64	2.64	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje óptimo de vacíos	<b>POV</b>	20.28	20.28	27.38	27.38	%
Cantidad de pasta	<b>CP</b>	238.99	238.99	315.66	315.66	dm <sup>3</sup>
Cantidad de cemento	<b>C</b>	259.08	264.82	342.19	349.78	kg
Cantidad de agua	<b>W</b>	150.27	148.30	198.47	195.87	lt
Cantidad de árido fino	<b>AF</b>	559.14	559.14	595.63	595.63	kg
Cantidad de árido grueso	<b>AG</b>	1453.09	1453.09	1279.18	1279.18	kg
Densidad del hormigón	<b>DH</b>	2421.57	2425.35	2415.47	2420.46	kg/m <sup>3</sup>

### 4. RESULTADOS

#### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 1

LCi_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	150.3	0.58	29.0	29.0	lt
C	259.1	1.00	50.0	1.0	saco
AF	559.1	2.16	107.9	2.8	caj.
AG	1453.1	5.61	280.4	6.1	caj.

LCi_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	148.3	0.56	28.0	28.0	lt
C	264.8	1.00	50.0	1.0	saco
AF	559.1	2.11	105.6	2.7	caj.
AG	1453.1	5.49	274.4	6.0	lt

#### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 2

LCii_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	198.5	0.58	29.0	29.0	lt
C	342.2	1.00	50.0	1.0	saco
AF	595.6	1.74	87.0	2.26	caj.
AG	1279.2	3.74	186.9	4.1	caj.

LCii_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	195.9	0.56	28.0	28.0	lt
C	349.8	1.00	50.0	1.0	saco
AF	595.6	1.70	85.1	2.2	caj.
AG	1279.2	3.66	182.9	4.0	lt

## GADMFO: PUNINO 2 (RÍO PAYAMINO) X2

### 1. CONDICIONES DE DISEÑO

f'c: 210 y 240 kg/cm <sup>2</sup> (28 Días)		Identificación: P_21 (210kg/cm <sup>2</sup> ); P_24 (240kg/cm <sup>2</sup> )	
Asent: 8cm		TM Árido Grueso: 2" (50 mm)	
Cant: 1 m <sup>3</sup>		TNM Árido Grueso: 1" (25 mm)	
Cemento: Hidráulico GU		Tamaño INEN 872: N° 467	
DATOS TABLAS			
Relación A/C	210 kg/cm <sup>2</sup>	0.58	CP%
	240 kg/cm <sup>2</sup>	0.56	
POV + 2% + 8%(POV)			

### 2. DATOS REQUERIDOS PARA LA DOSIFICACIÓN

DATOS ENSAYOS PREVIOS							
Densidad real del cemento	<b>DRC</b>	2.92	g/cm <sup>3</sup>	Porcentaje óptimo de AG	<b>POG</b>	66	%
Densidad real árido fino	<b>DRF</b>	2.614	g/cm <sup>3</sup>	Densidad óptima mezcla	<b>DOM</b>	2.1	g/cm <sup>3</sup>
Densidad real árido grueso	<b>DRG</b>	2.645	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AF	<b>CAF</b>	1.75	%
Densidad suelta AF	<b>DSAF</b>	1.535	g/cm <sup>3</sup>	Capacidad de absorción AG	<b>CAG</b>	1.74	%
Densidad suelta AG	<b>DSAG</b>	1.683	g/cm <sup>3</sup>	Contenido de humedad AF*	<b>CHF</b>	--	%
Porcentaje óptimo de AF	<b>POF</b>	34	%	Contenido de humedad AG*	<b>CHG</b>	--	%
<b>Nota:</b> Cambios realizados en la segunda dosificación, DOM → 1.925 g/cm <sup>3</sup>							

