

**UNIVERSIDAD DE CUENCA**



**FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO**  
**MAESTRÍA EN CONSTRUCCIONES, PROGRAMA ESPECIAL DE**  
**TITULACIÓN**

Estudio de la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento Portland, empleando cementos y áridos comunes de la Ciudad de Cuenca

**TESIS PREVIA A LA**  
**OBTENCIÓN DEL GRADO**  
**DE MAGISTER EN**  
**CONSTRUCCIONES**

**AUTOR:**

**ING. JORGE EFRAÍN CRESPO CRESPO**

**C.I. 0301172912**

**DIRECTOR:**

**ING. JAIME ASDRUBAL BOJORQUE IÑEGUEZ PhD**

**C.I. 0102857885**

**CUENCA – ECUADOR**

**2018**



## RESUMEN

Las losas de pavimento rígido trabajan bajo la acción de esfuerzos flexionantes por lo que es necesario conocer el desempeño del hormigón ante estas sollicitaciones. La correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón ha sido ampliamente estudiada en el mundo y existen muchas ecuaciones que se han establecido para el efecto y sus valores muestran variaciones que dependen principalmente del tipo de materia prima empleada. En el Ecuador se han realizado pocas investigaciones para determinar esta correlación y en la ciudad de Cuenca no se registran evidencias de trabajos similares. Consecuentemente, es necesario realizar una investigación empleando materiales propios del sector y establecer la función que rige dicha relación.

El presente trabajo muestra los resultados de una investigación realizada en la ciudad de Cuenca, para establecer una función que relacione los esfuerzos de flexión y compresión del hormigón, empleando cementos y áridos propios del lugar. Para ello, se realizaron mezclas con diferentes relaciones agua /cemento, tomándose de cada lote vigas y cilindros que fueron sometidos a esfuerzos de flexión y compresión respectivamente hasta su falla.

Con los resultados obtenidos, se hizo un análisis estadístico de correlación, llegando a la conclusión de que los hormigones elaborados con áridos y cementos usados en ciudad de Cuenca se ajustan satisfactoriamente a curvas de tipo exponencial, similares a las establecidas por otros investigadores.

Palabras Clave: Módulo de rotura, resistencia a la compresión, hormigón, correlación



## ABSTRACT

Rigid pavements slabs works under the action of flexural strengths, so it is necessary to know the performance of the concrete to these requests. The correlation between the modulus of rupture and the compression strength of the concrete has been widely studied in the world, there are many equations that have been established for the effect, and their values show variations that depend mainly on the type of raw material used. In Ecuador, few investigations have been carried out to determine this correlation and in the city of Cuenca, there are no evidences of similar works. Consequently, it is necessary to carry out an investigation using materials of the sector and to establish the function that governs this relation.

This paper shows the results of a research carried out in the city of Cuenca, to establish a function that links the stresses of flexural and compression of the concrete, using cements and aggregates of the place. To this end, mixtures were made with different  $c/w$  relations, taking each batch beams and cylinders that were subjected to stresses and compression respectively until its failure.

With the results obtained, a statistical analysis of correlation was made, reaching the conclusion that the Concretes elaborated with aggregates and cements used in city of Cuenca are satisfactorily adjusted to exponential curves, similar to the established by other researchers.

Key Words: Rupture Modulus, compressive strength, concrete, correlation.



## INDICE

<b>CAPITULO I. LINEAMIENTOS.....</b>	<b>17</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>17</b>
<b>1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>18</b>
<b>1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>20</b>
1.3.1. OBJETIVO GENERAL .....	20
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
<b>1.4. HIPÓTESIS.....</b>	<b>21</b>
<b>1.5. METODOLOGÍA .....</b>	<b>21</b>
1.5.1. Metodología para el objetivo específico 1: .....	21
1.5.2. Metodología para el objetivo específico 2: .....	21
1.5.3. Metodología para el objetivo específico 3: .....	22
<b>2. CAPITULO II. EL HORMIGÓN Y SUS CONSTITUYENTE.....</b>	<b>24</b>
<b>2.1. GENERALIDADES DEL HORMIGÓN.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2. COMPONENTES DEL HORMIGÓN. ....</b>	<b>27</b>
2.2.1. El cemento Portland.....	27
2.2.2. Los áridos.....	31
2.2.3. El agua .....	67
<b>3. CAPITULO III: PROPIEDADES DEL HORMIGÓN.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO. ....</b>	<b>71</b>
3.1.1. TRABAJABILIDAD. ....	71
3.1.2. MEDIDA DE LA TRABAJABILIDAD.....	73
3.1.3. COHESIÓN Y SEGREGACIÓN .....	77
3.1.4. EXUDACIÓN .....	78
<b>3.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO. ....</b>	<b>79</b>
3.2.1. RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	79
3.2.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA.....	81
3.2.3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.....	87
3.2.4. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.....	93
3.2.5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN .....	95
<b>3.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PARA ENSAYOS. ....</b>	<b>97</b>



<b>4. CAPITULO IV: LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN Y LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.....</b>	<b>99</b>
4.1. LA MOVILIDAD, LAS CARRETERAS Y SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO LOCAL.	99
4.2. LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND.....	100
4.3. EL MÓDULO DE ROTURA Y LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	101
4.4. EL PROBLEMA DE LA FLEXIÓN EN LOS HORMIGONES.....	104
4.5. FACTORES QUE AFECTAN AL MÓDULO DE LA ROTURA .....	109
4.5.1. RELACIÓN AGUA-CEMENTO .....	109
4.5.2. EDAD.....	109
4.5.3. TIPO DE AGREGADO GRUESO.....	110
4.5.4. CURADO.....	111
4.6. CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ROTURA.....	112
4.7. VARIABILIDAD DE LAS ECUACIONES Y SU PROBLEMA DE APLICACIÓN.....	119
<b>5. CAPÍTULO V: CASO DE ESTUDIO. ....</b>	<b>124</b>
5.1. ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO .....	124
5.2. ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	125
5.3. PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO .	129
5.4. CEMENTOS DISPONIBLES PARA LA PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN.....	131
5.5. FUENTES DE ÁRIDOS.....	132
5.6. DETERMINACIÓN DE LOS CEMENTOS Y ÁRIDOS PARA LOS ENSAYOS .....	134
5.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES .....	136
5.7.1. CEMENTO. ....	136
5.7.2. LOS ÁRIDOS .....	138
5.8. DISEÑO DE LAS MEZCLAS.....	151
5.8.1. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.....	152
5.8.2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.....	152
5.8.3. ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA PARA LA MEZCLA Y DEL CONTENIDO DE AIRE.	



5.8.4.	RESISTENCIA DE DISEÑO.....	154
5.8.5.	SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO .....	154
5.8.6.	CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO .....	155
5.8.7.	ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS ÁRIDOS .....	156
5.8.8.	CORRECCIÓN POR HUMEDAD.....	158
<b>5.9.</b>	<b>ENSAYOS EN EL HORMIGÓN. ....</b>	<b>159</b>
5.9.1.	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ENSAYOS.....	159
5.9.2.	ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS .....	161
5.9.3.	CURADO DE LAS MUESTRAS.....	163
5.9.4.	CABECEO O REFRENTADO DE LAS MUESTRAS. ....	164
5.9.5.	ENSAYOS DE ROTURA.....	165
<b>5.10.</b>	<b>RESULTADOS.....</b>	<b>169</b>
5.10.1.	TABLA DE VALORES DE $f'c$ y $M_r$ .....	169
5.10.2.	CORRELACIÓN.....	173
<b>6.</b>	<b>CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>180</b>
6.1.	CONCLUSIONES .....	180
6.2.	RECOMENDACIONES.....	184
	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>187</b>
	<b>ANEXO 1: Reportes de Laboratorio.....</b>	<b>193</b>
	<b>ANEXO 2: Reportes de Resultados .....</b>	<b>222</b>
	<b>ANEXO 3: Formularios del diseño de mezclas.....</b>	<b>229</b>



## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 2-1 Evolución de la producción mundial de hormigón en el mundo desde 1930 (Wikipedia 2017)</i> .....	26
<i>Figura 2-2 Producción de cemento portland en los EEUU y el mundo entre el 2010 y 2016 (Statista 2017)</i> .....	26
<i>Figura 2-3: Ciclo de las rocas (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	36
<i>Figura 2-4: Esquema de clasificación de áridos por su tamaño, según ASTM C125 (Autor 2017)</i> .....	38
<i>Figure 2-5: Curvas de gradación para varios tamaños de árido, según la teoría de Fuller-Thompson. (Rivera 2013)</i>	
<i>Ilustración 11: Diagrama que explica los factores de riesgo de reacción alcali-árido (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)</i> .....	65
.....	45
<i>Figura 2-6: Esquema gráfico explicativo de la teoría de la partícula de interferencia (Weymouth 1933)</i> .....	46
<i>Figura 2-7: Relación entre el volumen de una partícula de árido y la circunferencia que la circunscribe.</i> .....	52
<i>Figura 2-8: Distintos estados de humedad de los áridos (KAIZEN ENGENIEERING CONSULTING 2013).</i> .....	53
<i>Figura 2-9: Izquierda: Cono y compactador para determinar estado SSS en la arena (autor). Derecha: Imagen de cono y compactador normalizado (ELE International)</i> .....	56
<i>Figura 2-10: Picnómetro para densidad de arena (ELE International)</i> .....	56
<i>Figura 3-1: Trilogía de calidad del hormigón (autor 2017)</i> .....	72
<i>Figura 3-2: Representación gráfica del ensayo de asentamiento (fuente: <a href="https://www.linkedin.com/pulse/usefulness-slump-test-concrete-g-k">https://www.linkedin.com/pulse/usefulness-slump-test-concrete-g-k</a>)</i> .....	74
<i>Figura 3-3: Relaciones esfuerzo-deformación para pasta de cemento, agregado y hormigón (Neville y Brooks 1998)</i> .....	81
<i>Figura 3-4: Relación entre resistencia y la proporción agua/cemento (Neville y Brooks 1998)</i> .....	82
<i>Figura 3-5: Eficiencia del cemento en kg/m<sup>3</sup> contra kg/cm<sup>2</sup> (Sánchez de Guzmán 2002)</i> ....	84
<i>Figura 3-6: Curva Característica de crecimiento de la resistencia del hormigón vs la edad en días. (Wikipedia 2017)</i> .....	85
<i>Figura 3-7: Resistencia del concreto bajo distintas condiciones de curado (Kostmatka et al. 2004)</i> .....	86



