

**UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO**  
**ÁREA DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS DE GRADO**

**INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS DE DIFERENTES PROCEDENCIAS  
EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN**

Trabajo de Titulación presentado en conformidad a los requisitos

Para obtener el Título de Licenciado en Ingeniería Civil

**POSTULANTE: UNIV. MARIO CHAMBI YANA**

**TUTOR COLECTIVO: ING. JOSÉ LUIS RICHARD MANRIQUE  
SANABRIA**

**ASESOR: ING. ALFREDO ESCOBAR ARANA**

**Cobija-Pando-Bolivia**

**2017**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haber permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud y mostrarme, cada día, la humildad para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor. Principio de la sabiduría.

A mi hermano Marcos, por su apoyo incondicional, por sus consejos, valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, sus consejos y sus palabras de aliento fueron motores para culminar mi carrera.

A mi hija Jhael, a pesar de su corta edad, me comprendió y me apoyó. Que cuando lea estas líneas, le sirva de ejemplo para que consiga sus propias metas.

A mi sobrina Raquel, por el constante apoyo moral que me dio en el desarrollo de este trabajo y, sobre todo, en los momentos más difíciles con sus palabras de aliento. Muchas gracias.

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi gratitud, principalmente, está dirigida al Dios Todopoderoso por haberme dado la existencia, salud y permitido llegar al final de mi carrera, y mostrarme siempre el camino correcto en todos los proyectos que he emprendido. Gracias por sus bendiciones.

A mi hermano Marcos y toda su familia, por apoyarme siempre en el transcurso de toda la carrera.

Al Ing. Boris Mogro Hamel, por compartir sus conocimientos que me ayudaron a seguir mejorando cada día, por su experiencia como profesional en dosificaciones de hormigones. Por su valiosa orientación y esfuerzo dedicado a la realización del presente trabajo de forma desinteresada.

Al Ing. Fernando M. Cerruto Aníbarro, por su colaboración en el diseño de mezclas.

De manera muy especial, a las instituciones y personas que contribuyeron de manera desinteresada en la culminación del trabajo de graduación.

## **RESUMEN EJECUTIVO**

La presente tesis de grado, se ha realizado con la finalidad de evaluar la influencia de agregados gruesos y finos de diferentes procedencias, las características físico-mecánicas de los mismos, en la determinación de las propiedades mecánicas del hormigón, en estado fresco y endurecido. Surge a partir de la necesidad de presentar un documento, donde se evidencie la importancia de conocer todo lo referente a los agregados en Cobija, utilizados para la elaboración del hormigón. La importancia de los agregados dentro de la masa de concreto radica en que, aunque está compuesto por otros elementos como pasta de cemento, agua libre, aire atrapado, adiciones y aditivos que mejoran sus características, la mayor parte de las propiedades de aquél, se deben a una adecuada proporción y apropiadas características de los agregados que permiten obtener, como resultado, hormigones económicos y de excelente calidad. Toma los aspectos generales, en la introducción del presente trabajo, mostrando la finalidad, los objetivos, el alcance y las limitaciones, las razones que resaltan la importancia de este proyecto; finalmente, las metodologías y las herramientas utilizadas. En el marco teórico, se insertan las principales bases teóricas relacionadas con la investigación.

El procedimiento experimental empleado en el estudio, consiste, principalmente, en la realización de las diferentes pruebas de laboratorio en la determinación de propiedades físicas y mecánicas de los agregados, que serán evaluados según la normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM); asimismo, los diseños de mezcla, se han realizado, conforme a la aplicación del método ACI (American Concrete Institute) para determinar la adecuada dosificación y composición de la mezcla.

Los resultados alcanzados, se han logrado conseguir mediante la elaboración de cilindros de hormigón y su posterior rotura a compresión simple. El control de calidad de hormigón a 21[MPa] de resistencia característica, se realizó utilizando dos tipos de parámetros estadísticos fundamentales, el de tendencia central y otro que se refiere a la dispersión de los datos que se analizan.

Se muestran las conclusiones y recomendaciones del proyecto. Espero que este trabajo sea del agrado de todos aquellos que tengan la oportunidad de leerlo.

# ÍNDICE GENERAL

<b>CAPÍTULO UNO</b>	<b>1</b>
<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.3 HIPÓTESIS	3
1.4 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PROYECTO	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4.3 ALCANCES DEL PROYECTO	4
1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.5.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA	5
1.5.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA	6
1.5.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA	6
1.6 METODOLOGÍA	7
<b>CAPÍTULO DOS</b>	<b>8</b>
<b>2.0 MARCO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
2.1 DEFINICIONES	8
2.1.1 AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN	8
2.1.1.1 AGREGADO FINO	8
2.1.1.2 AGREGADO GRUESO	9
2.1.2 PROPIEDADES DEL AGREGADO	9
2.1.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO	9
2.1.2.2 PROPIEDADES RESISTENTES DEL AGREGADO	10
2.1.3 NORMAS Y REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO	11
2.1.3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS	11
2.1.3.2 PARÁMETROS QUE SE OBTIENEN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	13
2.1.4 HORMIGÓN	15
2.1.4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN	15
<b>CAPÍTULO TRES</b>	<b>19</b>
<b>3.0 APLICACIÓN PRÁCTICA</b>	<b>19</b>
3.1 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO UNO	19

3.1.1 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA MUESTREO DE AGREGADOS ASTM D-75 (NB 595:1991)	19
3.1.2 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE PRUEBA ASTM C-702	23
3.1.3 MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN POR LAVADO DEL MATERIAL QUE PASA POR TAMIZ 0,075 MM (No. 200) EN MINERALES ASTM C117-95 (NB 612:1991)	24
3.1.4 ENSAYO DE DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGUA DE AGREGADO GRUESO ASTM C-127	31
3.1.5 ENSAYO DE DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGUA DE AGREGADO FINO ASTM C-128	36
3.1.6 MÉTODO DE PRUEBA PARA RESISTENCIA A DEGRADACIÓN DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES ASTM C-131 (NB 302:1979)	41
3.1.7 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS ASTM C-29/C-29M (608:1991)	47
3.1.8 MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN POR SECADO DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN EL AGREGADO ASTM C-566	52
3.1.9 MÉTODO DE ENSAYO. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMICES DE AGREGADO GRUESO Y FINO ASTM C-136 (NB 597)	54
3.2 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO DOS	71
3.2.1 COMBINACIÓN DE AGREGADOS	71
3.3 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO TRES	72
3.3.1 DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI-211.1	72
3.4 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO CUATRO	73
3.4.1 MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN DE REVENIMIENTO ASTM C-143 (NB 589)	73
3.4.2 MÉTODO DE PRUEBA. PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA ASTM C-31 (NB 586)	75
3.4.3 ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ASTM C-39 (NB 639)	78
3.4.4 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LABORATORIO	83
<b>CAPÍTULO CUATRO</b>	<b>93</b>
<b>4.0 RESULTADOS OBTENIDOS</b>	<b>93</b>
4.1 PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO DE ENSAYOS DE DESGASTE DE LOS ÁNGELES (LABORATORIO DE SEDCAM)	93

4.2 GRANULOMETRÍA	93
4.3 DOSIFICACIÓN	94
4.4 CONSISTENCIA	94
4.5 RESISTENCIA	94
4.6 DISTRIBUCIÓN NORMAL	94
4.7 COSTOS	95
<b>CAPÍTULO CINCO</b>	<b>96</b>
<b>5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>96</b>
5.1 CONCLUSIONES	96
5.2 RECOMENDACIONES	98
<b>6.0 BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>99</b>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Combinación 1, agregado grueso, piedra triturada

**Anexo 2.** Combinación 2, agregado fino, piedra triturada

**Anexo 3.** Diseño de mezcla, resistencia característica H21, norma ACI 211.1, piedra triturada

**Anexo 4.** Rotura a compresión de cilindros H21, elaborados con piedra triturada, cemento Viacha

**Anexo 5.** Análisis de precio unitario de hormigón H21, elaborado con cemento Viacha IP30

**Anexo 6.** Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

**Anexo 7.** Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

**Anexo 8.** Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada con cemento Yura HE, H21

**Anexo 9.** Resistencia media por rotura de cilindros de hormigón, cemento Yura HE

**Anexo 10.** Análisis de precio unitario de hormigón con piedra triturada, cemento Viacha IP30, H21

**Anexo 11.** Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

**Anexo 12.** Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

**Anexo 13.** Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada, cemento Viacha H25

**Anexo 14.** Rotura de cilindros a compresión, resistencia característica H25

**Anexo 15.** Análisis de precio unitario, hormigón de piedra triturada, H25

**Anexo 16.** Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

**Anexo 17.** Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

**Anexo 18.** Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada, cemento Yura HE, H25

**Anexo 19.** Rotura de cilindros de hormigón a compresión, H25

**Anexo 20.** Análisis de precio unitario de hormigón de piedra triturada, cemento Yura HE, H25

**Anexo 21.** Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

**Anexo 22.** Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

**Anexo 23.** Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada, cemento Yura HE, H35

**Anexo 24.** Rotura de cilindros de hormigón, cemento Yura HE, H35

**Anexo 25.** Análisis de precio unitario, hormigón de piedra triturada con cemento Yura HE, H35

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2. 1</b>	Requisitos granulométricos para el agregado fino.....	11
<b>Tabla 2. 2</b>	Requisitos granulométricos para el agregado grueso .....	12
<b>Tabla 2. 3</b>	Clasificación del agregado fino de acuerdo .....	14
<b>Tabla 2. 4</b>	Sustancias perjudiciales .....	14
<b>Tabla 2. 5</b>	Consistencia/Asentamiento .....	16
<b>Tabla 2. 6</b>	Tolerancias.....	16
<b>Tabla 3. 1</b>	Graduación de agregados .....	20
<b>Tabla 3. 2</b>	Tamaño de muestra representativa.....	25
<b>Tabla 3. 3</b>	Tamaño de muestra representativa.....	32
<b>Tabla 3. 4</b>	Datos en la determinación de Gravedad Específica de los agregados gruesos ...	36
<b>Tabla 3. 5</b>	Resultados Gravedad Específica de agregados .....	36
<b>Tabla 3. 6</b>	Datos en la determinación de Gravedad Específica de los agregados finos .....	41
<b>Tabla 3. 7</b>	Resultados de gravedad específica.....	41
<b>Tabla 3. 8</b>	Grados de muestras de prueba .....	42
<b>Tabla 3. 9</b>	Graduación de la muestra de prueba .....	42
<b>Tabla 3. 10</b>	Densidad bruta compactada o peso unitario compactado de los agregados.....	49
<b>Tabla 3. 11</b>	Densidad bruta suelta o peso unitario suelto de los agregados .....	51
<b>Tabla 3. 12</b>	Muestra de ensayo del agregado .....	52
<b>Tabla 3. 13</b>	Porcentaje de humedad del agregado grueso .....	53
<b>Tabla 3. 14</b>	Tamaño máximo nominal de agregado.....	55
<b>Tabla 3. 15</b>	Canto rodado del río Madre de Dios, Puerto Maldonado (Perú) .....	59
<b>Tabla 3. 16</b>	Características físicas de grava de Puerto Maldonado .....	59
<b>Tabla 3. 17</b>	Canto rodado del río Madre de Dios, El Sena.....	60
<b>Tabla 3. 18</b>	Características físicas de grava de El Sena .....	61
<b>Tabla 3. 19</b>	Piedra Triturada del Brasil, 7/8” .....	62
<b>Tabla 3. 20</b>	Características físicas de 7/8” .....	62
<b>Tabla 3. 21</b>	Piedra Triturada del Brasil, 3/4” .....	63
<b>Tabla 3. 22</b>	Características físicas de 3/4” .....	64
<b>Tabla 3. 23</b>	Piedra Triturada del Brasil 5/8” .....	65
<b>Tabla 3. 24</b>	Características físicas de 5/8” .....	66
<b>Tabla 3. 25</b>	Piedra Triturada del Brasil 3/8” .....	66
<b>Tabla 3. 26</b>	Características físicas de 3/8” .....	67
<b>Tabla 3. 27</b>	Piedra Triturada del Brasil, No 4 (polvo de brita) .....	68
<b>Tabla 3. 28</b>	Características físicas de No 4 (polvo de brita).....	68
<b>Tabla 3. 29</b>	Arena fina del río Acre.....	69
<b>Tabla 3. 30</b>	Características físicas de la muestra.....	70
<b>Tabla 3. 31</b>	Requisitos del Método de Consolidación .....	76
<b>Tabla 3. 32</b>	Requisitos de Moldeado por Varillado .....	77

<b>Tabla 3. 33</b> Porcentaje de resistencia H21 .....	81
<b>Tabla 3. 34</b> Porcentaje de resistencia H25 .....	82
<b>Tabla 3. 35</b> Rotura de cilindros de hormigón en proyección norma AASHTTO T-22 .....	84
<b>Tabla 3. 36</b> Rotura de cilindros de hormigón en proyección norma AASHTTO T-22 .....	85
<b>Tabla 3. 37</b> Rotura de cilindros de hormigón en proyección norma AASHTTO T-22 .....	86
<b>Tabla 3. 38</b> Resultado final de resistencia promedio .....	86
<b>Tabla 3. 39</b> Resistencias a diferentes tiempos de fraguado .....	87
<b>Tabla 3. 40</b> Comparación de fraguado.....	88
<b>Tabla 3. 41</b> Distribución Normal 1 .....	90
<b>Tabla 3. 42</b> Distribución Normal 2 .....	91
<b>Tabla 3. 43</b> Distribución Normal 3 .....	92
<b>Tabla 4. 1</b> Resumen de resistencias medias de Piedra triturada .....	94
<b>Tabla 4. 2</b> Distribución Normal .....	95
<b>Tabla 4. 3</b> Detalle de costos de hormigones de piedra triturada .....	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 3. 1</b>	Canto rodado de Puerto Maldonado (Perú) y de El Sena.....	20
<b>Figura 3. 2</b>	Piedra triturada del Brasil: 7/8", 3/4", 5/8", 3/8", respectivamente .....	21
<b>Figura 3. 3</b>	Materiales de construcción en Cobija de diversas procedencias .....	21
<b>Figura 3. 4</b>	La trayectoria seguida por los granos de canto rodado por el río Madre de Dios, Puerto Maldonado - El Sena.....	22
<b>Figura 3. 5</b>	Agregados gruesos y finos de diferentes procedencias.....	22
<b>Figura 3. 6</b>	Cuarteo de Piedra triturada del Brasil, 7/8" (brita No. 2) en proceso .....	23
<b>Figura 3. 7</b>	Cuarteo manual de piedra triturada brita 2 .....	24
<b>Figura 3. 8</b>	Cuarteo manual de canto rodado del río Madre de Dios, El Sena .....	24
<b>Figura 3. 9</b>	Muestra en proceso de lavado .....	26
<b>Figura 3. 10</b>	Horno en el secado de muestras.....	26
<b>Figura 3. 11</b>	Muestras de arena del río Acre .....	29
<b>Figura 3. 12</b>	Muestras sedimentadas y polvo de brita en proceso de sedimentación.....	30
<b>Figura 3. 13</b>	Muestra en proceso de saturación .....	32
<b>Figura 3. 14</b>	Muestra sumergiéndose en agua .....	33
<b>Figura 3. 15</b>	Muestra seca, canto rodado del río Madre de Dios .....	34
<b>Figura 3. 16</b>	Proceso de prueba de absorción del material fino con saturación .....	38
<b>Figura 3. 17</b>	Revenimiento, la muestra saturada alcanza la superficie seca .....	38
<b>Figura 3. 18</b>	Introducción de la muestra más agua en el picnómetro .....	39
<b>Figura 3. 19</b>	Máquina de Los Ángeles.....	43
<b>Figura 3. 20</b>	Agregado clasificado .....	43
<b>Figura 3. 21</b>	Agregado triturado con 12 esferas metálicas .....	44
<b>Figura 3. 22</b>	Material retenido en el tamiz No 12.....	44
<b>Figura 3. 23</b>	Resultado del procedimiento de cálculo de Ensayos de desgaste de Los Ángeles de piedra triturada (brita), procedente del Brasil, laboratorio de SEDCAM .....	45
<b>Figura 3. 24</b>	Resultado del procedimiento de cálculo de Ensayos de desgaste de Los Ángeles de canto rodado del río Madre de Dios, laboratorio de SEDCAM .....	46
<b>Figura 3. 25</b>	Agregado en proceso de varillado.....	48
<b>Figura 3. 26</b>	Determinación de masa en recipiente volumétrico.....	48
<b>Figura 3. 27</b>	Agregado fino en recipiente volumétrico .....	50
<b>Figura 3. 28</b>	Piedra triturada en el proceso de tamizado .....	54
<b>Figura 3. 29</b>	Tamizador mecánico .....	56
<b>Figura 3. 30</b>	Muestra retenida en los tamices: bandeja, No 8, No 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1" .....	57
<b>Figura 3. 31</b>	Canto rodado del río Madre de Dios, Puerto Maldonado (Perú) .....	60
<b>Figura 3. 32</b>	Canto rodado del río Madre de Dios, El Sena.....	61
<b>Figura 3. 33</b>	Piedra Triturada del Brasil, 7/8" .....	63
<b>Figura 3. 34</b>	Piedra Triturada del Brasil 3/4" .....	64
<b>Figura 3. 35</b>	Piedra Triturada del Brasil 5/8" .....	65
<b>Figura 3. 36</b>	Piedra Triturada del Brasil 3/8" .....	67

<b>Figura 3. 37</b> Piedra Triturada del Brasil, No 4 (polvo de brita) .....	69
<b>Figura 3. 38</b> Arena fina del río Acre .....	70
<b>Figura 3. 39</b> Prueba de revenimiento.....	75
<b>Figura 3. 40</b> Proceso de colocado de hormigón en moldes cilíndricos .....	78
<b>Figura 3. 41</b> Especímenes cilíndricos de hormigón protegidos contra la evaporación .....	78
<b>Figura 3. 42</b> Tipos de ruptura de los cilindros de hormigón.....	79
<b>Figura 3. 43</b> Ruptura de cilindro de hormigón en Máquina Universal.....	80
<b>Figura 3. 44</b> Tipo de ruptura del cilindro del hormigón.....	80
<b>Figura 3. 45</b> Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H21 .....	82
<b>Figura 3. 46</b> Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H25 .....	83
<b>Figura 3. 47</b> Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H21 .....	87
<b>Figura 3. 48</b> Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H21 .....	88
<b>Figura 3. 49</b> Curva de Gauss 1 .....	90
<b>Figura 3. 50</b> Curva de Gauss 2.....	91
<b>Figura 3. 51</b> Curva de Gauss 3.....	92

# CAPÍTULO UNO

## 1.0 INTRODUCCIÓN

Los agregados pétreos son componentes fundamentales del concreto hidráulico, del concreto asfáltico y de las bases granulares. Sus características afectan no sólo las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, sino también el costo del mismo. Los agregados conforman entre el 70% y el 80% del volumen del concreto, razón por la cual, es importante conocer sus propiedades y la influencia de las mismas en las propiedades del concreto para optimizar no solo su uso y explotación, sino también el diseño de las mezclas de concreto<sup>1</sup>. Las propiedades y características de los agregados influyen, a su vez, en las propiedades de consistencia y resistencia a la compresión simple del hormigón. Las características de los componentes en los agregados, tales como tamaño, forma, procedencia, tipos y condiciones de roca, granulometría, grado de redondez, características fisicoquímicas y su influencia en las resistencias mecánicas del hormigón, además de la docilidad, han de constituir la base de esta investigación, que pretende evaluar la influencia de los diferentes agregados que se utilizan en la ciudad de Cobija, la relación con las características del hormigón en estado fresco y en estado endurecido, en especial, la resistencia a la compresión, será como una guía para lograr una mejor comprensión del importante rol que los agregados desempeñan en el hormigón.

## 1.1 ANTECEDENTES

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que, tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que, generalmente, encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto radica en el cambio de materiales de construcción según la existencia y

---

<sup>1</sup> Revista Ingeniería de Construcción, Vol. 25, N° 2, Agosto de 2010. [www.ing.puc.cl/ric](http://www.ing.puc.cl/ric) Pág. 2

disponibilidad en Cobija con la poca verificación de las propiedades de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia, con cierta frecuencia, resultados diferentes a los esperados.

La importancia de conocer, verificar y tener en cuenta la calidad de los agregados en la ciudad de Cobija, debido a la demanda y actual crecimiento en la industria de la construcción y del importante desarrollo económico derivado de las empresas locales y nacionales es motivo de este trabajo de Grado. Además, se pretende dar pie a que se inicien estudios más especializados sobre los agregados en la evaluación de sus características que influyen en las propiedades del hormigón.

La presente investigación, en particular, estudia el comportamiento mecánico del hormigón elaborado con canto rodado proveniente del río Madre de Dios y de Puerto Maldonado. Asimismo, la producción con la piedra chancada procedente del Brasil, la utilización de la arena fina del río Acre, los cuales, serán evaluados según la normas de la Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales (ASTM), observando los diferentes niveles de calidad para los materiales indicados.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, se diseñan y construyen obras civiles con materiales de diversas procedencias, debido a lo cual es indispensable el conocimiento de las características físicas y mecánicas de éstos a través de su estudio en el laboratorio, como parte del control de calidad de los mismos. Uno de los problemas que, frecuentemente, aparece para los ingenieros y constructores al emplear el hormigón consiste en la provisión de los agregados de distintas procedencias, ya por la distancia y otros factores, existe material limitado y disponible a la venta, significa que deben cambiar de proveedor adquiriendo materiales diferentes a los anteriores, al efectuar los cambios de proveedor, sin realizar los ajustes en los diseños de mezclas, genera considerables dificultades en la facilidad de colocación, los cuales, pueden acarrear inconvenientes en la ejecución y avance, sobre todo, en la calidad de obra (resistencia).

Por consiguiente, es necesario el estudio comparativo de estos materiales provenientes del río Madre de Dios, El Sena y de Puerto Maldonado (Perú); la piedra triturada del Brasil

(brita); para el conocimiento de la cuantificación de la variación de los niveles de calidad de los agregados y su influencia en la resistencia final del hormigón.

### **1.3 HIPÓTESIS**

La influencia de los agregados de diferentes procedencias tiene efecto importante no sólo en la calidad y acabado del elemento estructural del hormigón, sino también sobre las propiedades mecánicas del hormigón. En estado fresco, su consistencia y trabajabilidad, y en estado endurecido, su resistencia a compresión simple.

Las características físico-mecánicas de los agregados influyen en la resistencia del concreto empleado en la construcción de los elementos estructurales.

La arena del río Acre, a simple vista, no cumple con las especificaciones de la norma ASTM C-33, por lo que se adecuará implementando algunos correctivos mediante la combinación de agregados.

### **1.4 OBJETIVOS Y ALCANCES DEL PROYECTO**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la influencia de los agregados gruesos y finos de diferentes procedencias, las características físico-mecánicas de los mismos, en la determinación de las propiedades mecánicas del hormigón.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar las características físico-mecánicas de los agregados provenientes del río Madre de Dios, Puerto Maldonado y El Sena; la piedra triturada del Brasil, la arena del río Acre; empleando de referencia las normas ASTM.
- Obtener las combinaciones de las granulometrías, ubicando dentro de los límites de ASTM C-33 para dosificaciones de hormigones.

- Proponer los diseños de mezcla para las principales resistencias características del hormigón H21, H25, H35.
- Realizar los ensayos de mezclas de prueba de hormigón para las resistencias características de 21 [MPa], 25 [MPa] y 35 [MPa], elaboradas con piedra triturada. Los ensayos de control de calidad en laboratorio que permitan conocer el comportamiento del hormigón, en estado fresco (trabajabilidad) y, en estado endurecido, la resistencia mecánica a la compresión mediante la rotura de cilindros a los 7, 14, y 28 días.

### **1.4.3 ALCANCES DEL PROYECTO**

La presente investigación, se realiza haciendo uso de los diferentes tipos de agregados pétreos disponibles a la venta en la ciudad de Cobija, adquiridos en noviembre de 2016; para evaluar las características se tomó en cuenta la cantidad en peso y volumen desarrollando ensayos con piedra triturada, 7/8" (brita 2), 3/4" (brita 1), 5/8", 3/8" (brita cero), No. 4 (polvo de brita), que proceden del Brasil; canto rodado del río Madre de Dios, que proviene del Perú y de El Sena. La arena del río Acre, como material de explotación local.

La delimitación temporal de la presente investigación, está comprendida entre los meses de noviembre de 2016 y octubre de 2017.

El presente trabajo de investigación se desarrolló acorde a la disponibilidad de instrumentos, equipos y herramientas existentes en el laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Universidad Amazónica de Pando.

Una de las limitantes de varias, fue la insuficiencia de los equipos y la falta de los reactivos, ya que, no se pudieron realizar más pruebas para enriquecer este trabajo y hacerlo más detallado; se hicieron sólo las más importantes, las cuales, aportan lo necesario para la comprobación de nuestra hipótesis. Para la evaluación de una de las propiedades mecánicas de los agregados, se realizó el ensayo de abrasión en la Máquina de los Ángeles en el laboratorio de "SEDCAM", Servicio de Caminos.

## **1.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Debido a los múltiples factores de variabilidad en la calidad del concreto, se ve la necesidad de realizar esta investigación, la cual, permitirá determinar, esencialmente, por medio de un análisis de resultados de ensayos en el laboratorio, las características de los agregados. Básicamente, el principal problema a superar se relaciona con las características que cada agregado tiene; aparte, la calidad y la economía son temas que juegan también gran importancia; se pretende demostrar que los agregados triturados aportan mayor resistencia al hormigón, pero, que también representan una gran desventaja porque el utilizarlos conlleva a la necesidad de invertir más dinero durante su elaboración.

Tener un documento donde se pongan en conocimiento las características de los agregados y las curvas granulométricas apropiadas para producir un concreto de calidad, es muy útil para todo ingeniero que desee diseñar una mezcla que cumpla con las especificaciones que un proyecto determinado requiera.

### **1.5.1 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA**

Desde el punto de vista económico, resulta ventajoso estudiar los agregados debido a que la piedra triturada del Brasil tiene un costo elevado con relación al canto rodado del río Madre de Dios; el cemento es otro material que encarece el hormigón. En una mezcla, se puede obtener la combinación más apropiada entre los agregados disponibles, el agregado grueso, fino, agua, utilizando la mínima cantidad de pasta de cemento y que proporcione por resultado una mezcla que cumpla con los requisitos de las propiedades del hormigón para una estructura determinada, puesto que, en las variaciones reales de las proporciones de los agregados y escogiendo los materiales más apropiados, es posible obtener la más económica entre varias, estableciendo una serie de correctivos de mejoras en estos agregados optimizando su calidad, permitiendo obtener las disminuciones o reducciones en costos de producción en los diseños de mezclas.

### **1.5.2 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA**

El entorno profesional actual demanda ingenieros civiles altamente capacitados para dirigir, diseñar, supervisar y ejecutar las obras civiles. Debido a ello, una adecuada formación académica del estudiante de Ingeniería Civil en Tecnología del Hormigón, Materiales de Construcción y Control de Calidad del Hormigón, es fundamental para la satisfacción de dicha demanda. En consideración de esta premisa, surge la proposición del presente trabajo. El realizar los ensayos de control de calidad en laboratorio para el conocimiento y el estudio comparativo de las propiedades mecánicas del hormigón de agregados de diversas procedencias. En este contexto, la formación del estudiante de Ingeniería Civil en el campo de estudio de Tecnología del Hormigón y Materiales de Construcción condiciona, positivamente, su futuro desempeño laboral al obtener un hormigón de buena calidad, que cumpla con los requisitos requeridos en las propiedades mecánicas en el estado fresco y en el estado endurecido, la resistencia a la compresión y durabilidad, recomendado con las proporciones adecuadas, dependiendo de la procedencia del agregado en Cobija, razón fundamental de este estudio, debido a que estos aspectos determinan la propia calidad del hormigón, en la búsqueda de la mezcla más adecuada para un caso particular; conseguir una mezcla con un mínimo de pasta y volumen de vacíos o espacios entre partículas y, consecuentemente, cumplir con las propiedades requeridas.

### **1.5.3 JUSTIFICACIÓN CIENTÍFICA**

En virtud de lo que se indicó anteriormente, se presenta un reto significativo, que direcciona hacia la indagación científica, para poder presentar conocimientos relativos a las propiedades, características y uso de estos agregados. Es, por ello, que la presente investigación pretende evaluar las propiedades mecánicas de las probetas de concreto, elaboradas con los agregados, objeto de estudio para establecer los criterios técnicos que sirvan de referencia en su correcta y adecuada utilización.

Por otro lado, los resultados y las conclusiones a los que se llegue, servirán como contribución al campo de conocimiento en el área de la construcción, y podrán ser tomados en cuenta para otros estudios e investigaciones similares, además de enriquecer la

formación disciplinaria en esta importante área, la cual, está inserta en el pensum de estudio de la Carrera de Ingeniería Civil.

## **1.6 METODOLOGÍA**

Para cumplir con los objetivos específicos planteados, la metodología a emplear es descriptivo-experimental; se estableció un plan de estudios que fueron realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales de la Carrera de Ingeniería Civil, Área de Ciencias y Tecnología, de la Universidad Amazónica de Pando, donde se efectuaron ensayos comparativos entre agregados de diferentes procedencias, realizando una serie de mezclas, evaluando las resistencias mecánicas del hormigón.

En la elaboración de tablas, gráficos de granulometría y rotura de cilindros de hormigón, se utilizaron las hojas de cálculo de Microsoft Office Excel 2013. El detalle de estas actividades está descrito en el capítulo tres.

# CAPÍTULO DOS

## 2.0 MARCO TEÓRICO

La sustentación teórica de estudio mediante el marco teórico, implica analizar y exponer las teorías, las investigaciones en general, que se consideren válidas para el correcto vínculo del tema. Por lo cual, a continuación, se presentará un resumen de aspectos más importantes que integran esta Tesis de Grado.

## 2.1 DEFINICIONES

### 2.1.1 AGREGADOS PARA EL HORMIGÓN

Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial, cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la ASTM C-33.

Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta, y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto. Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente; además, los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso y agregado fino.<sup>2</sup>

#### 2.1.1.1 AGREGADO FINO

Agregado que pasa por el tamiz de  $\frac{3}{4}$ " (9,5 mm) y casi pasa por completo por el tamiz No. 4 (de 4,75 mm), y es retenido, de modo predominante, por el tamiz No. 200 (de 75  $\mu$ m); o bien, aquella porción de un agregado que pasa por el tamiz No. 4 (de 4,75 mm) y es retenido, de modo predominante, por el No. 200 (de 75  $\mu$ m).

El agregado fino, utilizado en nuestro medio, se denomina "Arena"; aquél resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca, o procede de la trituración de ésta.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2004. Págs. 43, 44.

<sup>3</sup> QUIROZ CRESPO, Mariela Vivian - SALAMANCA OSUNA, Lucas Esteban. Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "tecnología del hormigón". Cochabamba - Bolivia, 2006. Pág. 29.

### **2.1.1.2 AGREGADO GRUESO**

Agregado retenido, de modo predominante, por el tamiz No. 4 (de 4,75 mm); o bien, aquella porción de un agregado que es retenida por el tamiz No. 4 (de 4,75 mm).

El agregado grueso, utilizado en nuestro medio, es denominado “Grava”. Resulta de la desintegración y abrasión naturales de la roca, o procede de la trituración de ésta.<sup>3</sup>

### **2.1.2 PROPIEDADES DEL AGREGADO**

Las propiedades y características de los agregados que se contemplan en el proyecto, serán desarrolladas mediante ensayos en laboratorio.

#### **2.1.2.1 PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGREGADO**

**Densidad.-** Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos, así como de la porosidad del material mismo.

**Porosidad.-** La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado. Es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste; puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.<sup>4</sup>

**Peso unitario.-** Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total, incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre las partículas influye la forma de acomodo de éstas; el procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C-29.

**Porcentaje de vacío.-** Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados. Depende del acomodo de las partículas, por lo que, su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C-29.<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. Págs. 47, 48.

$$\% \text{ vacíos} = \frac{S*W - P.U.C}{S*W} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

P.U.C. = Peso Unitario Compactado seco del agregado

**Humedad.**- Es la cantidad del agua superficial retenida por la partícula; su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla.<sup>4</sup>

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso natural} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} * 100 \quad (2.2)$$

### 2.1.2.2 PROPIEDADES RESISTENTES DEL AGREGADO

**Resistencia.**- La resistencia de los agregados depende de su composición, textura y estructura, y la resistencia del concreto; no puede ser mayor que la de los agregados. Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros, consecuentemente, serán débiles.

**Tenacidad.**- Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angulosidad y textura del material.

**Dureza.**- Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión y abrasión o, en general, al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes.

**Módulo de elasticidad.**- Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

Parecería ser, muy inusual, la determinación del módulo elástico en los agregados, sin embargo, el concreto experimentara deformaciones, por lo que, es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. Además, el valor

del módulo de elasticidad influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que pueden presentarse.<sup>5</sup>

## **2.1.3 NORMAS Y REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA EL CONCRETO**

### **2.1.3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS**

Los agregados finos y gruesos según la norma ASTM C-33, deberán cumplir con las gradaciones conforme a las especificaciones que establece la norma, las cuales, aparecen en las tablas 2.1 y 2.2.

**Tabla 2. 1 Requisitos granulométricos para el agregado fino**

Tamiz		% en peso que pasa por los tamices normalizados
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	N° 4	95 - 100
2.38 mm	N° 8	80 - 100
1.20 mm	N° 16	50 – 85
0.60 mm	N° 30	25 – 60
0.30 mm	N° 50	10 - 30
0.15 mm	N° 100	2 - 10

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.02

---

<sup>5</sup> TORRE CARRILLO Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. Págs. 48, 49.