### 3. CÁLCULOS

PROCESOS		Dosificación 1		Dosificación 2		U
		Pi_21	Pi_24	Pii_21	Pii_24	
Densidad real de la mezcla	<b>DRM</b>	2.63	2.63	2.63	2.63	g/cm <sup>3</sup>
Porcentaje óptimo de vacíos	<b>POV</b>	20.28	20.28	26.92	26.92	%
Cantidad de pasta	<b>CP</b>	239.07	239.07	310.77	310.77	dm <sup>3</sup>
Cantidad de cemento	<b>C</b>	259.17	264.91	336.89	344.36	kg
Cantidad de agua	<b>W</b>	150.32	148.35	195.40	192.84	lt
Cantidad de árido fino	<b>AF</b>	676.40	676.40	634.89	634.89	kg
Cantidad de árido grueso	<b>AG</b>	1328.17	1328.17	1246.66	1246.66	kg
Densidad del hormigón	<b>DH</b>	2414.05	2417.83	2413.84	2418.75	kg/m <sup>3</sup>

### 4. RESULTADOS

#### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 1

Pi_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	150.3	0.58	29.0	29.0	lt
C	259.2	1.00	50.0	1.0	saco
AF	676.4	2.61	130.5	3.1	caj.
AG	1328.2	5.12	256.2	5.6	caj.

Pi_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	148.4	0.56	28.0	28.0	lt
C	264.9	1.00	50.0	1.0	saco
AF	676.4	2.55	127.7	3.1	caj.
AG	1328.2	5.01	250.7	5.5	lt

#### DOSIFICACIÓN DE PRUEBA 2

Pii_21					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	195.4	0.58	29.0	29.0	lt
C	336.9	1.00	50.0	1.0	saco
AF	634.9	1.88	94.2	2.27	caj.
AG	1246.7	3.70	185.0	4.1	caj.

Pii_24					
Elem	Cant. Kg @m <sup>3</sup> HM	Dosific. al peso	Cantidad @saco 50kg	Dosif. X vol. l=b=h=3dm <sup>3</sup>	
W	192.8	0.56	28.0	28.0	lt
C	344.4	1.00	50.0	1.0	saco
AF	634.9	1.84	92.2	2.2	caj.
AG	1246.7	3.62	181.0	4.0	Lt

**b. Estado fresco: Determinación de la densidad, rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico); NTE INEN 1579**

RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1													
ID	Fecha Elab.	Hora	$\delta t$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso H. fresco (Kg)	Vol. M (dm <sup>3</sup> )	$\delta$ fresco (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta p$ (kg/m <sup>3</sup> )	Asen (cm)	Consist	Parám Cual.		Cont. Aire (%)	Rend Relati
										Trabaj	Homo		
Gi_21-4	14-02-19	17:40	2451.6	4.179	1.7153	2436.2	2443.84	8	Blanda	Buena	Mala	0.32	0.990
Gi_21-5				4.235	1.7285	2450.1							
Gi_21-6				4.210	1.7219	2445.2							
Gi_24-1	18-02-19	12:20	2455.4	3.825	1.5739	2430.2	2431.18	6	Blanda	Regular	Mala	0.99	0.997
Gi_24-7				4.179	1.7318	2413.1							
Gi_24-8				4.203	1.7153	2450.2							
Gti_21-4	18-02-19	13:20	2424.2	4.106	1.7153	2393.7	2374.62	7	Blanda	Regular	Buena	2.04	1.001
Gti_21-6				4.098	1.7219	2379.9							
Gti_21-9				4.047	1.7219	2350.3							
Gti_24-2	18-02-19	14:10	2428.3	4.108	1.7252	2381.2	2378.70	7	Blanda	Regular	Buena	2.04	1.001
Gti_24-3				4.093	1.7417	2350.0							
Gti_24-5				4.157	1.7285	2405.0							
LCi_21-1	12-02-19	16:00	2421.6	3.789	1.5739	2407.3	2405.32	6	Blanda	Regular	Regular	0.67	0.997
LCi_21-2				4.143	1.7219	2406.0							
LCi_21-3				4.145	1.7252	2402.6							
LCi_24-4	13-02-19	16:30	2425.3	4.063	1.7153	2368.6	2370.80	12	Fluida	Regular	Mala	2.25	1.013
LCi_24-5				4.093	1.7285	2367.9							
LCi_24-6				4.091	1.7219	2375.8							
Pi_21-7	14-02-19	11:45	2414.0	4.169	1.7318	2407.0	2391.81	8	Blanda	Buena	Buena	0.92	0.995
Pi_21-8				4.132	1.7153	2409.1							
Pi_21-9				4.063	1.7219	2359.3							
Pi_24-1	14-02-19	12:30	2417.8	3.817	1.5708	2430.2	2415.18	8	Blanda	Buena	Buena	0.11	0.987
Pi_24-2				4.159	1.7252	2410.9							
Pi_24-3				4.188	1.7417	2404.4							