<i>Figura 3-8: Curva esfuerzo-deformación típica en compresión axial. (González Cuevas y Robles 2005).</i> .....	89
<i>Figura 3-9: Mecanismo esquemático de funcionamiento del martillo Schmidt (Carrasco 2012).</i> .....	92
<i>Figura 3-10: Esquema de carga para ensayo de tensión indirecta.</i> .....	94
<i>Figura 3-11: Esquema del ensayo de flexión en vigas ASTM C78 (Kumar Mehta y Monteiro 2006).</i> .....	96
<i>Figura 4-1: Esquema comparativo de esfuerzos transmitidos a la subrasante (Supe y Gupta 2014).</i> .....	101
<i>Figura 4-2: Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión (Nilson 1999).</i> .....	106
<i>Figura 4-3: Comparación del Porcentaje de la Resistencia a la Compresión y de la Flexión, respecto al Tiempo. Elaborado en base a (Madrid M. 1977).</i> .....	110
<i>Figura 4-4: gráfica del módulo de rotura vs la relación A/C para distintos tipos de agregado grueso (Madrid M. 1977).</i> .....	111
<i>Figura 4-5: Gráfica que muestra la influencia de distintas condiciones de curado en la resistencia mecánica del hormigón (Madrid M. 1977).</i> .....	112
<i>Figura 4-6: Faja de correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión (Madrid M. 1977).</i> .....	113
<i>Figura 4-7: Módulo de Rotura vs esfuerzo de Compresión. (American Concrete Institute (ACI) 1988).</i> .....	116
<i>Figura 5-1: ubicación geográfica de la zona de influencia de la investigación (GoogleEarth 2017).</i> .....	125
<i>Figura 5-2: Minas registradas en la Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM en el sector de los Ríos Cuenca, Santa Bárbara y Paute (ARCOM 2017).</i> .....	133
<i>Figura 5-3: Minas registradas en la Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM en el sector de los Ríos Jubones y Rircay (ARCOM 2017).</i> .....	133
<i>Figura 5-4: Ubicación de la mina de Santa Isabel (ARCOM 2017).</i> .....	135
<i>Figura 5-5: Ubicación de la mina de Santa Isabel (ARCOM 2017).</i> .....	136
<i>Figura 5-6: Comparativo del crecimiento porcentual de la resistencia del cemento Guapán HE y el Guapán IP. Elaboración (Autor 2017). Datos obtenidos de (INDUSTRIAS GUAPAN 2017).</i> .....	138
<i>Figure 5-7: Representación gráfica del proceso de cuarteo manual (INEN 2010c).</i> .....	140
<i>Figura 5-8: Cuarteo del árido grueso</i> .....	140





<i>Figura 5-9: : Curva granulométrica para el árido fino. Mina Sr. Mariano Heredia, Sta. Isabel. (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>142</i>
<i>Figura 5-10: Curva granulométrica para el árido grueso TMN 3/4". Mina Sr. Mariano Heredia, Sta. Isabel (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>143</i>
<i>Figura 5-11: Curva granulométrica para el árido grueso TMN 3/4". Mina VIPESA, El Descanso. (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017) .....</i>	<i>144</i>
<i>Figura 5-12: Curva granulométrica para el árido grueso mezcla de 3/4" y 3/8". Mina VIPESA, El Descanso (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>145</i>
<i>Figura 5-13: Determinación del estado SSS de la arena .....</i>	<i>146</i>
<i>Figure 5-14: Picnómetro para determinar la densidad del árido fino.....</i>	<i>146</i>
<i>Figura 5-15: Eliminación de la humedad superficial del árido grueso mediante secado con telas absorbentes.....</i>	<i>147</i>
<i>Figura 5-16: Determinación del peso en el aire del árido grueso en estado SSS .....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 5-17: Determinación del peso sumergido en agua del árido grueso en condiciones SSS .....</i>	<i>148</i>
<i>Figura 5-18: Medición de la máxima longitud de las partículas para el cálculo del coeficiente de forma. (Autor 2017) .....</i>	<i>151</i>
<i>Figura 5-19: Ejemplo de la corrección del peso por humedad del árido.....</i>	<i>159</i>
<i>Figura 5-20: Pesaje de los áridos .....</i>	<i>162</i>
<i>Figura 5-21: Evaluación del asentamiento en el cono de Abrams .....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 5-22: Desmoldado de las muestras.....</i>	<i>163</i>
<i>Figura 5-23: Curado por inmersión y control de la temperatura de curado (Autor 2017)...</i>	<i>164</i>
<i>Figura 5-24: Refrentado con mortero de azufre. (Autor 2017).....</i>	<i>165</i>
<i>Figura 5-25: Toma de dimensiones y de pesos de las probetas cilíndricas antes del ensayo (Autor 2017).....</i>	<i>166</i>
<i>Figura 5-26: Medición, pesaje y marcado de las vigas antes del ensayo (Autor 2017) .....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 5-27: Dos ensayos con similares tipos de falla. La imagen de la izquierda muestra una muestra de alta resistencia y falla abrupta. ....</i>	<i>167</i>
<i>Figura 5-28: Mecanismos de falla en vigas sometidas a flexión.....</i>	<i>168</i>
<i>Figura 5-29: Gráfica de dispersión de los puntos correspondientes a las resistencias a flexión vs compresión del hormigón elaborado con áridos de Santa Isabel (Autor 2017) .....</i>	<i>172</i>
<i>Figura 5-30: Gráfica de dispersión de los puntos correspondientes a las resistencias a flexión vs compresión del hormigón elaborado con árido fino de Santa Isabel y árido grueso de Paute (Autor 2017).....</i>	<i>173</i>



*Figura 5-31: Línea de tendencia y correlación con los datos de los hormigones elaborados con árido grueso de Santa Isabel ..... 176*

*Figura 5-32: Línea de tendencia y correlación para los datos de los hormigones elaborados con árido grueso de Paute ..... 177*

*Figura 5-33: Ecuaciones de las líneas de tendencia para ambos casos ..... 178*

*Figura 5-34: Curva de correlación entre  $M_r$  y  $f'_c$  usando los resultados de ambos tipos de árido grueso. (Autor 2017)..... 178*



## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2-1: Clasificación de las rocas sedimentarias según su agente geológico de transporte (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	34
<i>Tabla 2-2: Clasificación de las rocas sedimentarias según el tamaño del grano (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	34
<i>Tabla 2-3: Origen de algunas rocas metamórficas (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)</i> .....	36
<i>Tabla 2-4: Clasificación de depósitos según tamaño del grano (Rivera 2013)</i> .....	39
<i>Tabla 2-5: Clasificación de los áridos según su densidad (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	39
<i>Tabla 2-6: Clasificación de las partículas de los áridos según la forma de la partículas B.S. 812 (Neville y Brooks 1998)</i> .....	40
<i>Tabla 2-7: Clasificación de la textura superficial de las partículas de los áridos según la norma B.S. 812 (Neville y Brooks 1998)</i> .....	41
<i>Tabla 2-8: Serie de tamices estándar para granulometría de los áridos, basado en la serie Tyler. (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	42
<i>Tabla 2-9: Valores de n para la ecuación de Weymouth, propuesto por Juan F. García Balado (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	47
<i>Tabla 2-10: Valores de "a" para la ecuación de Bolomey (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	48
<i>Tabla 2-11: Especificaciones granulométricas para el árido fino (INEN 1976)</i> .....	49
<i>Tabla 2-12: Especificaciones granulométricas para el árido grueso (INEN 1976)</i> .....	49
<i>Tabla 2-13: Clasificación de la forma de los áridos, según la B. S.- 812 (Neville y Brooks 1998)</i> .....	50
<i>Tabla 2-14: Clasificación de la textura superficial de las partículas de los áridos según la norma B.S. – 812 (Neville y Brooks 1998)</i> .....	51
<i>Tabla 2-15: Masa mínima de la muestra de ensayo NTE 857 (INEN 2002b)</i> .....	58
<i>Tabla 2-16: Capacidad de los recipientes para el ensayo de masa unitaria del árido (INEN 2002c)</i> .....	61
<i>Tabla 2-17: Resistencia promedio de algunas rocas(Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	62
<i>Tabla 2-18: Reacciones químicas de los áridos del hormigón (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)</i> .....	66
<i>Tabla 2-19: Componentes reactivos en ciertas reacciones químicas de los áridos. (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)</i> .....	66
<i>Tabla 3-1: Factores de corrección por altura-diámetro (Sánchez de Guzmán 2002)</i> .....	90



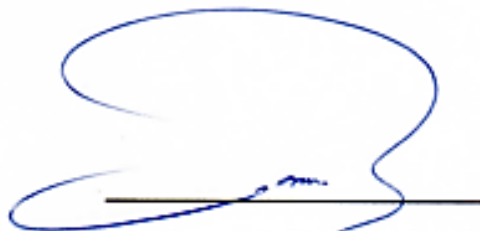
<i>Tabla 4-1: Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a compresión del concreto (Kostmatka et al. 2004) .....</i>	<i>105</i>
<i>Tabla 4-2: Factor de modificación para el Módulo de Rotura en función del tipo de hormigón y los áridos empleados (American Concrete Institute (ACI) 2014).....</i>	<i>114</i>
<i>Tabla 4-3: Modelos para relacionar la resistencia a la compresión con la flexión (Garnica, Gomez y Sesma 2002).....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 4-4: Otras ecuaciones para calcular el Módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión (Gómez Cortez 2005).....</i>	<i>117</i>
<i>Tabla 4-5: Correlación entre resistencia a flexión y compresión sugeridas por varios investigadores para Hormigón normal (Sekhar y Rao 2008).....</i>	<i>118</i>
<i>Tabla 4-6: Algunas correlaciones entre <math>M_r</math> y <math>f^c</math> con materiales del Imbabura y Pichincha</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 5-1: Zona de influencia del proyecto.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 5-2: Valores mínimos recomendados para la resistencia a flexión en pavimentos rígidos. (AASHTO 2008)(American Concrete Pavement Association (ACPA) 1992)(CEMEX CONCRETOS 2004)(INVIAS 2008)(M.T.O.P. 2013).....</i>	<i>126</i>
<i>Tabla 5-3: Proveedores de hormigón premezclado para la ciudad de Cuenca y sus alrededores. ....</i>	<i>131</i>
<i>Tabla 5-4: Fábricas cementeras en el país y productos disponibles (HOLCIM 2017)(UNACEM 2017)(INDUSTRIAS GUAPAN 2017)(CEMENTO CHIMBORAZO 2017) .....</i>	<i>132</i>
<i>Tabla 5-5: Cementos y áridos empleados en las principales hormigoneras de la ciudad de Cuenca.....</i>	<i>134</i>
<i>Tabla 5-6: Resumen de propiedades más relevantes del cemento portland GUAPÁN HE y GUAPÁN IP a mayo de 2017 (INDUSTRIAS GUAPAN 2017) .....</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 5-7: Requisitos de gradación del árido fino (INEN 1976) .....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 5-8: Requisitos de gradación para el árido grueso TMN 3/4". Adaptado de (INEN 1976) .....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 5-9: Densidades y absorción del árido fino. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 5-10: Densidades y absorción del árido fino. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 5-11: Densidades y absorción del árido fino. Mina: J. Sanmartín Tabla 37 .....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 5-12: Masas unitarias suelta y compacta para el árido fino. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>149</i>