**Tabla 2. 2 Requisitos granulométricos para el agregado grueso**

Tamaño Nominal	% en peso que pasa por los tamices normalizados												
	100 mm (4")	90 mm (3½")	75mm (3")	63mm (2½")	50 mm (2")	37.5 mm (1½")	25 mm (1")	19 mm (¾")	12.5 mm (½")	9.5mm (3/8")	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18mm (N° 16)
90 mm a 37.5mm (3½" a 1½")	100	90 a 100	--	25 a 60	--	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
63 mm a 37.5mm (2½" a 1½")	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
50 mm a 25mm (2" a 1")	--	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--
50 mm a 4.75mm (2" a N° 4)	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	--	0 a 5	--	--
37.5 mm a 19mm (1½" a ¾")	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--
37.5 mm a 4.75mm (1½" a N° 4)	--	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	0 a 5	--	--
25 mm a 12.5mm (1" a ½")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	--
25 mm a 9.5mm (1" a 3/8")	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	--	--
25 mm a 4.75mm (1" a N° 4)	--	--	--	--	--	--	95 a 100	--	25 a 65	--	0 a 10	0 a 5	--
19 mm a 9.5mm (¾" a 3/8")	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	--	--
19 mm a 4.75mm (¾" a N° 4)	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	--	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--
12.5 mm a 4.75mm (½" a N° 4)	--	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 70	5 a 15	0 a 5	--
9.5 mm a 2.38mm (3/8" a N° 8)	--	--	--	--	--	--	--	--	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.02

Este método se utiliza, principalmente, para determinar la granulometría de los materiales propuestos que serán empleados como agregados. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de los requerimientos de las especificaciones que son aplicables, y para suministrar los datos necesarios para la producción de diferentes agregados y mezclas que contengan agregados.

### **2.1.3.2 PARÁMETROS QUE SE OBTIENEN DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Además de determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregados, a partir de un análisis granulométrico, se pueden obtener valores que, luego, serán utilizados como parámetros en los diseños o como factores de calidad. Ellos, son:

#### **Tamaño Máximo**

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra. Indica la dimensión de la partícula más grande que existe en la muestra.

#### **Tamaño Máximo Nominal**

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél, cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas más grandes que existe dentro de una masa de agregado.

Por lo general, en un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden; por lo tanto, en las especificaciones debe indicarse, claramente, de cuáles de los dos se trata. Los términos tamaño máximo y tamaño máximo nominal se aplican, exclusivamente, al agregado grueso.<sup>6</sup>

#### **Módulo de finura**

El módulo de finura es un factor empírico que permite estimar qué tan fino o grueso es un material. Está definido como la centésima parte del número, que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados en la siguiente serie de tamices: 149  $\mu\text{m}$  (No. 100), 297  $\mu\text{m}$  (No. 50), 595  $\mu\text{m}$  (No. 30), 1,19 mm (No. 16), 2,38 mm (No. 8), 4,76 mm (No. 4), 9,51 mm (3/8"), 19 mm (3/4"), 38,1 mm (1½"), y los tamices siguientes, cuya abertura está en una relación de 1 a 2.

---

<sup>6</sup>GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales de construcción. Segunda edición. Colombia, 2003. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. Págs. 18,19

Se puede calcular el módulo de finura de cualquier material, sin embargo, se recomienda determinar el módulo de finura del agregado fino, y según su valor, este agregado se puede clasificar, tal como se presenta en la tabla 2.3.<sup>7</sup>

**Tabla 2. 3 Clasificación del agregado fino de acuerdo con el valor del módulo de finura**

<b>MODULO DE FINURA</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2.00 - 2.30	Fino
2.30 - 2.60	Ligeramente fino
2.60 - 2.90	Mediano
2.90 - 3.20	Ligeramente grueso
3.20 - 3.50	Grueso
Mayor que 3.50	Muy grueso o extra grueso

Fuente: RIBERA LÓPEZ Gerardo Antonio. Concreto simple, pág. 60

### **Sustancias perjudiciales**

Se prescribe también que las sustancias perjudiciales, no excederán los porcentajes máximos mostrados en la tabla 2.4.

**Tabla 2. 4 Sustancias perjudiciales**

DESCRIPCIÓN	AGREGADOS	
	FINO	GRUESO
Partículas deleznable	3%	5%
Material más fino que el tamiz N° 200	5%	1%
Carbón y lignito	0.5%	0.5%

Fuente: TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera Edición, Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. Pág. 51

<sup>7</sup> RIVERA LÓPEZ, Gerardo Antonio. Concreto Simple. Pág. 60

## **2.1.4 HORMIGÓN**

El hormigón es un material de uso común o convencional, y se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales: cemento, agua y agregados; a los cuales, eventualmente, se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como hormigón, se introduce, de manera simultánea, un quinto participante representado por el aire.<sup>8</sup>

### **2.1.4.1 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN**

#### **1) En estado fresco**

El concreto en estado fresco es desde que se mezcla el concreto hasta que fragua el cemento.

El comportamiento reológico del concreto fresco depende de: Relación agua/cemento, Grado de hidratación, Tamaño de partículas, Mezclado, y Temperatura.<sup>9</sup>

#### **a. Trabajabilidad**

Es la facilidad que tiene el concreto para ser mezclado, manipulado y puesto en obra, con los medios de compactación que se disponga.

La trabajabilidad depende de: Dimensiones del elemento, Secciones armadas, Medios de puesta en obra, y Dimensiones del elemento. Habrá una mayor trabajabilidad cuando contenga más agua. Repercute en la resistencia (baja); más finos; agregados redondeados; más cemento; fluidificantes/plastificantes; adiciones.

#### **b. Consistencia**

Se denomina consistencia a la mayor o menor facilidad que tiene el hormigón fresco para deformarse o adaptarse a una forma específica. La consistencia depende del Agua de amasado, Tamaño máximo del agregado, y Granulometría (debido a que la forma de los agregados influye mucho en el método de compactación).

Tipos de Consistencia (tablas 2.5 y 2.6):

---

<sup>8</sup>TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. Pág. 74

<sup>9</sup>TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2004. Pág. 81

- SECA – Vibrado enérgico.
- PLÁSTICA – Vibrado normal.
- BLANDA – Apisonado.
- FLUIDA – Barra.<sup>10</sup>

**Tabla 2. 5 Consistencia/Asentamiento**

<b>CONSISTENCIA</b>	<b>ASENTAMIENTO (cm)</b>
Seca	0 - 2
Plástica	3 - 5
Blanda	6 - 9
Fluida	10 - 15

Fuente: TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2004. Pág. 82

**Tabla 2. 6 Tolerancias**

<b>CONSISTENCIA</b>	<b>TOLERANCIA (cm)</b>	<b>INTERVALO</b>
Seca	0	0 - 2
Plástica	± 1	3 - 5
Blanda	± 1	6 - 9
Fluida	± 1	10 - 15

Fuente: TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2004. Pág. 83

### **c. Homogeneidad y uniformidad**

Homogeneidad es la cualidad que tiene un concreto para que sus componentes se distribuyan regularmente en la masa.

Uniformidad es la cualidad que se presenta en varias amasadas. Ésta depende del buen amasado, buen transporte, y buena puesta en obra.

Se pierde la homogeneidad por tres causas: Irregularidad en el mezclado, exceso de agua, cantidad y tamaño máximo de los agregados gruesos.

---

<sup>10</sup> TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería. 2004. Pág. 82

Esto provoca:

- **Segregación:** separación de los áridos gruesos y finos.
- **Decantación:** los áridos gruesos van al fondo y los finos se quedan arriba.

#### **d. Compacidad**

Es la relación entre el volumen real de los componentes del hormigón y el volumen aparente del mismo. No se tiene en cuenta el aire ocluido.<sup>11</sup>

### **2) En estado endurecido**

#### **A. Características físicas**

##### **a. Impermeabilidad**

El concreto es un sistema poroso y nunca va a ser totalmente impermeable. Se entiende por permeabilidad como la capacidad que tiene un material de dejar pasar a través de sus poros un fluido.

Para lograr una mayor impermeabilidad se pueden utilizar los aditivos impermeabilizantes, así como mantener una relación agua/cemento muy baja. La permeabilidad depende de: Finura del cemento, Cantidad de agua y Compacidad.

La permeabilidad se corrige con una buena puesta en obra.

##### **b. Durabilidad**

Depende de los agentes agresivos, que pueden ser mecánicos, químicos o físicos. Los que más influyen negativamente son: Sales, Calor, Agente contaminante, y Humedad.

El efecto producido es un deterioro mecánico-físico.

##### **c. Resistencia térmica**

- Bajas temperaturas - Hielo/deshielo (deterioro mecánico).
- Altas temperaturas > 300 °C.

---

<sup>11</sup> TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. Pág. 83

## **B. Características mecánicas**

### **a. Resistencia a la compresión**

La resistencia a la compresión del concreto, normalmente, se la cuantifica a los 28 días de vaciado el concreto; aunque, en estructuras especiales como túneles y presas, o cuando se emplean cementos especiales, pueden especificarse tiempos menores o mayores a 28 días.

En túneles, es bastante frecuente utilizar la resistencia a los 7 días o menos, mientras que, en presas se suele utilizar como referencia la resistencia a los 56 días o más.

La resistencia del concreto se determina en muestras cilíndricas estandarizadas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, llevadas hasta la rotura mediante cargas incrementales relativamente rápidas.

### **b. Resistencia a la flexión**

Generalmente, su valor corresponde al 10% de la resistencia a la compresión del concreto de una determinada resistencia a la compresión especificada. Esta propiedad sirve para diseñar estructuras que estarán cargadas, en las cuales, es muy importante conocer la misma.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> TORRE CARRILLO, Ana. Curso básico de tecnología de concreto. Primera edición. Lima. Universidad Nacional de Ingeniería, 2004. Págs. 84, 85

## **CAPÍTULO TRES**

### **3.0 APLICACIÓN PRÁCTICA**

Teniendo un objetivo general al que se quiere llegar, se realizan las actividades que consisten en los ensayos de agregados para determinar sus características. Asimismo, las pruebas de rotura de cilindros de hormigón, determinando las propiedades del mismo, para alcanzar cada uno de los objetivos específicos.

#### **3.1 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO UNO**

DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE LOS AGREGADOS PROVENIENTES DEL RÍO MADRE DE DIOS, PUERTO MALDONADO Y EL SENA. LA PIEDRA TRITURADA DEL BRASIL, LA ARENA DEL RÍO ACRE; EMPLEANDO DE REFERENCIA LAS NORMAS ASTM.

##### **3.1.1 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA MUESTREO DE AGREGADOS ASTM D-75 (NB 595:1991)**

Este método de ensayo presenta las técnicas del muestreo de los agregados gruesos y finos. Las muestras de campo están relacionadas con el tipo y el número de ensayos a los que el material será sometido.

La aceptación y las pruebas de control están cubiertas por las normas ASTM, donde se especifica la porción de la muestra de campo requerida para cada ensayo específico.

Las cantidades especificadas en la tabla 3.1, proporciona el material suficiente para los análisis de las propiedades mecánicas de los agregados.

**Tabla 3. 1 Graduación de agregados**

TAMAÑO NOMINAL AGREGADO	MÁXIMO DEL	MASA MÍNIMA APROXIMADA DE MUESTRA DE CAMPO	
		[kg]	[lb]
Agregado Fino			
2,36 mm	No 8	10	22
4,76 mm	No 4	10	22
Agregado Grueso			
9,8 mm	3/8"	10	22
12,5 mm	1/2"	15	33
19 mm	3/4"	25	55
25 mm	1"	50	110
37,5 mm	1 1/2"	75	165
50 mm	2"	100	220
63 mm	2 1/2"	125	275
75 mm	3"	150	330
90 mm	3 1/2"	175	385

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.03

Los materiales de construcción en Cobija tienen diversas procedencias (véase figura 3.3). Como agregado grueso, se tiene al canto rodado del río Madre de Dios; proviene de dos regiones, **Puerto Maldonado (Perú)** y **El Sena** (véase figura 3.1).



**Figura 3. 1 Canto rodado de Puerto Maldonado (Perú) y de El Sena, de izquierda a derecha, respectivamente**

Referencia: Elaboración propia

La piedra triturada proveniente del Brasil en fracciones de tamaño individual, **7/8" (brita 2)**, **3/4" (brita 1)**, **5/8" (brita 5/8")**, **3/8" (brita cero)** (véase figura 3.2).



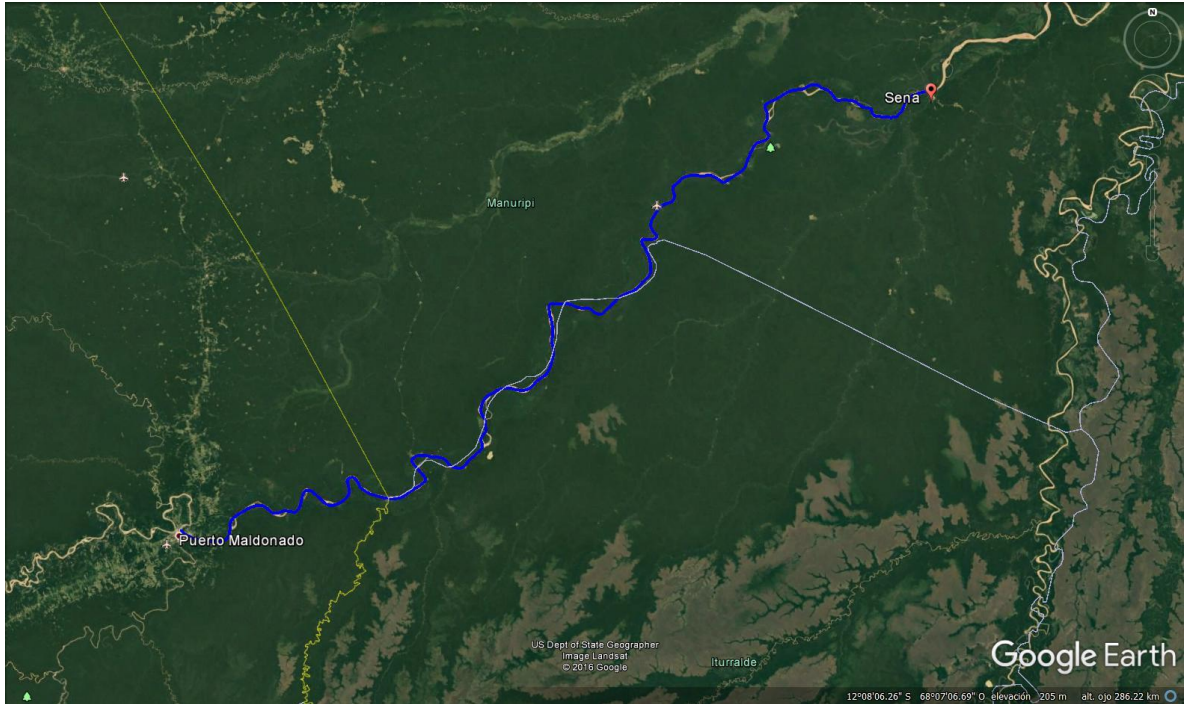
**Figura 3. 2 Piedra triturada del Brasil: 7/8”, 3/4”, 5/8”, 3/8”, respectivamente**  
Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 3 Materiales de construcción en Cobija de diversas procedencias**  
Referencia: Elaboración propia

Como agregado fino está el No. 4 (**Polvo de brita**) del Brasil y la **arena fina del río Acre**. Las características del canto rodado del río Madre de Dios y de Puerto Maldonado con relación al de El Sena, difieren en su morfología y su composición granulométrica, como se puede apreciar en la figura 3.1.

El canto rodado de Puerto Maldonado es más gruesa y de aristas más angulosas que el de El Sena, producto del arrastre por el lecho del río una longitud de aproximadamente 343 km, determinado mediante el programa de Google Earth (figura 3.4), en un caudal promedio de 4915 m<sup>3</sup>/s. El desgaste debido a la fricción constante entre los granos hace que, llegando a El Sena, sean redondeados y más finos, en su forma y tamaño, respectivamente (cuenca hidrográfica de Madre de Dios).



**Figura 3. 4 La trayectoria seguida por los granos de canto rodado por el río Madre de Dios, Puerto Maldonado-El Sena**

Fuente: Imagen satelital – Google Earth

### **Acopio de materiales**

El acopio de los materiales se orientó hacia el laboratorio, distribuyendo los mismos en bolsas, previo registro del tamaño y procedencia de cada lote de ellos.



**Figura 3. 5 Agregados gruesos y finos de diferentes procedencias**

Referencia: Elaboración propia

### **3.1.2 PRÁCTICA ESTÁNDAR PARA REDUCCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE PRUEBA ASTM C-702**

Esta actividad, describe la reducción de las muestras de agregado al tamaño apropiado para el ensayo. Proporciona los procedimientos para reducir la muestra total, obtenida en el campo, al tamaño conveniente para realizar un número de ensayos a objeto de describir el material y medir su calidad, de tal manera, que la porción de la muestra más pequeña sea representativa de la muestra total suministrada.

#### **Instrumentos:**

- Una regla, pala, escoba, y brocha

#### **Procedimiento:**

Se coloca la muestra original sobre una superficie dura, limpia y nivelada, que no se produzca pérdida de material ni adición accidental de material extraño. Se mezcla el material completamente, traspaleando la muestra entera, al menos tres veces. En el último traspaleo, se forma con la muestra una pila cónica, como se puede observar en la figura 3.6. Cuidadosamente, se aplanar la pila cónica, presionando con una pala la parte superior del cono hasta obtener un espesor y diámetro uniforme, de tal forma, que cada cuarto de la pila contenga el material que, originalmente, se encontraba en él. Se divide con una pala, la masa aplanada, en cuatro partes iguales (véase la figura 3.7), y se remueve los cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino. Se cepillan los espacios vacíos para limpiarlos, como se puede observar en la figura 3.8. Se mezcla y cuartea, sucesivamente, el material restante hasta reducir la muestra al tamaño requerido.



**Figura 3. 6 Cuarteo de Piedra triturada del Brasil, 7/8" (brita No. 2) en proceso**

Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 7 Cuarteo manual de piedra triturada  
brita 2**

Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 8 Cuarteo manual de canto rodado del río  
Madre de Dios, El Sena**

Referencia: Elaboración propia

### **3.1.3 MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN POR LAVADO DEL MATERIAL QUE PASA POR TAMIZ 0,075 MM (No. 200) EN MINERALES ASTM C117-95 (NB 612:1991)**

En este procedimiento, está incluida la determinación por lavado de la cantidad de material más fino que el tamiz de 0,075 mm (No. 200) de agregados. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregados, que se dispersan en el agua de lavado y los materiales solubles en agua, se remueven de los agregados durante el ensayo.

Existen dos procedimientos, uno con agua y otro con agente humectante. En este ensayo, sólo se utiliza agua para la operación de lavado en la pérdida del material más fino que el tamiz de 0,075 mm (No. 200) del material grueso.

Usualmente, la cantidad adicional del material más fino que 0,075 mm, obtenido en el proceso de tamizado en seco, es una cantidad pequeña. Si ésta fuera grande, la eficiencia de la operación de lavado debe ser revisada.

### Equipo

- Balanza de capacidad  $20000 \pm 0.1$  g
- Un juego de dos tamices, uno inferior de 0,075 mm (No. 200) y otro superior de 1,18 mm (No. 16). Ambos tamices, deben cumplir con los requisitos de la especificación ASTM E-11.
- Un recipiente, tamaño suficiente, para contener el espécimen cubierto con agua y que permita una vigorosa agitación, sin pérdida de cualquier parte de la muestra o del agua.
- Un horno, que mantenga temperatura uniforme, en el rango de  $110 \pm 5$  °C.

### Procedimiento

Se reduce hasta una cantidad adecuada para el ensayo, utilizando los procedimientos aplicables descritos en ASTM C-702. Si la misma muestra va a ser ensayada de acuerdo con el Método de Ensayo C-136, la masa mínima debe ser como se describe en las secciones aplicables de este método. De otra manera, la masa de la muestra de ensayo, después del secado, debe cumplir con lo especificado en la tabla 3.2.

**Tabla 3. 2 Tamaño de muestra representativa**

Tamaño Máximo Nominal	Masa Mínima en gramos
4,75 mm (No. 4) o menor	300
Mayor que 4,75 mm (No. 4) hasta 9,5 mm (3/8")	1000
Mayor que 9,5 mm (3/8") hasta 19,0 mm (3/4")	2500
Mayor que 19,0 mm (3/4")	5000

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.02

Se coloca en el contenedor, la muestra de ensayo cubriendo con agua lo suficiente; se agita con vigor, obteniendo una completa separación de todas las partículas más finas que el tamiz de 0,075 mm (No. 200) de las partículas gruesas, y así se lleva a suspensión todo el

material fino. Inmediatamente, se vierte el agua de lavado conteniendo el suspendido y los sólidos disueltos sobre los tamices superpuestos, con el tamiz más grueso arriba, teniendo cuidado de evitar, hasta donde sea posible, la decantación de partículas gruesas de la muestra (figura 3.9).



**Figura 3. 9 Muestra en proceso de lavado**  
Referencia: Elaboración propia

Se agrega una segunda carga de agua a la muestra de ensayo en el contenedor, se agita y se decanta; se repite esta operación hasta que el agua de lavado sea clara.



**Figura 3. 10 Horno en el secado de muestras**  
Referencia: Elaboración propia

Se retorna todo el material retenido en los tamices superpuestos, por enjuague de la muestra lavada. Se procede al secado del agregado lavado hasta masa constante, a una temperatura de  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (figura 3.10), y se determina la masa lo más cercano a 0,1% de la masa original de la muestra.

### Cálculos

$$A = \frac{B - C}{C} * 100 \quad (3.1)$$

A = Porcentaje de material más fino que el tamiz de 0.075 mm (No. 200) por lavado

B = Masa original seca de la muestra de ensayo más tara, en g

C = Masa seca de la muestra de ensayo del lavado más tara, en g

R = Tara, en g

Como ejemplo, se determina la cantidad de material que pasa el tamiz de 0,075 mm (No. 200) por lavado de la muestra obtenida de la piedra triturada (brita No. 2) procedente del Brasil.

Datos:

B = 3315,6 [g]

C = 3312,3 [g]

R = 304,0 [g]

$$A = \frac{B - C}{C - T} * 100 \quad (3.2)$$

$$A = \frac{3315,6 [g] - 3312,3 [g]}{3312,3 [g] - 304,0 [g]} * 100$$

$$A = 0,1 \%$$

### **Ensayo opcional, material que pasa tamiz 0,075 mm (No. 200)**

Este método sencillo es una opción con respecto al requisito del material más fino que pasa el tamiz 0,075 mm (No. 200), en especial, cuando los muy finos no tienen carácter perjudicial. Este ensayo proporciona una buena referencia de la limpieza de la arena.

El ensayo fue desarrollado por el Laboratorio de Caminos del Estado de California; en la actualidad, tiene una aplicación internacional. La prueba consiste en agitar cierta cantidad de arena en una probeta con una solución de lavado defloculante, dejando reposar la mezcla. Si la arena está sucia, se diferenciará claramente dos estratos, la arena abajo y encima el material fino.

Se mide la altura total “H” (arena + finos) y la altura de finos “h”. El contenido de finos no debe ser mayor al 6% de la altura total.

El valor del equivalente de la arena, se calcula con la expresión:

$$ES = \frac{H_1}{H_2} * 100 \quad (3.3)$$

Donde:

H<sub>1</sub> = Altura del sedimento

H<sub>2</sub> = Altura total

### **Equipo**

- Probeta
- Calibrador
- Lupa

### **Procedimiento**

Se introduce arena en probeta en una cantidad de 400 g; se complementa con agua, aproximadamente 700 ml. Se agita, con vigor, durante 15 minutos hasta que levante la turbiedad al máximo (figura 3.11).



**Figura 3. 11 Muestras de arena del río Acre**

Referencia: Elaboración propia

Se deja reposar durante 72 horas, y transcurrido ese tiempo, a simple vista, el agua se nota cristalina (figura 3.12).

Se miden las alturas del sedimento fino y total, utilizando los instrumentos correspondientes, y se registran los datos. El mismo procedimiento se aplicó a la muestra de polvo de brita.

### **Resultados de Arena del río Acre**

Datos:

Altura del sedimento ( $H_1$ ): 2 mm

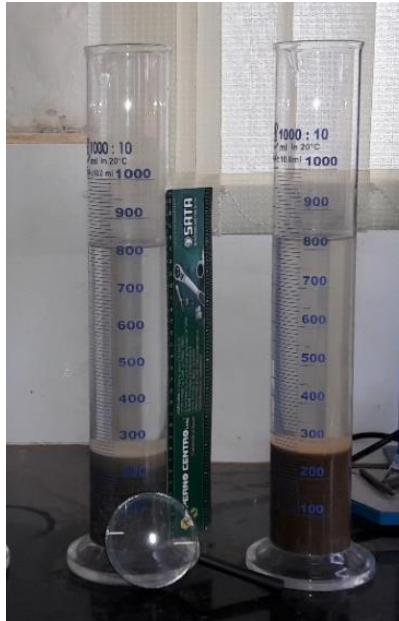
Altura total de muestra que contiene arena ( $H_2$ ): 84 mm

Relación  $H_1/H_2$ :  $Es = \frac{H_1}{H_2} * 100$

$$Es = \frac{2 \text{ mm}}{84 \text{ mm}} * 100$$

$$Es = 2,4 \% < 3\%$$

Cumple



**Figura 3. 12 Muestras sedimentadas y polvo de brita en proceso de sedimentación**

Referencia: Elaboración propia

### **Resultados de Polvo de brita**

Datos:

Altura del sedimento ( $H_1$ ): 14 mm

Altura total de muestra que contiene arena ( $H_2$ ): 80 mm

Relación  $H_1/H_2$ :

$$Es = \frac{H_1}{H_2} * 100$$

$$Es = \frac{14 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} * 100$$

$$Es = 17,5 \% > 3\%$$

No cumple

### **3.1.4 ENSAYO DE DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGUA DE AGREGADO GRUESO ASTM C-127**

Este ensayo, se realiza en la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluyendo el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso.

La densidad ( $\text{kg/m}^3$ ) como la densidad relativa o gravedad específica (adimensionales), son expresadas como secadas al horno (S) o saturadas superficialmente secas (SSS). La densidad S y la densidad relativa S, son determinadas después de secar el agregado en horno. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción, son determinadas después de saturar el agregado en agua para un tiempo prescrito.

#### **Equipo:**

- Equipo de gravedad específica y absorción de agregados gruesos, con balanza de capacidad  $20000 \pm 0,1$  g
- Horno de secado eléctrico de temperatura  $110 \pm 5$  °C
- Balanza de capacidad de  $20000 \pm 0,1$  g
- Cucharón
- Brocha
- Recipientes metálicos
- Tela de absorción (franela)

#### **Procedimiento:**

Se toma la muestra representativa, contiene 0% retenido en el tamiz 37,5 mm (1 ½"); se rechaza todo el material que pasa el tamiz 3,75 mm (No. 4), por tamizado en seco y por lavado a fondo del material para remover el polvo u otros recubrimientos en la superficie.

La mínima masa de muestra de ensayo por norma, se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3. 3 Tamaño de muestra representativa**

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO DEL AGREGADO		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
		[kg]	[lb]
12,5 mm	1/2"	2	4,4
19 mm	3/4"	3	6,6
25 mm	1"	4	8,8
37,5 mm	1 1/2"	5	11
50 mm	2"	8	18
63 mm	2 1/2"	12	26
75 mm	3"	18	40
90 mm	3 1/2"	25	55
100 mm	4"	40	88
112 mm	4 1/2"	50	110
125 mm	5"	75	165
150 mm	6"	125	276

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.02

Se seca la muestra de ensayo en el horno hasta masa constante, a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ \text{C}$ , y se deja enfriar al aire a la temperatura ambiente, por 1 a 3 horas. Seguidamente, se sumerge el agregado en agua (véase figura 3.13), por un período de  $24 \pm 4 \text{ h}$ .



**Figura 3. 13 Muestra en proceso de saturación**

Referencia: Elaboración propia

Se remueve el agua de las partículas de la muestra de ensayo, y se libera el agua superficial de las partículas, mediante una tela de absorción, teniendo cuidado con la evaporación de

agua de los poros del agregado durante la operación de secado superficial. Se determina la masa de condición saturada de superficie seca (muestra en aire).

Después de determinar la masa al aire, se coloca, inmediatamente, la muestra de ensayo saturada superficialmente seca en el contenedor de la muestra, y se determina su masa aparente en agua a  $23 \pm 2,0$  °C (véase figura 3.14). Se debe tener cuidado de eliminar todo el aire atrapado antes de pesar, agitando el recipiente mientras es sumergido.

La diferencia entre la masa al aire y la masa, cuando la muestra es sumergida en agua, es igual a la masa del agua desplazada por la muestra.

El contenedor se sumerge a una profundidad suficiente para cubrirlo y la muestra de ensayo, mientras se determina la masa aparente en el agua. El alambre, del cual se suspende el contenedor, debe ser del tamaño más pequeño posible para minimizar cualquier efecto posible de una longitud inmersa variable.



**Figura 3. 14 Muestra sumergiéndose en agua**  
Referencia: Elaboración propia

Se seca la muestra de ensayo en el horno, hasta masa constante, a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C; se enfría en aire, a temperatura ambiente del laboratorio, hasta que el agregado tenga una temperatura confortable para su manejo, y se determina su masa (figura 3.15).



**Figura 3. 15 Muestra seca, canto rodado del río Madre de Dios**

Referencia: Elaboración propia

Cálculos:

**Densidad relativa seca al horno o Gravedad específica bruta ( $G_s$ )**

$$G_s = \frac{A}{B - C} \quad (3.4)$$

A = Masa de la muestra de ensayo seca al horno (s), en el aire, g

B = Masa de la muestra de ensayo saturada de superficie seca (sss) en el aire, g

C = Masa aparente de la muestra de ensayo saturada en el agua, g

$G_s$  = Gravedad específica bruta ( $G_s$ )

A continuación, se determinan los valores de gravedad específica del canto rodado del río Madre de Dios, procedente de El Sena.

Datos:

A = 2078,9 [g]

B = 2098,9 [g]

C = 1298,5 [g]

$$G_s = \frac{A}{B - C}$$

$$G_s = \frac{2078,9 [g]}{2098,9 [g] - 1298,5 [g]}$$

$$G_s = 2,60$$

**Gravedad específica saturada de superficie seca (G<sub>sss</sub>):**

G<sub>sss</sub> = Gravedad específica sss

$$G_{sss} = \frac{B}{B - C} \quad (3.5)$$

Por lo tanto,

$$G_{sss} = \frac{2098,9 [g]}{2098,9 [g] - 1298,5 [g]}$$

$$G_{sss} = 2,62$$

**Gravedad específica aparente (G<sub>s</sub> aparente):**

$$G_{s \text{ aparente}} = \frac{A}{A - C} \quad (3.6)$$

$$G_{s \text{ aparente}} = \frac{2078,9 [g]}{2078,9 [g] - 1298,5 [g]}$$

$$G_{s \text{ aparente}} = 2,66$$

**Porcentaje de Absorción (% Abs):**

$$\% \text{ Abs} = \frac{B - A}{A} * 100$$

$$\% \text{ Abs} = \frac{2098,9 [g] - 2078,9 [g]}{2078,9 [g]} * 100$$

$$\% \text{ Abs} = 0,96 \%$$

$$\% \text{ Abs} = 1,0 \%$$

En la obtención de resultados de los demás materiales (datos y resultados consignados en las tablas 3.4 y 3.5), se utilizaron hojas de cálculo.

**Tabla 3. 4 Datos en la determinación de Gravedad Específica de los agregados gruesos**

MATERIAL	B Masa saturada- superficie-seca de la muestra (g)	C Masa saturada sumergida de la muestra (g)	A Masa seca de la muestra (g)
Canto Rodado EL SENA	2098,9	1298,5	2078,9
Canto Rodado PERÚ	3052,9	1889,5	3032,5
Piedra Triturada (Brasil) 7/8" (Brita N° 2)	3005,6	1894,0	2999,5
Piedra Triturada (Brasil) 3/4" (Brita N° 1)	3021,1	1900,3	3011,1
Piedra Triturada (Brasil) 5/8" (5/8")	1648,1	1031,6	1641,5
Piedra Triturada (Brasil) 3/8" (Brita cero)	2537,7	1582,1	2517,9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 5 Resultados Gravedad Específica de agregados**

MATERIAL	Gs bruta	Gs aparente	Gs bruta SSS	Absorción %
Canto Rodado EL SENA	2,60	2,66	2,62	1,0
Canto Rodado PERÚ	2,61	2,65	2,62	0,7
Piedra Triturada (Brasil) 7/8" (Brita N° 2)	2,70	2,71	2,70	0,2
Piedra Triturada (Brasil) 3/4" (Brita N° 1)	2,69	2,71	2,70	0,3
Piedra Triturada (Brasil) 5/8"	2,66	2,69	2,67	0,4
Piedra Triturada (Brasil) 3/8" (Brita Cero)	2,63	2,69	2,66	0,8

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.5 ENSAYO DE DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL AGUA DE AGREGADO FINO ASTM C128**

Con este ensayo, se determina la densidad promedio de la cantidad de partículas de agregado (no incluyendo los vacíos entre las partículas), la densidad relativa y la absorción del agregado fino. La densidad relativa, que es una cantidad sin dimensiones, puede expresarse como (S), (SSS) o densidad relativa aparente; la densidad S y la densidad relativa S, son determinadas después de secar el agregado. La densidad SSS, la densidad

relativa SSS y la absorción, son determinadas después de sumergir el agregado en agua por una duración prescrita.

**Equipo:**

- Picnómetro (procedimiento gravimétrico)
- Balanza de capacidad  $20000 \pm 0,1$  g
- Molde y apisonador para prueba de humedad superficial
- Horno de secado eléctrico de temperatura  $110 \pm 5$  °C
- Secador eléctrico
- Cucharón
- Escobilla
- Recipiente

**Procedimiento:**

Se sumerge el agregado fino en agua, y se deja reposar por el transcurso de  $24 \pm 4$  h.

Se decanta el exceso de agua, con cuidado, para evitar la pérdida de fino. Se extiende la muestra en una superficie plana no absorbente (recipiente), y se expone a un movimiento suave de corriente de aire caliente, revolviendo, frecuentemente, para asegurar el secado homogéneo.