RESULTADOS DOSIFICACIÓN 2													
ID	Fecha Elab.	Hora	$\delta t$ (kg/m <sup>3</sup> )	Peso H. fresco (Kg)	Vol. M (dm <sup>3</sup> )	$\delta$ fresco (kg/m <sup>3</sup> )	$\delta p$ (kg/m <sup>3</sup> )	Asen (cm)	Consist	Parám Cual.		Cont. Aire (%)	Rend Relati
										Trabaj	Homo		
G_21-10	10-04-19	15:00	2377.0	3.903	1.650	2365.0	2362.97	8	Blanda	Buena	Buena	0.59	0.981
G_21-11				3.846	1.634	2353.1							
G_21-12				3.837	1.618	2370.8							
G_24-13	10-04-19	15:50	2381.9	3.837	1.6279	2357.3	2373.15	8	Blanda	Buena	Buena	0.37	0.979
G_24-14				3.827	1.6087	2378.8							
G_24-15				3.834	1.6087	2383.3							
Gt_21-16	11-04-19	18:15	2369.3	3.812	1.6183	2355.8	2356.96	8	Blanda	Buena	Buena	0.52	0.985
Gt_21-17				3.849	1.6343	2355.1							
Gt_21-18				3.804	1.6119	2360.0							
Gt_24-19	09-04-19	18:10	2374.4	3.802	1.6087	2363.4	2355.37	6	Blanda	Buena	Buena	0.80	0.988
Gt_24-20				3.801	1.6183	2348.5							
Gt_24-21				3.832	1.6279	2354.2							
LC_21-16	10-04-19	16:40	2415.5	3.871	1.6183	2392.1	2393.33	9	Blanda	Buena	Buena	0.92	0.987
LC_21-17				3.897	1.6343	2384.6							
LC_21-18				3.874	1.6119	2403.4							
LC_24-19	10-04-19	17:45	2420.5	3.911	1.6087	2430.8	2407.55	8	Blanda	Buena	Buena	0.53	0.984
LC_24-20				3.869	1.6183	2390.8							
LC_24-21				3.909	1.6279	2401.0							
P_21-10	11-03-19	17:00	2413.8	3.919	1.6503	2374.5	2394.39	8	Blanda	Buena	Buena	0.81	0.989
P_21-11				3.912	1.6343	2393.7							
P_21-12				3.908	1.6183	2415.0							
P_24-13	11-03-19	17:45	2418.7	3.885	1.6279	2386.7	2404.76	6	Blanda	Regular	Buena	0.58	0.987
P_24-14				3.866	1.6087	2403.2							
P_24-15				3.900	1.6087	2424.4							