<i>Tabla 5-13: Masas unitarias suelta y compacta para el árido grueso. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 5-14: Masas unitarias suelta y compacta para el árido grueso. Mina: VIPESA (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>149</i>
<i>Tabla 5-15: Valores de desgaste del árido grueso en la Máquina de los Ángeles (Vintimilla 2017).....</i>	<i>150</i>
<i>Tabla 5-16: Coeficiente de forma de los áridos gruesos empleados en la investigación. (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017).....</i>	<i>151</i>
<i>Tabla 5-17: Contenidos aproximados de requerimiento de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños nominales máximos de los áridos (American Concrete Institute Committee 211 1997).....</i>	<i>153</i>
<i>Tabla 5-18: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no has datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto (INECYC) 2009) .....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 5-19: Determinación de la cantidad de agua para cada relación A/C.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 5-20: Volumen de árido grueso por volumen unitario de hormigón, adaptado del ACI 211.1 (Sánchez de Guzmán 2002).....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 5-21: Resumen de pesos calculados para una revoltura o lote de hormigón para 2 vigas y 2 cilindros .....</i>	<i>158</i>
<i>Tabla 5-22: Valores de <math>z_{1-\alpha/2}</math> y <math>z_{1-\alpha}</math> utilizados con mayor frecuencia en el cálculo del tamaño muestral en función de la seguridad <math>1-\alpha</math> elegida para el estudio (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002) .....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 5-23: Valores de <math>z_{1-\beta}</math>, utilizados con mayor frecuencia en el cálculo del tamaño muestral en función de el poder estadístico <math>1-\beta</math> elegido para el estudio (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002) .....</i>	<i>161</i>
<i>Tabla 5-24: Resumen de resistencias a compresión y flexión de los hormigones fabricados con áridos de Santa Isabel .....</i>	<i>170</i>
<i>Tabla 5-25: Resumen de resistencias a compresión y flexión de los hormigones fabricados con árido fino de Santa Isabel y árido grueso de Paute.....</i>	<i>171</i>

*Jorge Efraín Crespo Crespo*, autor del Trabajo de Titulación "Estudio de la Correlación entre el Módulo de Rotura y la Resistencia a la Compresión del Hormigón Hidráulico de Cemento Portland, Empleando Cementos y Áridos Comunes de la Ciudad de Cuenca", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de (título que obtiene). El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 21 de Agosto de 2017



Jorge Efraín Crespo Crespo

C.I: 0301172912

*Jorge Efraín Crespo Crespo*, autor/a del Trabajo de Titulación "Estudio de la Correlación entre el Módulo de Rotura y la Resistencia a la Compresión del Hormigón Hidráulico de Cemento Portland, Empleando Cementos y Áridos Comunes de la Ciudad de Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 21 de Agosto de 2017



**Jorge Efraín Crespo Crespo**

**C.I: 0301172912**



## AGRADECIMIENTO

El presente trabajo no hubiese sido posible sin el aporte significativo de personas e instituciones que brindaron el apoyo incondicional y necesario para su consecución. Agradezco al cuerpo docente y personal administrativo de la Universidad de Cuenca que marcaron las directrices y facilitaron la ejecución de la investigación. De igual forma a los directivos del laboratorio de materiales de construcción de la facultad de ingeniería civil que permitieron la realización de algunos ensayos.

Al Ingeniero Jaime Bojorque Íñiguez, por su dedicación, acompañamiento y asesoramiento oportuno durante para el planteamiento, desarrollo y culminación de la investigación.

Un agradecimiento especial a la Facultad de Ingeniería, Industria y Construcción de la Universidad Católica de Cuenca por permitir el uso de las instalaciones del laboratorio de materiales de construcción de su Sede en la ciudad de Azogues. Mención especial a los señores Ingeniero Paúl Illescas Cárdenas y Pablo Sáenz Bueno que aportaron enormemente en el desarrollo de la fase experimental.

A la Empresa cementera UCEM y a sus funcionarios por la atención brindada y la donación del 100% del cemento empleado en la confección de las muestras para los ensayos de laboratorio.

Al Señor Mariano Heredia y Julio Sanmartín por la donación de los áridos empleados en la fabricación de las probetas de hormigón.

Mi consideración especial al ingeniero Guillermo Realpe Rivadeneira, Director del Laboratorio de Materiales de Construcción y docente de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, quién supo entregar su valioso tiempo para el asesoramiento y direccionamiento de los lineamientos generales de la investigación.

A Blanca Lucía, quien me motivó y dio la fortaleza necesaria y las armas para no desfallecer y luchar contra los obstáculos que imposibilitaban la realización de este trabajo.





## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de manera especial a mi esposa Blanca Lucía y a mis hijos Paula Cristina, Jorge Isaac y Juan David, puntales indispensables que sostienen mi estructura afectiva y mi razón de vivir.

A mis padres Efraín y Thalía, ángeles preciosos que estarán gozando desde el cielo, junto a Dios, los logros de sus hijos en el espacio terrenal en donde nos encargaron para cumplir con nuestras misiones de vida.



## CAPITULO I. LINEAMIENTOS

### 1.1. INTRODUCCIÓN

El uso del pavimento rígido en la construcción de carreteras en nuestro país ha crecido vertiginosamente. El deterioro prematuro de los pavimentos asfálticos, así como sus altos costos de mantenimientos han promovido una acelerada transición hacia las carreteras de hormigón hidráulico de cemento portland.

Las losas de pavimento rígido trabajan bajo la acción de esfuerzos flexionantes; por lo tanto, es necesario conocer detalladamente el comportamiento del hormigón ante estas sollicitaciones. El diseño de pavimentos usa para el cálculo del espesor de las losas el Módulo de Rotura (MR) del concreto; sin embargo, el diseño de las mezclas tiene como variable principal la resistencia a compresión ( $f'c$ ). Por otro lado, para el control de calidad del hormigón, los expertos proponen realizar ensayos de compresión en lugar de los de flexión debido a la alta sensibilidad, variabilidad y costos de los segundos.

Los ingenieros viales y constructores de carreteras, necesitan conocer con certeza una relación confiable entre el Módulo de Rotura (MR) y la resistencia a la compresión simple ( $f'c$ ) del hormigón para aplicarla eficientemente en los procesos de diseño, construcción y evaluación de pavimentos rígidos

Las principales organizaciones rectoras en la normalización y desarrollo de la tecnología del hormigón (ACI, EHE, PCA, AASHTO, ACPA, NRMCA, NEVI 12), recomiendan estudios pormenorizados para evaluar su comportamiento mecánico ante esfuerzos compresivos y flexionantes, usando para ello la materia prima disponible en la localidad puesto que pequeños cambios en el módulo de rotura implican considerables variaciones en el comportamiento de los pavimentos.

En el presente trabajo se estudiarán las propiedades mecánicas del hormigón elaborado con materia prima local, realizando ensayos



normalizados de flexión y compresión con cuyos resultados y a través de un análisis estadístico, se propondrán expresiones matemáticas que permitan correlacionar estas dos variables.

## 1.2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

A principios del 2000, las principales carreteras del Ecuador estaban construidas mayoritariamente con asfalto y el uso del pavimento rígido se circunscribía a calles y avenidas urbanas en donde se habían obtenido muy buenos resultados. Para el año 2007, luego de un fuerte período invernal en donde se pudo advertir el mal estado de la vialidad en el Ecuador, se decretó el estado de emergencia vial que permitió realizar inmensas inversiones en la reconstrucción de la red vial a nivel nacional. Durante varios años, muchas de las carreteras que estaban construidas en asfalto, fueron reemplazadas con hormigón y puestas en servicio de la ciudadanía. A pesar de que la mayoría de las carreteras dieron un cambio sustancial a la vialidad nacional, un número considerable de estas empezaron a mostrar notables deterioros a poco tiempo de su puesta en servicio, sin que puedan dilucidarse claramente las causas del daño, dejando abierta la puerta a la especulación e incertidumbre. (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002)

La durabilidad de los pavimentos rígidos es mucho mayor que la de los flexibles; sin embargo, un eventual fracaso de las losas de hormigón implican también altísimos costos de su rehabilitación, inmensamente mayores que los de las similares en asfalto (IMCYC 2009). Una de las principales causas del deterioro prematuro de las carreteras de hormigón está relacionada a un inadecuado dimensionamiento del espesor de las losas, debido en gran parte a un bajo conocimiento del real comportamiento mecánico del material ante las sollicitaciones de carga a las que se expone la infraestructura. Ante esta incertidumbre, muchos ingenieros viales optan por usar la información generada en otras latitudes, complementándola con altos factores de seguridad que en muchos casos ocasionan sobredimensionamiento. En el Ecuador, la investigación al respecto se ha quedado en pocos trabajos académicos que aisladamente descansan en los repositorios bibliográficos de algunas universidades y sus resultados no se



han socializado correctamente entre la comunidad científica. En el caso de la ciudad de Cuenca, los resultados son aún más preocupantes puesto que es una de las ciudades en donde más impulso se ha brindado a la construcción de carreteras y calles de hormigón y en donde menos información hay al respecto.

Los ingenieros viales diseñan los pavimentos rígidos basados en la teoría a la flexión, usando como parámetro principal el Módulo de Rotura del hormigón; no obstante, es imposible prescindir de la resistencia a la compresión pues es un valor que influye en otras variables como el módulo de elasticidad cuyas principales ecuaciones están referidas a este. Afinar el diseño, asignando los valores que correspondan a cada tipo de hormigón implicará siempre un ahorro de recursos. El comité 326.12 R del ACI, establece que el conocimiento del comportamiento del hormigón a la flexión es esencial para un diseño económico, toda vez que el espesor de las losas cambia aproximadamente 13 mm (0.5") por cada 0,5 MPa (70 PSI) de variación en el módulo de rotura (Scott y Hess 2002).

En cuanto a la construcción, el problema empieza desde la producción del hormigón, ya que todos los métodos de proporcionamiento de mezclas están basados en las resistencias compresivas ( $f'c$ ); es decir, para un MR de diseño, se deben preparar mezclas con un  $f'c$  equivalente. El control de calidad en obra es un asunto en discusión, puesto que los organismos de control usan indiscriminadamente ensayos de compresión o flexión para la aceptación del hormigón. Según la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) de los Estados Unidos, los ensayos de flexión son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimientos de curado de las probetas. Las vigas son muy pesadas y pueden ser dañadas cuando se manipulan y transportan desde el lugar de trabajo hasta el laboratorio. Permitir que una viga se seque dará como resultado más bajas resistencias. Las vigas deben ser curadas de forma normativa, y ensayadas mientras se encuentren húmedas. El cumplimiento de todos estos requerimientos en el lugar de trabajo es extremadamente difícil lo que da frecuentemente como resultado valores de Módulo de Rotura no



confiables y generalmente bajos. Un período corto de secado puede producir una caída brusca de la resistencia a flexión (National Ready Mixed Concrete Association 2000).

El resultado de lo descrito en la presente sección, podrían ocasionar problemas tan comunes tales como:

- a) Carreteras de alto costo por subestimación de MR
- b) Pavimentos fracasados por sobrestimación de MR
- c) Incertidumbre en aceptación del hormigón ante valores bajos en ensayos de flexión
- d) Conflictos legales por aceptación del hormigón ante pruebas de compresión o flexión únicamente
- e) Dificultad para determinar responsabilidades ante el fracaso de la estructura.