Para la prueba de humedad superficial, se introduce el material en el molde troncocónico en una cantidad de tres tercios, los cuales, se apisona ligeramente con 25 caídas en cada capa. Se remueve la arena suelta desde la base y se levanta el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía existe, el agregado fino retiene la forma del molde (figura 3.16). Un ligero revenimiento del agregado fino moldeado, indica que alcanzó la condición superficialmente seca (figura 3.17).

En el procedimiento gravimétrico, se introduce 500 g de agregado fino, superficialmente seco, en el picnómetro; se adiciona agua hasta su capacidad calibrada, y se debe remover las espumas manualmente (figura 3.18). Se ajusta la temperatura del picnómetro y su contenido, a  $23,0 \pm 2,0$  °C, por inmersión parcial en agua. Se determina la masa total del picnómetro, muestra y agua.

Se remueve el agregado fino del picnómetro; se hace secar hasta una masa constante a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C; se enfría en aire a la temperatura de ambiente  $1 \pm 1/2$  h, y se determina la masa seca.

Finalmente, se determina la masa del picnómetro lleno a su capacidad, calibrada con agua a  $23,0 \pm 2,0$  °C.



**Figura 3. 16** Proceso de prueba de absorción del material fino con saturación

Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 17** Revenimiento, la muestra saturada alcanza la superficie seca

Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 18** Introducción de la muestra más agua en el picnómetro

Referencia: Elaboración propia

Cálculos:

**Densidad relativa seca al horno o Gravedad específica bruta (Gs)**

**A** = Masa de la muestra de ensayo seca al horno, g

**B** = Masa del picnómetro con agua hasta la marca de calibración, g

**C** = Masa del picnómetro con la muestra de ensayo y agua hasta la marca de calibración, g

**S** = Masa de la muestra de ensayo, saturada de superficie seca (usada en el método gravimétrico de densidad relativa o para la absorción), g

Determinación de los valores de gravedad específica de la arena del río Acre.

Datos:

A= 493,4 [g]

B = 717,5 [g]

C = 998,6 [g]

S = 500,0 [g]

$$G_s = \frac{A}{B + S - C} \quad (3.7)$$

$$G_s = \frac{493,4 [g]}{717,5 [g] + 500,0 [g] - 998,6 [g]}$$

$$G_s = 2,25$$

**Gravedad específica saturada de superficie seca (G<sub>SSS</sub>):**

$$G_{SSS} = \frac{S}{B + S - C} \quad (3.8)$$

$$G_{SSS} = \frac{500 \text{ [g]}}{717,5 \text{ [g]} + 500 - \text{[g]}998,6 \text{ [g]}}$$

$$G_{SSS} = 2,28$$

**Gravedad específica aparente (G<sub>s</sub> aparente):**

$$G_{s \text{ aparente}} = \frac{A}{B + A - C} \quad (3.9)$$

$$G_{s \text{ aparente}} = \frac{493,4 \text{ [g]}}{717,5 \text{ [g]} + 493,4 \text{ [g]} - 998,6 \text{ [g]}}$$

$$G_{s \text{ aparente}} = 2,32$$

**Porcentaje de Absorción (% Abs):**

$$\% \text{ Abs} = \frac{S - A}{A} * 100 \quad (3.10)$$

$$\% \text{ Abs} = \frac{500,0 \text{ [g]} - 493,4 \text{ [g]}}{493,4 \text{ [g]}} * 100$$

$$\% \text{ Abs} = 1,3 \%$$

De forma análoga, se calculan los valores para polvo de brita. Los datos utilizados, con este propósito, se muestran en la tabla 3.6, y, consiguientemente, los resultados obtenidos, se presentan en la tabla 3.7.

**Tabla 3. 6 Datos en la determinación de Gravedad Específica de los agregados finos**

MATERIAL	B Masa del picnómetro más agua (g)	C Masa del picnómetro más muestra, más agua (g)	A Masa seca de la muestra (g)	S Masa de la muestra en estado saturado, superficialmente seca (g)
<b>Polvo de brita</b>	0,707	1,000	0,490	0,500
<b>Arena fina del río Acre</b>	0,718	0,999	0,493	0,50

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 7 Resultados de gravedad específica**

MATERIAL	Gs bruta	Gs aparente	Gs bruta SSD	Absorción %
<b>Polvo de Brita</b>	2,37	2,49	2,42	2,04
<b>Arena fina del río Acre</b>	2,25	2,33	2,28	1,42

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.6 MÉTODO DE PRUEBA PARA RESISTENCIA A DEGRADACIÓN DE AGREGADO GRUESO DE TAMAÑO PEQUEÑO POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES ASTM C-131 (NB 302:1979)**

Es un método de prueba para probar los tamaños de agregado grueso menores de 37,5 mm (1½ in) para resistencia a la degradación, utilizando la máquina de prueba de Los Ángeles. Este ensayo, en la máquina de Los Ángeles, proporciona una medida del desgaste de los agregados minerales de graduaciones estándar, resultante de la combinación de acciones que incluyen la abrasión, el impacto y la trituración en un tambor rotatorio de acero, que contiene un número especificado de esferas de acero, y que depende de la graduación de la muestra (véase las tablas 3.8 y 3.9). Cuando el tambor rota, una pestaña recoge la muestra y las esferas de acero, arrastrándolas consigo hasta que ellas caen al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. Entonces, el contenido es arrastrado dentro del tambor con una acción abrasiva y trituradora hasta que golpea de nuevo la pestaña, y el ciclo se repite. Después del número prescrito de revoluciones, el contenido es removido del tambor y la porción de agregado es tamizada para medir el desgaste como pérdida en porcentaje.

**Tabla 3. 8 Grados de muestras de prueba**

TAMAÑO DE TAMIZ		MASA DE TAMAÑOS INDICADOS [g]			
PASADO	RETENIDO	GRADOS			
		A	B	C	D
(37,5 mm) 1 1/2"	(25,0 mm) 1"	1250 ± 25			
(25,0 mm) 1"	(19,0 mm) 3/4"	1250 ± 25			
(19,0 mm) 3/4"	(12,5 mm) 1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10		
(12,5 mm) 1/2"	(9,5 mm) 3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10		
(9,5 mm) 3/8"	(6,3 mm) 1/4"			2500 ± 10	
(6,3 mm) 1/4"	(4,75 mm) No 4			2500 ± 10	
(4,75 mm) No 4	(2,36 mm) No 8				5000 ± 10
TOTAL:		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: Normas ASTM, volumen 04.02

**Tabla 3. 9 Graduación de la muestra de prueba**

GRADO	NÚMERO DE ESFERAS	MASA DE CARGA [g]
A	12	5000 ± 25
B	11	4585 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: Normas ASTM, volumen 04.02

## Equipo

- Máquina de los Ángeles

Una máquina de los Ángeles, consiste en un cilindro de acero hueco, cerrado en ambos extremos, montado en un eje de talón adjunto a los extremos del cilindro, pero, no entrando en él; rotación con el eje en una posición horizontal dentro de una tolerancia en pendiente de 1 en 100, y con una abertura proporcionada para la introducción de la muestra de prueba. Una adaptable placa cubierta, que impide la salida del material y polvo proporcionada para la abertura por medio de tornillos. La cubierta tiene la forma del contorno cilíndrico de la pared interna, a menos que, la plataforma esté localizada de tal forma que la carga no caiga en la cubierta, o entre en contacto con ella durante la prueba. La plataforma está montada por tornillos, lo que hace que sea firme y rígido (véase figura 3.19).

- Tamices para clasificación (1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8")
- Balanza con capacidad de 20000 ± 0,1 [g]
- Horno de secado eléctrico de temperatura 110 ± 5 °C

## Procedimiento

Tomando la muestra de masa constante, se realiza la graduación de la cantidad de muestra que pasa, o retenido, en base a las tablas anteriores de 3.8 y 3.9.

Pasa 100% el tamiz 1 ½", retenidos en 1", 3/4", 1/2", 3/8". Se clasifica al grado A, número de esferas 12, total retenido de la muestra 5000 g (véase figura 3.20).



**Figura 3. 19 Máquina de Los Ángeles**  
Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 20 Agregado clasificado**  
Referencia: Elaboración propia

Se introduce en la Máquina, y se programa a 500 revoluciones. El tiempo cronometrado es de 15 minutos y 37,5 segundos.

$$\text{Frecuencia} = \frac{\text{No. de revoluciones}}{\text{Tiempo}}$$
$$\text{Frecuencia} = \frac{500 \text{ [rev]}}{15 \text{ [min]} 37,5 \text{ [s]}} = 32 \text{ RPM}$$

A 500 revoluciones, se detiene la máquina, y se extrae la muestra (figura 3.21).

Se realiza la separación de finos y gruesos en el tamiz No. 12, y se determinan en la balanza sus valores para los cálculos correspondientes (figura 3.22).



**Figura 3. 21 Agregado triturado con 12 esferas metálicas**  
Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 22 Material retenido en el tamiz No 12**  
Referencia: Elaboración propia

### **Cálculos**

Se calcula la pérdida, que es la diferencia entre la masa inicial y la masa final de la muestra de ensayo, como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo. Se reporta este valor como el porcentaje de pérdida.

En la determinación de resultados, se emplearon hojas de cálculo Microsoft Excel 2013. El primer ensayo, corresponde a la piedra triturada (figura 3.23). El segundo ensayo, corresponde al canto rodado del río Madre de Dios (figura 3.24).

<b>ENSAYO DESGASTE DE "LOS ÁNGELES"</b>				
PROYECTO: TESIS DE GRADO				
MUESTRA: No 1				
PROCEDENCIA: BRASIL				
MATERIAL: PIEDRA TRITURADA (BRITA No 2)				
FECHA: Cobija, 25 de noviembre del 2016				
ENSAYO:				
GRADACIÓN:	("A")	("B")	("C")	("D")
CARGA ABRASIVA CON:	("12")	("11")	("8")	("6") ESFERAS, A 32 RPM
PORCIONES DE MUESTRA:				
	PASADO	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA	
	1 1/2"	1"	1250 [gr]	
	1"	3/4"	1250 [gr]	
	3/4"	1/2"	1250 [gr]	
	1/2"	3/8"	1250 [gr]	
	3/8"	1/4"	-----	
	1/4"	No 4	-----	
	No 4	No 8	-----	
<b>CANTIDAD DE MATERIAL TOMADO:</b>			5000 [gr]	
<b>RETENIDO TAMÍZ DE CORTE No 12 (1,7 mm)</b>			3666 [gr]	
<b>DIFERENCIA:</b>			1334 [gr]	
<b>CÁLCULO:</b>			VALOR MÁXIMO 40%	
$\text{DESGASTE} = \frac{1334}{5000} \times 100 = 26,68$			% DE DESGASTE < 40% OK	
<b>OBSERVACIONES: SOLICITANTE, UNIVERSITARIO MARIO CHAMBI YANA</b>				
-----				
-----				
-----				

**Figura 3. 23 Resultado del procedimiento de cálculo de Ensayos de desgaste de Los Ángeles de piedra triturada (brita), procedente del Brasil, laboratorio de SEDCAM**

Referencia: Elaboración propia

<b>ENSAYO DESGASTE DE "LOS ÁNGELES"</b>				
PROYECTO: TESIS DE GRADO				
MUESTRA: No 2				
PROCEDENCIA: RÍO MADRE DE DIOS, EL SENA				
MATERIAL: CANTO RODADO				
FECHA: Cobija, 16 de diciembre del 2016				
ENSAYO:				
GRADACIÓN:	("A")	("B")	("C")	("D")
CARGA ABRASIVA CON:	("12")	("11")	("8")	("6") ESFERAS, A 32 RPM
PORCIONES DE MUESTRA:				
	PASADO	RETENIDO	CANTIDAD TOMADA	
	1 1/2"	1"	1250 [gr]	
	1"	3/4"	1250 [gr]	
	3/4"	1/2"	1250 [gr]	
	1/2"	3/8"	1250 [gr]	
	3/8"	1/4"	-----	
	1/4"	No 4	-----	
	No 4	No 8	-----	
<b>CANTIDAD DE MATERIAL TOMADO:</b>			5000 [gr]	
<b>RETENIDO TAMÍZ DE CORTE No 12 (1,7 mm)</b>			3809 [gr]	
<b>DIFERENCIA:</b>			1191 [gr]	
<b>CÁLCULO:</b>			VALOR MÁXIMO 40%	
$\text{DESGASTE} = \frac{1191}{5000} \times 100 = 23,82$			% DE DESGASTE < 40% OK	
<b>OBSERVACIONES: SOLICITANTE, UNIVERSITARIO MARIO CHAMBI YANA</b>				
-----				
-----				
-----				

**Figura 3. 24 Resultado del procedimiento de cálculo de Ensayos de desgaste de Los Ángeles de canto rodado del río Madre de Dios, laboratorio de SEDCAM**

Referencia: Elaboración propia

### **3.1.7 MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA DENSIDAD BRUTA (PESO UNITARIO) Y VACÍOS EN LOS AGREGADOS ASTM C-29/C-29M (608:1991)**

Mediante este ensayo, se determina la densidad bulk (“peso unitario”) del agregado, en una condición compactada o suelta, y se calcula los vacíos entre las partículas en el agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, con base en la misma determinación.

#### **Equipo:**

- Balanza de capacidad  $20000 \pm 0,1$  g
- Varilla compactadora de 600 mm de longitud, 16 mm de diámetro, punta redondeada semiesférica.
- Recipiente volumétrico
- Pala o cucharón

#### **Peso unitario compactado**

##### **Procedimiento**

Se toma la muestra representativa, debiendo ser suficiente la cantidad requerida para llenar el recipiente volumétrico. Debe ser manejado, de tal manera, que se evite la segregación. Se seca la muestra de agregado, esencialmente, hasta masa constante, en un horno a  $110 \pm 5$  °C.

Se introduce en el depósito, hasta un tercio de su altura y se nivela la superficie con los dedos. A continuación, se varilla la capa de agregados con 25 golpes de la varilla, distribuidos sobre la superficie. A dos tercios, se vuelve a nivelar y varillar como se hizo anteriormente (figura 3.25).

Finalmente, se llena el recipiente hasta rebalsarlo, y varillar, de nuevo, en la forma previamente mencionada. Se procede al nivelado de la superficie del agregado con una regla enrasadora, de tal forma, que ninguna partícula del agregado grueso sobresalga; se balancean los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente.

Se determina la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente solo, y se registran los datos (figura 3.26).



**Figura 3. 25 Agregado en proceso de varillado**  
Referencia: Elaboración propia



**Figura 3. 26 Determinación de masa en recipiente volumétrico**  
Referencia: Elaboración propia

### Cálculos

Densidad bruta (Peso unitario compactado)

$$M = \frac{G - T}{V} \quad (3.11)$$

Donde:

M = Densidad bruta de los agregados, kg/m<sup>3</sup>

G = Masa de los agregados más el recipiente, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

Se determinará la densidad bruta compactada (peso unitario compactado) del canto rodado del río Madre de Dios, proveniente de El Sena.

Datos:

$$G = 13118,3 \text{ [g]}$$

$$T = 8009,5 \text{ [g]}$$

$$V = 3211,3 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$M = \frac{13118,3 \text{ [g]} - 8009,5 \text{ [g]}}{3211,3 \text{ [cm}^3\text{]}}$$

$$M = 1,5909 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$M = 1590,9 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

Para los demás agregados, se hizo uso de hojas de cálculo, para la obtención de resultados, los cuales, quedan expuestos en la tabla 3.10.

**Tabla 3. 10 Densidad bruta compactada o peso unitario compactado de los agregados**

VOLUMEN RECIPIENTE: V = 3211,8 [cm <sup>3</sup> ]					
MASA RECIPIENTE: T = 8009,5 [g]					
TIPO DE AGREGADO	MATERIAL	MUESTRA + RECIPIENTE [g]	MUESTRA [g]	PESO UNITARIO [g/cm <sup>3</sup> ]	PESO UNITARIO [kg/m <sup>3</sup> ]
AGREGADO GRUESO	7/8"	12736,80	4727,30	1,47185	1471,85
	3/4"	12767,60	4758,10	1,48144	1481,44
	5/8"	12760,70	4751,20	1,47930	1479,30
	3/8"	12689,80	4680,30	1,45722	1457,22
	Canto rodado de El Sena	13449,50	5440,00	1,69375	1693,75
	Canto rodado del Perú	13029,30	5019,80	1,56292	1562,92
AGREGADO FINO	Polvo de brita	13725,60	5716,10	1,77972	1779,72
	Arena fina	12905,10	4895,60	1,52425	1524,25

Fuente: Elaboración propia

### **Peso unitario suelto**

Se llena el recipiente hasta rebasarlo por medio de un cucharón, descargando los agregados desde una altura que no exceda a 2 in (50 mm), por encima del borde del recipiente. Se debe prevenir la segregación de las partículas, de las cuales se compone la muestra. Se nivela la superficie del agregado con un enrasador, de tal manera, que ninguna pieza del agregado grueso sobresalga el borde. Debe balancearse los huecos en la superficie por debajo del borde del recipiente (figura 3.27).

Se determina la masa del recipiente más su contenido, y la masa del recipiente solo, y se registran los valores.



**Figura 3. 27 Agregado fino en recipiente volumétrico**

Referencia: Elaboración propia

### **Cálculos**

Densidad bruta suelta (peso unitario suelto) del canto rodado del río Madre de Dios proveniente de El Sena.

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Donde:

M = Densidad aparente de los agregados, kg/m<sup>3</sup>

G = Masa de los agregados más el recipiente, kg

T = Masa del recipiente, kg

V = Volumen del recipiente, m<sup>3</sup>

Datos:

$$G = 13449,5 \text{ [g]}$$

$$T = 8009,5 \text{ [g]}$$

$$V = 3211,3 \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$M = \frac{13449,5 \text{ [g]} - 8009,5 \text{ [g]}}{3211,3 \text{ [cm}^3\text{]}}$$

$$M = 1,6940 \text{ [g/cm}^3\text{]}$$

$$M = 1694,0 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

En la determinación de valores para los demás materiales, se emplearon hojas de cálculo Excel. Los resultados, se muestran en la tabla 3.11.

**Tabla 3. 11 Densidad bruta suelta o peso unitario suelto de los agregados**

VOLUMEN RECIPIENTE:					
V =		3211,8	[cm <sup>3</sup> ]		
MASA RECIPIENTE:					
T =		8009,5	[g]		
AGREGADO	MATERIAL	MUESTRA + RECIPIENTE [g]	MUESTRA [g]	PESO UNITARIO [g/cm <sup>3</sup> ]	PESO UNITARIO [kg/m <sup>3</sup> ]
AGREGADO GRUESO	7/8"	12206,50	4197,00	1,30674	1306,74
	3/4"	12239,50	4230,00	1,31702	1317,02
	5/8"	12241,40	4231,90	1,31761	1317,61
	3/8"	12199,00	4189,50	1,30441	1304,41
	Canto rodado de El Sena	13118,30	5108,80	1,59063	1590,63
	Canto rodado del Perú	12436,00	4426,50	1,37820	1378,20
AGREGADO FINO	POLVO DE BRITA	12882,00	4872,50	1,51706	1517,06
	ARENA FINA	12418,30	4408,80	1,37269	1372,69

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.8 MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN POR SECADO DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD EVAPORABLE EN EL AGREGADO ASTM C-566

Este método de ensayo, halla su aplicación en la determinación de la densidad del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado, por medio del secado tanto de la humedad superficial como de la humedad dentro de los poros del agregado.

Generalmente, medirá la humedad en la muestra de ensayo, de forma más confiable, que la propia muestra pueda ser representativa del suministro de agregado.

Se obtiene una muestra de agregado de acuerdo con la práctica ASTM D-75; se asegura una muestra de agregado representativa del contenido de humedad del envío o lote sometido a ensayo, y que tenga una masa no menor que la indicada en la tabla 3.11. Se debe proteger la muestra contra pérdidas de humedad, previa a la determinación de la masa.

**Tabla 3. 12 Muestra de ensayo del agregado**

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO		MASA MÍNIMA DE LA MUESTRA DE ENSAYO (Kg)
[mm]	[Pulgadas]	
4,75	No.4	0,5
9,5	3/8	1,5
12,5	1/2	2
19	3/4	3
25	1	4
37,5	1 1/2	6
50	2	8
60	2 1/2	10
75	3	13
90	3 1/2	16
100	4	25
150	6	50

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.02

#### Equipo

- Balanza con capacidad de  $20000 \pm 0,1$  g
- Horno eléctrico, temperatura de  $110 \pm 5$  °C
- Recipiente metálico

## Procedimiento

Se seca, completamente, la muestra de ensayo en el recipiente del horno, a temperatura controlada, teniendo el cuidado de evitar cualquier pérdida de partículas. Se deja enfriar a temperatura ambiente del laboratorio. Se determina la masa de la muestra de ensayo, al 0,1 % más cercano.

## Cálculos

Se calcula el contenido de humedad total evaporable, con la siguiente expresión:

$$\% H = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad (3.12)$$

Donde:

% H = Contenido de humedad total evaporable

$M_h$  = Masa de la muestra original (muestra húmeda), en g

$M_s$  = Masa de la muestra seca, en g

Los resultados de los cálculos, como los mostrados en la tabla 3.13, se obtienen con el uso de las hojas de cálculo.

La cantidad de muestra a ensayar, difiere con relación a las normas especificadas y la diferencia de los resultados es mínima y aceptable, ya que, la actividad es ejecutada acorde a la capacidad y disponibilidad de los instrumentos del laboratorio de Mecánica de Suelos y Resistencia de Materiales.

**Tabla 3. 13 Porcentaje de humedad del agregado grueso**

Agregado	Masa Recipiente (g)	Masa grava húmeda + R (g)	Masa grava seca + R (g)	Porcentaje de humedad (%)
Canto rodado del Perú	193,1	4370,7	4364,0	0,16
Canto rodado de El Sena	203,3	4793,7	4771,7	0,48
Piedra triturada 7/8"	200,0	3450,0	3450,0	0,00
Piedra triturada 3/4"	192,0	3582,0	3582,0	0,00
Piedra triturada 5/8"	200,0	2402,0	2400,0	0,09
Piedra triturada 3/8"	203,0	2792,0	2791,0	0,04
No 4 (polvo de brita)	201,0	2670,0	2665,0	0,20
Arena Fina del río Acre	201,0	2477,0	2465,0	0,53

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.9 MÉTODO DE ENSAYO. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMICES DE AGREGADO GRUESO Y FINO ASTM C-136 (NB 597)

Por medio de este ensayo, se determina la conformidad de la distribución dimensional (por tamaños) de agregados finos y gruesos, mediante el proceso del tamizado.

#### Equipo

- Serie de tamices U.S.A. STANDARD SIEVE
- Tamizador mecánico
- Balanza de capacidad  $20000 \pm 0,1$  g
- Horno de secado eléctrico de temperatura  $110 \pm 5$  °C
- Brocha
- Cepillo de cerdas metálicas
- Cepillo de cerdas normales
- Recipientes metálicos



**Figura 3. 28 Piedra triturada en el proceso de tamizado**

Referencia: Elaboración propia

#### Procedimiento

Se obtiene una muestra representativa según la práctica ASTM C-702, reducida a la cantidad conveniente.

Para agregado fino, el tamaño de la muestra de la prueba, después del secado, será de 500 g mínimo.

Para el agregado grueso, el tamaño de la muestra seca de la prueba, deberá conformar las especificaciones que se consignan en la tabla 3.14.

**Tabla 3. 14 Tamaño máximo nominal de agregado**

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO ABERTURAS CUADRADAS		TAMAÑO MÍNIMO DE LA MUESTRA DE ENSAYO	
		[kg]	[lb]
9,5 mm	3/8"	1	2
12,5 mm	1/2"	2	4
19,0 mm	3/4"	5	11
25,0 mm	1"	10	22
37,5 mm	1 1/2"	15	33
50 mm	2"	20	44
63 mm	2 1/2"	35	77
75 mm	3"	60	130
90 mm	3 1/2"	100	220
100 mm	4"	150	330
125 mm	5"	300	660

Fuente: Normas ASTM, vol. 04.02

Se realiza la práctica ASTM C117-03, lavando la muestra en el tamiz de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200), desechando los finos que pasa la malla. Se procede al secado del material en el horno, a temperatura de  $110 \pm 5$  °C, durante un tiempo de 24 horas.

Se seleccionan los tamices con las aberturas adecuadas, para obtener la información requerida por las especificaciones que cubren el material a ser ensayado. Se acomodan los tamices en orden de tamaño de abertura decreciente, de arriba hacia abajo, y se coloca la muestra en el tamiz superior. Se agitan los tamices, manualmente, o por medio de un agitador mecánico (figura 3.29), por un período de tiempo necesario establecido por tanteo. Se divide la muestra de ensayo en porciones en el tamiz que pueda sobrecargarse, tamizando cada porción individualmente.

Se continúa tamizando el tiempo necesario, de manera tal, que, después de terminar el tamizado, no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual (figura 3.30), pueda pasar ese tamiz. La masa total del material, luego de pasar por los

tamices, debe ser lo próximo, o similar a la masa original de la muestra colocada en los tamices.



**Figura 3. 29 Tamizador mecánico**

Referencia: Elaboración propia

En el tamizado manual, se manifiesta la rugosidad de los granos de piedra triturada, su textura, su forma geométrica (esquinas pronunciadas) en la dificultad de desplazamiento de partículas entre sí, la trabazón existente que interviene en la baja trabajabilidad de la mezcla de hormigón, como se verificará más adelante. Sin embargo, sucede lo contrario con los agregados de canto rodado, por la textura lisa y esquinas redondeadas.

Se calculan los porcentajes que pasan, los porcentajes retenidos totales o los porcentajes de las varias fracciones por tamaño, al 0,1% más cercano, sobre la base de la masa inicial seca total de la muestra de ensayo. Si la misma muestra de ensayo, ha sido previamente ensayada de acuerdo con el método de ensayo ASTM C-117, se debe incluir la masa del material más fino que la malla de 75  $\mu\text{m}$  (No. 200) por lavado en el cálculo del análisis por tamizado; y utilizar la masa seca total de la muestra de ensayo antes del lavado de acuerdo con el método de ensayo C-117, como la base para calcular todos los porcentajes. Se calcula el módulo de finura, sumando los porcentajes totales de material de la muestra que sean más gruesos que cada uno de los siguientes tamices (porcentajes retenidos acumulados), y dividir esta suma entre 100.



**Figura 3. 30 Muestra retenida en los tamices: bandeja, No 8, No 4, 3/8", 1/2", 3/4", 1"**  
Referencia: Elaboración propia

### Cálculos

El procedimiento de cálculos del porcentaje que pasa, módulo de finura, pérdidas en el tamizado, incluyendo los de lavado de muestra que pasa el tamiz 0,075 mm (No. 200), se expone en las hojas de cálculo Excel, según los pasos que siguen a continuación:

- a) Se realiza una tabla con ocho columnas.
- b) En la primera columna, se escriben los números de las mallas en pulgadas, en orden decreciente.
- c) En la segunda columna, se escriben los números de las mallas en milímetros, en orden decreciente.
- d) En la tercera columna, se anota el material retenido en las respectivas mallas, consignadas en las columnas 1 y 2.
- e) En la cuarta columna, los porcentajes del material retenido en cada malla, respecto a la masa total de la muestra, mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_N}{\Sigma W_T} * 100 \quad (3.13)$$

Donde:

% Retenido = Porcentaje retenido en la malla N respecto al peso total, en %

$W_N$  = Peso del material retenido en la malla N, en g

$\Sigma W_T$  = Suma total del material retenido en la columna 3

f) En la columna cinco, van los porcentajes retenidos acumulados de la siguiente manera:

$$\% \text{ Retenido Acumulado} = \% \text{ Retenido en la malla N} + \% \text{ Retenido Acumulado en la malla anterior}$$

g) En la columna seis, figura el requisito porcentaje que pasa el límite mínimo.

h) Columna siete, porcentaje que pasa, que resulta de la diferencia % acumulado del 100%.

i) Columna ocho, requisito porcentaje que pasa el límite máximo.

j) El módulo de finura, se calcula con la siguiente expresión:

$$\% \text{ MF} = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado } 1", 3/4", 1/2", 3/8", \text{No. 4, No. 8}}{100} * 100 \quad (3.12)$$

Se muestran los resultados de los ensayos de granulometría de agregados gruesos y finos, acompañado de la pérdida de material fino que pasa el tamiz 0,075 mm, módulo de finura, porcentaje de las pérdidas durante el tamizado, y las características físicas, en el gráfico de la curva granulométrica correspondiente.

## GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS GRUESOS

**Tabla 3. 15 Canto rodado del río Madre de Dios, Puerto Maldonado (Perú)**

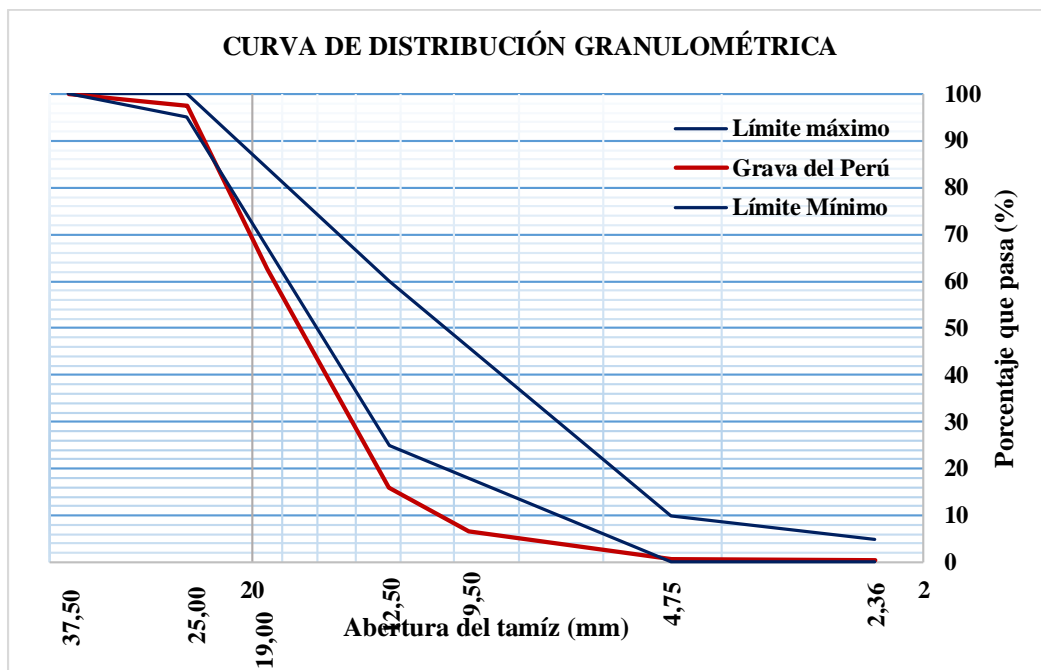
PÉRDIDA DEL MATERIAL FINO							
DESCRIPCIÓN			SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD		
PESO DEL RECIPIENTE			R	196,3	[g]		
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE			MI	3269,8	[g]		
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R			M2	3256,3	[g]		
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA			M2-R	3060,0	[g]		
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200			MI - M2	13,5	[g]		
% QUE PASA MALLA No. 200			% P	0,4	%		
PESO INICIAL (Pi) = 3060,0			[g]				
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA		
			Parcial	Acumulado	Mínimo	G. Perú	Máximo
1 1/2"	37,50	0,0	0,0	0	100	<b>100</b>	100
1"	25,00	75,9	2,5	2	95	<b>98</b>	100
3/4"	19,00	1064,6	34,8	37		<b>63</b>	
1/2"	12,50	1433,2	46,9	84	25	<b>16</b>	60
3/8"	9,50	280,1	9,2	93		<b>7</b>	
No. 4	4,75	183,0	6,0	99	0	<b>1</b>	10
No. 8	2,36	5,9	0,2	99	0	<b>1</b>	5
Bandeja		15,8	0,5	100			
TOTAL	Pt	3058,5	100,0				
MÓDULO DE FINURA (MF)							
MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 = 4,16				% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 = 0,05\%$			

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 16 Características físicas de grava de Puerto Maldonado**

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,65	
Peso unitario suelto	1378,20	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1562,92	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,10	%
Porcentaje de absorción	0,67	%
Módulo de finura	4,20	

Fuente: Elaboración propia



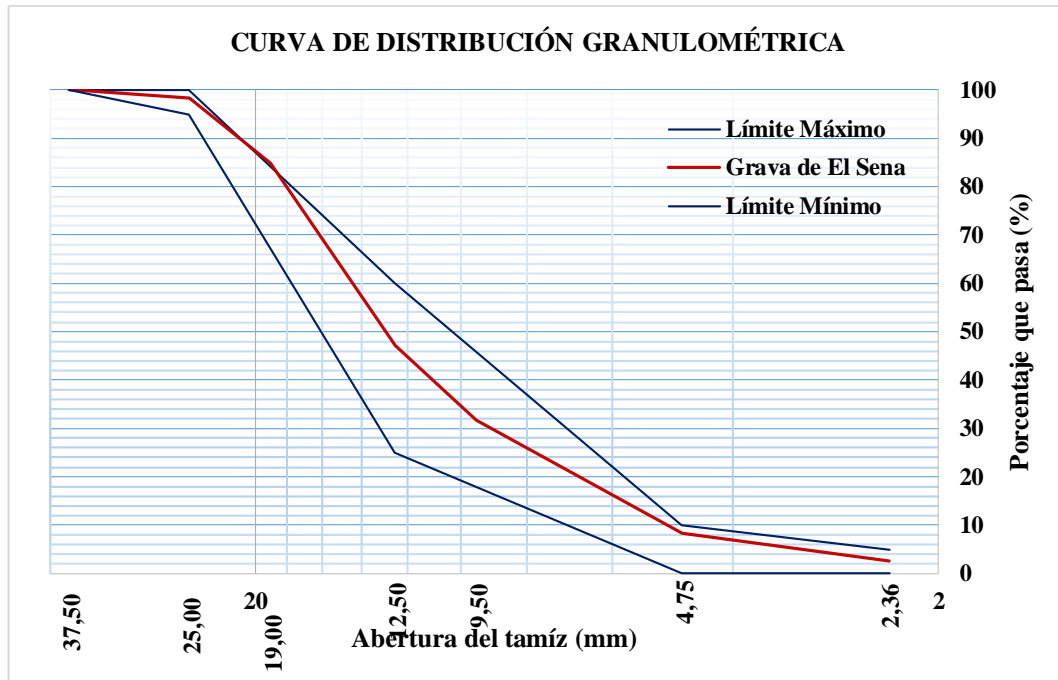
**Figura 3. 31 Canto rodado del río Madre de Dios, Puerto Maldonado (Perú)**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 17 Canto rodado del río Madre de Dios, El Sena**