c. **Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico INEN 1573**

<b>RESULTADOS DOSIFICACIÓN 1</b>														
ID	Fecha Elab	Edad (Días)	Fecha rot	Datos cilindros					$\delta$ kg/m <sup>3</sup>	$\delta p$ kg/m <sup>3</sup>	Carga (KN)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	% (65-75)
				$\phi_p$ (mm)	hp (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)						
G_21-4	14-Feb-2019	7	21-Feb-2019	104.50	200.00	8576.74	1.72E-03	4.17	2431.28	2437.84	96.3	11.23	10.69	51%
G_21-5				104.50	201.00	8576.74	1.72E-03	4.20	2438.45		86.2	10.05		
G_21-6				104.60	200.00	8593.17	1.72E-03	4.20	2443.80		92.7	10.79		
G_24-1	18-Feb-2019	7	25-Feb-2019	100.00	201.00	7853.98	1.58E-03	3.81	2411.55	2410.38	95.5	12.16	11.43	48%
G_24-7				104.50	200.00	8576.74	1.72E-03	4.13	2409.42		92.9	10.83		
G_24-8				104.40	201.00	8560.34	1.72E-03	4.15	2410.17		96.8	11.31		
Gt_21-4	18-Feb-2019	7	25-Feb-2019	104.60	200.00	8593.17	1.72E-03	4.05	2354.20	2353.04	96.3	11.21	10.70	51%
Gt_21-6				104.60	200.00	8593.17	1.72E-03	4.04	2350.70		86.2	10.03		
Gt_21-9				104.20	198.00	8527.57	1.69E-03	3.98	2354.22		92.7	10.87		
Gt_24-2	18-Feb-2019	7	25-Feb-2019	104.50	199.00	8576.74	1.71E-03	4.04	2365.28	2365.55	95.5	11.13	11.08	46%
Gt_24-3				104.60	200.00	8593.17	1.72E-03	4.06	2362.34		92.9	10.81		
Gt_24-5				104.50	201.00	8576.74	1.72E-03	4.08	2369.01		96.8	11.29		
LC_21-1	12-Feb-2019	7	19-Feb-2019	100.22	201.50	7888.58	1.59E-03	3.87	2435.28	2438.53	96.3	12.21	10.97	52%
LC_21-2				104.75	200.00	8617.83	1.72E-03	4.20	2436.81		86.2	10.00		
LC_21-3				105.00	199.00	8659.01	1.72E-03	4.21	2443.50		92.7	10.71		
LC_24-4	13-Feb-2019	7	20-Feb-2019	104.65	200.00	8601.38	1.72E-03	4.16	2419.0	2415.98	95.5	11.10	11.05	46%
LC_24-5				104.68	200.90	8606.32	1.73E-03	4.16	2406.87		92.9	10.79		
LC_24-6				104.60	200.50	8593.17	1.72E-03	4.17	2422.04		96.8	11.26		
P_21-7	14-Feb-2019	7	21-Feb-2019	104.66	200.00	8603.03	1.72E-03	4.16	2416.01	2414.70	96.3	11.19	10.71	51%
P_21-8				104.35	200.00	8552.14	1.71E-03	4.13	2414.02		86.2	10.08		
P_21-9				104.25	198.00	8535.76	1.69E-03	4.08	2414.09		92.7	10.86		
P_24-1	14-Feb-2019	7	21-Feb-2019	100.00	201.00	7853.98	1.58E-03	3.82	2419.79	2424.77	95.5	12.16	11.43	48%
P_24-2				104.70	199.50	8609.61	1.72E-03	4.16	2421.96		92.9	10.79		
P_24-3				104.25	199.00	8535.76	1.70E-03	4.13	2432.57		96.8	11.34		