### **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar, a través un estudio estadístico, expresiones matemáticas que permitan la determinación certera de una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del hormigón hidráulico de cemento portland elaborado con cementos y agregados de la localidad.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los procesos de diseño, producción y control de calidad del hormigón para pavimentos, así como las fuentes de materiales más comunes en centros de producción de hormigón de la localidad.
- Determinar las características de la materia prima empleada en la producción del hormigón mediante ensayos de laboratorio que permitan determinar sus propiedades físicas y mecánicas.
- Realizar ensayos de compresión y flexión en cilindros y vigas fabricadas en laboratorio según las proporciones establecidas en un



diseño de mezclas que considere las características de los materiales empleados.

- Determinar, en base al procesamiento de la información procedente de los resultados de laboratorio, la expresión matemática de mejor ajuste numérico, aplicando procesos estadísticos.

#### **1.4. HIPÓTESIS**

La resistencia a la flexión y el módulo de rotura del hormigón pueden correlacionarse a través de expresiones matemáticas que ajusten los resultados de laboratorio de pruebas de resistencias de cilindros y vigas elaborados con materiales propios del área de estudio.

#### **1.5. METODOLOGÍA**

La metodología de investigación será del orden experimental y cuantitativo; mediante procedimientos y ensayos característicos establecidos en normativa nacional e internacional, con el propósito de obtener resultados similares a las de investigaciones realizadas en otras localidades.

##### **1.5.1. Metodología para el objetivo específico 1:**

Se investigarán cuáles son los actuales procedimientos para la fabricación y control de calidad del hormigón empleado en las principales obras de pavimentación rígida en el sector. Se investigará los tipos de agregados, cementos, aditivos, dosificaciones y normativa empleada; así como los resultados obtenidos de sus registros históricos (en caso de tenerlos) para cada tipo de concreto. La información obtenida permitirá establecer posibles deficiencias en los procesos y realizar comparaciones con los resultados obtenidos al fin de la investigación.

##### **1.5.2. Metodología para el objetivo específico 2:**

Análisis de los materiales pétreos y cementos empleados para la construcción de pavimentos. En el caso de cementos, se analizará el caso de cemento Guapán; mientras que para el caso de los agregados se tomarán muestras de minas de la cuenca del Rio Paute y del Rio Rircay.



## Capítulo I

Se determinarán en laboratorio las propiedades físicas, químicas y mecánicas tales como: finura y densidad del cemento; granulometría, forma, composición, y resistencia mecánica de los agregados.

En el caso de agregados se tomarán al menos 3 muestras representativas de la misma procedencia en instantes diferentes, distanciados al menos una semana entre sí. Esto permitirá establecer el grado de uniformidad de los bancos naturales o del proceso de trituración.

En el caso del cemento, se tomarán también tres muestras del cemento de un solo lote de producción.

Los pruebas se realizarán en laboratorios de la Universidad de Cuenca o de un laboratorio certificado que garantice los requerimientos de calidad de los ensayos.

Las muestras se obtendrán aleatoriamente y directamente de los lotes de producción en el caso del cemento; y, de los stocks o pilas ubicadas en las plantas de producción de concreto (Norma: NTE INEN 0153:09 2R Cemento Hidráulico. Muestreo y ensayos). El número de muestras serán las necesarias para determinar una caracterización del material o su variabilidad, según la norma NTE INEN 0695:2010 1R Áridos. Muestreo.

### **1.5.3. Metodología para el objetivo específico 3:**

Se realizará el diseño de mezclas para diferentes combinaciones de agregados y diferentes relaciones de agua/material cementante. Se usará la metodología establecida por el comité ACI 211.1.

El plan de pruebas previsto contempla la fabricación de 6 muestras cilíndricas para cada edad de ensayo y cada relación agua cemento. Así mismo, se obtendrán 3 muestras para vigas para ensayo de flexión. Las edades de ensayo serán: 7, 14 y 28 días y las relaciones agua /material cementante serán: 0.35; 0.40; 0.45; 0.50, 0.55, 0.60, frecuentemente empleadas en las mezclas de hormigón



## Capítulo I

Se fabricarán en laboratorio, vigas y cilindros con los diseños establecidos que serán ensayados a diferentes edades para determinar sus propiedades mecánicas.

Los ensayos estarán sujetos a los procedimientos establecidos en las normas NTE INEN 1 573:2010 1R Hormigón de cemento hidráulico - Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico y ASTM C78: Determinación de módulo de rotura del concreto de vigas apoyadas en los tercios. Metodología para el objetivo específico 4:

Se tabularán los resultados obtenidos en laboratorio y la información se procesará para ajustar matemáticamente a la expresión que presente la mejor correlación, aplicando la teoría de mínimos cuadrados. Se desarrollarán curvas y expresiones para cada combinación de agregados y tipos de cemento. Con los resultados obtenidos se podrá demostrar que es posible correlacionar matemáticamente las resistencias de compresión simple y el módulo de rotura de concretos elaborados con cementos y agregados de la localidad.





## 2. CAPITULO II. EL HORMIGÓN Y SUS CONSTITUYENTE

El hormigón es un material compuesto y por lo tanto susceptible a la variación de sus características, que estarán ligadas a las de sus componentes. Cualquier investigación que se realice acerca del hormigón, requiere un conocimiento preliminar de la tecnología que rige su estructura y funcionalidad, lo cual obviamente implica la necesidad de compilar información básica acerca de sus constituyentes y su influencia en el desarrollo de resistencias mecánicas. Esto enriquecerá la comprensión de su naturaleza y permitirá tener suficientes elementos de juicio para una discusión fundamentada frente a la problemática de este importante material de construcción y sus implicaciones.

En esta sección se da un enfoque general del hormigón como material de construcción, su importancia en el contexto globalizado y la naturaleza de sus constituyentes y sus variantes, haciendo énfasis en las especificaciones que deben cumplir y los procedimientos de control necesario en cada instancia. Los conceptos desarrollados en este capítulo permitirán al lector tener a la mano, información básica relacionada con los materiales constitutivos del hormigón, su origen, características, propiedades y su funcionalidad en el conjunto en sus diferentes estados, sin la necesidad de acudir a consultas externas al presente.

### 2.1. GENERALIDADES DEL HORMIGÓN.

El hormigón hidráulico de cemento Portland, es un material compuesto, constituido por una combinación adecuada de cemento portland, materiales cementantes, áridos, agua y aditivos químicos en proporciones apropiadas; que, inicialmente tiene una consistencia plástica y puede ser moldeado a cualquier forma, pero al endurecerse adquiere las características de una piedra artificial de excelentes propiedades mecánicas, especialmente a la compresión. (Nawy 2008)



## Capítulo II

El hormigón se ha constituido en el material de construcción de mayor uso en el mundo, siendo empleado en gran variedad de obras y proyectos de infraestructura, lo cual le ha convertido en el producto indispensable en la construcción de todo tipo de obras. La popularidad del hormigón se debe principalmente a varios aspectos muy importantes, entre los que se pueden destacar (Kumar Mehta y Monteiro 2006):

- Su capacidad de soportar eficientemente a los embates de la naturaleza, tales como la acción agresiva del agua y el viento, una gran capacidad para tolerar temperaturas extremas y su resistencia a ambientes químicos y biológicos hostiles.
- Sus altas resistencias mecánicas, que le permiten resistir las cargas y acciones provocadas por la naturaleza y las actividades antropogénicas.
- La durabilidad de sus construcciones, sin la necesidad de costosas intervenciones de mantenimiento.
- La gran variedad de formas tamaños de los elementos que pueden ser fabricados en hormigón, gracias a la docilidad y trabajabilidad del material durante su estado plástico que le permite adaptarse fácilmente a los moldes elaborados para el efecto.
- Su facilidad de elaboración. Los constituyentes principales del hormigón: cemento, agregados y agua, se pueden conseguir con facilidad en cualquier parte del planeta y su fabricación es tan simple, que no requiere de herramientas ni equipos sofisticados para su elaboración.

La producción de hormigón ha crecido sostenidamente sin que hasta el momento haya otro material que pudiera reemplazarlo. La Figura 2-1, muestra la producción mundial de hormigón desde 1930 hasta el año de 2002, aquí puede observarse la propensión de crecimiento sostenido del hormigón durante todo ese período.

En la Figura 2-2, se puede ver la tendencia de la producción de cemento en los últimos seis años y que va asociado intrínsecamente a la producción de

Capítulo II

hormigón. La tendencia, a pesar de mostrar el crecimiento de años anteriores, muestra una tendencia ascendente que da a entender que las necesidades de construir con hormigón, aún permanecen vigentes y en crecimiento.

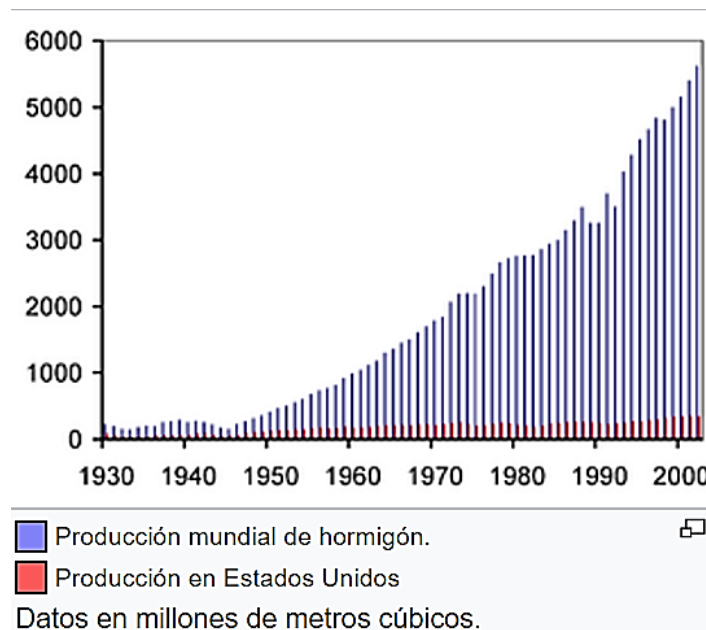


Figura 2-1: Evolución de la producción mundial de hormigón en el mundo desde 1930 (Wikipedia 2017)

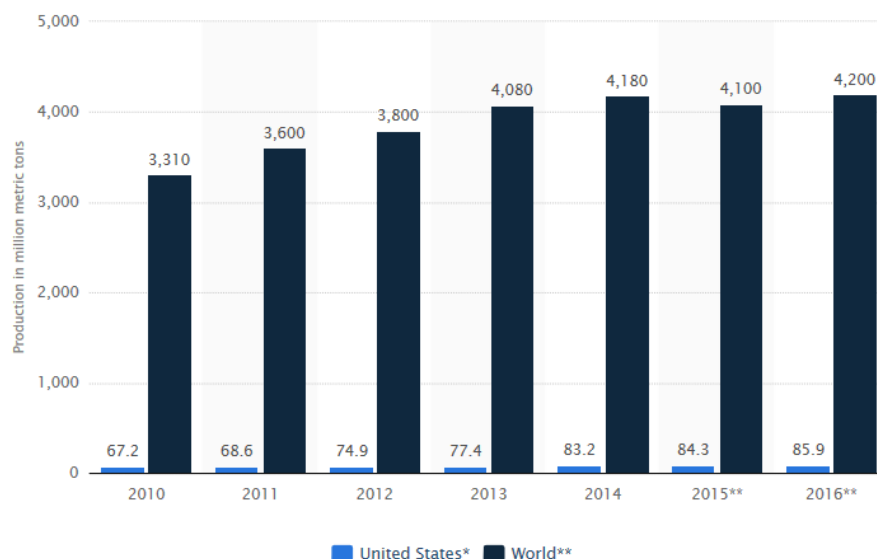


Figura 2-2: Producción de cemento portland en los EEUU y el mundo entre el 2010 y 2016 (Statista 2017)



## 2.2. COMPONENTES DEL HORMIGÓN.

Como ya se dijo anteriormente, los componentes del hormigón son básicamente 4: el cemento, un árido grueso, un árido fino y agua. Adicionalmente pueden incluirse aditivos químicos o adiciones minerales para mejorar las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido. Sus proporciones podrán variar en función de los requerimientos estructurales y a los niveles de exposición a agentes agresivos que podrían disminuir su vida útil (Sánchez de Guzmán 2011).