PÉRDIDA DE MATERIAL FINO							
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD				
PESO DEL RECIPIENTE	R	196,5	[g]				
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE	MI	3229,6	[g]				
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R	M2	3210,3	[g]				
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA	M2-R	3013,8	[g]				
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200	MI - M2	19,3	[g]				
% QUE PASA MALLA No. 200	% P	0,6	%				
PESO INICIAL (Pi) =		3013,8	[g]				
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA		
			Parcial	Acumulado	Mínimo	G. El Sena	Máximo
1 1/2"	37,50	0,0	0	0	100	<b>100</b>	100
1"	25,00	50,4	2	2	95	<b>98</b>	100
3/4"	19,00	407,0	14	15		<b>85</b>	
1/2"	12,50	1132,3	38	53	25	<b>47</b>	60
3/8"	9,50	465,9	15	68		<b>32</b>	
No. 4	4,75	704,0	23	92	0	<b>8</b>	10
No. 8	2,36	176,7	6	97	0	<b>3</b>	5
Bandeja		77,0	3	100			
<b>TOTAL</b>	Pt	3013,3	100				
MÓDULO DE FINURA (MF) MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 = 3,27				% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 = 0,02\%$			

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 32 Canto rodado del río Madre de Dios, El Sena**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 18 Características físicas de grava de El Sena**

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,66	
Peso unitario suelto	1590,63	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1693,75	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,27	%
Porcentaje de absorción	0,96	%
Módulo de finura	3,27	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 19 Piedra Triturada del Brasil, 7/8”**

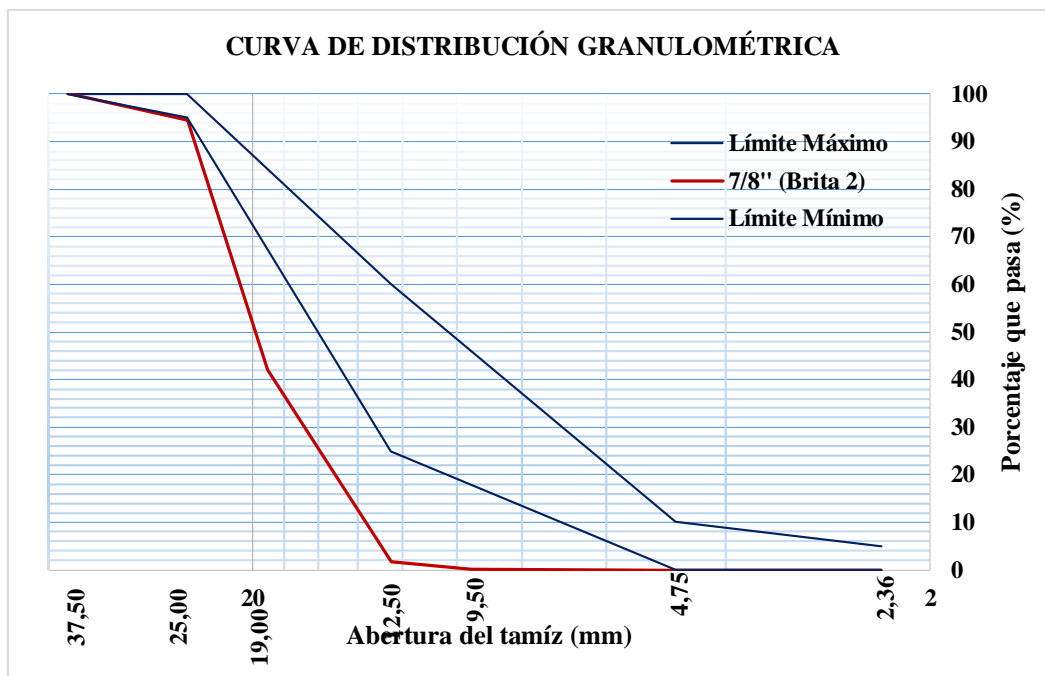
PÉRDIDA DE MATERIAL FINO								
DESCRIPCIÓN			SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD			
PESO DEL RECIPIENTE			R	304	[g]			
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE			MI	3315,6	[g]			
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R			M2	3312,3	[g]			
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA			M2-R	3008,3	[g]			
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200			MI - M2	3,3	[g]			
% QUE PASA MALLA No. 200			% P	0,1	%			
PESO INICIAL (Pi) =			3008,3	[g]				
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA			
			Parcial	Acumulado	Mínimo	7/8"	Máximo	
1 1/2"	37,50	0	0	0	100	<b>100</b>	100	
1"	25,00	166,7	6	6	95	<b>94</b>	100	
3/4"	19,00	1577,4	52	58		<b>42</b>		
1/2"	12,50	1211	40	98	25	<b>2</b>	60	
3/8"	9,50	46,4	2	100		<b>0</b>		
No. 4	4,75	5,7	0	100	0	<b>0</b>	10	
No. 8	2,36	0	0	100	0	<b>0</b>	5	
Bandeja		0,5	0	100				
TOTAL	Pt	3007,7	100					
MÓDULO DE FINURA (MF)								
MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 =				4,62	% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 =$			0,02 %

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 20 Características físicas de 7/8”**

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,71	
Peso unitario suelto	1306,64	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1471,85	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,10	%
Porcentaje de absorción	0,20	%
Módulo de finura	4,62	

Fuente: Elaboración propia



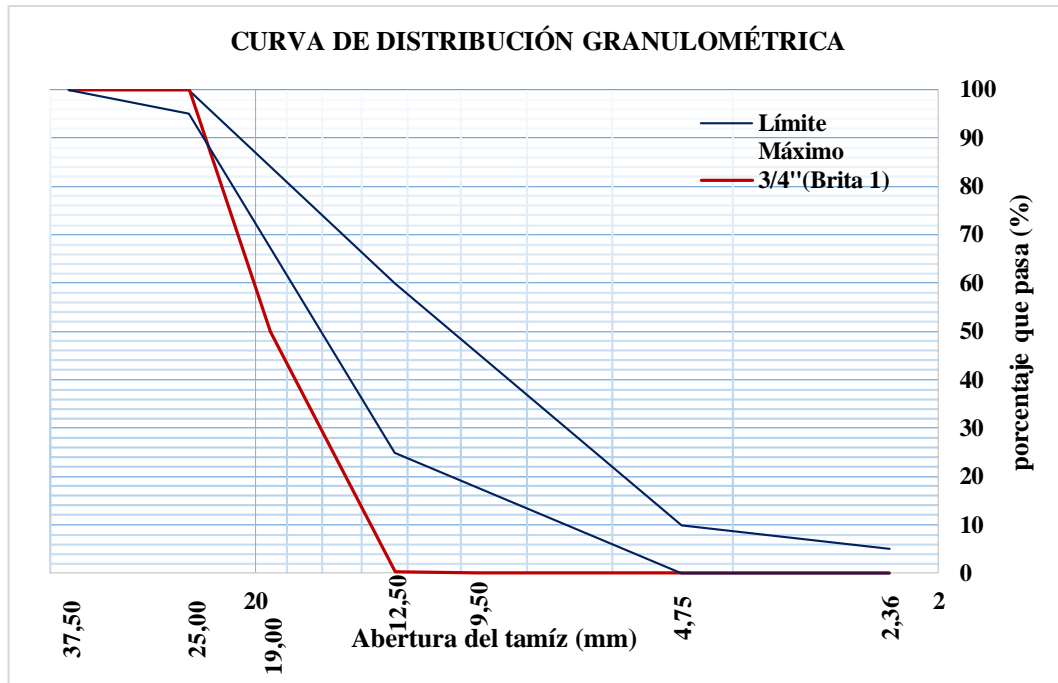
**Figura 3. 33 Piedra Triturada del Brasil, 7/8"**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 21 Piedra Triturada del Brasil, 3/4"**

PÉRDIDA DE MATERIAL FINO								
DESCRIPCIÓN		SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD				
PESO DEL RECIPIENTE		R	206	[g]				
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE		MI	5988	[g]				
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R		M2	5987	[g]				
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA		M2-R	5781	[g]				
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200		MI - M2	1	[g]				
% QUE PASA MALLA No. 200		% P	0	%				
PESO INICIAL (Pi) =		5781.0	[g]					
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA			
			Parcial	Acumulado	Mínimo	3/4"	Máximo	
1 1/2"	37,50	0	0	0	100	<b>100</b>	100	
1"	25,00	0	0	0	95	<b>100</b>	100	
3/4"	19,00	2893	50	50		<b>50</b>		
1/2"	12,50	2868	50	100	25	<b>0</b>	60	
3/8"	9,50	17	0	100		<b>0</b>		
No. 4	4,75	0	0	100	0	<b>0</b>	10	
No. 8	2,36	0	0	100	0	<b>0</b>	5	
Bandeja	Pt	0	0	100				
TOTAL		5778	100					
MÓDULO DE FINURA (MF) MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 =				4,50	% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 =$			0,05%

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 34 Piedra Triturada del Brasil 3/4"**  
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 22 Características físicas de 3/4"**

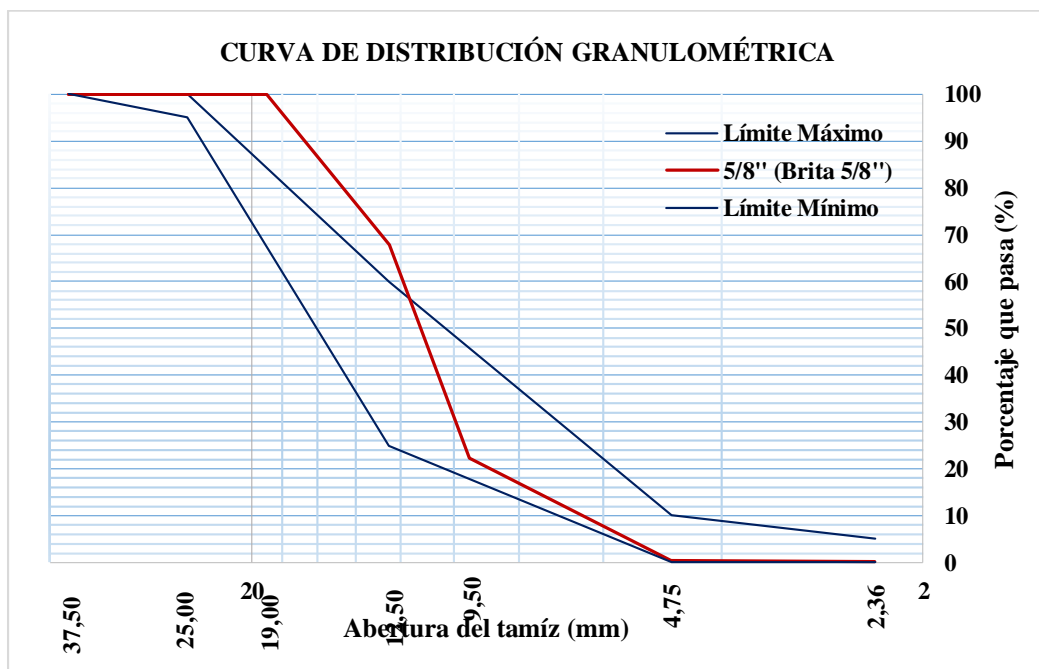
CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,71	
Peso unitario suelto	1236,85	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1393,14	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,09	%
Porcentaje de absorción	0,31	%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 23 Piedra Triturada del Brasil 5/8"**

PÉRDIDA DE MATERIAL FINO							
DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD				
PESO DEL RECIPIENTE	R	186,1	[g]				
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE	MI	2489,3	[g]				
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R	M2	2481,9	[g]				
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA	M2-R	2295,8	[g]				
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200	MI - M2	7,4	[g]				
% QUE PASA MALLA No. 200	% P	0,3	%				
PESO INICIAL (Pi) =		2295,8	[g]				
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA		
			Parcial	Acumulado	Mínimo	5/8"	Máximo
1 1/2"	37,50	0	0	0	100	<b>100</b>	100
1"	25,00	0	0	0	95	<b>100</b>	100
3/4"	19,00	0	0	0		<b>100</b>	
1/2"	12,50	738,2	32	32	25	<b>68</b>	60
3/8"	9,50	1045,9	46	78		<b>22</b>	
No. 4	4,75	501,6	22	100	0	<b>0</b>	10
No. 8	2,36	4,5	0	100	0	<b>0</b>	5
Bandeja		5,1	0	100			
TOTAL	Pt	2295,3	100				
MÓDULO DE FINURA (MF)							
MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 =			3,09	% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 = 0,02$ %			

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 35 Piedra Triturada del Brasil 5/8"**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 24 Características físicas de 5/8"**

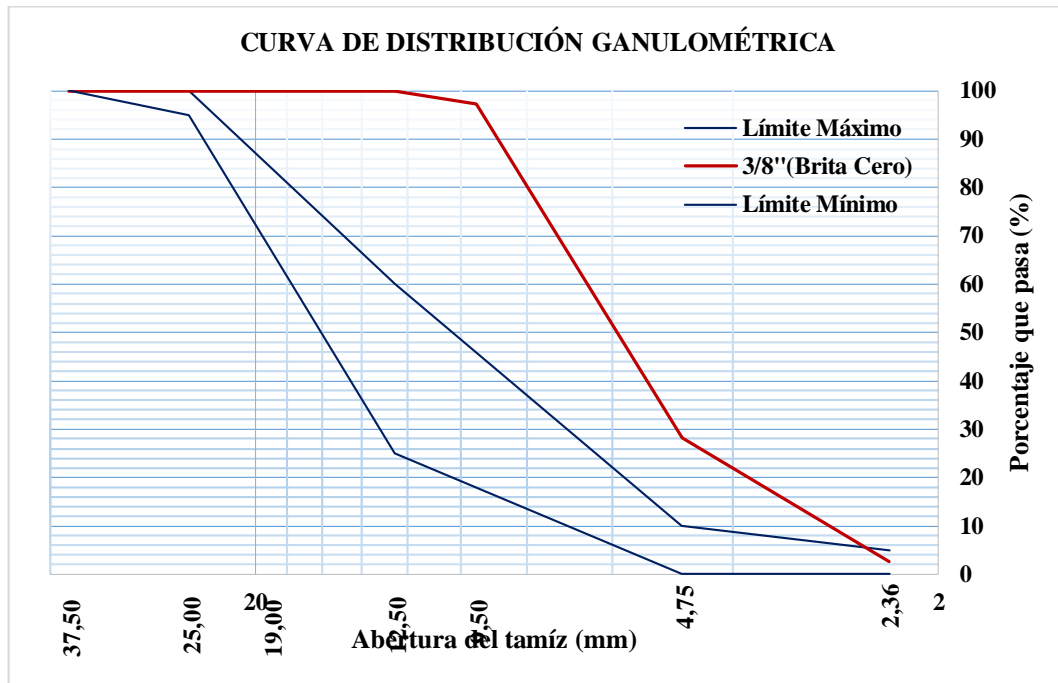
CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,69	
Peso unitario suelto	1317,61	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1479,30	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,10	%
Porcentaje de absorción	0,40	%
Módulo de finura	3,09	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 25 Piedra Triturada del Brasil 3/8"**

PÉRDIDA DE MATERIAL FINO							
DESCRIPCIÓN			SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD		
PESO DEL RECIPIENTE			R	203,3	[g]		
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE			MI	2317,1	[g]		
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R			M2	2299,6	[g]		
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA			M2-R	2096,3	[g]		
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200			MI - M2	17,5	[g]		
% QUE PASA MALLA No. 200			% P	0,8	%		
PESO INICIAL (Pi) =			2096,3	[g]			
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA		
			Parcial	Acumulado	Mínimo	3/8"	Máximo
1 1/2"	37,50	0	0	0	100	<b>100</b>	100
1"	25,00	0	0	0	95	<b>100</b>	100
3/4"	19,00	0	0	0		<b>100</b>	
1/2"	12,50	0	0	0	25	<b>100</b>	60
3/8"	9,50	59,1	3	3		<b>97</b>	
No. 4	4,75	1444	69	72	0	<b>28</b>	10
No. 8	2,36	539	26	97	0	<b>3</b>	5
Bandeja		54,2	3	100			
TOTAL	Pt	2096,3	100				
MÓDULO DE FINURA (MF)							
MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 =			1,72	% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 = 0,00$ %			

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 36 Piedra Triturada del Brasil 3/8"**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 26 Características físicas de 3/8"**

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,69	
Peso unitario suelto	1304,41	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1457,22	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,10	%
Porcentaje de absorción	0,79	%
Módulo de finura	1,72	

Fuente: Elaboración propia

## GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS

**Tabla 3. 27 Piedra Triturada del Brasil, No 4 (polvo de brita)**

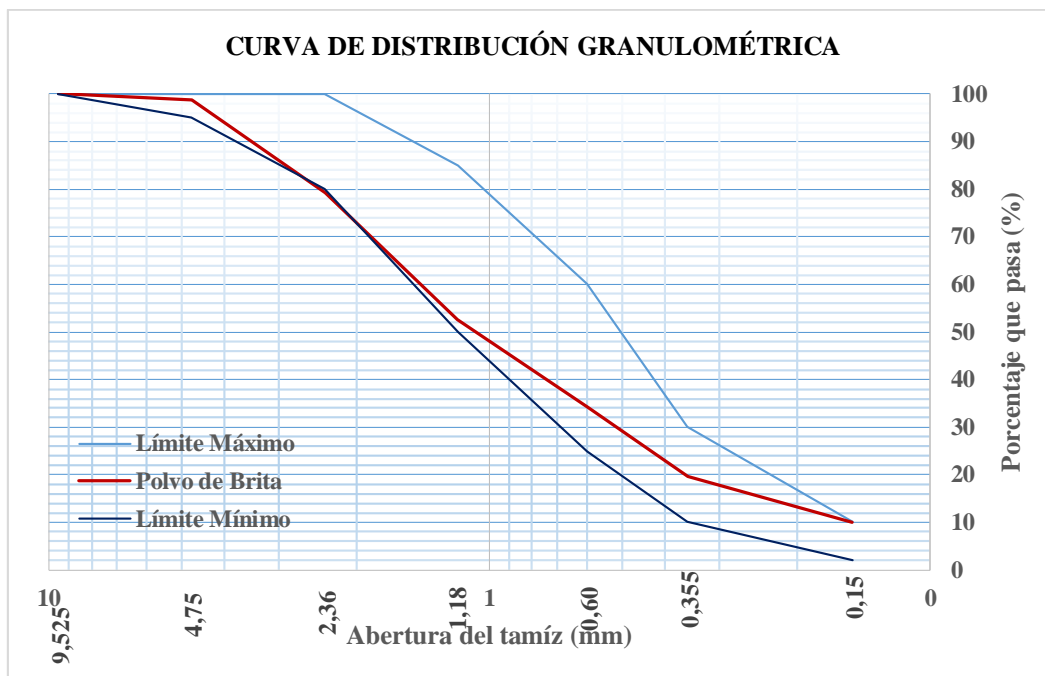
PÉRDIDA DE MATERIAL FINO							
DESCRIPCIÓN		SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD			
PESO DEL RECIPIENTE		R	180,6	[g]			
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE		MI	1878,7	[g]			
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R		M2	1697,4	[g]			
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA		M2-R	1516,8	[g]			
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200		MI - M2	181,3	[g]			
% QUE PASA MALLA No. 200		% P	12,0	%			
PESO INICIAL (Pi) =		1516,8	[g]				
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA		
			Parcial	Acumulado	Mínimo	Polvo Brita	Máximo
3/8"	9,525	1,4	0,1	0,1	100	<b>100</b>	100
No. 4	4,75	59,5	3,9	4,0	95	<b>96</b>	100
No. 8	2,36	299,6	19,8	23,8	80	<b>76</b>	100
No. 16	1,18	410,2	27,1	50,8	50	<b>49</b>	85
No. 30	0,60	268,9	17,7	68,6	25	<b>31</b>	60
No. 50	0,355	202,4	13,3	81,9	10	<b>18</b>	30
No. 100	0,15	143,5	9,5	91,4	2	<b>9</b>	10
Bandeja		130,8	8,6	100,0			
TOTAL	Pt	1516,3	100,0				
MÓDULO DE FINURA (MF)							
MF = $\Sigma$ % Acumulado/100 =		3,2	% PÉRDIDAS = $\frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 = 0,03 \%$				

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 28 Características físicas de No 4 (polvo de brita)**

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,49	
Peso unitario suelto	1517,06	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1779,72	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,07	%
Porcentaje de absorción	2,04	%

Fuente: Elaboración propia



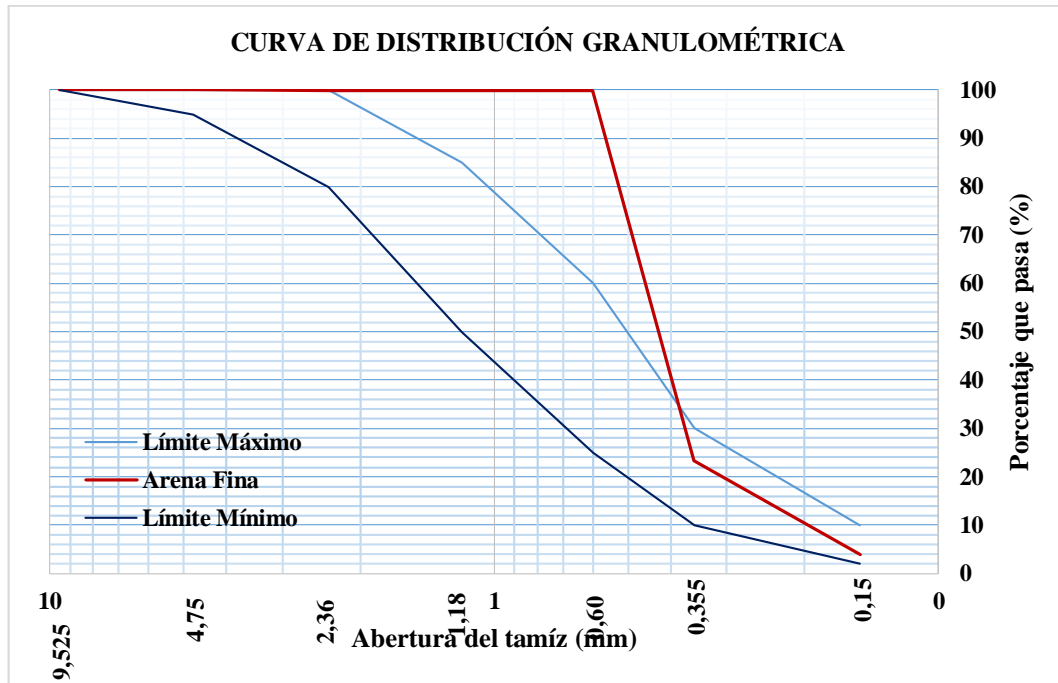
**Figura 3. 37 Piedra Triturada del Brasil, No 4 (polvo de brita)**

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 29 Arena fina del río Acre**

PÉRDIDA DE MATERIAL FINO							
DESCRIPCIÓN				SÍMBOLO	CANTIDAD	UNIDAD	
PESO DEL RECIPIENTE				R	180,1	[g]	
PESO DE LA MUESTRA + RECIPIENTE				MI	1404,2	[g]	
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA + R				M2	1390,2	[g]	
PESO DE MUESTRA LAVADA Y SECADA				M2-R	1210,1	[g]	
MATERIAL QUE PASA MALLA No. 200				MI - M2	14	[g]	
% QUE PASA MALLA No. 200				% P	1,2	%	
PESO INICIAL (Pi) =				1210,1	[g]		
MALLAS ESTÁNDAR [pulg]	DIÁMETRO [mm]	PESO RETENIDO [g]	% RETENIDO		REQUISITO % QUE PASA		
			Parcial	Acumulado	Mínimo	Arena Fina	Máximo
3/8"	9,525	0	0	0	100	<b>100</b>	100
No. 4	4,75	0	0	0	95	<b>100</b>	100
No. 8	2,36	0,1	0	0	80	<b>100</b>	100
No. 16	1,18	0,2	0	0	50	<b>100</b>	85
No. 30	0,60	0,8	0	0	25	<b>100</b>	60
No. 50	0,355	926,1	77	77	10	<b>23</b>	30
No. 100	0,15	235,8	19	96	2	<b>4</b>	10
Bandeja		46,8	4	100			
TOTAL	Pt	1209,8	100				
MÓDULO DE FINURA (MF)				$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulado}}{100} = 1,73$			
				$\% \text{ PÉRDIDAS} = \frac{Pi - Pt}{Pi} * 100 = 0,02 \%$			

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 38** Arena fina del río Acre

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 30** Características físicas de la muestra

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,32	
Peso unitario suelto	1372,69	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1524,25	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	6,41	%
Porcentaje de absorción	1,42	%
Módulo de finura	1,73	

Fuente: Elaboración propia

### **3.2 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO DOS**

OBTENER COMBINACIONES DE GRANULOMETRÍAS, UBICANDO DENTRO DE LOS LÍMITES DE ASTM C-33, PARA DOSIFICACIONES DE HORMIGONES.

#### **3.2.1 COMBINACIÓN DE AGREGADOS COMBINACIONES DE AGREGADOS EN PIEDRA TRITURADA**

Los resultados de granulometría proporciona el conocimiento referente a que en los agregados finos, el polvo de brita, cuyo tamaño máximo nominal es de 4,75 mm, no cumple con dos tamices, el de 2,36 mm y 1,18 mm. Por su módulo de finura equivalente a 3,2, se puede clasificar como arena gruesa.

##### **Arenas gruesas: Módulo de finura entre 2.5 - 3.5**

La arena del río Acre no cumple con la norma ASTM C-136 (NB 597). La mayoría de los tamices, como se puede evidenciar en la figura 3.38, están fuera del rango, tales los siguientes: 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm. Clasificado como arena muy fina.

En los agregados gruesos, piedra triturada, 3/8" (brita cero abarca aberturas de tamices 4,75 mm a 9,50 mm; brita 5/8" de 9,50 mm a 12,50 mm; 1" (brita 1) de 12,50 mm a 19,00 mm; 1 1/2" (brita 2) de 19,00 mm a 25,00 mm. Es muy conveniente y necesario realizar las combinaciones en agregados gruesos de piedra triturada.

Con respecto al canto rodado del río Madre de Dios, los agregados gruesos, la grava de El Sena, sí cumplen con las especificaciones de las normas anteriormente indicadas; mientras que, la de Puerto Maldonado del Perú, no cumple.

Por otro lado, los agregados finos, necesariamente, se combinarán para mejorar la granulometría deficiente.

#### **PROPORCIÓN DE COMBINACIÓN DE LOS MATERIALES**

En la sección de los Anexos, se describen las combinaciones de agregados triturados para conformar una granulometría adecuada, bajo las Normas ASTM (NB), usando el método por tanteo en hojas de cálculo Excel. Las combinaciones que se utilizaron para su elaboración de cilindros de hormigón, alcanzando las resistencias previstas, son las siguientes:

**Piedra triturada, agregado grueso, combinado 1** (Anexo 1.): 7/8" (38%), 3/4" (18%), 5/8" (16%), 3/8" (34%).

**Agregado fino, combinado 2** (Anexo 2.): No. 4 (75%), arena fina Acre (25%).

**Piedra triturada, agregado grueso, combinado 3** (Anexo 6.): 3/4" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%).

**Agregado fino, combinado 4** (Anexo 7.): No. 4 (80%), arena fina del Acre (20%).

### **3.3 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO TRES**

PROPONER DISEÑOS DE MEZCLA PARA LAS PRINCIPALES RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DEL HORMIGÓN H21, H25, H35.

#### **3.3.1 DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI-211.1**

Los diseños de mezcla con el uso de la piedra triturada, fueron elaborados empleando el programa Excel. Como agregado fino se tiene al polvo de brita, combinado con arena fina del río Acre, tomando en cuenta, las combinaciones anteriormente citadas. Los resultados se exponen en el apartado correspondiente a los Anexos.

#### **Diseño de mezclas de agregados de piedra triturada con resistencia característica de H21. Método ACI-211.1**

El presente trabajo, tiene como base el procedimiento del American Concrete Institute, elaborado por el Comité ACI-211. El método americano ACI es el más conocido y ampliamente utilizado. Consiste en seguir, en forma ordenada, una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1 m<sup>3</sup> de hormigón.

Los factores más importantes que deben considerarse al seleccionar el proporcionamiento de los agregados, obedecen una secuencia propuesta por el Instituto Americano del Concreto (ACI).

Se realizaron los diseños de mezcla para diferentes dosificaciones. Los resultados se presentan en el apartado de los Anexos (en especial, los Anexos 3., 8., 13., 18., y 23.).

### **3.4 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECÍFICO CUATRO**

REALIZAR LOS ENSAYOS DE MEZCLAS DE PRUEBA DE HORMIGÓN PARA LAS RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DE 21 [MPA], 25 [MPA] Y 35 [MPA], ELABORADAS CON PIEDRA TRITURADA. LOS ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LABORATORIO QUE PERMITAN CONOCER EL COMPORTAMIENTO DEL HORMIGÓN, EN ESTADO FRESCO (TRABAJABILIDAD) Y, EN ESTADO ENDURECIDO, LA RESISTENCIA MECÁNICA A LA COMPRESIÓN MEDIANTE LA ROTURA DE CILINDROS A LOS 7, 14, Y 28 DÍAS.

#### **3.4.1 MÉTODO DE ENSAYO. DETERMINACIÓN DE REVENIMIENTO ASTM C143 (NB 589)**

Mediante la prueba de revenimiento, se determina la consistencia del hormigón; ésta es una medida de la fluidez de la mezcla de concreto. El revenimiento no mide el contenido de agua o la trabajabilidad del hormigón. Muchos factores, pueden causar que el revenimiento del hormigón cambie, sin alterar el contenido de agua. Esta norma establece los procedimientos que ayudan a determinar la consistencia del concreto en estado fresco, mediante el método de ensayo conocido como revenimiento. Este método de ensayo se considera aplicable al concreto plástico, preparado con agregado grueso de hasta 37.5 mm (1 ½ in) de tamaño.

#### **Equipo**

- **Cono estándar de revenimiento** (10 cm de diámetro en la parte superior por 20 cm de diámetro en la parte inferior, y por 30 cm de altura).
- **Varilla de punta redondeada** (60 cm de largo x 16 mm de diámetro).
- **Cucharón de lámina galvanizada.**
- **Mazo de hule** de  $600 \pm 200$  g, y llana metálica.
- **Cinta métrica** rígida o semirígida
- **Probeta de vidrio** de 1000 mL de capacidad.

## **Procedimiento**

Se humedece el interior del cono de revenimiento con una esponja y se coloca sobre una superficie plana, no absorbente y rígida, y se llena el cono en tres capas.

La primera capa, se introduce al molde aproximadamente  $1/3$  de su volumen y 7 cm de altura; se varilla la capa 25 veces en todo su espesor, distribuyendo, uniformemente, los golpes sobre la sección transversal de la capa. Se debe inclinar ligeramente la varilla, empezando cerca del perímetro, continuando en forma de espiral hacia el centro.

La segunda capa, se vierte la mezcla al cono aproximadamente  $2/3$  de su volumen, 16 cm de altura aproximadamente; el compactado es similar a la capa anterior. El varillado es de 25 veces en todo su espesor, penetrando ligeramente la capa anterior; también se distribuyen, uniformemente, los golpes en toda la sección transversal.

Para la tercera capa, se llena el concreto acumulando por encima de la parte superior del cono; se procede al varillado 25 veces en todo su espesor, penetrando ligeramente en la segunda capa. Se debe tener hormigón en exceso por encima del cono.

Se enrasa la parte superior de la superficie de concreto con la varilla de compactación, en un movimiento de enrasado, manteniendo presionado sobre el cono; se remueve la mezcla que se haya acumulado alrededor de la base del cono durante el enrasado.

A continuación, se procede a la remoción del cono levantándolo en una dirección vertical constante, sin hacer ningún movimiento lateral o de torsión.

Si ocurriera un claro desplome o partición del concreto, desde un lado o una porción de la masa, se repite la prueba con otra porción de la muestra.

Finalmente, se ubica el cono al revés y la varilla a través del cono volteado, y se mide el revenimiento. Ésta es la distancia vertical entre la parte superior del cono y el centro original desplazado en la parte superior de la superficie del espécimen. La prueba se realiza sin interrupción, desde el inicio del llenado hasta la remoción del molde, en un período de  $2 \frac{1}{2}$  minutos.

Se registra la lectura de la medición (véase figura 3.39).



**Figura 3. 39 Prueba de revenimiento**

Fuente: Elaboración propia

### **3.4.2 MÉTODO DE PRUEBA. PREPARACIÓN DE ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN PARA ENSAYOS DE RESISTENCIA ASTM C-31 (NB 586)**

Esta práctica, trata sobre los procedimientos para preparar y curar especímenes cilíndricos y de muestras representativas de hormigón fresco, para un proyecto de construcción.

#### **Equipos**

- **Moldes cilíndricos de acero**, de dimensiones interiores que son:  $150 \pm 2$  mm ( $6 \pm 1/6$  in) de diámetro,  $300 \pm 6$  mm ( $12 \pm 1/4$  in), dando cumplimiento a los requisitos de especificación de ASTM C-470/C-470 M.
- **Mezcladora del concreto**, motorizada y de tambor giratorio, inclinable para mezclar, completamente, las amasadas de las cantidades prescritas al asentamiento requerido.
- **Cucharón**, herramienta adecuada para el llenado del molde; un tamaño grande como para que cada cantidad de hormigón obtenida del recipiente de muestreo sea representativa y, a la vez, pequeño como para que sea depositado dentro del molde, sin ser derramado.
- **Carretilla**, como recipiente de muestreo, limpio y no absorbente.
- **Varilla de punta redondeada** (60 cm de largo x 16 mm de diámetro).