RESULTADOS DOSIFICACIÓN 2														
ID	Fecha Elab	Edad (Días)	Fecha rot	Datos cilindros					$\delta$ kg/m <sup>3</sup>	$\delta p$ kg/m <sup>3</sup>	Carga (KN)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	% (65-75)
				$\phi_p$ (mm)	hp (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)						
G_21-10	10-Abril-2019	7	17-Abril-2019	101.00	201.00	8011.85	1.61E-03	3.89	2415.14	2424.80	108	13.48	13.61	65%
G_21-11	101.00			199.50	8011.85	1.60E-03	3.87	2424.10	105		13.11			
G_21-12	100.50			200.00	7932.72	1.59E-03	3.86	2435.17	113		14.24			
G_24-13	10-Abril-2019	7	17-Abril-2019	101.00	199.50	8011.85	1.60E-03	3.81	2381.81	2522.81	95.7	11.94	12.15	51%
G_24-14	100.50			200.00	7932.72	1.59E-03	4.13	2605.03	92.8		11.70			
G_24-15	101.00			200.50	8011.85	1.61E-03	4.15	2581.59	102.5		12.79			
Gt_21-4	18-Feb-2019	14	25-Feb-2019	101.00	199.50	8011.85	1.60E-03	4.05	2531.34	2517.35	132	16.48	17.02	81%
Gt_21-6	101.00			200.00	8011.85	1.60E-03	4.04	2521.27	139		17.35			
Gt_21-9	101.00			198.50	8011.85	1.59E-03	3.98	2499.45	138		17.22			
Gt_24-2	18-Feb-2019	7	25-Feb-2019	100.50	199.00	7932.72	1.58E-03	4.04	2557.31	2552.97	110.6	13.94	14.47	60%
Gt_24-3	101.00			199.00	8011.85	1.59E-03	4.06	2546.48	108.5		13.54			
Gt_24-5	101.00			199.50	8011.85	1.60E-03	4.08	2555.11	127.5		15.91			
LC_21-16	10-Abril-2019	7	17-Abril-2019	100.50	200.00	7932.72	1.59E-03	3.85	2427.54	2418.50	120	15.13	15.24	73%
LC_21-17	101.00			200.00	8011.85	1.60E-03	3.87	2417.23	122		15.23			
LC_21-18	101.00			199.50	8011.85	1.60E-03	3.85	2410.72	123		15.35			
LC_24-19	10-Abril-2019	7	17-Abril-2019	100.50	200.00	7932.72	1.59E-03	3.90	2455.7	2446.60	138	17.40	16.68	70%
LC_24-20	100.50			199.50	7932.72	1.58E-03	3.85	2432.93	136		17.14			
LC_24-21	100.50			200.50	7932.72	1.59E-03	3.90	2451.23	123		15.51			
P_21-10	11-Abril-2019	14	25-Abril-2019	101.00	200.00	8011.85	1.60E-03	3.91	2439.14	2433.16	146.3	18.26	18.59	89%
P_21-11	101.00			200.00	8011.85	1.60E-03	3.90	2434.21	147.3		18.39			
P_21-12	101.00			201.00	8011.85	1.61E-03	3.91	2426.13	153.3		19.13			
P_24-13	11-Abril-2019	14	25-Abril-2019	101.00	201.00	8011.85	1.61E-03	3.91	2427.00	2427.09	157.7	19.68	19.35	81%
P_24-14	101.00			200.50	8011.85	1.61E-03	3.90	2428.14	154.1		19.23			
P_24-15	101.00			201.00	8011.85	1.61E-03	3.91	2426.13	153.4		19.15			

d. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos  
de hormigón de cemento hidráulico INEN 1573 dosificación final

**GADMFO\_Guayusa (Río Coca)**

Fecha Elaboración: 07/05/2019

Cód: G\_21

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 21 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ kg/m <sup>3</sup>	δp kg/m <sup>3</sup>	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	
G_21-2	7	14-05-2019	104.00	199.50	4.087	8494.87	1.695E-03	2411.42	2401.29	184	21.66	21.49	219.17	102
G_21-5			103.70	201.00	4.055	8445.93	1.698E-03	2388.33		185	21.90			
G_21-7			103.80	201.00	4.089	8462.23	1.701E-03	2404.13		177	20.92			
G_21-3	14	21-05-2019	104.00	199.50	4.111	8494.87	1.695E-03	2425.53	2423.62	229	26.96	27.11	276.49	129
G_21-6			104.00	200.10	4.131	8494.87	1.700E-03	2430.02		236	27.78			
G_21-8			104.00	200.50	4.114	8494.87	1.703E-03	2415.31		226	26.60			
G_21-1	21	28-05-2019	99.80	202.00	3.793	7822.60	1.580E-03	2400.19	2410.40	232	29.66	29.24	298.21	139
G_21-4			103.80	200.80	4.116	8462.23	1.699E-03	2422.53		253	29.90			
G_21-9			103.70	199.00	4.048	8445.93	1.681E-03	2408.46		238	28.18			
G_21-10	28	04-06-2019	102.08	201.00	3.962	8183.30	1.645E-03	2408.74	2404.36	237	28.96	29.95	305.41	143
G_21-14			101.75	199.70	3.889	8131.28	1.624E-03	2394.98		248	30.50			
G_21-17			101.73	200.70	3.930	8127.28	1.631E-03	2409.35		247	30.39			