Las características de los elementos a fabricarse y las condiciones de servicio a las que estarán expuestos, determinan el tipo de cada uno de los materiales que serán empleados en su construcción y que permitirán garantizar la calidad del producto al menor costo posible. Por ejemplo, si el hormigón a elaborarse tiene una función principalmente estética, podrá emplear cementos y áridos con características distintas a las de un hormigón estructural o el de una losa de pavimento.

### 2.2.1. El cemento Portland

El cemento Portland es el más importante miembro de la familia de cementos hidráulicos, llamados de esta forma por su característica de reaccionar químicamente y endurecerse al entrar en contacto con el agua. Su descubrimiento se le atribuye al ciudadano Inglés Joseph Aspdin, que en el año de 1824 patenta el producto que lo denomina en honor al parecido que el producto obtenido tenía con las piedras naturales de la ciudad de Portland, Inglaterra. Su evolución desde entonces ha sido constante, especialmente en los primeros tres cuartos del siglo XX en el que se alcanzaron los más importantes descubrimientos y se desarrollaron las teorías relacionadas con su microestructura, propiedades y tecnologías de fabricación.(Sánchez de Guzmán 2002)

De acuerdo a la ASTM, el cemento portland se define como un “cemento hidráulico producido por la pulverización del Clinker, consistente esencialmente de silicatos cálcicos cristalinos y que usualmente contiene



una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición de proceso” (ASTM C 125 2011).

La fabricación del cemento portland, consiste básicamente en la trituración y mezcla homogénea de calizas y arcillas en proporciones adecuadas que posteriormente son calcinadas en un horno cilíndrico rotativo horizontal a temperaturas de aproximadamente 1450°C, produciéndose una fusión parcial del material y obteniendo como resultado bolas de entre 3 y 5 cm denominado Clinker portland. Posteriormente el Clinker es enfriado rápidamente y almacenado para en su etapa final ser molido finamente en conjunto con el yeso. Durante el último proceso pueden incorporarse adiciones minerales tales como puzolanas naturales o artificiales para producir cementos puzolánicos, como la mayoría de cementos que se producen en el país (INECYC 2010).

Químicamente, el cemento portland está constituido básicamente por cuatro compuestos químicos cuyas proporciones pueden brindarle al cemento distintas características, estos son (Sánchez de Guzmán 2002):

- Silicato Tricálcico (C3S); conocido como fase “Alita”, es el compuesto que mayor aporta a la generación de resistencias tempranas
- Silicato Bicálcico (C2S): conocido como fase “Belita”, es un compuesto que se hidrata lentamente y proporciona resistencias a largo plazo.
- Aluminato Tricálcico (C3A); es el primer compuesto en hidratarse, aporta poco en la generación de resistencias mecánicas y es el principal generador de calor de hidratación del cemento.
- Ferroaluminato Tetracálcico (C4AF): es un compuesto que actúa como fundente en el proceso de fabricación del cemento y no contribuye a la generación de resistencias.

#### 2.2.1.1. TIPOS DE CEMENTO PORTLAND.

En función de su composición química, el cemento puede tener propiedades distintas que permiten agruparlo en varios tipos, permitiendo a los usuarios tener varias alternativas de uso según sus necesidades constructivas. La



## Capítulo II

norma americana ASTM C150 hace una clasificación general del cemento que ha sido acogida por muchos países en el mundo. En el Ecuador, la norma INEN NTE 520, acoge esta clasificación que se describe de la siguiente forma (INEN 2010a):

- Tipo I. Para usarse cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo
- Tipo IA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo I, donde se desea incorporación de aire
- Tipo II. Para uso general, especialmente cuando se desea una moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación,
- Tipo IIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos del Tipo II, donde se desea incorporación de aire
- Tipo III. Para usarse cuando se desea alta resistencia inicial o temprana,
- Tipo IIIA. Cemento con incorporador de aire para los mismos usos de tipo III, donde se desea incorporación de aire,
- Tipo IV. Para usarse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V. Para usarse cuando se desea alta resistencia a la acción de los sulfatos,

Para el caso de los cementos compuestos, la norma INEN NTE 490, basada en la ASTM C595, los define de la siguiente manera (INEN 2011):

**Cemento compuesto binario:** Cemento hidráulico compuesto que consiste en cemento portland con cemento de escoria o una puzolana

**Cemento compuesto ternario:** Cemento hidráulico compuesto, que consiste en cemento portland con una combinación de dos puzolanas diferentes o con cemento de escoria u una puzolana.

La nomenclatura empleada para los cementos compuestos es la siguiente:



## Capítulo II

Tipo IS                      Cemento portland de escoria de altos hornos

Tipo IP.                     Cemento portland puzolánico

Tipo IT.                     Cemento compuesto ternario

A partir el año 2011, el INEN establece la norma NTE 2380, basada en la ASTM C 1157, la cual clasifica los cementos en base a los requisitos de desempeño específicos requeridos por los constructores. En la actualidad, la mayoría de cementeras del país, en su proceso de fabricación de cemento, están migrando hacia el uso de esta norma, dejando atrás la tradicionalmente empleada y descrita anteriormente. Esta norma establece seis tipos de cementos, tal como se describe a continuación (INEN 2010b):

Tipo GU            (General Use). Cemento hidráulico para construcción en general. Se lo usa cuando no se requieren uno o más de los tipo especiales

Tipo HE            (High Early Strength). Cemento usado cuando se requieran altas resistencias iniciales

Tipo MS            (Moderate Sulfate Resistance). Cemento usado cuando se requieran moderadas resistencias a los sulfatos.

Tipo HS            (High Sulfate Resistance). Cemento usado cuando se requieran altas resistencias a los sulfatos.

Tipo MH            (Moderate Heat of Hydration). Cemento que genera moderado calor de hidratación

Tipo LH.            (Low Heat of Hydration). Cemento que genera bajo calor de hidratación.

Dentro del área de estudio del presente trabajo, las principales marcas de cemento que se encuentran en el mercado son: Holcim, Guapán y Atenas. Todos los cementos que producen estos fabricantes son cementos compuestos con adición de puzolanas naturales y la norma de fabricación que han acogido es la INEN 2380. Hasta el momento, únicamente Guapán continúa empleando la norma INEN 490 para la producción de cemento



ensacado Tipo IP, aunque también produce en menor cuantía un cemento Tipo GU bajo el nombre “Austral”. En el caso del cemento a granel, usado en la producción de hormigón premezclado, todas las hormigoneras están usando cemento tipo HE excepto hormicreto que usa cemento de producción propia Tipo GU.

El tipo de cemento empleado en la construcción es una de las decisiones más importantes que el proyectista debe tomar en cuenta al momento de iniciar una construcción; sin embargo, la disponibilidad de la oferta del mercado local generalmente restringe esta alternativa, obligando a los constructores a escoger entre las opciones disponibles. En la área donde se realiza la presente investigación, las opciones de disponibilidad de tipos de cemento se restringen prácticamente a tres que las fabrican las cementeras locales: cemento tipo IP, cemento tipo GU y cemento tipo HE.

En la construcción de pavimentos, el escogimiento del tipo de cemento dependerá de los requisitos y especificaciones que el usuario o cliente requiera. Si las necesidades del proyecto es poner en servicio en el menor tiempo posible, posiblemente el uso de un cemento de tipo HE sería el adecuado para el efecto. No obstante, el cemento HE a pesar de no tener requisitos químicos obligatorios, requiere de mayor contenido de Silicatos y AlumintatosTricálcicos en comparación con un tipo IP o GU, provocando una mayor cantidad de calor de hidratación y consecuentemente más susceptible al agrietamiento provocado por retracción térmica.

### **2.2.2. Los áridos**

Conocidos también con el nombre de agregados, son partículas sólidas inertes, de forma granular, intencionalmente añadidas al hormigón para proporcionarle volúmen y que aglomerados por el cemento Portland y en presencia de agua forman un conjunto monolítico (piedra artificial) capaz de desarrollar resistencias mecánicas (Rivera 2013).

Los agregados ocupan entre el 70 y 80% del volumen del hormigón e influyen sustancialmente en las propiedades de este, tanto en estado fresco como endurecido, así como en sus costos de fabricación. En tal razón, es





necesario conocer a fondo las características y propiedades de los agregados para establecer con certeza su influencia en el comportamiento del hormigón y sus efectos bajo las diferentes condiciones de servicio y exposición al medioambiente (Sánchez de Guzmán 2002) .

#### 2.2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LOS ÁRIDOS.

En general los áridos se han clasificado de varias formas a través del tiempo, pero principalmente bajo los criterios de su origen, tamaño, densidad, forma y textura (Sánchez de Guzmán 2002).

##### 2.2.2.1.1. Clasificación según su origen.

La primera clasificación de áridos permite dividirlos en dos grandes grupos que definen su origen, ya sea de fuentes naturales o a partir de productos antrópicos (industriales) de la siguiente manera:

##### 2.2.2.1.1.1. Áridos naturales.

Son aquellos que se obtienen de la explotación de fuentes naturales tales como canteras de rocas, depósitos fluviales y depósitos glaciares. Las partículas de los áridos naturales provienen, en su totalidad, de masas de roca de mayor tamaño (roca madre) que han sido fragmentadas por agentes geodinámicos e intemperismo, o por acción humana a través de la trituración mecánica. Consecuentemente, las características físicas, químicas y mecánicas de los áridos están gobernadas por las de sus rocas de origen que les transfieren sus propiedades geológicas y mineralógicas.

El proceso geológico que ha dado origen a la formación de las rocas permite clasificarlas en tres grandes grupos que determinan el momento histórico de lo que se conoce como el ciclo de las rocas.

##### 2.2.2.1.1.1.1. Rocas Ígneas.

Se forman por el enfriamiento, lento o rápido del magma terrestre, ya sea al interior de la corteza o fuera de ella. Según esto las rocas ígneas serán Intrusivas si la solidificación se realizó al interior o Extrusivas si el enfriamiento sucedió externamente.