- **Llana de mano**, herramienta de acabado.
- **Termómetro digital**

### **Procedimiento**

En la elaboración de los especímenes, se realizó usando una mezcladora con capacidad de 150 litros, teniendo separadas las porciones (previamente pesadas) necesarias para cada mezcla. Se procedió a realizar la mezcla, como indica la norma ASTM C-94.

Previa a la iniciación de la rotación de la mezcladora, se adiciona el agregado grueso, y parte del agua de mezclado.

Se enciende la mezcladora, y luego se adiciona el agregado fino, cemento y agua, con la mezcladora funcionando. Se mezcla el hormigón durante 3 min, después que todos los componentes se encuentren en la mezcladora, luego, se deja en reposo durante 3 min y, finalmente, se mezcla por 2 min. Se cubre la parte superior abierta de la mezcladora, para prevenir la evaporación durante el período de reposo.

Se procede a vaciar la mezcla en una carretilla para, posteriormente, llenar los moldes y proceder con las pruebas de caracterización de concreto fresco (véase figura 3.40), realizando el muestreo como especifica la norma ASTM C-176 (NB 634).

Se ubica el molde en una superficie rígida a nivelado, sin vibraciones y perturbaciones, en un lugar cerca a la ubicación donde vayan a ser almacenados. Se coloca el hormigón en el molde, moviendo el cucharón alrededor del perímetro de la abertura del molde, para asegurar una distribución pareja del concreto con una segregación mínima. Cada molde de contenido es consolidado en 3 capas, según los requisitos especificados en la tabla 3.32. Cuando se coloca la capa final, se agrega una cantidad de hormigón que llene el molde, y se complementa la consolidación (tabla 3.31).

**Tabla 3. 31 Requisitos del Método de Consolidación**

Asentamiento		Método de Consolidación
mm	(in)	
≥ 25	[≥1]	Varillado o Vibración
<25	[< 1]	Vibración

Referencia: Normas ASTM C-31

**Tabla 3. 32 Requisitos de Moldeado por Varillado**

Tipo y Tamaño del espécimen Cilíndricos Diámetro	Número de Capas de Aproximadamente Igual profundidad	Número de golpes de Varilla por capa
100 mm [4 in]	2	25
150 mm [6 in]	3	25
225 mm [9 in]	4	50

Referencia: Normas ASTM C-31

### **Acabado de Cilindros**

La parte superior se enrasa con la varilla metálica con un movimiento similar al del serrucho, retirando el excedente del material; posteriormente, con una llana de mano, se realiza el acabado final.

### **Curado inicial**

Inmediatamente acabado, se cubre la parte superior con un material impermeable (plástico), evitando la pérdida de humedad por un período de hasta  $24 \pm 8$  h, en un rango de temperatura entre 16 y 27 °C [60 y 80 °F], en un ambiente protegido de la luz directa del sol (véase figura 3.41).

### **Curado final (retiro de moldes)**

Al completar el curado inicial, y dentro de los 30 min después de quitar los moldes, se cura los especímenes con agua libre mantenida sobre sus superficies todo el tiempo, a la temperatura de 23.0 °C, realizando la inmersión en agua, para que cumplan con los requisitos de la Especificación C-511.

Antes de la inmersión en piscina, se procede al marcado de datos que corresponde, número de cilindro, resistencia, tipo de material, y fecha.



**Figura 3. 40 Proceso de colocado de hormigón en moldes cilíndricos**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 41 Especímenes cilíndricos de hormigón protegidos contra la evaporación**

Fuente: Elaboración propia

### **3.4.3 ENSAYO A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN ASTM C-39 (NB 639)**

**Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto ASTM C-39 (NB 639)**

El método de ensayo determina la resistencia a compresión de probetas cilíndricas de hormigón. Consiste en la aplicación de carga axial de compresión a los cilindros moldeados o núcleos, a una velocidad que se encuentra dentro de un rango prescrito, hasta que ocurra la falla.

Los resultados de este método de ensayo, son usados como base para el control de calidad de las operaciones de dosificación, mezclado, colocación del hormigón, y uso de aditivos.

### **Equipo**

**Máquina o prensa hidráulica**, motorizada, de aplicación de carga continua y sin impacto.

### **Procedimiento**

Se registran las dimensiones de diámetro y peso del cilindro, y se limpian las superficies; las bases de los especímenes o caras de aplicación de carga son cabeceadas con tapas de almohadillas de neopreno, conforme a la norma ASTM C-1231. Las cubiertas de almohadilla de neopreno, se pueden utilizar para medir las resistencias del concreto entre 1.500 y 7.000 psi (10 a 50 MPa).

Para el ensayo de rotura, las cabezas del cilindro de prueba se alinean con su eje, cuidadosamente, con el centro de la placa de carga con asiento esférico; mientras, la placa superior se baja hacia el espécimen, teniendo un contacto suave y uniforme.

Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura (véase figuras 3.43 y 3.44). Se aplica la carga hasta que aparezca la falla de ruptura, registrándola en el informe las lecturas de la carga y resistencia; también, se calcula la resistencia a la compresión del cilindro, dividiendo la carga axial máxima soportada durante la prueba entre el área promedio de la sección transversal determinada con el diámetro medido.

Se registra el tipo de ruptura. La fractura vertical es un patrón común de ruptura (véase figura 3.42).



**Figura 3. 42 Tipos de ruptura de los cilindros de hormigón**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 43 Ruptura de cilindro de hormigón en Máquina Universal**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 44 Tipo de ruptura del cilindro del hormigón**

Fuente: Elaboración propia

### **ROTURA DE CILINDROS A COMPRESIÓN**

La rotura de cilindros de hormigón se realizó en una máquina hidráulica, cuyos resultados se exponen en el apartado correspondiente a los Anexos:

Rotura de cilindros de hormigón elaborados con cemento Viacha a resistencia característica de 21 [MPa] (Anexo 4.), y a 25 [MPa] (Anexo 14.), respectivamente.

Rotura de cilindros de hormigón elaborados con cemento Yura HE a resistencia característica de 21 [MPa] (Anexo 9.), a 25 [MPa] (Anexo 19.), y a resistencia característica de 35 [MPa] (Anexo 24.), respectivamente.

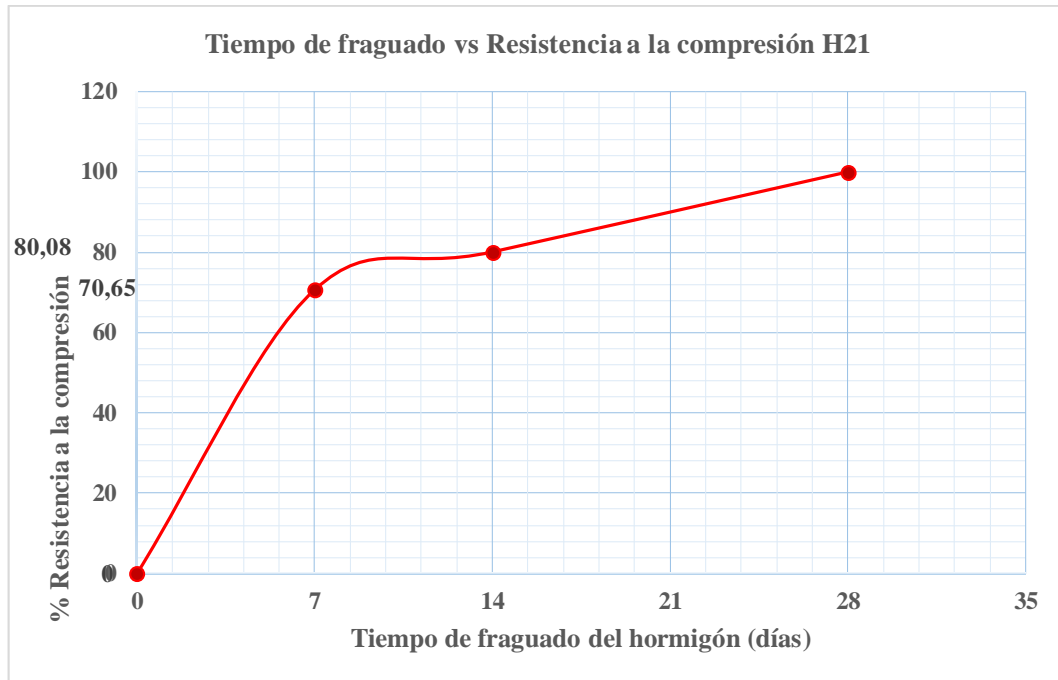
### **PROMEDIO DE PORCENTAJE DE RESISTENCIA H21, SEGÚN SU RELACIÓN A/C CEMENTO VIACHA**

Se han preparado sendos diagramas, en cuanto se refiere a los tiempos de fraguado vs resistencia a la compresión (figuras 3.45 y 3.46), con el sustento de los datos que se muestran en las tablas 3.33 y 3.34, respectivamente.

**Tabla 3. 33 Porcentaje de resistencia H21**

DOSIFICACIÓN		Resist.Carac	Cemento	Agua	Rel.	Resistencia (Mpa)		
A.GRUESO: 3/4"(15%),5/8"(60%),3/5"(25%)		[Mpa]	[kg/m3]	[kg/m3]	A/C	7 [días]	14 [días]	28 [días]
A. FINO: No 4 (80%),Arena Fina(20%)		21	407,767	210	0,515	18,974	21,506	26,856
Tiempo de curado (días)	Resistencia a compresión promedio							
	(Mpa)	%						
0	0,000	0,00						
7	18,974	70,65						
14	21,506	80,08						
28	26,856	100,00						

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 45 Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H21**

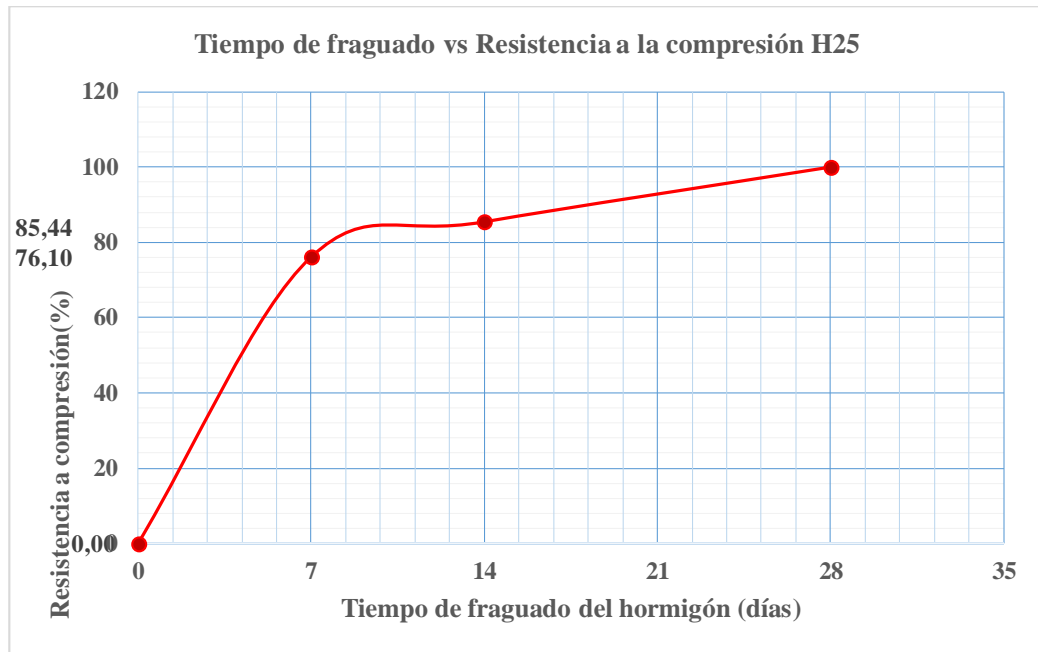
Fuente: Elaboración propia

### PROMEDIO DE PORCENTAJE DE RESISTENCIA H25, SEGÚN SU RELACIÓN A/C CEMENTO VIACHA

**Tabla 3. 34 Porcentaje de resistencia H25**

DOSIFICACIÓN		Resist.Carac	Cemento	Agua	Rel.	Resistencia (Mpa)		
A. GRUESO: 3/4"(15%),5/8"(60%),3/5"(25%)		[Mpa]	[kg/m3]	[kg/m3]	A/C	7 [días]	14 [días]	28 [días]
A. FINO: No 4 (80%),Arena Fina(20%)		25	420,000	210	0,500	21,510	24,152	28,267
Tiempo de curado [días]	Resistencia a compresión promedio							
	[Mpa]	%						
0	0,000	0,00						
7	21,510	76,10						
14	24,152	85,44						
28	28,267	100,00						

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 46 Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H25**

Fuente: Elaboración propia

### 3.4.4 ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD EN LABORATORIO

Se reduce al control de calidad de consistencia y resistencia del hormigón.

Éstas son las mínimas, normalmente, exigidas en el pliego de especificaciones técnicas de cada obra. Se deberá precisar el método de ensayo normalizado que debe emplearse para la comprobación, así como los valores límites admisibles en los resultados.

Para la resistencia de 21 [MPa], se elaboraron 20 probetas de hormigón para rotura en 7 días, 20 cilindros de hormigón en 14 días, y 20 cilindros en 28 días. Los resultados se presentan en las tablas 3.35, 3.36 y 3.37, respectivamente.

**Tabla 3. 35 Rotura de cilindros de hormigón en proyección norma AASHTO T-22**

COMPRESIÓN DE CILINDROS CONTROL DE CALIDAD H21										
Cemento Yura HE: 377,020 [kg/m <sup>3</sup> ]						Agregado Grueso: 3/4"(15%),5/8"(60%), 3/8"(25%)				
Agua: 210,000 [kg/m <sup>3</sup> ]						Agregado Fino: No 4(80%), Arena fina(20%)				
A/C: 0,557										
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS						RESULTADO DEL ENSAYO				
Nº	Edad [días]	Slump [mm]	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Peso Cilindro [kg]	Densidad Cilindro [kg/m <sup>3</sup> ]	Carga de Rotura [N]	Resistencia rotura [N/mm <sup>2</sup> ]	AASHTO T-22 $\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	Edad 28 [días] [MPa]
1	7	54	154	305	12,763	2246,579	413619	23,406	0,722	32,410
2	7	54	154	304	13,110	2315,249	420823	23,814	0,722	32,974
3	7	54	154	304	13,108	2314,896	442090	25,017	0,722	34,641
4	7	54	154	304	13,139	2320,371	429795	24,321	0,722	33,677
5	7	54	154	304	12,794	2259,443	414436	23,452	0,722	32,474
6	7	54	154	303	13,205	2339,723	407827	23,078	0,722	31,956
7	7	54	154	303	13,168	2333,167	470561	26,628	0,722	36,872
8	7	54	154	304	13,148	2321,960	401717	22,732	0,722	31,477
9	7	54	154	304	13,844	2444,875	430878	24,383	0,722	33,762
10	7	54	154	307	12,875	2251,529	413236	23,384	0,722	32,380
11	7	54	154	303	12,882	2282,492	437733	24,770	0,722	34,299
12	7	54	154	306	12,877	2259,238	419586	23,744	0,722	32,877
13	7	54	154	305	12,754	2244,994	417367	23,618	0,722	32,703
14	7	54	154	305	12,797	2252,563	407716	23,072	0,722	31,947
15	7	54	154	305	13,251	2332,478	437136	24,737	0,722	34,252
16	7	54	154	304	12,794	2259,443	424935	24,046	0,722	33,296
17	7	54	154	305	13,147	2314,171	431317	24,407	0,722	33,797
18	7	54	154	304	13,141	2320,724	413033	23,373	0,722	32,364
19	7	54	154	305	13,671	2406,407	417161	23,606	0,722	32,687
20	7	54	154	305	13,097	2305,370	439108	24,848	0,722	34,407
RESISTENCIA PROMEDIO 7 DÍAS :										33,263

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 36 Rotura de cilindros de hormigón en proyección norma AASHTTO T-22**

COMPRESIÓN DE CILINDROS CONTROL DE CALIDAD H21										
Cemento Yura HE: 377,020 [kg/m3]			Agregado Grueso: 3/4"(15%),5/8"(60%), 3/8"(25%)							
Agua: 210,000 [kg/m3]			Agregado Fino: No 4(80%), Arena fina(20%)							
A/C: 0,557										
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS							RESULTADO DEL ENSAYO			
Nº	Edad [días]	Slump [mm]	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Peso Cilindro [kg]	Densidad Cilindro [kg/m3]	Carga de Rotura [N]	Resistencia rotura [N/mm2]	AASHTTO T-22 $\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	Edad 28 [días] [MPa]
1	14	56	154	304	12,747	2251,143	484675	27,427	0,853	32,158
2	14	56	154	305	13,059	2298,681	475466	26,906	0,853	31,547
3	14	56	154	304	12,684	2240,017	479223	27,118	0,853	31,796
4	14	56	154	304	12,744	2250,613	462525	26,173	0,853	30,688
5	14	56	154	305	12,768	2247,459	454015	25,692	0,853	30,123
6	14	56	154	304	12,981	2292,468	486118	27,508	0,853	32,253
7	14	56	154	303	12,665	2244,043	486838	27,549	0,853	32,301
8	14	56	154	304	13,023	2299,885	521156	29,491	0,853	34,578
9	14	56	154	306	12,754	2237,658	476048	26,939	0,853	31,585
10	14	56	154	305	13,139	2312,763	495496	28,039	0,853	32,876
11	14	56	154	305	13,112	2308,010	511002	28,917	0,853	33,905
12	14	56	154	304	13,095	2312,600	476513	26,965	0,853	31,616
13	14	56	154	305	13,231	2328,957	454661	25,728	0,853	30,166
14	14	56	154	305	13,425	2363,106	465372	26,334	0,853	30,877
15	14	56	154	305	13,236	2329,837	456157	25,813	0,853	30,266
16	14	56	154	304	13,221	2334,852	474528	26,853	0,853	31,484
17	14	56	154	305	12,801	2253,267	481567	27,251	0,853	31,952
18	14	56	154	304	13,251	2340,150	503415	28,487	0,853	33,401
19	14	56	154	305	13,216	2326,317	489736	27,713	0,853	32,494
20	14	56	154	305	13,200	2323,500	480930	27,215	0,853	31,909
RESISTENCIA PROMEDIO 14 DÍAS:										31,899

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3. 37 Rotura de cilindros de hormigón en proyección norma AASHTO T-22**

COMPRESIÓN DE CILINDROS CONTROL DE CALIDAD H21										
Cemento Yura HE: 377,020 [kg/m3]			Agregado Grueso: 3/4"(15%),5/8"(60%), 3/8"(25%)							
Agua: 210,000 [kg/m3]			Agregado Fino: No 4(80%), Arena fina(20%)							
A/C: 0,557										
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS							RESULTADO DEL ENSAYO			
Nº	Edad [días]	Slump [mm]	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Peso Cilindro [kg]	Densidad Cilindro [kg/m3]	Carga de Rotura [N]	Resistencia rotura [N/mm2]	AASHTO T-22 $\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	Edad 28 [días] [MPa]
1	28	54	154	303	13,367	2368,427	572630,2	32,404	1,000	32,407
2	28	54	154	303	13,394	2373,211	577828,4	32,698	1,000	32,701
3	28	54	154	304	13,984	2469,599	578781,1	32,752	1,000	32,7548
4	28	54	154	305	13,079	2302,202	562208,4	31,814	1,000	31,817
5	28	54	154	304	13,384	2363,638	583370,6	33,012	1,000	33,014
6	28	54	154	304	13,071	2308,362	532122,6	30,112	1,000	30,114
7	28	54	154	304	13,196	2330,437	549178,3	31,077	1,000	31,079
8	28	54	154	305	13,244	2331,245	539909,7	30,552	1,000	30,555
9	28	54	154	306	13,246	2323,978	573357,1	32,445	1,000	32,448
10	28	54	154	305	12,964	2281,959	581154,7	32,886	1,000	32,889
11	28	54	154	306	12,954	2272,747	571631,9	32,347	1,000	32,350
12	28	54	154	304	12,939	2285,051	541476,8	30,641	1,000	30,644
13	28	54	154	306	12,811	2247,658	570905	32,306	1,000	32,309
14	28	54	154	305	13,246	2331,598	537493	30,416	1,000	30,418
15	28	54	154	304	12,807	2261,739	538258	30,459	1,000	30,461
16	28	54	154	305	13,261	2334,238	563362	31,880	1,000	31,882
17	28	54	154	305	13,083	2302,906	546327	30,916	1,000	30,918
18	28	54	154	303	13,243	2346,456	567871	32,135	1,000	32,137
19	28	54	154	305	13,307	2342,335	536781	30,375	1,000	30,378
20	28	54	154	305	13,371	2353,600	566107	32,035	1,000	32,038
<b>RESISTENCIA PROMEDIO 28 DÍAS:</b>										<b>31,666</b>

Fuente: Elaboración propia

El promedio de los valores insertados en las tablas anteriores, se muestra en la tabla 3.38.

**Tabla 3. 38 Resultado final de resistencia promedio**

DESCRIPCIÓN	Valor [Mpa]	Promedio [Mpa]
Resistencia promedio a los 7 días	33,263	<b>32,276</b>
Resistencia promedio a los 14 días	31,899	
Resistencia promedio a los 28 días	31,666	

Fuente: Elaboración propia

## RELACIÓN DE RESISTENCIA H21 A LA COMPRESIÓN, A DIFERENTES TIEMPOS DE FRAGUADO

Se han elaborado los diagramas, en cuanto se refiere a los tiempos de fraguado vs resistencia a la compresión (figuras 3.47 y 3.48), con la sustentación de los datos que se presentan en las tablas 3.39 y 3.40, respectivamente.

### CEMENTO YURA HE INDUSTRIAL

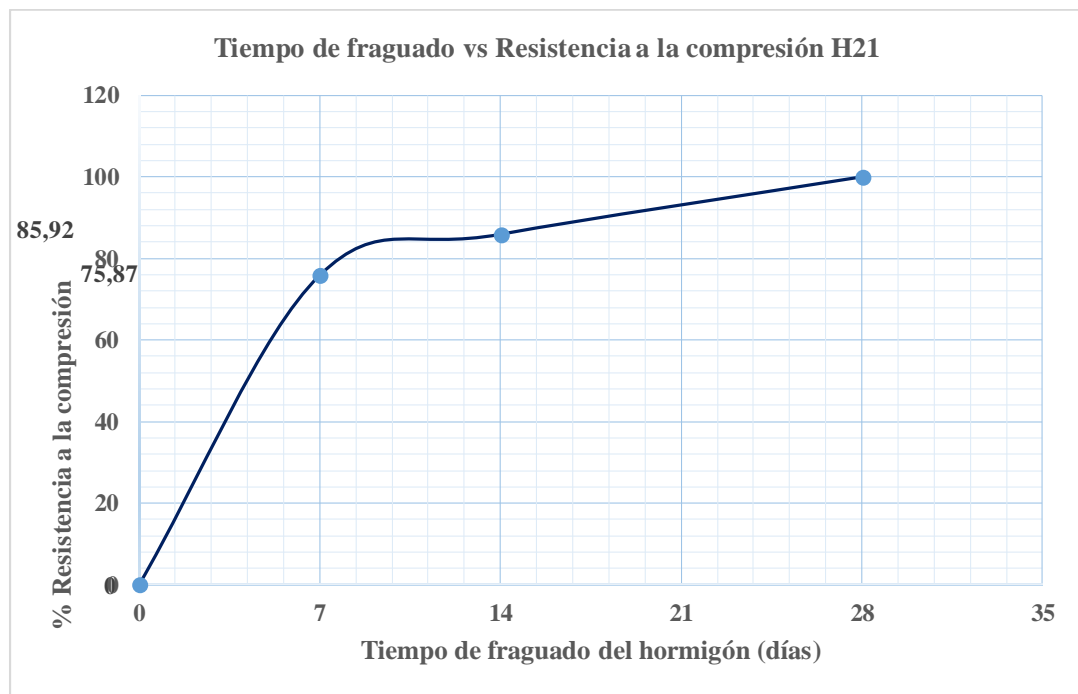
**Tabla 3. 39 Resistencias a diferentes tiempos de fraguado**

DOSIFICACIÓN		Resist.Carac	Cemento	Agua	Rel.	Resistencia (Mpa)		
A. GRUESO: 3/4"(15%),5/8"(60%),3/5"(25%)		[Mpa]	[kg/m3]	[kg/m3]	A/C	7 [días]	14 [días]	28 [días]
A. FINO: No 4 (80%),Arena Fina(20%)		21	377,020	210	0,557	24,022	27,206	31,663

Tiempo de curado (días)	Resistencia a compresión promedio	
	(Mpa)	%
0	0,00	0
7	24,022	75,87
14	27,206	85,92
28	31,663	100,00

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 47 Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H21**

Fuente: Elaboración propia

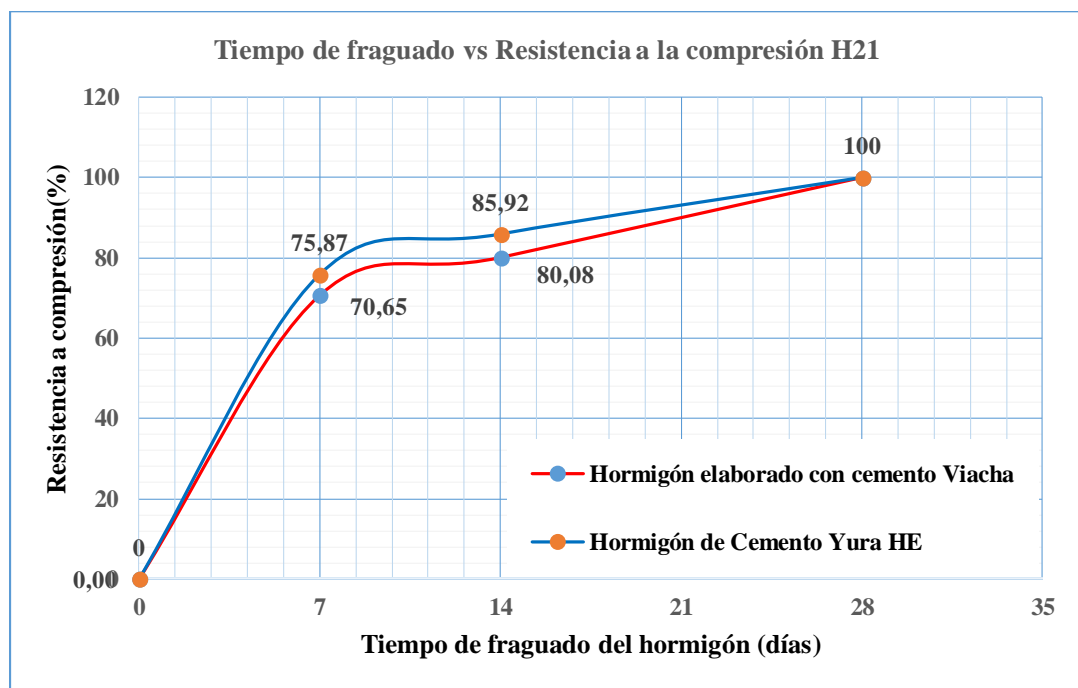
## PROCESO DE FRAGUADO DEL HORMIGÓN

### Hormigones elaborados con cemento Viacha vs Yura HE

**Tabla 3. 40 Comparación de fraguado**

Tiempo de fraguado (días)	Resistencia a compresión promedio			
	Cemento Viacha		Cemento Yura	
	(Mpa)	%	(Mpa)	%
0	0,00	0	0,00	0
7	18,97	71	24,022	75,87
14	21,51	80	27,206	85,92
28	26,8558	100	31,663	100

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 48 Diagrama tiempo de fraguado vs resistencia a la compresión H21**

Fuente: Elaboración propia

### Distribución Normal (Campana de Gauss)

La resistencia del hormigón, bajo condiciones controladas, sigue con gran aproximación, la distribución probabilística normal, representada por la expresión matemática siguiente:

$$Y = \frac{1}{D_s * \sqrt{2\pi}} e^{\frac{1}{2} \left( \frac{x-\bar{x}}{D_s} \right)^2} \quad (3.14)$$

Donde:

$D_s$  = Desviación Estándar

$\bar{x}$  = Resistencia promedio de ensayo

$X$  = Resistencia de ensayo

$e = 2,71828$

$\pi = 3,144159$

**Desviación estándar  $D_s$ :**

$$D_s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3.15)$$

El factor de modificación para la desviación estándar de la muestra, cuando se dispone de menos de 30 ensayos, según el Reglamento ACI-318S, (como en el caso de la tabla 3.46, para 20 ensayos) es de 1,08. Por lo cual, el valor de desviación estándar (típica) se modifica, conforme a:

$$D_{s1} = D_s * 1,08 \quad (3.16)$$

Este parámetro, expresa el grado de dispersión existente entre la resistencia a la compresión, para un determinado Fcm.

**Coficiente de Variación (V):**

$$V = \frac{D_s}{\bar{x}} * 100 \quad (3.17)$$

Este parámetro, permite comparar los distintos tipos de hormigones.

### **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, A 21 [MPa] ROTURA DE PROBETAS A LOS 7 DÍAS**

Se obtuvo la determinación de la desviación estándar, promedio y coeficiente de variación (véase la tabla 3.41 y la figura 3.49).

**Tabla 3. 41 Distribución Normal 1**

Resistencia Hormigón		VALOR DE Y	Promedio [Mpa]	Desviación estandar [Mpa]	factor de corrección	Desviación estandar corregida	Coeficiente de variación
n	[Mpa]						
1	23,406	0,3360303	24,02	0,90	1,08	0,97	4,04
2	23,814	0,4016084					
3	25,017	0,2429918					
4	24,321	0,3918685					
5	23,452	0,3459469					
6	23,078	0,2562051					
7	26,628	0,0111833					
8	22,732	0,170087					
9	24,383	0,3835466					
10	23,384	0,3312212					
11	24,770	0,3052537					
12	23,744	0,3944161					
13	23,618	0,3768925					
14	23,072	0,2545933					
15	24,737	0,3133670					
16	24,046	0,4108298					
17	24,407	0,3797925					
18	23,373	0,3286338					
19	23,606	0,3749873					
20	24,848	0,2860366					

Valor promedio:  $\bar{x} = \frac{\sum_i^n n_i}{n}$

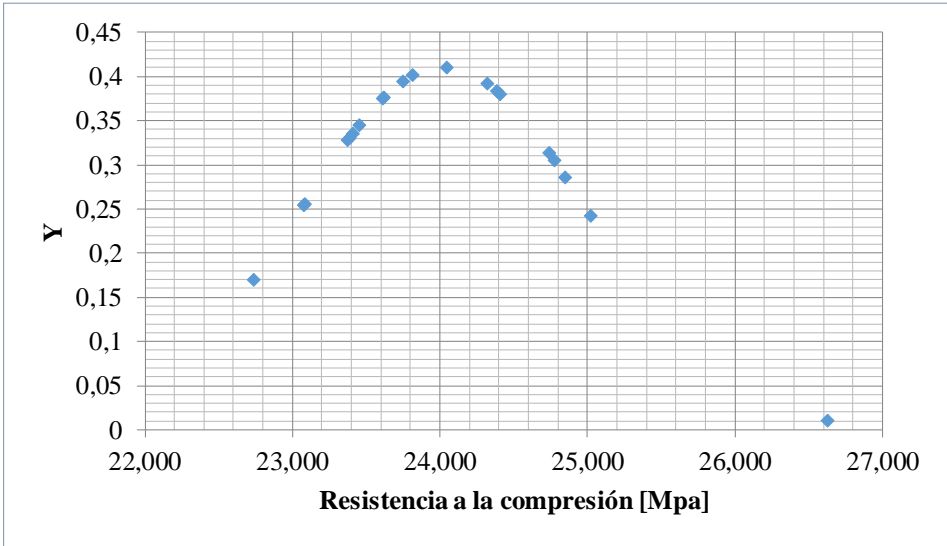
Desviación Típica:  $D_s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

Coeficiente de variación:  $V = \frac{D_s}{\bar{x}} * 100$

Distribución Normal (Campana de Gauss):

$$Y = \frac{1}{D_s * \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{D_s}\right)^2}$$

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 49 Curva de Gauss 1**

Fuente: Elaboración propia

## ROTURA DE PROBETAS A LOS 14 DÍAS

De modo análogo a lo anterior, se procedió a la determinación de la desviación estándar, promedio y coeficiente de variación (véase tabla 3.42 y figura 3.50).

**Tabla 3. 42 Distribución Normal 2**

Resistencia Hormigón	VALOR DE Y	Promedio [Mpa]	Desviación estandar[Mpa]	factor de corrección	Desviación estandar corregida	Coeficiente de variación	
n	[Mpa]						
1	27,427	0,3307186	27,20	1,10	1,08	1,18	4,35
2	26,906	0,3267089					
3	27,118	0,3361082					
4	26,173	0,2315157					
5	25,692	0,149864					
6	27,508	0,3255869					
7	27,549	0,3224823					
8	29,491	0,0517525					
9	26,939	0,3288406					
10	28,039	0,2619437					
11	28,917	0,1176781					
12	26,965	0,3303701					
13	25,728	0,1557954					
14	26,334	0,2580702					
15	25,813	0,1698258					
16	26,853	0,3227764					
17	27,251	0,3365683					
18	28,487	0,1864334					
19	27,713	0,3065905					
20	27,215	0,3368612					

Valor promedio:  $\bar{x} = \frac{\sum_i^n n_i}{n}$

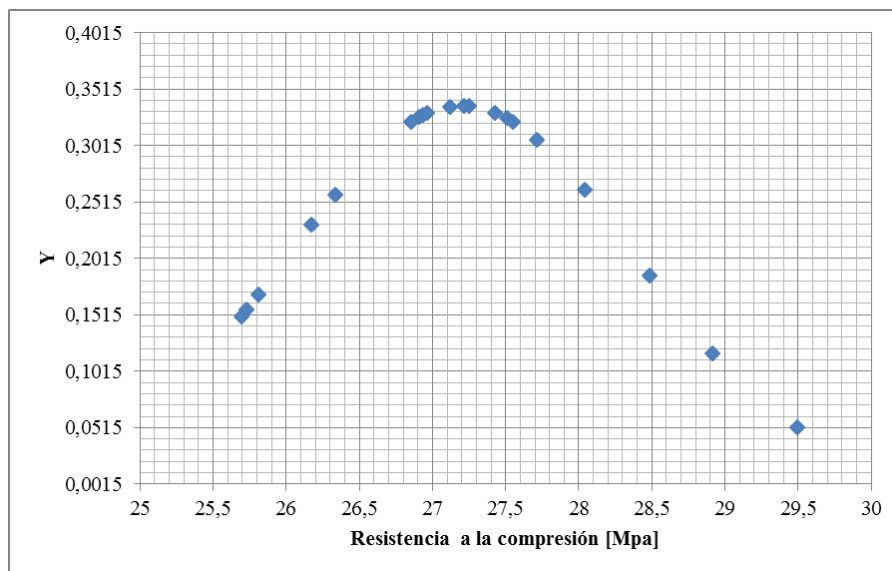
Desviación Típica:  $D_s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

Coeficiente de variación:  $V = \frac{D_s}{\bar{x}} * 100$

**Distribución Normal (Campana de Gaus):**

$$Y = \frac{1}{D_s * \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x-\bar{x}}{D_s}\right)^2}$$

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 50 Curva de Gauss 2**

Fuente: Elaboración propia

## ROTURA DE PROBETAS A LOS 28 DÍAS

Los resultados de la determinación de la desviación estándar, promedio y coeficiente de variación, se presentan en la tabla 3.43 y figura 3.51.