**GADMFO\_Guayusa (Río Coca)**

Fecha Elaboración: 25/04/2019

Cód: G\_24

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 24 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ (kg/m <sup>3</sup> )	δp (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg /cm <sup>2</sup>	
G_24-12	7	02-05-2019	102.08	201.00	3.969	8183.30	1.645E-03	2413.06	2418.45	199	24.29	25.09	255.88	105
G_24-14			101.70	200.45	3.936	8123.29	1.628E-03	2417.29		206	25.31			
G_24-21			101.90	200.00	3.955	8155.27	1.631E-03	2425.00		209	25.68			
G_24-2	14	09-05-2019	104.00	200.00	4.151	8494.87	1.699E-03	2443.48	2445.93	276	32.49	33.12	337.71	138
G_24-4			104.00	200.50	4.170	8494.87	1.703E-03	2448.54		290	34.14			
G_24-7			104.00	201.00	4.176	8494.87	1.707E-03	2445.78		278	32.73			
G_24-3	21	16-05-2019	104.00	199.50	4.139	8494.87	1.695E-03	2442.46	2431.07	293	34.49	34.53	352.11	144
G_24-6			104.00	201.00	4.142	8494.87	1.707E-03	2425.64		290	34.14			
G_24-9			104.00	198.00	4.079	8494.87	1.682E-03	2425.11		297	34.96			
G_24-1	28	23-05-2019	99.50	201.80	3.829	7775.64	1.569E-03	2440.47	2445.74	265	34.08	35.14	358.32	146
G_24-5			104.00	201.00	4.170	8494.87	1.707E-03	2442.33		298	35.08			
G_24-8			104.00	200.60	4.183	8494.87	1.704E-03	2454.42		308	36.26			

## Guayusa Triturado (Río Coca)

Fecha Elaboración: 13/05/2019

Cód: Gt\_21

Cemento: Hidrau. GU

f'c = 21 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ kg/m <sup>3</sup>	δp kg/m <sup>3</sup>	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg /cm <sup>2</sup>	%
Gt_21-2	7	20-05-2019	104.00	199.50	4.026	8494.87	1.695E-03	2375.66	2376.09	144	16.95	16.72	170.46	80
Gt_21-6			104.00	200.00	4.045	8494.87	1.699E-03	2380.73		141	16.60			
Gt_21-8			104.00	199.50	4.020	8494.87	1.695E-03	2371.89		141	16.60			
Gt_21-3	14	27-05-2019	103.00	199.50	4.005	8332.29	1.662E-03	2409.44	2401.76	174	20.88	20.87	212.79	99
Gt_21-4			103.50	200.50	4.041	8413.38	1.687E-03	2395.78		173	20.56			
Gt_21-7			103.50	200.00	4.039	8413.38	1.683E-03	2400.05		178	21.16			
Gt_21-1	21	03-06-2019	99.50	201.00	3.756	7775.64	1.563E-03	2403.22	2416.69	181	23.28	24.12	245.97	115
Gt_21-5			103.50	200.00	4.078	8413.38	1.683E-03	2423.52		206	24.48			
Gt_21-9			103.00	198.00	3.998	8332.29	1.650E-03	2423.33		205	24.60			
Gt_21-16	28	10-06-2019	101.90	199.60	3.829	8155.27	1.628E-03	2352.39	2362.39	227	27.83	28.36	289.15	135
Gt_21-17			102.03	200.00	3.873	8175.29	1.635E-03	2368.54		236	28.87			
Gt_21-21			101.83	200.00	3.854	8143.27	1.629E-03	2366.25		231	28.37			

## Guayusa Triturado (Río Coca)

Fecha Elaboración: 09/05/2019

Cód: Gt\_24

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 24 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ (kg/m <sup>3</sup> )	δp (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	
Gt_24-3	7	16-05-2019	103.50	199.00	4.032	8413.38	1.674E-03	2408.10	2413.20	191	22.70	22.09	225.29	92
Gt_24-5			103.60	201.00	4.119	8429.65	1.694E-03	2431.01		188	22.30			
Gt_24-7			103.50	200.40	4.047	8413.38	1.686E-03	2400.47		179	21.28			
Gt_24-2	14	23-05-2019	104.00	199.00	4.072	8494.87	1.690E-03	2408.49	2409.04	228	26.84	27.47	280.09	114
Gt_24-4			104.00	199.50	4.077	8494.87	1.695E-03	2405.46		242	28.49			
Gt_24-8			104.00	200.00	4.100	8494.87	1.699E-03	2413.16		230	27.08			
Gt_24-1	21	30-05-2019	99.00	201.00	3.753	7697.69	1.547E-03	2425.88	2417.26	232	30.14	31.18	317.98	130
Gt_24-6			104.30	201.50	4.122	8543.95	1.722E-03	2394.28		268	31.37			
Gt_24-9			103.00	197.70	4.006	8332.29	1.647E-03	2431.62		267	32.04			
Gt_24-11	28	06-06-2019	102.00	200.00	3.906	8171.28	1.634E-03	2390.02	2389.08	272	33.29	32.96	336.06	137
Gt_24-15			102.08	201.00	3.923	8183.30	1.645E-03	2385.27		265	32.38			
Gt_24-21			101.95	199.00	3.886	8163.27	1.624E-03	2391.95		271	33.20			