Las rocas Intrusivas que se forman a grandes profundidades se denominan Plutónicas y se encuentran sometidas a altas presiones y temperaturas que



favorecen a una completa cristalización (estructura holocristalina). Por otro lado, el magma puede solidificarse en grietas y filones de la corteza terrestre, de menor profundidad y menor temperatura, enfriándose a mayor rapidez que las anteriores. Las rocas formadas bajo estas condiciones se denominan Filonianas y muestran menor grado de cristalización que las Plutónicas.

Las rocas Extrusivas o volcánicas en cambio, solidifican al exterior de la corteza terrestre y su rápido enfriamiento no promueve condiciones favorables a la formación de cristales y su estructura cristalina es mínima dentro de una matriz principalmente amorfa.

La velocidad de enfriamiento del magma determina el grado de mineralización de la roca y consecuentemente determina su textura, la cual indice fuertemente en la capacidad de adherencia del agregado con la pasta.

#### 2.2.2.1.1.1.2. Rocas Sedimentarias.

Las rocas sedimentarias están constituidas por partículas provenientes de la fragmentación de otras, luego de haber sufrido procesos de meteorización, erosión, transporte, depositación/precipitación y consolidación. Los agentes que provocan la formación de las rocas sedimentarias pueden ser de tipo natural, tales como el viento, el sol, el agua, las fuerzas gravitacionales y tectónicas; así como también aquellas desarrolladas por los humanos dentro de sus diversas actividades cotidianas y procesos industriales.

Las rocas sedimentarias son las más abundantes en la superficie terrestre y pueden tener un origen mecánico (detritos), químico o biológico. En el primer caso, se obtienen por el depósito de rocas preexistentes de cualquier tipo (ígneas, metamórficas o sedimentarias). El agente geológico principal que promueve la formación de estos depósitos rocosos, determina la nomenclatura de una subclasificación, tal como se describe en la Tabla 2-1: Clasificación de las rocas sedimentarias según su agente geológico de transporte (Sánchez de Guzmán 2002).

El tamaño de las partículas que forman parte de las rocas permite clasificarlas en rocas de grano grueso, grano medio y grano fino, formando



depósitos con o sin cementante. La Tabla 2-2 muestra una clasificación de las rocas según el tamaño de los granos que conforman el depósito que los contiene.

<i>Agente</i>	<i>Transporte</i>	<i>Depósito</i>
Agua	Río	Aluviales de cantos rodados, gravas, arenas y finos
	Lago	Depósitos lacustres de grano fino con estratificación horizontal
	Mar	Depósitos marinos que depende de vientos y mareas.
Hielo	Glaciar	Depósitos con una gran variedad de tamaños y materiales por acción del hielo.
Aire	Viento	Dunas de arena y Loess (limos)

Tabla 2-1: Clasificación de las rocas sedimentarias según su agente geológico de transporte (Sánchez de Guzmán 2002)

<i>Depósito sin consolidar</i>	<i>Tamaño de los granos</i>	<i>Depósito consolidado</i>
Morrenas/Cantos	>64	Conglomerado grueso,
Gravas	64 – 5	Conglomerado, brecha
Arenas	5 – 0,074	Arenisca
Limos	0,074 – 0,002	Limolitos, Lutitas
Arcillas	<0,002	Arcillolitas, argilitas

Tabla 2-2: Clasificación de las rocas sedimentarias según el tamaño del grano (Sánchez de Guzmán 2002)

Las rocas de origen químico, son producto de la precipitación en los cuales los cristales individuales se unen por enlaces químicos (iónicos) en las cuencas finales de sedimentación (ríos, mares, etc). En el caso de las de origen bioquímico, hay la intervención de un agente biológico que contribuye a la formación de la roca,

Las rocas químicas y bioquímicas se pueden clasificar a su vez en: Rocas carbonatadas, Rocas silíceas, Rocas fosfatadas, Rocas ferruginosas y Rocas evaporíticas. Entre las más comunes, se tienen las calizas, dolomitas, travertinos, marga, yeso, bórax, turba y lignito,

Los depósitos aluviales son importantes fuentes de provisión de agregados para el hormigón, principalmente de arenas y gravas naturales que no requieren procesos de trituración y son de bajo costo. Las provincias



australes del Ecuador, posee un gran potencial hídrico y sus lechos fluviales han sido durante mucho tiempo fuente sustancial de agregados y materiales pétreos para la construcción. El río Paute, ha sido tradicionalmente la fuente principal de materiales pétreos para la ciudad de Cuenca y sus sectores aledaños; sin embargo, luego del desastre natural denominado “La Josefina” en el año de 1993, la explotación de materiales pétreos en dicho sector se ha restringido sustancialmente, obligando a los proveedores a buscar nuevas fuentes, entre las que destacan los aluviales de los ríos Rircay y Jubones, en el sector del cantón Santa Isabel, que se ha convertido actualmente en la mayor fuente de áridos en el sector.

#### 2.2.2.1.1.1.3. Rocas Metamórficas.

Son aquellas que se forman a partir de ígneas y sedimentarias que han experimentado modificaciones debidas a las altas presiones y temperaturas a las que se encuentran sometidas, así como al ambiente químico en el que se desarrollan.

El metamorfismo de estas rocas se manifiesta en cambios de textura y composición de la roca debidos a la recristalización, neo-cristalización y metasomatismo que modifican el arreglo atómico de la roca resultante volviéndola más compacta y más resistente que las de origen. Las rocas de granos finos son más vulnerables a las acciones del metamorfismo.

#### **Tipos de metamorfismo:**

- *Metamorfismo de contacto:* Se produce por una transformación iónica debido al calor que aportan las intrusiones del magma que alcanzan zonas relativamente frías y superficiales de la corteza, consiguiendo modificar y alargar los cristales de la roca original sin segmentarlos. Es un metamorfismo de alta temperatura y baja presión.
- *Metamorfismo regional:* se produce por procesos orogénicos que involucran grandes extensiones de masas rocosas que pliegan durante la formación de elevaciones y cordilleras. Este fenómeno se da a grandes profundidades y las altas presiones direccionales a la que se encuentran sometidas, hacen crecer los minerales



paralelamente entre sí y perpendiculares a la dirección de las fuerzas. La disposición final de los cristales muestra una especie de foliación a la que se denomina esquistosidad, que da origen a nomenclatura de los esquistos.

La Tabla 2-3 muestra algunas rocas sedimentarias más comunes, su origen antes del metamorfismo y el estado de transición.

<i>Roca Base</i>	<i>Estado de Transición</i>	<i>Roca Metamórfica</i>
Shale (Lutita)	Metasedimentos	Pizarra, Filita, Esquisto, Pargneis
Arenisca	Metasedimentos	Cuarcita, hornfels
Caliza	Caliza cristalina	Mármol
Basalto	Metavulcanita	Esquisto, Anfibolita
Granito	Intrusivo gnésico	Ortogneis
Granito	Metasedimentos grafitosos	Esquistos grafitosos

Tabla 2-3: Origen de algunas rocas metamórficas (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)

#### 2.2.2.1.1.4. Ciclo de las rocas.

Los procesos geológicos a lo largo de la historia, muestran un ciclo continuo que parte desde los procesos geológicos internos en donde el magma se solidifica, formando las rocas ígneas que, luego de estar expuestas al intemperismo, formaron las rocas sedimentarias. Estas dos rocas al exponerse a acciones de presión y temperatura formaron las rocas metamórficas. A su vez las rocas metamórficas también sufren ataques de meteorización y erosión formando suelos sedimentarios. En la Figura 2-3 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra un esquema gráfico que resume el ciclo de las rocas.

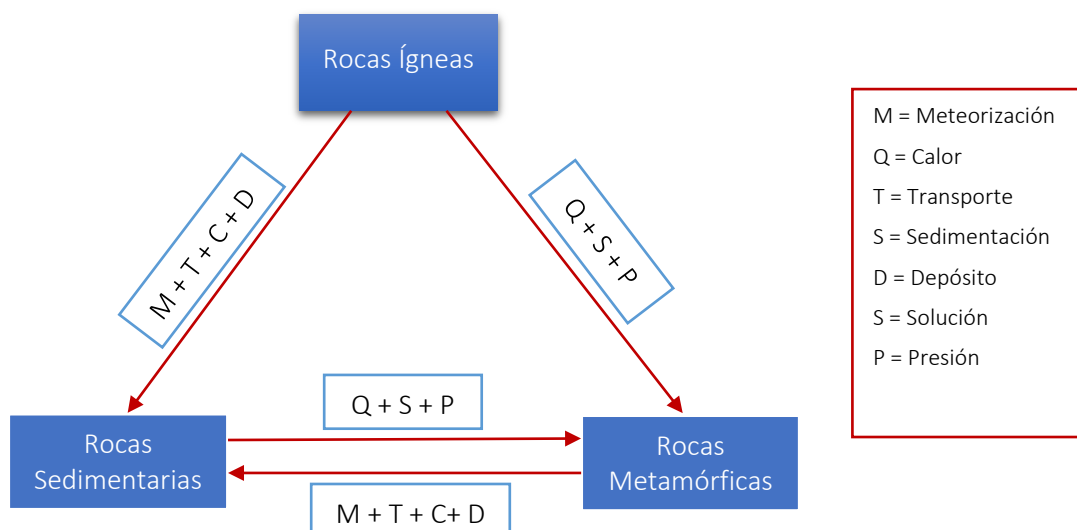


Figura 2-3: Ciclo de las rocas (Sánchez de Guzmán 2002)



#### 2.2.2.1.1.2. Áridos artificiales.

Los áridos se consideran artificiales cuando se han obtenido como resultado de un proceso de transformación industrial de elementos naturales, tales como arcillas y esquistos expandidos; o como un subproducto de procesos industriales como escorias de alto horno, Clinker, limaduras de hierro y otros.

#### 2.2.2.1.2. Clasificación según su tamaño.

Una de las formas más comunes de clasificar a los áridos es de acuerdo al tamaño de los granos. Este concepto ha permitido establecer parámetros normativos que caracterizan cada clase y se convierte en una de los parámetros fundamentales en la mayoría de metodologías para el proporcionamiento de mezclas.

El tamaño de los agregados se determina a través del ensayo granulométrico, que consiste en hacer pasar el material a través de un conjunto de tamices o mallas de aberturas cuadradas de distintas dimensiones y colocados verticalmente de tal manera que el de mayor abertura esté sobre el inmediatamente inferior. Los tamices consiguen retener las partículas más grandes, separándolas de las menores y estableciendo una clasificación por tamaños y rangos de tamaños. Algunos estándares internacionales como los de la ASTM han establecido tres tipos de tamaños de áridos para el hormigón, a los cuales han denominado árido grueso, árido fino y material fino.

La norma americana ASTM C125, ha establecido los rangos de tamaño para los áridos del hormigón. De esta manera, denomina árido grueso a las partículas que son retenidas en el tamiz de 4,75 mm, conocido también como el tamiz #4. Un segundo grupo al que se denomina árido fino, está compuesto por las partículas que pasan a través de la malla #4 y que son retenidas en el tamiz de 0,074 mm, conocido como tamiz #200. Una tercera denominación, se conoce simplemente con el nombre de material fino y está compuesto por limos y arcillas que pasan a través de la malla # 200. El material fino no se recomienda en la elaboración de hormigones de cemento

portland, por lo que se consideran como partículas no deseadas y su presencia en los áridos está limitada a valores ínfimos. (ASTM C 125 2011)

El límite superior del agregado grueso no está definido sino más bien, está restringido por las recomendaciones establecidas en códigos y especificaciones de construcción que limitan en función del tamaño de los elementos estructurales y la densidad del refuerzo estructural. A pesar de ello, partículas mayores a 3" se consideran como piedras o guijarros y su inclusión en el hormigón suele usarse siguiendo las recomendaciones de fabricación del hormigón ciclópeo.