**Tabla 3. 43 Distribución Normal 3**

Resistencia Hormigón	VALOR DE Y	Promedio [Mpa]	Desviación estandar[Mpa]	factor de corrección	Desviación estandar corregida	Coeficiente de variación	
n [Mpa]							
1	32,404	0,2948205	31,66	0,98	1,08	1,06	3,35
2	32,698	0,2336513					
3	32,752	0,2220409					
4	31,814	0,3726109					
5	33,012	0,1675128					
6	30,112	0,1289442					
7	31,077	0,3230256					
8	30,552	0,2173594					
9	32,445	0,2867128					
10	32,886	0,1933716					
11	32,347	0,3055782					
12	30,641	0,2364498					
13	32,306	0,3130979					
14	30,416	0,1882925					
15	30,459	0,1974014					
16	31,880	0,3686526					
17	30,916	0,293517					
18	32,135	0,340943					
19	30,375	0,1799228					
20	32,035	0,3539611					

**Valor promedio:**  $\bar{x} = \frac{\sum_i^n n_i}{n}$

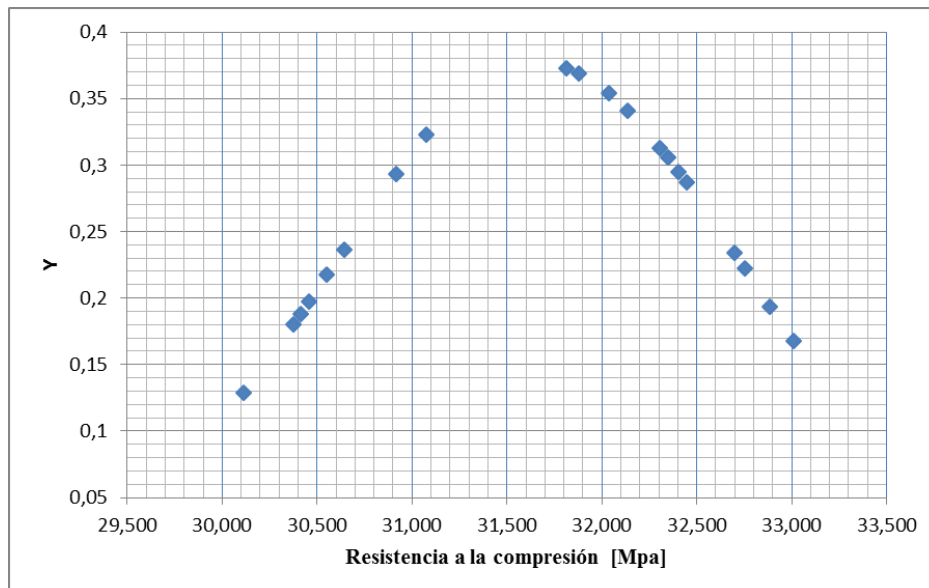
**Desviación Típica:**  $D_s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$

**Coeficiente de variación:**  $V = \frac{D_s}{\bar{x}} * 100$

**Distribución Normal (Campana de Gauss):**

$$Y = \frac{1}{D_s * \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{x - \bar{x}}{D_s}\right)^2}$$

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3. 51 Curva de Gauss 3**

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO CUATRO

### 4.0 RESULTADOS OBTENIDOS

En el presente capítulo, se comparan y se analizan los resultados obtenidos, a través de los diferentes ensayos realizados y sus interacciones. Las variaciones se expresan en cuadros y gráficos, los cuales, han de proporcionar los datos suficientes para formular las conclusiones.

### 4.1 Procedimiento de cálculo de ensayos de desgaste de Los Ángeles (laboratorio de SEDCAM)

Piedra triturada: 26,7 % de desgaste < 40%

Canto rodado: 23,8 % de desgaste < 40%

### 4.2 Granulometría

El canto rodado del río Madre de Dios, y la grava de El Sena, sí cumplen con las especificaciones de la norma ASTM C-136 (NB 597); mientras que, la de Puerto Maldonado del Perú, no cumple con las mismas.

En los agregados gruesos, la piedra triturada, 3/8" (brita cero), abarcan las aberturas de tamices desde 4,75 mm hasta 9,50 mm; brita 5/8", desde 9,50 mm hasta 12,50 mm; 1" (brita 1), desde 12,50 mm hasta 19,00 mm; 1 ½" (brita 2), desde 19,00 mm hasta 25,00 mm.

El polvo de brita, cuyo tamaño máximo nominal es de 4,75 mm, no cumple con dos tamices, el de 2,36 mm y el 1,18 mm. Por su módulo de finura igual a 3,2, se puede clasificar como arena gruesa.

La arena del río Acre, no cumple con las regulaciones de la norma anteriormente indicada. La mayoría de los tamices, como se puede evidenciar en la figura 3.38, se encuentran fuera del rango de los siguientes: 2,36 mm, 1,18 mm, 0,60 mm. Entonces, es arena muy fina.

### 4.3 Dosificación

En la dosificación de agregados, los resultados de las combinaciones del agregado grueso, piedra triturada, que satisface la resistencia del hormigón mediante la rotura de cilindros, es de la combinación 3: agregado grueso ¾" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%) (véase Anexo 6.); y, del agregado fino, combinado 4: No. 4 (80%), arena fina (20%) (Anexo 7.).

### 4.4 Consistencia

La consistencia es plástica 3 cm - 5 cm. Todo tipo de estructuras.

En la presente investigación, las mediciones de revenimiento oscilan entre 5.4 cm (54 mm) y 6 cm (60 mm). En ningún caso, son superiores a lo mencionado. En el diseño y proporcionamiento de concreto normal, se realizó la selección de revenimiento 5 cm, con tolerancia de ± 1 cm.

### 4.5 Resistencia

Los resultados de ensayos de compresión, a diferentes edades, por tipos de cemento usados en la elaboración de cilindros de hormigón con Cemento Viacha y cemento Yura HE Industrial del Perú, se pueden apreciar en el siguiente cuadro comparativo (tabla 4.1).

**Tabla 4. 1 Resumen de resistencias medias de Piedra triturada**

DOSIFICACIÓN		Resist.C.	Resist.	Tipo	Cemento	Agua	Relación	Resist.m.
A.G. (%)	A. F. (%)	Especif.	Req.(MP	cemento	[kg/m3]	[kg/m3]	A/C	[Mpa]
7/8"(32%),3/4"(18%), 5/8"(16%),3/8"(34%)	No 4(75%), Arena(25%)	H21	29,5	Viacha IP30	377,020	210	0,557	<b>26,116</b>
3/4" (15%)	No 4(80%), Arena(20%)	H21	29,5	Yura HE	377,020	210	0,557	<b>32,276</b>
5/8"(60%)		H25	33,5	Viacha IP30	420,000	210	0,500	<b>28,791</b>
3/8"(25%)		H25	33,5	Yura HE	419,162	210	0,501	<b>34,734</b>
		H35	43,5	Yura HE	466,667	210	0,450	<b>44,821</b>

Fuente: Elaboración propia

### 4.6 Distribución Normal

Los valores del coeficiente de variación indican que los resultados obtenidos, están con una calidad de regular a buena, como se puede apreciar en la tabla 4.2.

**Tabla 4. 2 Distribución Normal**

Resistencia	Tiempo de fraguado	Valor Promedio [Mpa]	Desviación estandar[Mpa]	Coficiente de variación
H21	7 [días]	24,02	0,97	4,04
H21	14 [días]	27,20	1,18	4,35
H21	28 [días]	31,66	1,06	3,35

Fuente: Elaboración propia

#### 4.7 Costos

En el apartado pertinente a los Anexos, se exponen los costos de hormigones, los costos de los hormigones de resistencia característica de 21 [MPa], 25 [MPa], 35 [MPa], elaborados con piedra triturada.

El costo de agregado grueso de piedra triturada (brita) de diferentes elementos no varía. Los análisis en detalle están configurados en el apartado de los Anexos (específicamente, en los Anexos 5., 10., 15., 20., y 25).

**Tabla 4. 3 Detalle de costos de hormigones de piedra triturada**

DOSIFICACIÓN		Resist. C.	Resist. Med. Req	Tipo	Cemento	Agua	Relación	Costo
Agregado Grueso	Agregado Fino	Especif.	(MPa)	cemento	[kg/m3]	[kg/m3]	A/C	Bs.
1 1/2"(32%), 1"(18%), 3/4"(16%), 5/8"(16%), 3/8"(34%)	No 4(75%), Arena(25%)	H21	29,5	Viacha IP30	377,020	210	0,557	2230,400
3/4"(15%), 5/8"(60%), 3/8"(25%)	No 4(80%), Arena(20%)	H21	29,5	Yura HE	377,020	210	0,557	2225,266
		H25	33,5	Viacha IP30	420,000	210	0,500	2250,692
		H25	33,5	Yura HE	419,162	210	0,501	2252,182
		H35	43,5	Yura HE	466,667	210	0,450	2318,428

Fuente: Elaboración propia

# CAPÍTULO CINCO

## 5.0 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

De la observación de los resultados obtenidos en la presente investigación, a partir de las diferentes pruebas efectuadas en laboratorio, se concluye que:

- Los ensayos de prueba para resistencia a degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión e impacto en la Máquina de los Ángeles ASTM C-131 (NB 302:1979), expresan que, tanto la piedra triturada como la grava de río Madre de Dios, cumplen con la norma mencionada.
- Según los resultados obtenidos en la determinación de las características físico-mecánicas de los agregados, y proporcionados por los diagramas de granulometrías individuales de cada material, existe la necesidad de realizar combinaciones en piedra triturada, tanto en agregado grueso como en agregado fino. Los valores de módulo de finura de los agregados provenientes del río madre de Dios indican, que la grava de Puerto Maldonado es muy grueso (módulo de finura de 4,20) con relación a su similar de El Sena (módulo de finura de 3,27).
- Como la arena del río Acre no cumple con la norma ASTM C-136 (NB 597), clasificado como arena muy fina, necesariamente, se debe realizar la adecuación en su granulometría con el No. 4 (polvo de brita).
- En la presente investigación, en el apartado de los Anexos, se observan las combinaciones por el método del tanteo. Con base en ellas, la combinación 3: 3/4" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%), en agregado grueso de piedra triturada (Anexo 6.), y en agregado fino, la combinación 4: No. 4 (80%), arena fina (20%) (Anexo 7.); satisfacen las expectativas de resistencias requeridas.

- En el diseño de mezcla, con preferencia, se ha empleado el método ACI-211.1. Se han elaborado diseños variados, utilizando las mejores dosificaciones de acuerdo a las combinaciones de agregados, anteriormente mencionadas. Consiguientemente, con base en los resultados alcanzados y presentados en el apartado de los Anexos (específicamente, los Anexos 8., y 18.), los diseños que se describen para resistencia característica especificada de 21 [MPa] y resistencia media requerida de 29,5 [MPa], y asimismo, para resistencia característica de 25 [MPa], y 32,5 [MPa] de resistencia media requerida, se concluye que éstos son los mejores elaborados, por cuanto, con ellos se han obtenido y alcanzado altas resistencias.
- En la tabla 4.1, correspondiente al resumen de resistencias medias de piedra triturada a la resistencia característica de 21 [MPa], se pueden apreciar los resultados obtenidos para cilindros elaborados con cemento Yura, 377.020 [kg/m<sup>3</sup>], que alcanza una resistencia media de 32.276 [MPa]; asimismo, los mismos elaborados con cemento Viacha, con la misma dosificación y en las mismas condiciones, alcanza una resistencia equivalente a 26.116 [MPa]. Esto, claramente, indica que las mejores resistencias medias se obtienen con cemento Yura HE que con cemento Viacha IP30.
- En el diseño de mezcla para una resistencia característica de 35 [MPa], resistencia media requerida de 43,5 [MPa], utilizando piedra triturada y cemento Yura HE, se da el uso del aditivo (plastificante roka) en la proporción de 0,30% de peso del cemento, se reduce el 12% de agua de mezcla, mejorándose con ello, la trabajabilidad (revenimiento). Paralelamente, como resultado de aquello, se obtuvo 44.821 [MPa] de resistencia media, a los 28 días.
- La tabla 4.3, muestra la comparación de costos de hormigones. De ahí, se establece que, prácticamente, son iguales los costos de una dosificación a otra, existiendo una diferencia mínima de 5.137 Bs. El costo con piedra triturada de TMN de ¾” es 2225.266 Bs, y el de TMN de 1” es de 2230.403 Bs. Sin embargo, aquí cabe hacer

una aclaración necesaria, ya que, el precio de piedra triturada del Brasil en sus diferentes elementos del agregado grueso, no varía en la presente investigación.

## 5.2 Recomendaciones

- En la construcción de puentes es necesario utilizar cemento Yura HE de alta resistencia, equivalente a IP40 en la norma nacional, puesto que, alcanza resistencias superiores a las de IP30, de uso común.
- En la ejecución de proyectos de construcción, antes de realizar la adquisición en volúmenes mayores, se recomienda que, el material a utilizarse debe verificarse, en cuanto a las características del mismo en el laboratorio, en muestras menores, principalmente, referente a la granulometría, debido a que difieren en el tamaño de un punto de venta a otro.
- Como sugerencias de dosificaciones, se recomienda adoptar lo que sigue:  
**Con tamaño máximo nominal de 1”**  
Piedra triturada, agregado grueso: Brita 2 7/8” (38%), brita 1 3/4” (18%), 5/8” (16%), 3/8” (34%).  
Agregado fino: Polvo de brita No. 4 (75%), y arena fina del río Acre 25%.  
**Con tamaño máximo nominal de 3/4”**  
Piedra triturada, agregado grueso: 3/4” (15%), 5/8” (60%), 3/8” (25%).  
Agregado fino: Polvo de brita No. 4 (80%), y arena fina del río Acre (20%).  
Puede variar la dosificación, si las características del material a ensayar sean diferentes a las que fueron objeto de la investigación.
- Las mezclas diseñadas que figuran en el apartado de los Anexos son, en general, para el colocado de hormigón fresco por gravedad, por ser éste de consistencia plástica.

## **6.0 BIBLIOGRAFÍA**

- 1. ANA TORRE CARRILLO, (2004). CURSO BÁSICO DE TECNOLOGÍA DE CONCRETO. PRIMERA EDICIÓN, LIMA. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.**
- 2. DUQUE GONZALO Y ESCOBAR CARLOS. CURSO COMPLETO DE MECÁNICA DE SUELOS.**
- 3. FERNANDO M. CERRUTO ANÍBARRO. (2015). INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN. SÉPTIMA EDICIÓN. LA PAZ. BOLIVIA.**
- 4. LAURA HUANCA SAMUEL. (2006). DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO. PUNO. PERÚ.**
- 5. MARIELA VIVIAN QUIROZ – LUCA ESTEBAN SALAMANCA. (2006)**  
APOYO DIDÁCTICO PARA LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE EN LA ASIGNATURA DE “TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN. COCHABAMBA - BOLIVIA,
- 6. ORLANDO GIRALDO BOLÍVAR. (1987). GUÍA PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DEL HORMIGÓN. MEDELLÍN. COLOMBIA.**
- 7. PEDRO JIMÉNEZ MONTOYA, ÁLVARO GARCÍA MESEGUER, FRANCISCO MORÁN CABRÉ (1978). HORMIGÓN ARMADO. NOVENA EDICIÓN. BARCELONA. ESPAÑA.**
- 8. REQUISITOS DE REGLAMENTO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL, INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO ACI 318S-05**
- 9. STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARECE, Y JUSSARA TANESI. (2004). DISEÑO Y CONTROL DE**
- 10. MEZCLA DE CONCRETO. PRIMERA EDICIÓN. MÉXICO.**

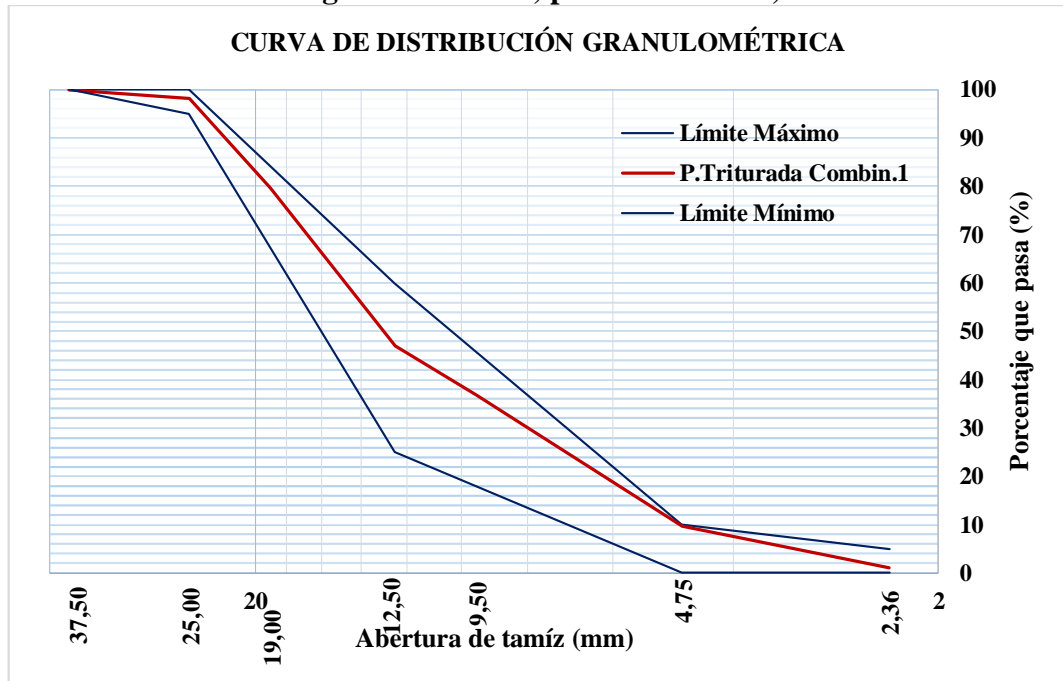
## 7. ANEXOS

### Anexo 1. Combinación 1, agregado grueso, piedra triturada

Mallas Estándar	DIÁMETRO [mm]	7/8"	% 32	3/4"	% 18	5/8"	% 16	Cero	% 34	Límite Mín.	COMB. 8	Límite Máx.
1 1/2"	37,50	100	32	100	18	100	16	100	34	100	<b>100</b>	100
1"	25,00	94	30	100	18	100	16	100	34	95	<b>98</b>	100
3/4"	19,00	42	13	90	16	100	16	100	34		<b>80</b>	
1/2"	12,50	2	1	8	2	68	11	100	34	25	<b>47</b>	60
3/8"	9,50	0	0	1	0	22	4	97	33		<b>37</b>	
No 4	4,75	0	0	0	0	0	0	28	10	0	<b>10</b>	10
No 8	2,36	0	0	0	0	0	0	3	1	0	<b>1</b>	5

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 1



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 1

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,70	
Peso unitario suelto	1309,54	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1469,80	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,08	%
Porcentaje de absorción	0,46	%
Módulo de finura	3,11	

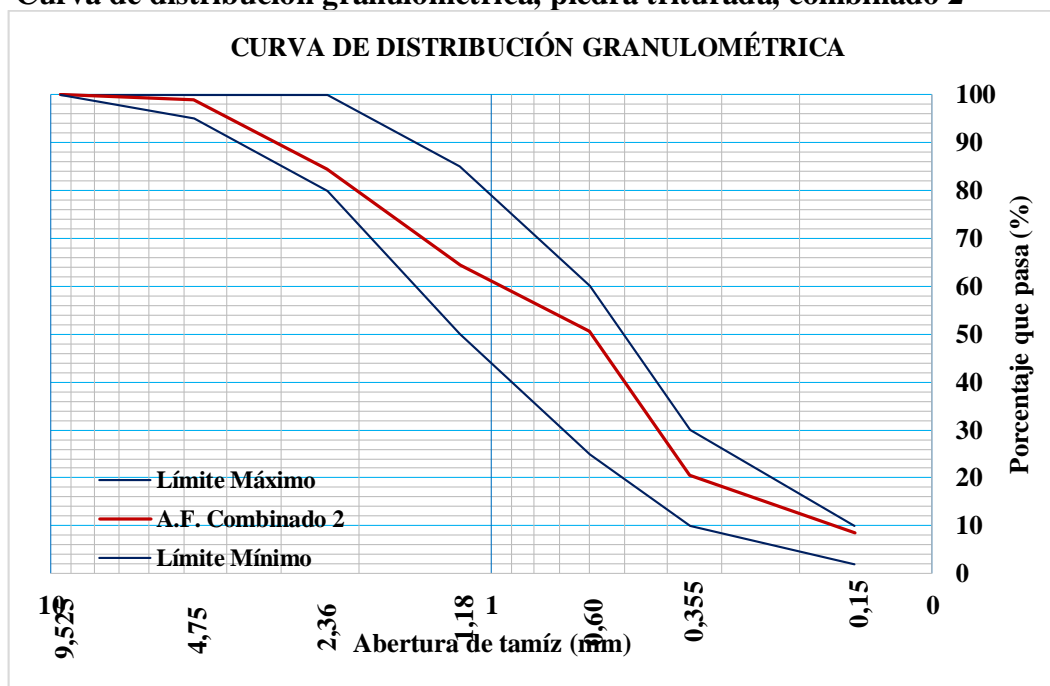
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 2. Combinación 2, agregado fino, piedra triturada

MALLAS ESTÁNDAR	DIÁMETRO [mm]	POLVO BRITA	% 75	ARENA FINA	% 25	LÍMITE Mín.	COMB. 2	LÍMITE Máx.
3/8"	9,525	100	75	100	25	100	<b>100</b>	100
No.4	4,75	99	74	100	25	95	<b>99</b>	100
No.8	2,36	79	59	100	25	80	<b>84</b>	100
No.16	1,18	53	40	100	25	50	<b>65</b>	85
No.30	0,60	34	26	100	25	25	<b>51</b>	60
No. 50	0,355	20	15	23	6	10	<b>21</b>	30
No.100	0,15	10	8	4	1	2	<b>9</b>	10

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 2



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 2

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,66	
Peso unitario suelto	1537,53	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1661,05	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,22	%
Porcentaje de absorción	1,89	%
Módulo de finura	2,84	

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 3. Diseño de mezcla, resistencia característica H21, norma ACI 211.1, piedra triturada

#### DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI 211.1 PIEDRA TRITURADA H21

##### I. MATERIALES

- a) Cemento : Portland Viacha Tipo IP 30  
 Peso específico: **2910** kg/m<sup>3</sup> **2,91** [g/cm<sup>3</sup>]
- b) Agua : De la red, servicio público
- c) Agregados:

Tabla1. Propiedades de los materiales en estado natural

AGREGADOS	%humedad	% Absorción	Peso específico	PUC (kg/m <sup>3</sup> )	M.F.
Agregado Grueso	<b>0,08</b>	<b>0,46</b>	<b>2,70</b>	<b>1469,80</b>	
Agregado Fino	<b>0,22</b>	<b>1,89</b>	<b>2,66</b>	<b>1661,05</b>	<b>2,84</b>

##### II. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.

Resistencia Característica del hormigón especificada **21** Mpa

Tabla 2. Resistencia a Compresión media cuando no hay datos Disponibles para Establecer Desviación Estándar

Resistencia a compresión especificada	Resistencia a compresión media requerida
f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)
Menos de 21	f'c + 7
<b>21 a 35</b>	<b>f'c + 8,5</b>
Más de 35	f'c + 5

$$f_{cr} = f'_{ck} + 8,5 \quad 29,5 \text{ [Mpa]}$$

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI318-2002

##### III DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL

1) Selección de revenimiento.

En la tabla revenimientos recomendados para varios tipos de construcción de 25 mm (1") a 50 mm (2")

Revenimiento = **5** [cm]

2) Selección de tamaño nominal del agregado.

De granulometría del agregado grueso, corresponde el tamaño máximo nominal

**25** [mm]

3) Estimación de la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire.

De la tabla. Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado, con revenimiento de 1" a 2" y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 25 mm (1"), adecuado a los materiales de la región

**210** [kg/m<sup>3</sup>]

El contenido de aire atrapado : **1,5** %

#### 4) Selección de relación agua-cemento

De la tabla resistencia a compresión y la relación agua-cemento, en un hormigón sin aire incorporado.

**Tabla 3. Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la Resistencia a Compresión del Concreto [ACI211]**

Resistencia a compresión a los 28 días		Relación agua-material en masa	
		Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
kg/cm <sup>2</sup>	Mpa		
450	45	0.38	0.31
400	40	0.43	0.34
350	35	0.48	0.40
300	<b>30</b>	<b>0.55</b>	0.46
250	<b>25</b>	<b>0.62</b>	0.53
200	20	0.70	0.61
150	15	0.80	0.72

Fuente: Tabla 5,3,4(a) ACI 211

Interpolación:

<b>30</b>	<b>0,55</b>
<b>25</b>	<b>0,62</b>
<b>29,50</b>	<b>0,557</b>

$$\frac{A}{C} = \frac{(f'_{ck} - f'_{ck\text{sup}}) \left( \frac{A}{C} \text{sup} - \frac{A}{C} \text{inf} \right)}{f'_{ck\text{sup}} - f'_{ck\text{inf}}} + \frac{A}{C} \text{sup}$$

$$A/C = \mathbf{0,557}$$

#### 5) Cálculo de la cantidad de cemento.

El factor cemento se determina dividiendo el volumen unitario del agua entre la relación agua-cemento

$$C_{\text{Requerido}} = \frac{\text{Cantidad estimada de Agua}}{A/C} \quad \mathbf{377,02 \text{ kg/m}^3}$$

#### 6) Estimación de la cantidad de agregado grueso

En tabla 4, con un módulo de finura 2,84 y con tamaño máximo nominal del agregado grueso 25 mm

**Tabla.4. Volumen de agregado grueso por volumen Unitario de Concreto**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario del concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
mm	pulg.	2,40	2,60	<b>2,80</b>	<b>3,00</b>
9,5	3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25,0	1"	0,71	0,69	<b>0,67</b>	<b>0,65</b>
37,5	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50,0	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

\*Los volúmenes se basan en agregados varillados (compactados)

en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). ACI 211.1.

Fuente: **Tabla 5.3.6 ACI211**

Interpolación:

<b>2,80</b>	<b>3,00</b>	<b>2,83</b>
<b>0,67</b>	<b>0,65</b>	0,667

$$\text{AGREGADO GRUESO SECO} = \text{PUC} \cdot V_{u,H} = \mathbf{980,357 \text{ [kg/m}^3\text{]}}$$

### 7) Estimación de contenido agregado fino.

Por volúmenes absolutos:

Peso específico Agregado grueso: **2,70**

$$V_{A.F.} = 1 - \left( \frac{A}{1000 \cdot P_{\text{esp. agua}}} + \frac{C}{1000 \cdot P_{\text{esp. cemento}}} + \frac{P_{A.G.seco}}{1000 \cdot P_{\text{esp. A.G.}}} + \frac{\%v}{100} \right)$$

$$\text{Volumen Absoluto del agregado fino} = 0,2823 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{AGREGADO FINO SECO} = \text{Vol. absoluto A.F.} \cdot \text{P.e.} \cdot 1000 = \mathbf{751,037 \text{ [kg/m}^3\text{]}}$$

### Resúmen de agregados secos

<b>Cemento.</b>	<b>377,020 [kg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>Agua</b>	<b>210,000 [kg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>Agregado grueso</b>	<b>980,357 [kg/m<sup>3</sup>]</b>
<b>Agregado fino</b>	<b>751,037 [kg/m<sup>3</sup>]</b>

### 8) Ajuste de contenido de humedad

Agregado grueso húmedo : Peso A.G + %h = 981,141 [kg/m<sup>3</sup>]

Agregado fino húmedo: Peso A.F.+ %h = 752,690 [kg/m<sup>3</sup>]

Porcentaje de humedad A.F.: **1,66%**

$$\text{Agua real} = \text{Agua est.} - \text{A. G. h\u00fam} * \left( \frac{\%h. \text{A. G} - \%abs. \text{A. G}}{100} \right) - \text{A. F. h\u00fam} * \left( \frac{\%h. \text{A. F} - \%abs. \text{A. F}}{100} \right)$$

El agua real que se a\u00f1adir\u00e1 a la mezcla por aporte de agregados  $A_m = 226,27$  [kg]

Los pesos estimados de materiales para 1 m\u00b3 de H\u2099, corregidos por humedad:

<b>Cemento.</b>			<b>377,020</b> [kg/m\u00b3]
<b>Agua</b>			<b>226,268</b> [kg/m\u00b3]
<b>Agregado grueso h\u00famedo</b>			<b>981,141</b> [kg/m\u00b3]
<b>Brita 2</b>	7/8"	<b>32%</b>	313,97 [kg/m\u00b3]
<b>Brita 1</b>	3/4"	<b>18%</b>	176,61 [kg/m\u00b3]
<b>Brita 5/8"</b>	5/8"	<b>16%</b>	156,98 [kg/m\u00b3]
<b>Brita Cero</b>	3/8"	<b>34%</b>	333,59 [kg/m\u00b3]
<b>Agregado fino h\u00famedo</b>			<b>752,690</b> [kg/m\u00b3]
<b>Polvo de brita</b>		<b>75%</b>	564,52 [kg/m\u00b3]
<b>Arena del r\u00edo Acre</b>		<b>25%</b>	188,17 [kg/m\u00b3]
			<b>\u03a3 = 2337,118</b> [kg/m\u00b3]

### 9) Mezcla de Prueba

Di\u00e1metro molde  $d = 0,150$  m

Altura molde  $h = 0,300$  m

N\u00famero de cilindros **6**

$$V_{cilindro} = \pi * \frac{d^2}{4} * h = 0,0053 \text{ m}^3$$

P\u00e9rdidas **18%**

Volumen n.cilindros + % p\u00e9rdidas  $0,03753 \text{ m}^3$   $37,53$  [Litros]

Volumen mezcla, ensayo en laboratorio **0,03753** [m\u00b3]

<b>Cemento.</b>			<b>14,151</b> [kg]
<b>Agua</b>	A/C	<b>0,600</b>	<b>8,493</b> [kg]
<b>Agregado grueso h\u00famedo</b>			<b>36,826</b> [kg]
<b>Brita 2</b>	7/8"	<b>32%</b>	<b>11,784</b> [kg]
<b>Brita 1</b>	3/4"	<b>18%</b>	<b>6,629</b> [kg]
<b>Brita 5/8"</b>	5/8"	<b>16%</b>	<b>5,892</b> [kg]
<b>Brita Cero</b>	3/8"	<b>34%</b>	<b>12,521</b> [kg]
<b>Agregado fino h\u00famedo</b>			<b>28,252</b> [kg]
<b>Polvo de brita</b>		<b>75%</b>	<b>21,189</b> [kg]
<b>Arena del r\u00edo Acre</b>		<b>25%</b>	<b>7,063</b> [kg]
			<b>\u03a3 87,722</b> [kg]

**Anexo 4. Rotura a compresión de cilindros H21, elaborados con piedra triturada, cemento Viacha**

ROTURA DE CILINDROS DE HORMIGÓN							H21				
Cemento viacha: 377,020 [kg/m3]			Agregado Grueso: 3/4" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%)								
Agua: 210,000 [kg/m3]			Agregado Fino: No 4 (80%), Arena Fina (20%)								
A/C: 0,557											
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS							RESULTADO DEL ENSAYO				
N°	Edad [días]	Slump [mm]	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Peso Cilindro [kg]	Densidad Cilindro [kg/m3]	Carga Rotura [N]	Resistencia rotura [N/mm2]	AASHTTO T-22 $\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	Edad 28 [días]	Promedio [MPa]
1	7	58	154	306	12,852	2254,852	356242	20,159	0,722	27,914	
2	7	58	154	306	12,859	2256,080	332646	18,824	0,722	26,065	
3	7	58	154	305	12,913	2272,982	317029	17,940	0,722	24,841	<b>26,273</b>
4	14	58	154	306	13,189	2313,977	386565	21,875	0,853	25,648	
5	14	58	154	305	12,94	2277,735	382387	21,638	0,853	25,371	
6	14	58	154	305	12,832	2258,724	371207	21,006	0,853	24,629	<b>25,216</b>
7	28	58	154	305	13,22	2327,021	487558	27,590	1,000	27,592	
8	28	58	154	306	13,196	2315,206	464508	26,286	1,000	26,288	
9	28	58	154	305	13,199	2323,324	471689	26,692	1,000	26,694	<b>26,858</b>
<b>RESISTENCIA PROMEDIO A 28 DÍAS:</b>										<b>26,116</b>	

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 5. Análisis de precio unitario de hormigón H21, elaborado con cemento Viacha IP30**

**ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO**

PROYECTO: TESIS DE GRADO

Actividad: **ELABORACIÓN DE HORMIGÓN H21 CON PIEDRA TRITURADA**

Unitario: **m3**

Cantidad: **1.00**

Moneda: **BOLIVIANOS**

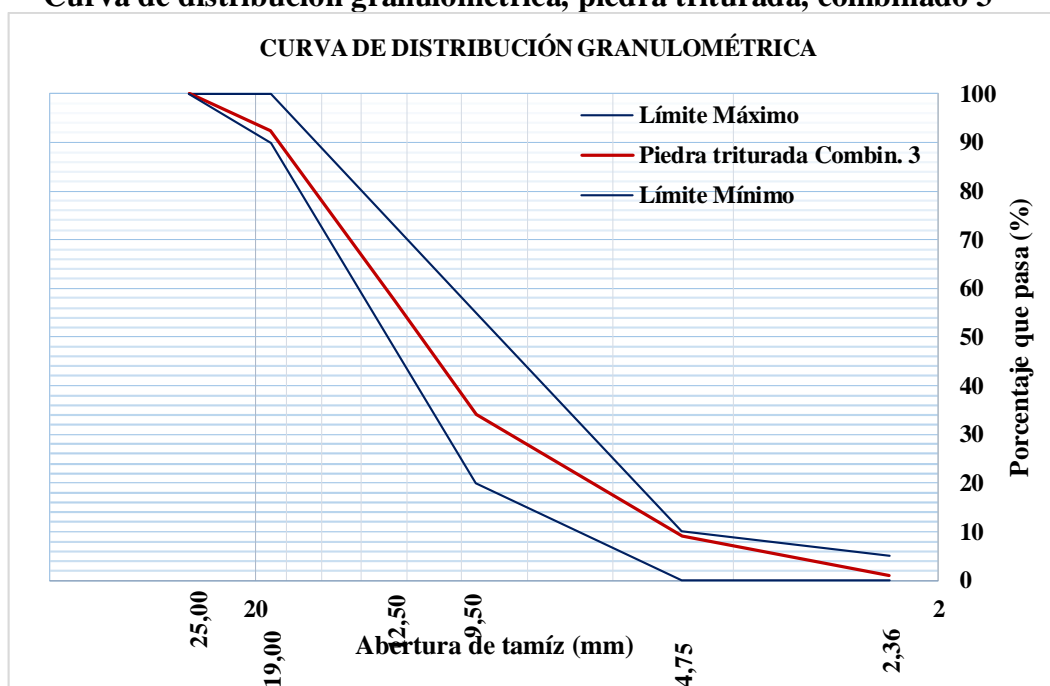
Descripción	Unidad	Dosi fic.	Material húmedo	Peso Unitario	Rendi- miento	Precio Unitario	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>							
Cemento Viacha IP 30	[kg/m3]		<b>377,020</b>			1,480	557,99
Agua	[kg/m3]		<b>225,788</b>			0,000	0,00
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	[kg/m3]		981,556				
<b>Brita 2 (7/8")</b>	[kg/m3]	32%	<b>314,098</b>	1471,9	0,213	550,000	117,37
<b>Brita 1 (3/4")</b>	[kg/m3]	18%	<b>176,680</b>	1393,144	0,127	550,000	69,75
<b>Brita 5/8" (5/8")</b>	[kg/m3]	16%	<b>157,049</b>	1482,502	0,106	550,000	58,26
<b>Brita cero (3/8")</b>	[kg/m3]	34%	<b>333,729</b>	1457,283	0,229	550,000	125,95
AGREGADO FINO HÚMEDO	[kg/m3]		692,602				
<b>Polvo de brita No 4</b>	[kg/m3]	75%	<b>519,452</b>	1779,719	0,292	610,000	178,04
<b>Arena fina del río Acre</b>	[kg/m3]	25%	<b>173,151</b>	1524,254	0,114	35,000	3,98
<b>TOTAL MATERIALES</b>							<b>1.111,35</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>							
LABORATORISTA	HR.		14,000			15,000	210,00
AYUDANTE	HR.		12,000			18,750	225,00
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA						55,00%	239,25
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES						0,00%	0,00
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>							<b>674,25</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							
Mezcladora	HR.				1,000	24,000	24,00
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA						5,00%	33,71
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							<b>57,71</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>							
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3						10,00%	184,33
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>							<b>184,33</b>
<b>5. UTILIDAD</b>							
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4						10,00%	202,76
<b>TOTAL UTILIDAD</b>							<b>202,76</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>							
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5						0,00%	0,00
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>							<b>0,00</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>							<b>2.230,40</b>

### Anexo 6. Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

Mallas Estándar	DIÁMETRO [mm]	Brita 3/4"	% 15	Brita 5/8"	% 60	Brita 3/8"	% 25	Límite Mín.	COMB. 16	Límite Máx.
1"	25,00	100	15	100	60	100	25	100	<b>100</b>	100
3/4"	19,00	50	7	100	60	100	25	90	<b>92</b>	100
1/2"	12,50	0	0	54	32	100	25	25	<b>57</b>	60
3/8"	9,50	0	0	16	10	98	25	20	<b>34</b>	55
No 4	4,75	0	0	0	0	35	9	0	<b>9</b>	10
No 8	2,36	0	0	0	0	3	1	0	<b>1</b>	5

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 3



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 3

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,69	
Peso unitario suelto	1300,89	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1462,79	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,04	%
Porcentaje de absorción	0,48	%
Módulo de finura	3,09	

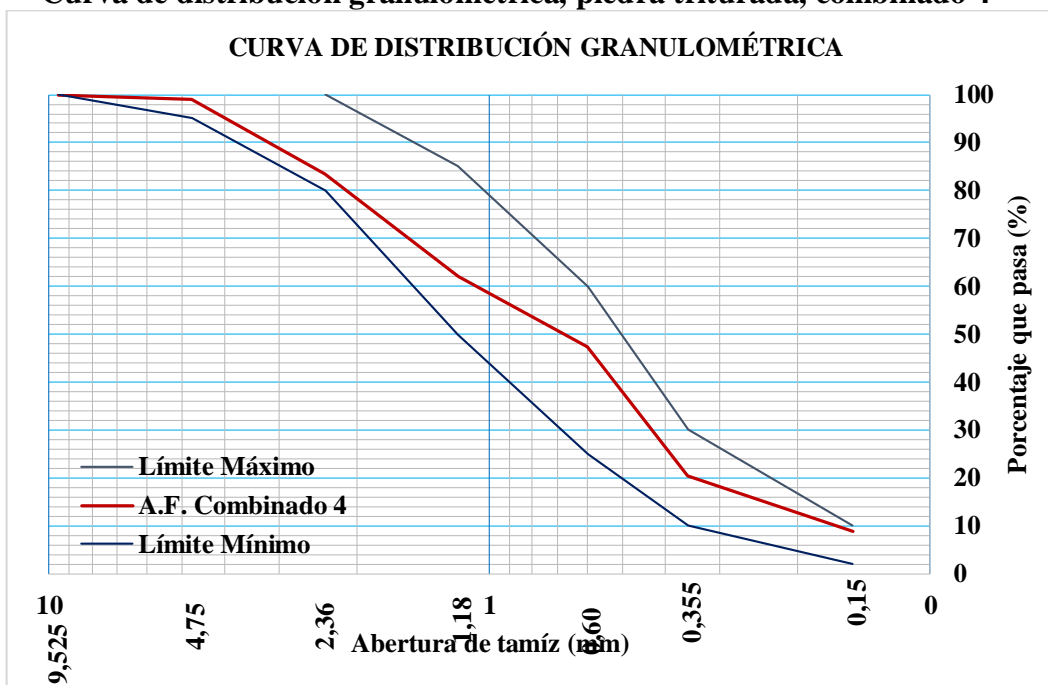
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 7. Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

MALLAS ESTÁNDAR	DIÁMETRO [mm]	POLVO BRITA	% 80	ARENA FINA	% 20	LÍMITE Mín.	COMB. 4	LÍMITE Máx.
3/8"	9,525	100	80	100	20	100	<b>100</b>	100
No.4	4,75	99	79	100	20	95	<b>99</b>	100
No.8	2,36	79	63	100	20	80	<b>83</b>	100
No.16	1,18	53	42	100	20	50	<b>62</b>	85
No.30	0,60	34	27	100	20	25	<b>47</b>	60
No. 50	0,355	20	16	23	5	10	<b>20</b>	30
No.100	0,15	10	8	4	1	2	<b>9</b>	10

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 4



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 4

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,45	
Peso unitario suelto	1480,97	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1715,85	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,23	%
Porcentaje de absorción	1,89	%
Módulo de finura	2,79	

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 8. Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada con cemento Yura HE, H21

DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI 211.1

PIEDRA TRITURADA

H21

### I. MATERIALES

Cemento: Yura Industrial HE

Peso específico: 3150 kg/m<sup>3</sup>

3,15 [g/cm<sup>3</sup>]

Agua: De la red, servicio público

Agregados :

Tabla1. Propiedades de los materiales en estado natural

AGREGADOS	%humedad	% Absorción	Peso específico	PUC (kg/m <sup>3</sup> )	M.F.
Agregado Grueso	0,04	0,48	2,69	1462,79	
Agregado Fino	0,23	1,89	2,45	1715,85	2,79

### II. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.

Resistencia Característica del hormigón especificada

$f'_c$

21 [Mpa]

Tabla 2. Resistencia a Compresión media cuando no hay datos Disponibles para Establecer Desviación Estándar

Resistencia a compresión especificada	Resistencia a compresión media requerida
$f'_c$ (Mpa)	$f'_{cr}$ (Mpa)
Menos de 21	$f'_c + 7$
21 a 35	$f'_c + 8,5$
Más de 35	$f'_c + 5$

$$f'_{cr} = f'_c + 8,5$$

29,5 [Mpa]

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI 318-2002

### III DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL

1) Selección de revenimiento.

En la tabla revenimientos recomendados para varios tipos de construcción de 25 mm (1") a 50 mm (2")

Revenimiento = 5 [cm]

2) Selección de tamaño nominal del agregado.

De granulometría del agregado grueso, corresponde el tamaño máximo nominal,

19 [mm]

3) Estimación de la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire.

De la tabla. Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado, con revenimiento de 1" a 2" y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 25 mm (1"), adecuado a los materiales de la región.

210 [kg/m<sup>3</sup>]

El contenido de aire atrapado :

2 %

#### 4) Selección de relación agua-cemento

De la tabla resistencia a compresión y la relación agua-cemento, en un hormigón sin aire incorporado.

	$f_{cm28}$	A/C	
Interpolación:	30	0,55	
	29,50	0,557	A/C 0,557
	25	0,62	

#### 5) Cálculo de la cantidad de cemento.

$$C_{\text{Requerido}} = \frac{\text{Cantidad estimado de Agua}}{A/C} \quad 377,020 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

#### 6) Estimación de la cantidad de agregado grueso

De la tabla, volumen de agregado grueso por volumen unitario del concreto, con módulo de finura 2,79 y con TMN del agregado grueso de 19 mm

Interpolación:

	M.F.		
19 mm	2,60	2,79	2,80
	0,64	0,621	0,62

$$\text{AGREGADO GRUESO SECO} = P.U.C. * V_{u.H} \quad 908,395 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

#### 7) Estimación de contenido agregado fino.

Por volúmenes absolutos:

$$V_{A.F.} = 1 - \left( \frac{A}{1000 * P_{\text{esp. agua}}} + \frac{C}{1000 * P_{\text{esp. C.}}} + \frac{A.G.}{1000 * P_{\text{esp. A.G.}}} + \frac{\text{Cont. aire}}{100} \right)$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado fino} \quad 0,3126 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{AGREGADO FINO SECO} = \text{Vol. absoluto A.F.} * P.e. * 1000 \quad 765,914 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

#### Resumen de agregados secos

<b>Cemento.</b>	<b>377,020</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agua</b>	<b>210,000</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado grueso</b>	<b>908,395</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado fino</b>	<b>765,914</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
	<b>2261,329</b> [kg/m <sup>3</sup> ]

#### 8) Ajuste de contenido de humedad

$$\text{Agregado grueso húmedo : Peso A.G. + \% h} \quad 908,758 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Agregado fino húmedo: Peso A.F.+ \% h} \quad 767,676 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Agua real} = \text{Agua est.} - A.G. \text{ húm} * \left( \frac{\%h. A.G. - \%abs. A.G.}{100} \right) - A.F. \text{ húm} * \left( \frac{\%h. A.F. - \%abs. A.F.}{100} \right)$$

El agua real que se añadirá a la mezcla por aporte de agregados Am 226,71 [kg/m3]  
 Los pesos estimados de materiales para 1 m3 de Hº, corregidos por humedad:

<b>Cemento.</b>			<b>377,020</b> [kg/m3]
<b>Agua</b>			<b>226,711</b> [kg/m3]
Agregado grueso húmedo			<b>908,758</b> [kg/m3]
<b>Brita 1</b>	<b>3/4"</b>	<b>15%</b>	136,314 [kg/m3]
<b>Brita 5/8"</b>	<b>5/8"</b>	<b>60%</b>	545,255 [kg/m3]
<b>Brita Cero</b>	<b>3/8"</b>	<b>25%</b>	227,190 [kg/m3]
Agregado fino húmedo			<b>767,676</b> [kg/m3]
<b>Polvo de brita</b>		<b>80%</b>	614,141 [kg/m3]
<b>Arena del río Acre</b>		<b>20%</b>	153,535 [kg/m3]
			<b>Σ 2280,165</b> [kg/m3]

### 9) Mezcla de Prueba

Diámetro molde	d	0,150 [m]
Altura molde	h	0,300 [m]
Número de cilindros		<b>6</b>

$$V_{cilindro} = \pi * \frac{d^2}{4} * h \quad 0,0053 \text{ [m3]}$$

Pérdidas		<b>18%</b>
Volumen n.cilindros + % pérdidas	0,03753 [m3]	37,53 [Litros]

Volumen mezcla, ensayo en laboratorio

<b>Cemento.</b>			<b>0,03753</b> [m3]
<b>Agua</b>			<b>14,151</b> [kg]
Agregado grueso húmedo		<b>A/C 0,601</b>	<b>8,509</b> [kg]
			<b>34,109</b> [kg]
<b>Brita 1</b>	<b>3/4"</b>	<b>15%</b>	5,116 [kg]
<b>Brita 5/8"</b>	<b>5/8"</b>	<b>60%</b>	20,466 [kg]
<b>Brita Cero</b>	<b>3/8"</b>	<b>25%</b>	8,527 [kg]
Agregado fino húmedo			<b>28,814</b> [kg]
<b>Polvo de brita</b>		<b>80%</b>	23,051 [kg]
<b>Arena del río Acre</b>		<b>20%</b>	5,763 [kg]
			<b>Σ 85,584</b> [kg]

### Anexo 9. Resistencia media por rotura de cilindros de hormigón, cemento Yura HE (con base en los resultados que se muestran en las tablas 3.35, 3.36, y 3.37)

DESCRIPCIÓN	Valor [Mpa]	Promedio [Mpa]
Resistencia promedio a los 7 días	33,263	<b>32,276</b>
Resistencia promedio a los 14 días	31,899	
Resistencia promedio a los 28 días	31,666	

Fuente: elaboración propia

**Anexo 10. Análisis de precio unitario de hormigón con piedra triturada,  
cemento Viacha IP30, H21**

**ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO**

PROYECTO: TESIS DE GRADO

Actividad: ELABORACIÓN DE HORMIGÓN H21 CON PIEDRA TRITURADA

Unitario: m3

Cantidad: 1.00

Moneda: BOLIVIANOS

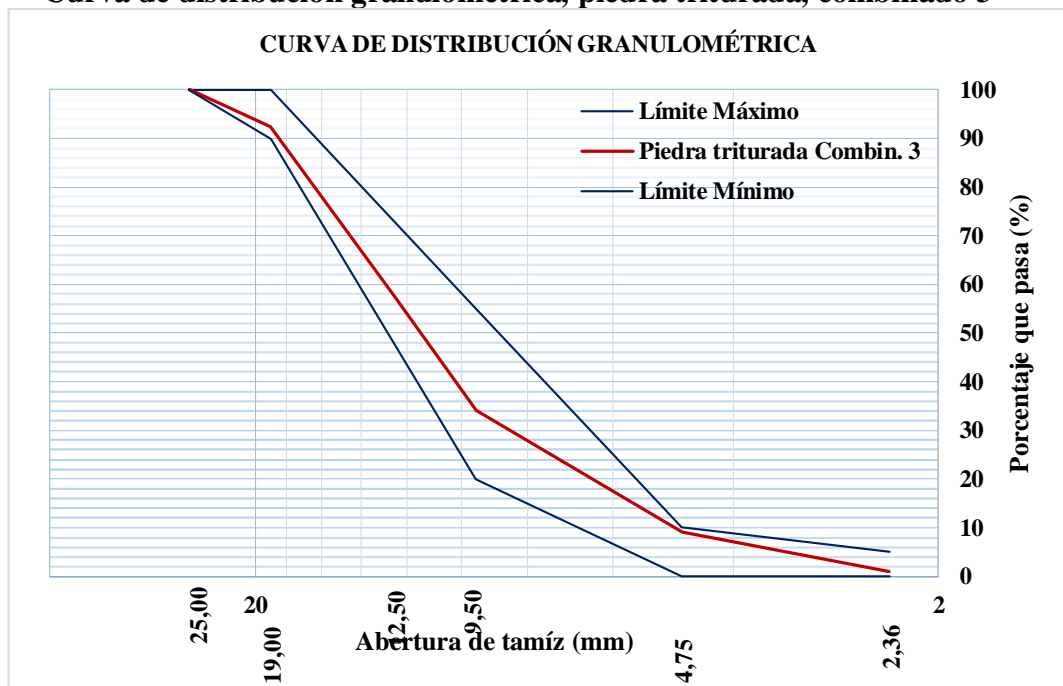
Descripción	Unidad	Dosi fic.	Material húmedo	Peso Unitario	Rendi- miento	Precio Unitario	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>							
Cemento Viacha IP 30	[kg/m3]		377,020			1,480	557,99
Agua	[kg/m3]		226,310			0,000	0,00
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	[kg/m3]		908,758				
Brita 1 (3/4")	[kg/m3]	15%	136,314	1393,144	0,098	550,000	53,82
Brita 5/8" (5/8")	[kg/m3]	60%	545,255	1482,502	0,368	550,000	202,29
Brita cero (3/8")	[kg/m3]	25%	227,190	1457,283	0,156	550,000	85,74
AGREGADO FINO HÚMEDO	[kg/m3]		743,435				
Polvo de brita No 4	[kg/m3]	80%	594,748	1779,719	0,334	610,000	203,85
Arena fina del río Acre	[kg/m3]	20%	148,687	1524,254	0,098	35,000	3,41
<b>TOTAL MATERIALES</b>							<b>1.107,100</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>							
LABORATORISTA	HR.		14,000			15,000	210,00
AYUDANTE	HR.		12,000			18,750	225,00
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA						55,00%	239,250
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES						0,00%	0,000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>							<b>674,250</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							
Mezcladora	HR.				1,000	24,000	24,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA						5,00%	33,713
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							<b>57,713</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>							
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3						10,00%	183,906
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>							<b>183,906</b>
<b>5. UTILIDAD</b>							
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4						10,00%	202,297
<b>TOTAL UTILIDAD</b>							<b>202,297</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>							
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5						0,00%	0,000
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>							<b>0,000</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>							<b>2.225,266</b>

### Anexo 11. Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

Mallas Estándar	DIÁMETRO [mm]	Brita 3/4"	% 15	Brita 5/8"	% 60	Brita 3/8"	% 25	Límite Mín.	COMB. 16	Límite Máx.
1"	25,00	100	15	100	60	100	25	100	<b>100</b>	100
3/4"	19,00	50	7	100	60	100	25	90	<b>92</b>	100
1/2"	12,50	0	0	54	32	100	25	25	<b>57</b>	60
3/8"	9,50	0	0	16	10	98	25	20	<b>34</b>	55
No 4	4,75	0	0	0	0	35	9	0	<b>9</b>	10
No 8	2,36	0	0	0	0	3	1	0	<b>1</b>	5

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 3



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 3

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,69	
Peso unitario suelto	1300,89	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1462,79	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,04	%
Porcentaje de absorción	0,48	%
Módulo de finura	3,09	

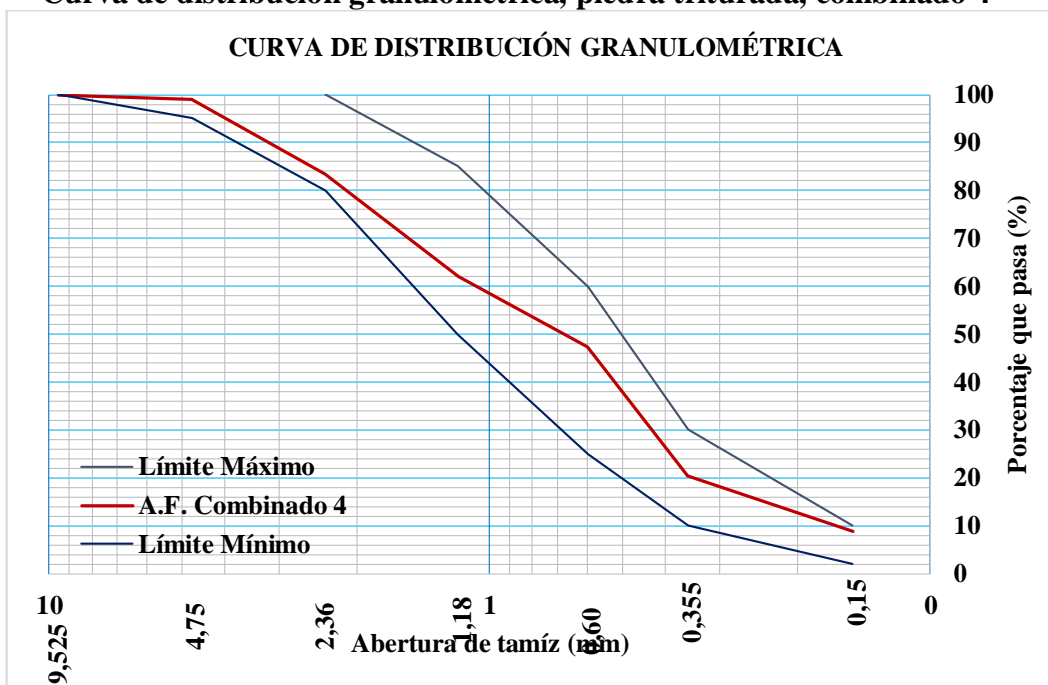
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 12. Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

MALLAS ESTÁNDAR	DIÁMETRO [mm]	POLVO BRITA	% 80	ARENA FINA	% 20	LÍMITE Mín.	COMB. 4	LÍMITE Máx.
3/8"	9,525	100	80	100	20	100	<b>100</b>	100
No.4	4,75	99	79	100	20	95	<b>99</b>	100
No.8	2,36	79	63	100	20	80	<b>83</b>	100
No.16	1,18	53	42	100	20	50	<b>62</b>	85
No.30	0,60	34	27	100	20	25	<b>47</b>	60
No. 50	0,355	20	16	23	5	10	<b>20</b>	30
No.100	0,15	10	8	4	1	2	<b>9</b>	10

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 4



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 4

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,45	
Peso unitario suelto	1480,97	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1715,85	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,23	%
Porcentaje de absorción	1,89	%
Módulo de finura	2,79	

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 13. Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada, cemento Viacha H25

DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI 211.1

PIEDRA TRITURADA

H25

### I. MATERIALES

Cemento : Viacha IP 30

Peso específico: 2190 kg/m<sup>3</sup>

2,19 [g/cm<sup>3</sup>]

Agua : De la red, servicio público

Agregados :

Tabla1. Propiedades de los materiales en estado natural

AGREGADOS	%hume- dad	% Absor- ción	Peso específico	PUC (kg/m <sup>3</sup> )	M.F.
Agregado Grueso	0,04	0,48	2,69	1462,79	
Agregado Fino	0,23	1,89	2,45	1715,85	2,79

### II. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.

Resistencia Característica del hormigón especificada

25 [Mpa]

Tabla 2. Resistencia a Compresión media cuando no hay datos Disponibles para Establecer Desviación Estándar

Resistencia a compresión especificada	Resistencia a compresión media requerida
f'c (Mpa)	f'cr (Mpa)
Menos de 21	f'c + 7
21 a 35	f'c + 8,5
Más de 35	f'c + 5

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI318-2002

$$f'cr = f'c + 8,5$$

33,5 [Mpa]

### III DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL

1) Selección de revenimiento.

En la tabla revenimientos recomendados para varios tipos de construcción de 25 mm (1") a 50 mm (2")

Revenimiento = 5 [cm]

2) Selección de tamaño nominal del agregado.

De granulometría del agregado grueso, corresponde el tamaño máximo nominal,

19 [mm]

3) Estimación de la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire.

De la tabla. Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado, con revenimiento de 1" a 2" y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 25 mm (1"), adecuado a los materiales de la región.

210 [kg/m<sup>3</sup>]

El contenido de aire atrapado : 2 %

**4) Selección de relación agua-cemento**

De la tabla resistencia a compresión y la relación agua-cemento, en un hormigón sin aire incorporado.

Interpolación:

$f_{cm,28}$	A/C
30	0,55
33,50	0,501
25	0,62

A/C se modifica de acuerdo a materiales del contexto A/C 0,5

**5) Cálculo de la cantidad de cemento.**

$$C_{\text{Requerido}} = \frac{\text{Cantidad estimado de Agua}}{A/C} \quad \mathbf{420,000} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

**6) Estimación de la cantidad de agregado grueso**

De la tabla, volumen de agregado grueso por volumen unitario del concreto, con módulo de finura 2,79 y con TMN del agregado grueso de 19 mm

Interpolación:

	M.F.		
	2,60	2,79	2,80
19 mm	0,64	0,621	0,62

$$\text{AGREGADO GRUESO SECO} = P.U.C. * V_{u.H^3} \quad \mathbf{908,393} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

**7) Estimación de contenido agregado fino.**

Por volúmenes absolutos:

$$V_{A.F.} = 1 - \left( \frac{A}{1000 * P_{\text{esp. agua}}} + \frac{C}{1000 * P_{\text{esp. C.}}} + \frac{A. G.}{1000 * P_{\text{esp. A. G.}}} + \frac{\text{Cont. aire}}{100} \right)$$

Volumen absoluto del agregado fino 0,2405 [m<sup>3</sup>]

$$\text{AGREGADO FINO SECO} = \text{Vol. absoluto A.F.} * P.e. * 1000 \quad \mathbf{589,291} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

**Resumen de agregados secos**

<b>Cemento.</b>	<b>420,000</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agua</b>	<b>210,000</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado grueso</b>	<b>908,393</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado fino</b>	<b>589,291</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
	<b>2127,683</b> [kg/m <sup>3</sup> ]

### 8) Ajuste de contenido de humedad

Agregado grueso húmedo : Peso A.G + %h 908,756 [kg/m3]

Agregado fino húmedo: Peso A.F.+ %h 590,646 [kg/m3]

$$\text{Agua real} = \text{Agua est.} - \text{A. G. húm} * \left( \frac{\%h. \text{A. G} - \%abs. \text{A. G}}{100} \right) - \text{A. F. húm} * \left( \frac{\%h. \text{A. F} - \%abs. \text{A. F}}{100} \right)$$

El agua real que se añadirá a la mezcla por aporte de agregados Am 223,78 [kg/m3]

Los pesos estimados de materiales para 1 m3 de H°, corregidos por humedad:

<b>Cemento.</b>	<b>420,000</b> [kg/m3]
<b>Agua</b>	<b>223,779</b> [kg/m3]
Agregado grueso húmedo	<b>908,756</b> [kg/m3]
<b>Brita 1 3/4"</b> <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">15%</span>	136,313 kg
<b>Brita 5/8"</b> <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">60%</span>	545,254
<b>Brita Cero 3/8"</b> <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">25%</span>	227,189
Agregado fino húmedo	<b>590,646</b> [kg/m3]
<b>Polvo de brita</b> <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">80%</span>	472,517 kg
<b>Arena del río Acre</b> <span style="background-color: #90EE90; padding: 2px;">20%</span>	118,129 kg
<b>Σ</b>	<b>2143,181</b> [kg/m3]

### Anexo 14. Rotura de cilindros a compresión, resistencia característica H25

COMPRESIÓN DE CILINDROS DE ENSAYOS DE PRUEBA H25											
Cemento viacha: 420 [kg/m3]					Agregado Grueso: 3/4" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%)						
Agua: 210 [kg/m3]					Agregado Fino: No 4 (80%), Arena Fina (20%)						
A/C: 0,5											
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS							RESULTADO DEL ENSAYO				
N°	Edad [días]	Slump [mm]	Diá metro [mm]	Altura [mm]	Peso Cilindro [kg]	Densidad Cilindro [kg/m3]	Carga Rotura [N]	Resisten cia rotura [N/mm2]	AASHTTO T-22 $\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	Edad 28 [días]	Prome- medio [MPa]
1	7	57	154	305	12,866	2264,709	343117	19,416	0,722	26,885	<b>29,785</b>
2	7	57	154	305	12,932	2276,326	379675	21,485	0,722	29,750	
3	7	57	154	305	13,204	2324,205	417574	23,630	0,722	32,720	
4	14	57	154	305	13,218	2326,669	425808	24,096	0,853	28,252	<b>28,318</b>
5	14	57	154	305	12,939	2277,559	418863	23,703	0,853	27,791	
6	14	57	154	305	12,911	2272,630	435749	24,658	0,853	28,912	
7	28	57	154	304	13,79	2435,339	492579	27,874	1,000	27,876	<b>28,270</b>
8	28	57	154	305	13,074	2301,322	514122	29,093	1,000	29,096	
9	28	57	154	304	12,842	2267,920	491890	27,835	1,000	27,837	
RESISTENCIA PROMEDIO A 28 DÍAS:											<b>28,791</b>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 15. Análisis de precio unitario, hormigón de piedra triturada, H25

### ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

PROYECTO: TESIS DE GRADO

Actividad: ELABORACIÓN DE HORMIGÓN H25 CON PIEDRA TRITURADA

Unitario: m3

Cantidad: 1.00

Moneda: BOLIVIANOS

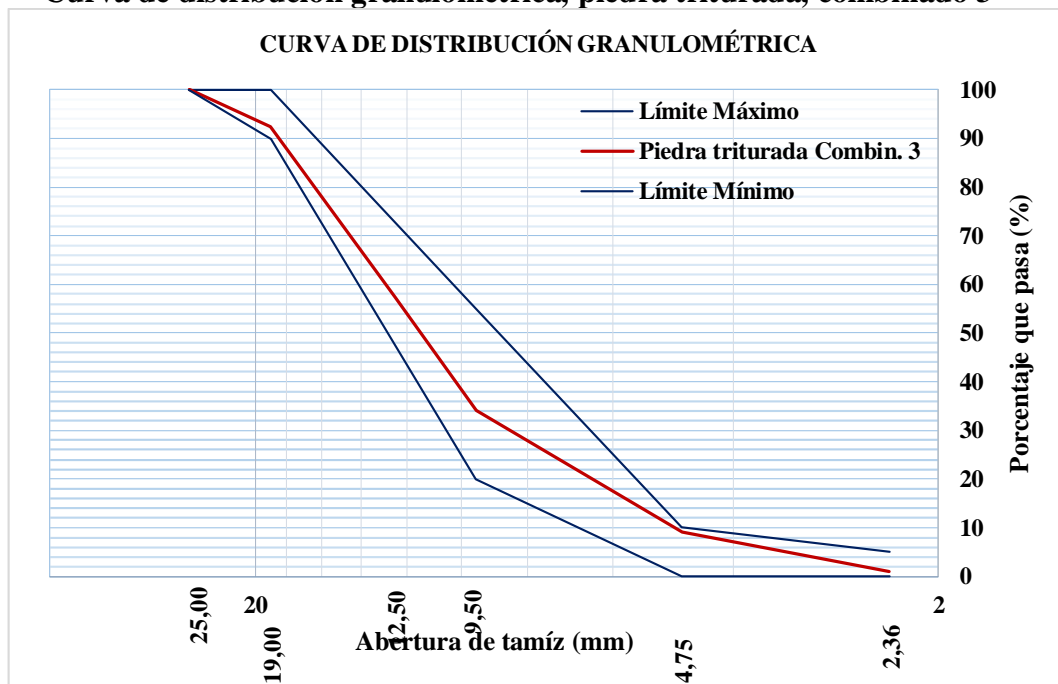
Descripción	Unidad	Dosi fic.	Material húmedo	Peso Unitario	Rendi- miento	Precio Unitario	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>							
Cemento Viacha	[kg/m3]		420,000			1,480	621,60
Agua	[kg/m3]		223,779			0,000	0,00
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	[kg/m3]		908,756				
Brita 1 (3/4")	[kg/m3]	15%	136,313	1393,144	0,098	550,000	53,82
Brita 5/8" (5/8")	[kg/m3]	60%	545,254	1482,502	0,368	550,000	202,29
Brita cero (3/8")	[kg/m3]	25%	227,189	1457,283	0,156	550,000	85,74
AGREGADO FINO HÚMEDO	[kg/m3]		590,646				
Polvo de brita No 4	[kg/m3]	80%	472,517	1779,719	0,266	610,000	161,96
Arena fina del río Acre	[kg/m3]	20%	118,129	1524,254	0,077	35,000	2,71
<b>TOTAL MATERIALES</b>							<b>1.128,114</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>							
LABORATORISTA	HR.		14,000			15,000	210,00
AYUDANTE	HR.		12,000			18,750	225,00
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA						55,00%	239,250
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES						0,00%	0,000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>							<b>674,250</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							
Mezcladora	HR.				1,000	24,000	24,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA						5,00%	33,713
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							<b>57,713</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>							
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3						10,00%	186,008
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>							<b>186,008</b>
<b>5. UTILIDAD</b>							
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4						10,00%	204,608
<b>TOTAL UTILIDAD</b>							<b>204,608</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>							
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5						0,00%	0,000
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>							<b>0,000</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>							<b>2.250,692</b>