## GADMFO\_La Conde (Río Napo)

Fecha Elaboración: 23/04/2019

Cód: Lc\_21

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 21 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ kg/m <sup>3</sup>	δp kg/m <sup>3</sup>	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	
Lc_21-5	7	30-04-2019	104.00	202.00	4.164	8494.87	1.716E-03	2426.33	2428.19	178	20.95	20.73	211.34	99
Lc_21-7			104.00	201.50	4.164	8494.87	1.712E-03	2432.65		178	20.95			
Lc_21-10			101.50	200.50	3.935	8091.37	1.622E-03	2425.60		164	20.27			
Lc_21-2	14	07-05-2019	104.00	200.00	4.131	8494.87	1.699E-03	2431.65	2420.56	229	26.96	26.05	265.69	124
Lc_21-6			104.00	200.50	4.127	8494.87	1.703E-03	2423.23		216	25.43			
Lc_21-9			104.00	198.00	4.048	8494.87	1.682E-03	2406.80		219	25.78			
Lc_21-1	21	14-05-2019	100.00	202.00	3.830	7853.98	1.587E-03	2414.05	2417.46	220	28.01	28.21	287.68	134
Lc_21-3			104.20	200.00	4.098	8527.57	1.706E-03	2402.62		234	27.44			
Lc_21-8			103.60	200.50	4.117	8429.65	1.690E-03	2435.71		246	29.18			
Lc_21-11	28	21-05-2019	102.00	201.00	3.962	8171.28	1.642E-03	2412.34	2414.00	226	27.66	28.51	290.72	136
Lc_21-17			101.75	200.20	3.951	8131.28	1.628E-03	2427.20		238	29.27			
Lc_21-19			101.63	200.00	3.897	8111.31	1.622E-03	2402.45		232	28.60			

## GADMFO\_La Conde (Río Napo)

Fecha Elaboración: 24/04/2019

Cód: Lc\_24

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 24 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ (kg/m <sup>3</sup> )	δp (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	
Lc_24-1	7	01-05-2019	99.50	202.00	3.826	7775.64	1.571E-03	2435.57	2452.99	191.1	24.58	24.17	246.43	101
Lc_24-7			103.50	200.40	4.178	8413.38	1.686E-03	2478.17		200.9	23.88			
Lc_24-9			103.50	198.00	4.073	8413.38	1.666E-03	2445.24		202.3	24.05			
Lc_24-2	14	08-05-2019	104.00	200.00	4.169	8494.87	1.699E-03	2453.60	2445.49	266	31.31	30.76	313.70	128
Lc_24-3			104.00	200.00	4.170	8494.87	1.699E-03	2454.13		253	29.78			
Lc_24-5			104.00	201.50	4.157	8494.87	1.712E-03	2428.73		265	31.20			
Lc_24-4	21	15-05-2019	104.00	200.00	4.143	8494.87	1.699E-03	2438.30	2430.56	288	33.90	34.22	348.91	143
Lc_24-6			104.00	200.00	4.139	8494.87	1.699E-03	2436.18		285	33.55			
Lc_24-8			104.00	201.00	4.127	8494.87	1.707E-03	2417.20		299	35.20			
Lc_24-15	28	22-05-2019	101.78	201.00	3.929	8135.27	1.635E-03	2402.96	2401.99	273	33.56	34.78	354.67	145
Lc_24-18			101.68	201.00	3.921	8119.29	1.632E-03	2402.79		287	35.35			
Lc_24-20			101.90	200.00	3.915	8155.27	1.631E-03	2400.23		289	35.44			