La Figura 2-4, explica de forma gráfica los rangos de tamaños de los áridos y los tamices que establecen estos límites.



Figura 2-4: Esquema de clasificación de áridos por su tamaño, según ASTM C125 (Autor 2017)

En la Tabla 2-4Tabla 2-3, se puede apreciar algunas otras subclasificaciones por tamaño, en donde se comparan con materiales comunes y su uso o restricción en la fabricación de hormigones.

Tamaño mm	Denominación común	Clasificación	Uso como árido de mezclas
<0,002	Arcilla	Suelos finos	No recomendable
0,002 – 0,074	Limo	Suelos finos	No recomendable
0,074 – 4,76 #200 – #4	Arena	Agregado fino	Material apto para mortero u hormigón
4,76 – 19 #4 – ¾"	Gravilla	Agregado grueso	Material apto para hormigón
19 – 7,62 ¾" – 3"	Grava	Agregado grueso	Material apto para hormigón
> 7,62 3"	Piedra	Agregado grueso	Hormigón ciclópeo

Tabla 2-4: Clasificación de depósitos según tamaño del grano (Rivera 2013)

2.2.2.1.3. Clasificación según su densidad

Los áridos pueden clasificarse también según la densidad de sus partículas y consecuentemente del conjunto. La densidad del agregado dependerá de su constitución mineralógica y de la porosidad de las partículas. La importancia de esta característica radica principalmente del tipo del hormigón a fabricarse y el uso que brindará en condiciones de servicio. Así se pueden encontrar agregados ligeros que se usarán para la construcción de hormigones ligeros, generalmente usados en elementos de tabiquería, aislantes termo acústicos, aliviamiento de estructuras, productos prefabricados para mampostería, etc. Dentro de estos agregados se encuentran piedras volcánicas como la pómez, la perlita y también las arcillas y esquistos expandidos. Por otro lado, los áridos de alta densidad, constituidos generalmente por minerales metálicos se usan para la fabricación de hormigones de alta densidad, usados principalmente para la construcción de bunkers y para aislamiento y protección contra rayos x o gamma. (Sánchez de Guzmán 2002)

En la tabla Tabla 2-5 se muestra una clasificación esquema de la clasificación de los áridos en función de su densidad y ejemplos de uso.

<i>Tipo de hormigón</i>	<i>Peso unitario aproximado del hormigón (kg/m3)</i>	<i>Peso aproximado del agregado (kg/m3)</i>	<i>Ejemplo de uso</i>	<i>Ejemplo de agregado</i>
Ligero	400 – 800	60 – 480	Concreto para aislamientos	Piedra pómez Perlita
	950 – 1350	480 – 1040	Concreto para rellenos y mampostería no estructural	
	1450 – 2000		Concreto estructural	
Normal	2000 – 2500	1300 – 1600	Concreto estructural y no estructural	Agregado de río o triturado
Pesado	2500 – 5600	3400 – 7500	Concreto para protección contra radiación gamma o X, y contrapesas	Hematita, barita, coridón, magnetita.

Tabla 2-5: Clasificación de los áridos según su densidad (Sánchez de Guzmán 2002)



#### 2.2.2.1.4. Clasificación su forma y textura

La forma y textura de las partículas de los áridos influye en las propiedades del hormigón principalmente en estado fresco, aunque pueden también puede modificar las propiedades mecánicas del hormigón endurecido. Las partículas alargadas y aplanadas con superficies ásperas necesitan de más agua para alcanzar la misma trabajabilidad que hormigones con agregados lisos y redondeados. Así mismo, la adherencia de los áridos con la pasta de cemento aumenta cuando la superficie de éste es áspera y angular, consiguiendo un mejor comportamiento mecánico del hormigón endurecido. Cuando la resistencia a la flexión es importante o cuando se necesite alta resistencia a la compresión, se debe considerar este aumento de la adherencia al elegirse el agregado para el concreto (Kostmatka et al. 2004).

La forma ideal de las partículas debe ser esférica o cúbica y la presencia de partículas alargadas y aplanadas debe limitarse a valores no mayores del 15% de la masa total del agregado (Kostmatka et al. 2004).

Una forma bastante interesante de clasificar a los áridos por su forma y su textura es la establecida por la norma británica B.S-812 que se muestra en la Tabla 2-6 y en la Tabla 2-7

<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Redondeada	Totalmente desgastada por el agua o fricción
Irregular	Naturalmente irregular, o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos
Angular	Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas
Aplanada	Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dos dimensiones
Alargada	Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones
Aplanada y Alargada	Material con longitud considerablemente mayor que el ancho, y ancho considerablemente mayor que el espesor

Tabla 2-6: Clasificación de las partículas de los áridos según la forma de la partículas B.S. 812 (Neville y Brooks 1998).

<i>Textura de la superficie</i>	<i>Características</i>	<i>Ejemplos</i>
Vidriosa	Fractura concoidal	Pedernal negro, escoria vítrea
Pulida	Desgastado por agua, o debido a fractura de laminado o roca de grano fino	Gravas, esquisto, pizarra, mármol, algunas riolitas



Granulada	Fracturas que muestran granos uniformes más o menos pulidos	Arenisca, oolita
Rugosa	Fractura rugosa de roca granular fina -o media- que tiene constituyentes cristalino que no se pueden ver fácilmente	Basalto, felsita, pórfido, caliza
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles	Granito, gabro, gneis
Panal de aneja	Con cavidades y poros visibles	Ladrillo, pómez, escoria espumosa, barro expandido.

Tabla 2-7: Clasificación de la textura superficial de las partículas de los áridos según la norma B.S. 812 (Neville y Brooks 1998).

En general, los áridos se han clasificado de varias formas a través del tiempo, pero principalmente bajo los criterios de su origen, tamaño, densidad, forma y textura.

#### 2.2.2.2. PROPIEDADES DE LOS ÁRIDOS.

##### 2.2.2.2.1. PROPIEDADES FÍSICAS

###### 2.2.2.2.1.1. Granulometría.

Es un parámetro que permite conocer la distribución de los tamaños de las partículas que forman parte de una masa de árido. Se determina a través de lo que se conoce como ensayo granulométrico, el cual consiste en hacer pasar el material a través de una serie de tamices de aberturas cuadradas colocados verticalmente de tal manera que el de mayor abertura quede inmediatamente sobre el inmediatamente inferior. La serie de tamices que generalmente se usa para los agregados del concreto, es conocida como la serie de Tyler, la cual ha establecido que la abertura de un tamiz cualquiera es aproximadamente el doble del tamiz inmediatamente inferior. Sin embargo, es de común uso la introducción de algunos tamices que permiten evaluar mejor la distribución de las partículas en la masa de agregado. (Sánchez de Guzmán 2002)

En la Tabla 2-8, se muestra la serie de tamices usados para el análisis granulométrico de los áridos. Los tamices con el resalto de texto, no cumplen la condición de la serie Tyler descrita anteriormente.

Como resultado del análisis granulométrico, se obtienen algunos factores que son de gran importancia para caracterizar el agregado y establecer el

proporcionamiento adecuado en las mezclas de hormigón. Podría decirse que la granulometría de los áridos es uno de los factores más importantes en el proceso de diseño y proporcionamiento de las mezclas, siendo la distribución de los granos en el conjunto un factor determinante en las propiedades del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido.

Denominación tamiz (ASTM)	Abertura de la malla en mm.	Fracción de árido en el que se usa	Observación
3"	76,1	Granulometría de la serie gruesa	
2"	50,8	Granulometría de la serie gruesa	No cumple la relación 2:1
1 ½ "	38,1	Granulometría de la serie gruesa	
1"	25,,	Granulometría de la serie gruesa	No cumple la relación 2:1
¾"	19,4	Granulometría de la serie gruesa	
½"	12,7	Granulometría de la serie gruesa	No cumple la relación 2:1
3/8"	9,51	Granulometría de la serie gruesa/fina	
T#4	4,76	Granulometría de la serie gruesa/fina	
T#8	2,38	Granulometría de la serie fina	
T#16	1,19	Granulometría de la serie fina	
T#30	0,595	Granulometría de la serie fina	
T#50	0,297	Granulometría de la serie fina	
T#100	0,149	Granulometría de la serie fina	
T#200	0,074	Granulometría de la serie fina	No se suele usar para tamizado por gravedad sino por vía húmeda

Tabla 2-8: Serie de tamices estándar para granulometría de los áridos, basado en la serie Tyler. (Sánchez de Guzmán 2002)

#### 2.2.2.2.1.1.1. Módulo de finura:

Es un mecanismo empírico que permite determinar cuan fino o grueso es un material. Se determina sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices de la serie estándar (Tyler) desde el tamiz # 100 en adelante hasta el máximo tamaño que se encuentre, dividido para 100 (ASTM C 125 2011). Este parámetro es indispensable en el método de diseño de mezclas desarrollado por el ACI.

Matemáticamente, el módulo de finura (MF) es un promedio logarítmico de la distribución del tamaño de las partículas, ya que la serie de tamices se encuentra en una relación 1:2 (por ello no se puede incluir en el cálculo aquellos tamices que no cumplen esta condición).



## Capítulo II

Su aplicación es casi exclusivamente para los agregados finos, aunque algunos autores lo usan también para el conjunto total de agregados en algunos métodos de diseño de proporcionamiento de mezclas. Cuanto mayor es el módulo de finura, mayor es el tamaño promedio de sus partículas. El método de proporcionamiento de mezclas, elaborado por el comité ACI 211.1, restringe el uso de arenas con MF comprendidos entre 2.3 y 3.1.

### 2.2.2.2.1.1.2. Tamaño máximo del árido:

Según la norma INEN NTE 696, se define como la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual debe pasar la totalidad del árido.

### 2.2.2.2.1.1.3. Tamaño máximo nominal del árido:

La norma ecuatoriana INEN NTE 696, cuyo concepto lo toma de sus homologas de EEUU (ACI 116 y ASTM C125), define textualmente como “la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido”. Esta definición es muy parecida a la anterior y en el comentario al pie dice textualmente “Las especificaciones sobre los áridos generalmente estipulan una abertura de tamiz a través de la cual todo el árido puede pasar, pero no necesariamente, de tal manera que se puede retener en ese tamiz una porción máxima definida de árido. Se designa como el tamaño nominal máximo del árido a una abertura de tamiz”. Sin embargo, no establece la cantidad que podría retener el tamiz nominal. Algunos países han establecido en su normativa una especificidad para definir más concretamente este parámetro. De esta forma, países como Perú y Colombia define al tamaño nominal como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado sea el 15% o más (Sánchez de Guzmán 2002).