### Anexo 16. Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

Mallas Estándar	DIÁMETRO [mm]	Brita 3/4"	% 15	Brita 5/8"	% 60	Brita 3/8"	% 25	Límite Mín.	COMB. 16	Límite Máx.
1"	25,00	100	15	100	60	100	25	100	<b>100</b>	100
3/4"	19,00	50	7	100	60	100	25	90	<b>92</b>	100
1/2"	12,50	0	0	54	32	100	25	25	<b>57</b>	60
3/8"	9,50	0	0	16	10	98	25	20	<b>34</b>	55
No 4	4,75	0	0	0	0	35	9	0	<b>9</b>	10
No 8	2,36	0	0	0	0	3	1	0	<b>1</b>	5

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 3



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 3

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,69	
Peso unitario suelto	1300,89	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1462,79	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,04	%
Porcentaje de absorción	0,48	%
Módulo de finura	3,09	

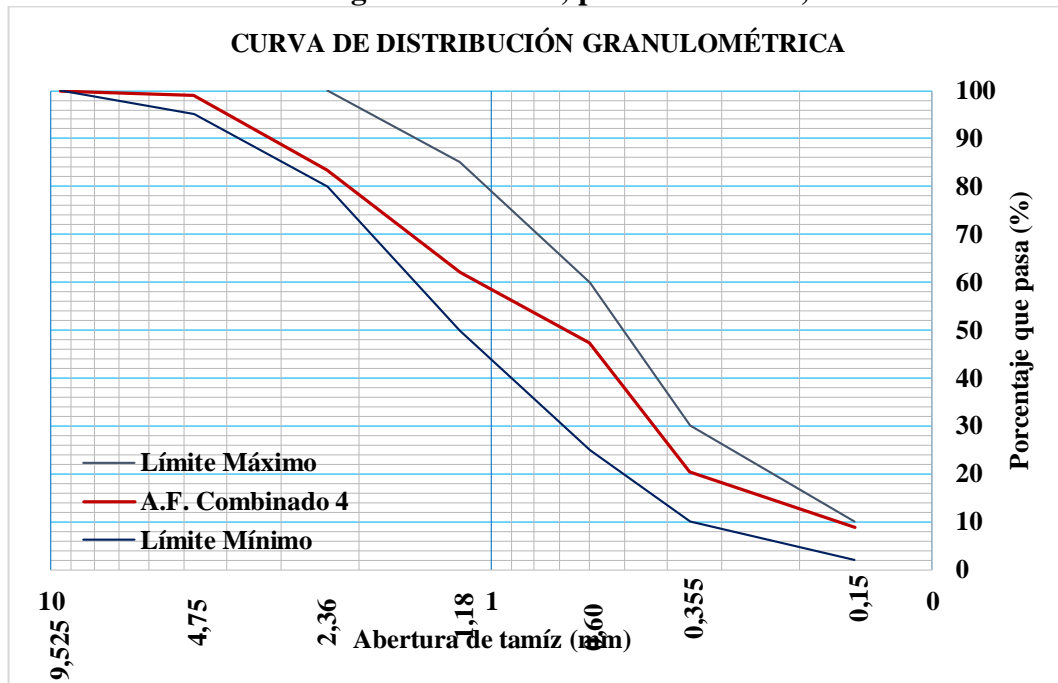
Fuente: Elaboración propia

### Anexo 17. Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

MALLAS ESTÁNDAR	DIÁMETRO [mm]	POLVO BRITA	% 80	ARENA FINA	% 20	LÍMITE Mín.	COMB. 4	LÍMITE Máx.
3/8"	9,525	100	80	100	20	100	<b>100</b>	100
No.4	4,75	99	79	100	20	95	<b>99</b>	100
No.8	2,36	79	63	100	20	80	<b>83</b>	100
No.16	1,18	53	42	100	20	50	<b>62</b>	85
No.30	0,60	34	27	100	20	25	<b>47</b>	60
No. 50	0,355	20	16	23	5	10	<b>20</b>	30
No.100	0,15	10	8	4	1	2	<b>9</b>	10

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 4



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 4

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,45	
Peso unitario suelto	1480,97	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1715,85	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,23	%
Porcentaje de absorción	1,89	%
Módulo de finura	2,79	

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 18. Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada, cemento Yura HE, H25

DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI 211.1

PIEDRA TRITURADA

H25

### I. MATERIALES

Cemento: Yura Industrial HE

Peso específico: 3150 kg/m<sup>3</sup>

3,15 [g/cm<sup>3</sup>]

Agua: De la red, servicio público

Agregados :

Tabla1. Propiedades de los materiales en estado natural

AGREGADOS	%humedad	% Absorción	Peso específico	PUC (kg/m <sup>3</sup> )	M.F.
Agregado Grueso	0,04	0,48	2,69	1462,79	
Agregado Fino	0,23	1,89	2,45	1715,85	2,79

### II. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.

Resistencia Característica del hormigón especificada

f<sub>c</sub>

25 [Mpa]

Tabla 2. Resistencia a Compresión media cuando no hay datos Disponibles para Establecer Desviación Estándar

Resistencia a compresión especificada	Resistencia a compresión media requerida
f <sub>c</sub> (Mpa)	f <sub>cr</sub> (Mpa)
Menos de 21	f <sub>c</sub> + 7
21 a 35	f <sub>c</sub> + 8,5
Más de 35	f <sub>c</sub> + 5

$$f_{cr} = f_c + 8,5$$

33,5 [Mpa]

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI 318-2002

### III DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL

1) Selección de revenimiento.

En la tabla revenimientos recomendados para varios tipos de construcción de 25 mm (1") a 50 mm (2")

Revenimiento = 5 [cm]

2) Selección de tamaño nominal del agregado.

De granulometría del agregado grueso, corresponde el tamaño máximo nominal,

19 [mm]

3) Estimación de la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire.

De la tabla. Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado, con revenimiento de 1" a 2" y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 25 mm (1"), adecuado a los materiales de la región.

210 [kg/m<sup>3</sup>]

El contenido de aire atrapado :

2 %

#### 4) Selección de relación agua-cemento

De la tabla resistencia a compresión y la relación agua-cemento, en un hormigón sin aire incorporado.

	$f_{cm28}$	A/C	
Interpolación:	30	0,55	
	33,50	0,501	A/C 0,501
	25	0,62	

#### 5) Cálculo de la cantidad de cemento.

$$C_{\text{Requerido}} = \frac{\text{Cantidad estimado de Agua}}{A/C} \quad \mathbf{419,162} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

#### 6) Estimación de la cantidad de agregado grueso

De la tabla, volumen de agregado grueso por volumen unitario del concreto, con módulo de finura 2,79 y con TMN del agregado grueso de 19 mm

Interpolación:

	M.F.		
19 mm	2,60	2,79	2,80
	0,64	0,621	0,62

$$\text{AGREGADO GRUESO SECO} = \text{P.U.C.} * V_{u.H} \quad \mathbf{908,395} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

#### 7) Estimación de contenido agregado fino.

Por volúmenes absolutos:

$$V_{A.F.} = 1 - \left( \frac{A}{1000 * P_{\text{esp. agua}}} + \frac{C}{1000 * P_{\text{esp. C.}}} + \frac{A. G.}{1000 * P_{\text{esp. A. G.}}} + \frac{\text{Cont. aire}}{100} \right)$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado fino} \quad 0,2992 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{AGREGADO FINO SECO} = \text{Vol. absoluto A.F.} * \text{P.e.} * 1000 \quad \mathbf{733,137} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

#### Resumen de agregados secos

<b>Cemento.</b>	<b>419,162</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agua</b>	<b>210,000</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado grueso</b>	<b>908,395</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado fino</b>	<b>733,137</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
	<b>2270,693</b> [kg/m <sup>3</sup> ]

#### 8) Ajuste de contenido de humedad

$$\text{Agregado grueso húmedo : Peso A.G. + \% h} \quad 908,758 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Agregado fino húmedo: Peso A.F.+ \% h} \quad 734,823 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{Agua real} = \text{Agua est.} - \text{A. G. húm} * \left( \frac{\%h. A. G - \%abs. A. G}{100} \right) - \text{A. F. húm} * \left( \frac{\%h. A. F - \%abs. A. F}{100} \right)$$

El agua real que se añadirá a la mezcla por aporte de agregados Am 226,17 [kg/m3]  
 Los pesos estimados de materiales para 1 m3 de Hº, corregidos por humedad:

<b>Cemento.</b>			<b>419,162</b> [kg/m3]
<b>Agua</b>			<b>226,167</b> [kg/m3]
Agregado grueso húmedo			<b>908,758</b> [kg/m3]
<b>Brita 1</b>	<b>3/4"</b>	<b>15%</b>	136,314 [kg/m3]
<b>Brita 5/8"</b>	<b>5/8"</b>	<b>60%</b>	545,255 [kg/m3]
<b>Brita Cero</b>	<b>3/8"</b>	<b>25%</b>	227,190 [kg/m3]
Agregado fino húmedo			<b>734,823</b> [kg/m3]
<b>Polvo de brita</b>		<b>80%</b>	587,859 [kg/m3]
<b>Arena del río Acre</b>		<b>20%</b>	146,965 [kg/m3]
			<b>Σ 2288,910</b> [kg/m3]

### 9) Mezcla de Prueba

Diámetro molde	d	0,150 [m]
Altura molde	h	0,300 [m]
Número de cilindros		<b>6</b>

$$V_{cilindro} = \pi * \frac{d^2}{4} * h \quad 0,0053 \text{ [m3]}$$

Pérdidas		<b>18%</b>	
Volumen n.cilindros + % pérdidas		0,03753 [m3]	37,53 [Litros]

Volumen mezcla, ensayo en laboratorio

<b>Cemento.</b>			<b>0,03753</b> [m3]
<b>Agua</b>			<b>15,733</b> [kg]
Agregado grueso húmedo			<b>8,489</b> [kg]
<b>Brita 1</b>	<b>3/4"</b>	<b>15%</b>	<b>5,116</b> [kg]
<b>Brita 5/8"</b>	<b>5/8"</b>	<b>60%</b>	<b>20,466</b> [kg]
<b>Brita Cero</b>	<b>3/8"</b>	<b>25%</b>	<b>8,527</b> [kg]
Agregado fino húmedo			<b>27,581</b> [kg]
<b>Polvo de brita</b>		<b>80%</b>	22,065 [kg]
<b>Arena del río Acre</b>		<b>20%</b>	5,516 [kg]
			<b>Σ 85,912</b> [kg]

A/C 0,540

## Anexo 19. Rotura de cilindros de hormigón a compresión, H25

COMPRESIÓN DE CILINDROS DE ENSAYOS DE PRUEBA H25											
Cemento Yura HE: 419,162 [kg/m3]						Agregado Grueso: 3/4" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%)					
Agua: 210,00 [kg/m3]						Agregado Fino: No 4 (80%), Arena Fina (20%)					
A/C: 0,501											
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS						RESULTADO DEL ENSAYO					
N°	Edad [días]	Slump [mm]	Diámetro [mm]	Altura [mm]	Peso Cilindro [kg]	Densidad Cilindro [kg/m3]	Carga Rotura [N]	Resistencia rotura [N/mm2]	AASHTO T-22 $\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	Edad 28 [días]	Promedio [MPa]
1	7	59	154	305	12,841	2260,308	445431	25,206	0,722	34,902	
2	7	59	154	305	13,2	2323,500	462599	26,178	0,722	36,248	
3	7	59	154	306	12,842	2253,097	466993	26,426	0,722	36,592	<b>35,914</b>
4	28	50	154	305	12,868	2265,061	593131	33,564	1,000	33,567	
5	28	50	154	305	12,905	2271,574	592883	33,550	1,000	33,553	
6	28	50	154	304	12,919	2281,518	592743	33,542	1,000	33,545	<b>33,555</b>
RESISTENCIA PROMEDIO A 28 DÍAS:											<b>34,734</b>

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 20. Análisis de precio unitario de hormigón de piedra triturada, cemento Yura HE, H25

### ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO

PROYECTO: TESIS DE GRADO

Actividad: ELABORACIÓN DE HORMIGÓN H25 CON PIEDRA TRITURADA

Unitario: m3

Cantidad: 1.00

Moneda: BOLIVIANOS

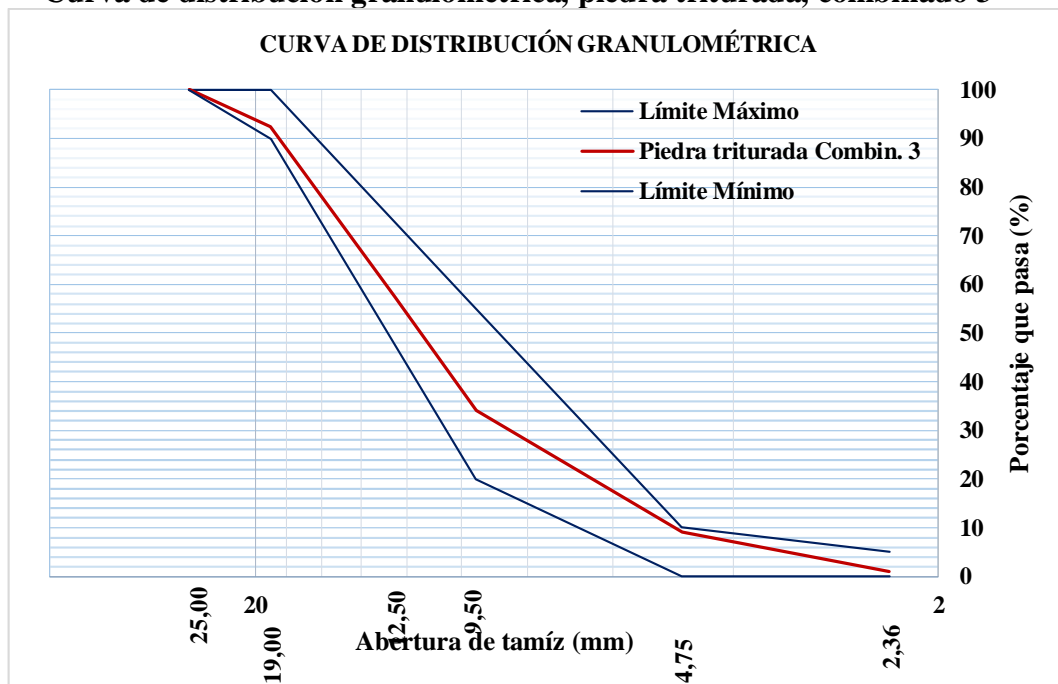
Descripción	Unidad	Dosi fic.	Material húmedo	Peso Unitario	Rendi- miento	Precio Unitario	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>							
Cemento Yura HE	[kg/m3]		<b>419,162</b>			1,390	582,63
Agua	[kg/m3]		<b>226,167</b>			0,000	0,00
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	[kg/m3]		908,758				
<b>Brita 1 (3/4")</b>	[kg/m3]	15%	<b>136,314</b>	1393,144	0,098	550,000	53,82
<b>Brita 5/8" (5/8")</b>	[kg/m3]	60%	<b>545,255</b>	1482,502	0,368	550,000	202,29
<b>Brita cero (3/8")</b>	[kg/m3]	25%	<b>227,190</b>	1457,283	0,156	550,000	85,74
AGREGADO FINO HÚMEDO	[kg/m3]		734,823				
<b>Polvo de brita No 4</b>	[kg/m3]	80%	<b>587,859</b>	1779,719	0,330	610,000	201,49
<b>Arena fina del río Acre</b>	[kg/m3]	20%	<b>146,965</b>	1524,254	0,096	35,000	3,37
<b>TOTAL MATERIALES</b>							<b>1.129,345</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>							
LABORATORISTA	HR.		14,000			15,000	210,00
AYUDANTE	HR.		12,000			18,750	225,00
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA						55,00%	239,250
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES						0,00%	0,000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>							<b>674,250</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							
Mezcladora	HR.				1,000	24,000	24,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA						5,00%	33,713
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							<b>57,713</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>							
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3						10,00%	186,131
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>							<b>186,131</b>
<b>5. UTILIDAD</b>							
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4						10,00%	204,744
<b>TOTAL UTILIDAD</b>							<b>204,744</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>							
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5						0,00%	0,000
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>							<b>0,000</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>							<b>2.252,182</b>

### Anexo 21. Combinación 3, agregado grueso, piedra triturada

Mallas Estándar	DIÁMETRO [mm]	Brita 3/4"	% 15	Brita 5/8"	% 60	Brita 3/8"	% 25	Límite Mín.	COMB. 16	Límite Máx.
1"	25,00	100	15	100	60	100	25	100	<b>100</b>	100
3/4"	19,00	50	7	100	60	100	25	90	<b>92</b>	100
1/2"	12,50	0	0	54	32	100	25	25	<b>57</b>	60
3/8"	9,50	0	0	16	10	98	25	20	<b>34</b>	55
No 4	4,75	0	0	0	0	35	9	0	<b>9</b>	10
No 8	2,36	0	0	0	0	3	1	0	<b>1</b>	5

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 3



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 3

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,69	
Peso unitario suelto	1300,89	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1462,79	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,04	%
Porcentaje de absorción	0,48	%
Módulo de finura	3,09	

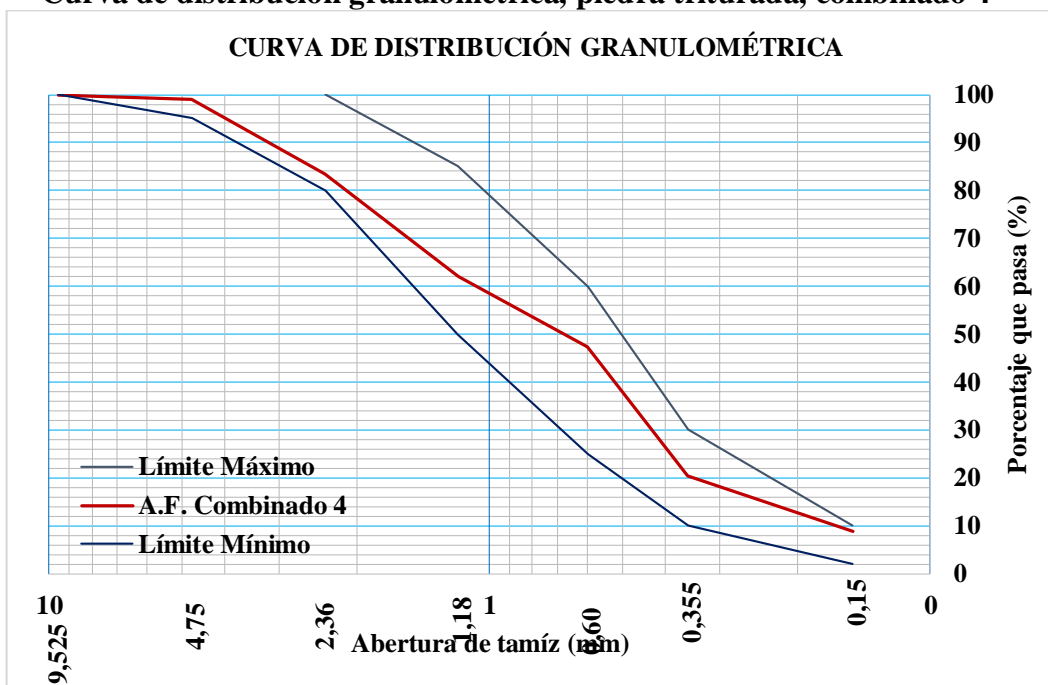
Fuente: Elaboración propia

## Anexo 22. Combinación 4, agregado fino, piedra triturada

MALLAS ESTÁNDAR	DIÁMETRO [mm]	POLVO BRITA	% 80	ARENA FINA	% 20	LÍMITE Mín.	COMB. 4	LÍMITE Máx.
3/8"	9,525	100	80	100	20	100	<b>100</b>	100
No.4	4,75	99	79	100	20	95	<b>99</b>	100
No.8	2,36	79	63	100	20	80	<b>83</b>	100
No.16	1,18	53	42	100	20	50	<b>62</b>	85
No.30	0,60	34	27	100	20	25	<b>47</b>	60
No. 50	0,355	20	16	23	5	10	<b>20</b>	30
No.100	0,15	10	8	4	1	2	<b>9</b>	10

Fuente: Elaboración propia

### Curva de distribución granulométrica, piedra triturada, combinado 4



Fuente: Elaboración propia

### Características físicas de la muestra, combinación 4

CARACTERÍSTICA	CANTIDAD	UNIDAD
Peso específico (Gravedad específica)	2,45	
Peso unitario suelto	1480,97	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1715,85	kg/m <sup>3</sup>
Porcentaje de humedad	0,23	%
Porcentaje de absorción	1,89	%
Módulo de finura	2,79	

Fuente: Elaboración propia

## Anexo 23. Diseño de mezcla, norma ACI 211.1, piedra triturada, cemento Yura HE, H35

DISEÑO DE MEZCLA NORMA ACI 211.1 PIEDRA TRITURADA H35 PLASTIFICANTE

### I. MATERIALES

Cemento: Yura Industrial HE

Peso específico: 3150 kg/m<sup>3</sup>

3,150 [g/cm<sup>3</sup>]

Agua: De la red, servicio público

Agregados :

Tabla1. Propiedades de los materiales en estado natural

AGREGADOS	%humedad	% Absorción	Peso específico	PUC (kg/m <sup>3</sup> )	M.F.
Agregado Grueso	0,04	0,48	2,69	1462,79	
Agregado Fino	0,23	1,89	2,45	1715,85	2,79

### II. DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDA.

Resistencia Característica del hormigón especificada

f'<sub>c</sub>

35 [Mpa]

Tabla 2. Resistencia a Compresión media cuando no hay datos Disponibles para Establecer Desviación Estándar

Resistencia a compresión especificada	Resistencia a compresión media requerida
f' <sub>c</sub> (Mpa)	f' <sub>cr</sub> (Mpa)
Menos de 21	f' <sub>c</sub> + 7
21 a 35	f' <sub>c</sub> + 8,5
Más de 35	f' <sub>c</sub> + 5

$$f'_{cr} = f'_c + 8,5 \quad 43,5 \quad [\text{Mpa}]$$

Fuente: Tabla 5.3.2.2 ACI 318-2002

### III DISEÑO Y PROPORCIONAMIENTO DE MEZCLAS DE CONCRETO NORMAL

#### 1) Selección de revenimiento.

En la tabla revenimientos recomendados para varios tipos de construcción de 25 mm (1") a 50 mm (2")

$$\text{Revenimiento} = 5 \quad [\text{cm}]$$

#### 2) Selección de tamaño nominal del agregado.

De granulometría del agregado grueso, corresponde el tamaño máximo nominal,

19 [mm]

#### 3) Estimación de la cantidad de agua de mezclado y contenido de aire.

De la tabla. Requisitos Aproximados de Agua de Mezcla y Contenido de Aire para diferentes Revenimientos y Tamaños Máximos Nominales del Agregado, con revenimiento de 1" a 2" y tamaño máximo nominal del agregado grueso de 25 mm (1"), adecuado a los materiales de la región.

210 [kg/m<sup>3</sup>]

El contenido de aire atrapado :

2 %

#### 4) Selección de relación agua-cemento

De la tabla resistencia a compresión y la relación agua-cemento, en un hormigón sin aire incorporado.

**Tabla 3. Dependencia entre la Relación Agua-Material Cementante y la resistencia a compresión del Concreto [ACI211]**

Resistencia a compresión a los 28 días		Relación agua-material en masa	
		Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
kg/cm <sup>2</sup>	Mpa		
450	<b>45</b>	<b>0.38</b>	0.31
400	<b>40</b>	<b>0.43</b>	0.34
350	35	0.48	0.40
300	30	0.55	0.46
250	25	0.62	0.53
200	20	0.70	0.61
150	15	0.80	0.72

Interpolación:

<b>45</b>	<b>0,38</b>
<b>43,50</b>	0,395
<b>40</b>	<b>0,43</b>

A/C **0,395**

Fuente: Tabla 5,3,4(a) ACI 211

Modificación de relación A/C de acuerdo al tipo de cemento

A/C Modificado **0,45**

#### 5) Cálculo de la cantidad de cemento.

El factor cemento se determina dividiendo el volumen unitario del agua entre la relación agua-cemento

$$C_{\text{Requerido}} = \frac{\text{Cantidad estimado de Agua}}{\text{A/C}} \quad 466,667 \text{ kg/m}^3$$

#### Cantidad de Plastificante (ASTM C494 TIPO D)

Plastificante Roka **0,30%** n% \* Cemento (C) **1,400** [kg/m<sup>3</sup>]

#### 6) Estimación de la cantidad de agregado grueso

En tabla 4, con un módulo de finura 2,79 y con tamaño máximo nominal del agregado grueso 19 mm

**Tabla.4. Volumen de agregado grueso por volumen Unitario de Concreto**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado		Volumen del agregado grueso varillado en seco por volumen unitario del concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino*			
		2,40	<b>2,60</b>	<b>2,80</b>	3,00
mm	pulg.				
9,5	3/8"	0,5	0,48	0,46	0,44
12,5	1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19,0	3/4"	0,66	<b>0,64</b>	<b>0,62</b>	0,60
25,0	1"	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69

Interpolación:

<b>2,60</b>	<b>2,79</b>	<b>2,80</b>
<b>0,64</b>	0,621	<b>0,62</b>

50,0	2"	0,78	0,76	0,74	0,72
75,0	3"	0,82	0,80	0,78	0,76
150,0	6"	0,87	0,85	0,83	0,81

\*Los volúmenes se basan en agregados varillados (compactados)  
en seco como descrito en la ASTM C 29 (AASHTO T 19). ACI 211.1.

Fuente: Tabla 5.3.6 ACI211

$$\text{AGREGADO GRUESO SECO} = \text{P.U.C.} * V_{u.H^e} \quad \mathbf{908,395} \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

### 7) Estimación de contenido agregado fino.

Por volúmenes absolutos:

$$V_{A.F.} = 1 - \left( \frac{A}{1000 * P_{esp.A}} + \frac{C}{1000 * P_{esp.C}} + \frac{A.G.}{1000 * P_{esp.A.G.}} + \frac{\text{Plastif.}}{1000 * 1.0} + \frac{\text{Cont. aire}}{100} \right)$$

$$\text{Volumen absoluto del agregado fino} \quad 0,2828 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{AGREGADO FINO SECO} = \text{Vol. absoluto A.F.} * \text{P.e.} * 1000 \quad 692,759 \text{ [kg]}$$

### Resumen de agregados secos

<b>Cemento.</b>	<b>466,667</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agua</b>	<b>210,000</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado grueso</b>	<b>908,395</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado fino</b>	<b>692,759</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
	<b>2277,820</b> [kg/m <sup>3</sup> ]

### 8) Ajuste de contenido de humedad

$$\text{Agregado grueso húmedo : Peso A.G. + \%h} \quad 908,758 \text{ [kg]}$$

$$\text{Agregado fino húmedo: Peso A.F. + \%h} \quad 694,352 \text{ [kg]}$$

$$\text{Agua real} = \text{Agua usada} - \text{Plastif.} - \text{A.G. s.} * \left( \frac{\%h. \text{A.G.} - \%abs. \text{A.G.}}{100} \right) - \text{A.F. s.} * \left( \frac{\%h \text{A.F.} - \%abs. \text{A.F.}}{100} \right)$$

$$\text{El agua real que se añadirá a la mezcla por aporte de agregados} \quad \text{Ar} \quad 224,10 \text{ [kg]}$$

Los pesos estimados de materiales para 1 m<sup>3</sup> de H<sup>o</sup>, corregidos por humedad:

$$\text{Reducción de agua por plastificante} \quad \mathbf{12\%} \quad A_m = A_r (1 - n\%) \quad 197,205 \text{ [kg]}$$

<b>Cemento.</b>		<b>466,667</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agua</b>	<b>A/C</b>	<b>0,423</b> <b>197,205</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Agregado grueso húmedo</b>		<b>908,758</b> [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Brita 1</b>	<b>3/4"</b>	<b>15%</b> 136,31 [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Brita 5/8"</b>	<b>5/8"</b>	<b>60%</b> 545,25 [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Brita Cero</b>	<b>3/8"</b>	<b>25%</b> 227,19 [kg/m <sup>3</sup> ]

<b>Agregado fino húmedo</b>		<b>694,352</b> [kg/m3]
<b>Polvo de brita</b>	<b>80%</b>	555,48 [kg/m3]
<b>Arena del río Acre</b>	<b>20%</b>	138,87 [kg/m3]
<b>Plastificante</b>		<b>1,400</b> [kg/m3]
		<b>Σ = 2268,382</b> [kg/m3]

### 9) Mezcla de Prueba

Diámetro molde	d	0,150 [m]
Altura molde	h	0,300 [m]
Número de cilindros		<b>6</b>

$$V_{cilindro} = \pi * \frac{d^2}{4} * h \quad 0,0053 \text{ [m3]}$$

Pérdidas	<b>18%</b>	
Volumen n.cilindros + % pérdidas	0,03753 [m3]	37,53 [Litros]

Volumen mezcla, ensayo en laboratorio **0,03753** [m3]

<b>Cemento.</b>		<b>17,516</b> [kg]
<b>Agua</b>	A/C <b>0,423</b>	<b>7,402</b> [kg]
<b>Agregado grueso húmedo</b>		<b>34,109</b> [kg]
<b>Brita 1 3/4"</b>	<b>15%</b>	<b>5,116</b> [kg]
<b>Brita 5/8"</b>	<b>60%</b>	<b>20,466</b> [kg]
<b>Brita Cero 3/8"</b>	<b>25%</b>	<b>8,527</b> [kg]
<b>Agregado fino húmedo</b>		<b>26,062</b> [kg]
<b>Polvo de brita</b>	<b>80%</b>	<b>20,850</b> [kg]
<b>Arena del río Acre</b>	<b>20%</b>	<b>5,212</b> [kg]
<b>Plastificante</b>	<b>53</b> [ml]	<b>0,053</b> [kg]
		<b>Σ 85,089</b> [kg]

### Anexo 24. Rotura de cilindros de hormigón, cemento Yura HE, H35

COMPRESIÓN DE CILINDROS ENSAYOS DE PRUEBA										H35	
Cemento Yura HE: 466,667 [kg/m3]					Agregado Grueso: 3/4" (15%), 5/8" (60%), 3/8" (25%)						
Agua: 210,000 [kg/m3]					Agregado Fino: No 4 (80%), Arena Fina (20%)						
A/C: 0,450											
CARACTERÍSTICAS DE LAS MUESTRAS							RESULTADO DEL ENSAYO				
Nº	Edad	Slump	Diámetro	Altura	Peso Cilindro	Densidad Cilindro	Carga Rotura	Resistencia rotura	AASHTTO T-22	Edad	Promedio
	[días]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/m3]	[N]	[N/mm2]	$\frac{1.357 \cdot T + 10}{T + 20}$	28 [días]	[MPa]
1	7	56	154	304	13,264	2342,446	651708	36,879	0,722	51,066	
2	7	56	154	305	12,910	2272,454	577552	32,682	0,722	45,255	
3	7	56	154	306	12,93	2268,537	561473	31,773	0,722	43,995	<b>46,772</b>
4	28	56	154	305	13,359	2351,488	771220	43,642	1,000	43,645	
5	28	56	154	304	13,259	2341,563	752704	42,594	1,000	42,598	
6	28	56	154	305	13,026	2292,873	748680	42,366	1,000	42,370	<b>42,871</b>
<b>RESISTENCIA PROMEDIO A 28 DÍAS:</b>											<b>44,821</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 25. Análisis de precio unitario, hormigón de piedra triturada con cemento Yura HE, H35**

**ANÁLISIS DE PRECIO UNITARIO**

PROYECTO: TESIS DE GRADO

Actividad: ELABORACIÓN DE HORMIGÓN H35 CON PIEDRA TRITURADA

Unitario: m3

Cantidad: 1.00

Moneda: BOLIVIANOS

Descripción	Unidad	Dosi fic.	Material húmedo	Peso Unitario	Rendi- miento	Precio Unitario	Costo Total
<b>1. MATERIALES</b>							
Cemento Yura HE	[kg/m3]		466,667			1,390	648,67
Agua	[kg/m3]		197,205			0,000	0,00
AGREGADO GRUESO HÚMEDO	[kg/m3]		908,758				
Brita 1 (3/4")	[kg/m3]	15%	136,314	1393,144	0,098	550,000	53,82
Brita 5/8" (5/8")	[kg/m3]	60%	545,255	1482,502	0,368	550,000	202,29
Brita cero (3/8")	[kg/m3]	25%	227,190	1457,283	0,156	550,000	85,74
AGREGADO FINO HÚMEDO	[kg/m3]		694,352				
Polvo de brita No 4	[kg/m3]	80%	555,482	1779,719	0,312	610,000	190,39
Arena fina del río Acre	[kg/m3]	20%	138,870	1524,254	0,091	35,000	3,19
<b>TOTAL MATERIALES</b>							<b>1.184,094</b>
<b>2. MANO DE OBRA</b>							
LABORATORISTA	HR.		14,000			15,000	210,00
AYUDANTE	HR.		12,000			18,750	225,00
BENEFICIOS SOCIALES - % DEL SUBTOTAL DE MANO DE OBRA						55,00%	239,250
IMPUESTO AL VALOR AGREGADO - % SUBTOT M.O.+ CARGAS SOCIALES						0,00%	0,000
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>							<b>674,250</b>
<b>3. EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							
Mezcladora	HR.				1,000	24,000	24,000
HERRAMIENTAS - % DEL TOTAL DE LA MANO DE OBRA						5,00%	33,713
<b>TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS</b>							<b>57,713</b>
<b>4. GASTOS GENERALES</b>							
GASTOS GENERALES - % DE 1+2+3						10,00%	191,606
<b>TOTAL GASTOS GENERALES</b>							<b>191,606</b>
<b>5. UTILIDAD</b>							
UTILIDAD - % DE 1+2+3 +4						10,00%	210,766
<b>TOTAL UTILIDAD</b>							<b>210,766</b>
<b>6. IMPUESTOS</b>							
IMPUESTO A LAS TRANSACCIONES - % DE 1+2+3+4+5						0,00%	0,000
<b>TOTAL IMPUESTOS</b>							<b>0,000</b>
<b>TOTAL PRECIO UNITARIO</b>							<b>2.318,428</b>