**Origen: GADMFO\_Punino 2 (Río Payamino)**

Fecha Elaboración: 06/05/2019

Cód: P\_21

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 21 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ kg/m <sup>3</sup>	δp kg/m <sup>3</sup>	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	
P_21-2	7	13-05-2019	104.00	200.00	4.125	8494.87	1.699E-03	2427.64	2431.27	183	21.54	22.09	225.27	105
P_21-5			104.00	202.50	4.197	8494.87	1.720E-03	2439.70		191	22.48			
P_21-7			104.00	201.50	4.153	8494.87	1.712E-03	2426.45		189	22.25			
P_21-3	14	20-05-2019	104.00	200.00	4.132	8494.87	1.699E-03	2432.00	2433.40	223	26.25	27.19	277.29	129
P_21-6			104.00	200.60	4.163	8494.87	1.704E-03	2443.15		234	27.55			
P_21-9			104.00	197.80	4.075	8494.87	1.680E-03	2425.07		236	27.78			
P_21-1	21	27-05-2019	99.50	202.00	3.838	7775.64	1.571E-03	2443.34	2435.44	219	28.16	28.01	285.58	133
P_21-4			103.90	200.50	4.121	8478.54	1.700E-03	2424.25		233	27.48			
P_21-8			104.00	201.20	4.168	8494.87	1.709E-03	2438.73		241	28.37			
P_21-12	28	03-06-2019	101.75	200.80	3.946	8131.28	1.633E-03	2416.77	2411.00	233	28.65	29.36	299.43	140
P_21-14			101.58	200.50	3.915	8103.33	1.625E-03	2409.65		238	29.37			
P_21-18			101.65	200.10	3.908	8115.30	1.624E-03	2406.59		244	30.07			

**Origen: GADMFO\_Punino 2 (Río Payamino)**

Fecha Elaboración: 29/04/2019

Cód: P\_24

Cemento: Hidrau. GU

f<sub>c</sub> = 24 MPa

ID	Edad (Días)	Fecha ensayo	Datos cilindros			Área (mm <sup>2</sup> )	Vol. (m <sup>3</sup> )	δ (kg/m <sup>3</sup> )	δp (kg/m <sup>3</sup> )	Carga (KN)	f'c (Mpa)	Esfuerzo prom		%
			Øp (mm)	hp (mm)	Peso (Kg)							Mpa	kg /cm <sup>2</sup>	
P_24-2	7	06-05-2019	104.10	200.50	4.134	8511.21	1.706E-03	2422.39	2463.85	202	23.73	24.15	246.24	101
P_24-5			104.10	202.00	4.163	8511.21	1.719E-03	2421.09		200	23.50			
P_24-7			101.50	201.50	4.154	8091.37	1.630E-03	2548.07		204	25.21			
P_24-4	14	13-05-2019	104.10	201.00	4.167	8511.21	1.711E-03	2435.59	2438.27	249	29.26	28.67	292.33	119
P_24-6			104.10	201.00	4.177	8511.21	1.711E-03	2441.50		243	28.55			
P_24-8			104.10	201.50	4.181	8511.21	1.715E-03	2437.71		240	28.20			
P_24-1	21	20-05-2019	99.80	202.00	3.814	7822.60	1.580E-03	2413.55	2432.91	235	30.04	29.24	298.13	122
P_24-3			103.80	200.00	4.138	8462.23	1.692E-03	2445.04		249	29.42			
P_24-9			103.80	198.00	4.089	8462.23	1.676E-03	2440.14		239	28.24			
P_24-13	28	27-05-2019	101.73	200.00	3.929	8127.28	1.625E-03	2417.35	2410.76	273	33.59	32.65	332.95	136
P_24-16			101.55	200.50	3.921	8099.34	1.624E-03	2414.72		255	31.48			
P_24-18			101.88	200.10	3.915	8151.27	1.631E-03	2400.21		268	32.88			

Anexo Fotográfico

GADMFO: GUAYUSA (RÍO COCA)



GADMFO: LA CONDE (RÍO NAPO)





GADMFO: PUNINO (RÍO PAYAMINO)



ENSAYOS VARIOS





**COMPRESÓMETRO UTILIZADO**