### 2.2.2.2.1.1.4. Granulometrías ideales.

Durante mucho tiempo se ha investigado el comportamiento del hormigón con diversos tipos de agregados y la influencia que tiene la distribución de las partículas de agregados en conjunto con la pasta de cemento. Muchas teorías se han desarrollado para determinar las condiciones granulométricas de los agregados para obtener la mejor trabajabilidad y compacidad del



concreto para conseguir la máxima densidad; y, consecuentemente mayor resistencia mecánica.

La parábola de Fuller y Thompson:

William B. Fuller, y Sanford E. Thompson, son dos investigadores que desarrollaron en los Estados Unidos de América, la primera teoría acerca de las curvas granulométricas de los áridos y sus efectos en el hormigón en el año de 1907. Esta teoría se basa en el hecho de que una granulometría continua, con partículas de diversos tamaños, producen mezclas con buena trabajabilidad y densidad. (Sánchez de Guzmán 2002)

Según estos autores, las curvas granulométricas del conjunto de agregados (grosso y fino) ideales para la fabricación del hormigón, tienen la forma de una semi-parábola que relaciona los dos variables: los porcentajes que pasan un determinado tamiz vs la abertura del tamiz correspondiente, tal como se muestra en la ecuación 2-1. La Figura 2-5 muestra del desarrollo de la ecuación de Fuller, expresada gráficamente para diferentes tamaños de áridos. **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

$$P = \sqrt{\frac{d}{D}} \qquad 2-1$$

Donde:

P = Porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura d

D = Tamaño máximo del agregado

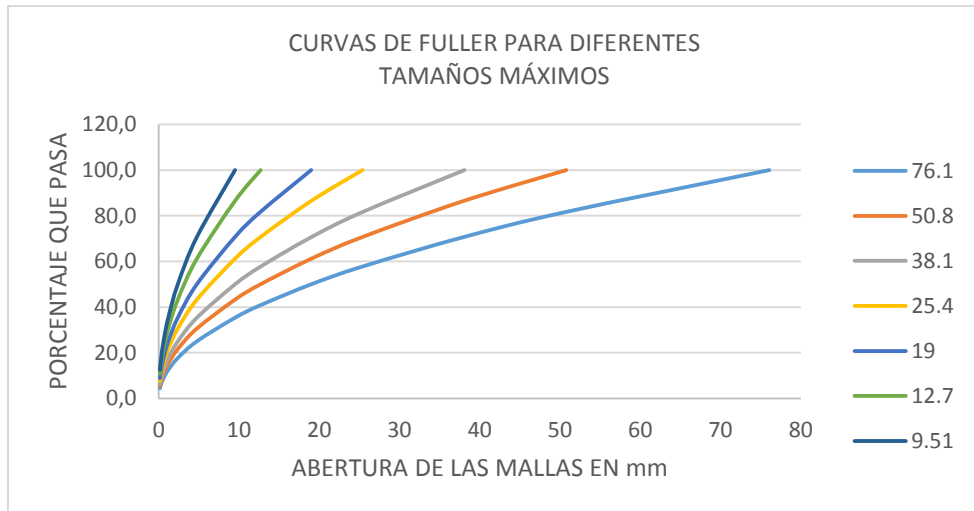


Figura 2-5: Curvas de gradación para varios tamaños de árido, según la teoría de Fuller-Thompson. Adaptado de (Rivera 2013)

### Teoría de Weymouth

Luego de las investigaciones realizadas por Fuller y Thompson, en el año de 1933, A. G. Weymouth desarrolla otra teoría, considerando que las mezclas obtenidas mediante los ensayos de Fuller eran demasiado ásperas. En esta nueva teoría, Weymouth establece lo que se conoce con el nombre de “la partícula de interferencia” y sobre la cual desarrolla su obra “Effect of particle interference in mortars and concrete”. (Weymouth 1933)

En síntesis, Weymouth estipula que para obtener un buena trabajabilidad con una máxima economía, existe una ley de gradación de los agregados de tal forma que las partículas de un solo tamaño deben tener espacio suficiente para moverse dentro del espacio dejado por las partículas del tamaño subsiguiente mayor, evitando la interferencia de las partículas. Cuando esto ocurre, el espacio dejado por las partículas de mayor tamaño es menor que el diámetro de las subsiguientes menores; lo contrario, permite que la partículas puedan moverse libremente entre las más grandes, reduciendo la trabazón entre las ellas y reduciendo la fricción para una mejor manejabilidad (Sánchez de Guzmán 2002).

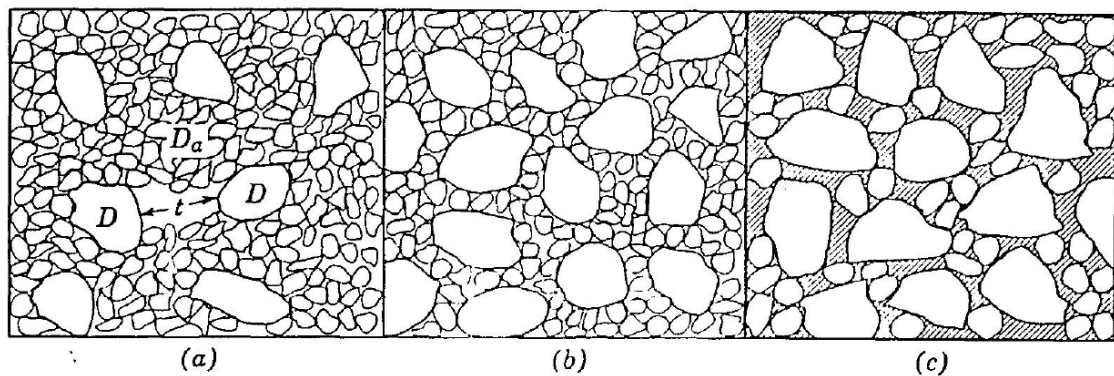


Figura 2-6: Esquema gráfico explicativo de la teoría de la partícula de interferencia (Weymouth 1933)

La Figura 2-6 representa en dos dimensiones una mezcla de dos tamaños de partículas. Las partículas más grandes son pocas y están muy separadas por las más pequeñas; la distancia promedio entre estas, es considerablemente más grande que el diámetro de las partículas más pequeñas. En el diagrama (b), el número relativo de las partículas más grandes, es más amplio y la distancia promedio entre ellas es justo igual al diámetro de las partículas más pequeñas. De acuerdo con Weymouth, para la composición representada por ambos diagramas, la mezcla puede ser removida sin cambios en la uniformidad de los “depósitos vacíos” definidos por las partículas más pequeñas. En la **¡Error! No se encuentra el origen e la referencia.**c la concentración de las partículas más grandes es tal que el espacio promedio entre estas es más reducido que el diámetro de las partículas más pequeñas, haciéndose imposible que los espacios intersticiales de las partículas más grandes sean llenadas uniformemente con las más pequeñas. Weymouth dijo que cuando una mezcla es efectuada en una batea, hay una tendencia de los dos tamaños a producir segregación. Para aplicar esta observación a una masa de mayor volumen, él visualizó como un grupo de partículas de tamaño dado conformaba un espacio de la estructura de rejilla a través de la cual las partículas mapas pequeñas se mueven en sentido vertical y horizontal tan libremente como ellas puedan durante la manipulación de la mezcla y la masa permanece homogénea. Pero si las partículas más grandes interfieren el movimiento de las más pequeñas, entonces ocurre segregación y los grandes depósitos de vacíos



## Capítulo II

son desarrollados con una gran pérdida de resistencia o trabajabilidad (Weymouth 1933).

Bajo estas condiciones Weymouth desarrolla ecuaciones similares a las de Fuller pero con variaciones que dependen del agregado grueso (Ecuación 2-2).

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^n \quad 2-2$$

Donde:

P = porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura d

D = tamaño máximo del agregado

n = Exponente que gobierna la distribución de las partículas y es función del agregado grueso

Algunos valores de n, han sido desarrollados por investigadores entre los que resalta el de Juan F. García Balado, cuyos resultados se muestra en la Tabla 2-9

Tamaño d	3"	1,5"	0,75"	0,5"	#4
n	0,230	0,268	0,292	0,304	0,305

Tabla 2-9: Valores de n para la ecuación de Weymouth, propuesto por Juan F. García Balado (Sánchez de Guzmán 2002).

### Teoría de Bolomey

Luego de las teorías descritas anteriormente, se han desarrollados muchas otras teorías acerca de las granulometrías ideales. No obstante, una de las más relevantes ha sido aquella desarrollado por el ingeniero estadounidense Bolomey en el año de 1947, en la cual pretende mejorar la trabajabilidad de las mezclas, incrementado el contenido de finos, en relación a las teorías anteriores. Adicionalmente, Bolomey introduce un concepto adicional en donde usa ecuaciones que varían dependiendo de la forma de los agregados, tal como se describe en la Ecuación 2-3 (Sánchez de Guzmán 2002).





$$P = a + (100 - a) \left(\frac{d}{D}\right)^{0,5}$$

Donde:

P = porcentaje de material que pasa el tamiz de abertura d

D = tamaño máximo del agregado

a = constante obtenida empíricamente que depende de la forma del agregado grueso y de la consistencia requerida de la mezcla

En la Tabla 2-10, se presentan valores típicos para diferentes estados de consistencia de la mezcla y clases de agregados.

Árido	Consistencia	Valor de "a"
Redondo	Seca	6 - 8
	Normal	10
	Fluida	12
Angular	Seca	8 - 10
	Normal	12 - 14
	Fluida	14 - 16

Tabla 2-10: Valores de "a" para la ecuación de Bolomey (Sánchez de Guzmán 2002)

**Especificaciones granulométricas**

De acuerdo a lo descrito anteriormente, la granulometría de los áridos tendrá una importancia significativa en la resistencia del hormigón, en donde, independientemente de la relación agua-cemento, el hormigón deberá tener una adecuada compacidad, lo cual se logra con mezclas de buena trabajabilidad y sin segregación.

En la práctica, es muy difícil encontrar áridos que se ajusten exactamente a las condiciones ideales descritas en estas teorías. Para ello, los institutos encargados de regular las normativas técnicas en cada país o región, han desarrollado especificaciones que se ajusten a agregados de condiciones ideales con sus respectivos márgenes de tolerancia. En el Ecuador, al igual que varios países de Latinoamérica y el mundo, han acogido la norma ASTM C33 como especificación requerida para los proyectos de construcción dentro de su jurisdicción (INEN NTE 872). En la Tabla 2-11, se muestra la especificación granulométrica para el árido fino según la norma NTE 872.

Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa %
3/8"	100



No. 4	95 – 100
No. 8	80 – 100
No. 16	50 – 85
No. 30	25 – 60
No. 50	10 – 30
No. 100	2 - 10

Tabla 2-11: Especificaciones granulométricas para el árido fino (INEN 1976)

Al igual que en el caso del árido fino, existe una especificación que establece las condiciones granulométricas para distintos tamaños de áridos, tal como se describe en la Tabla 2-12.

TAMIZ INEN (mm)	PORCENTAJE EN MASA QUE DEBE PASAR POR LOS TAMICES INEN INDICADOS EN LA COLUMNA (1) PARA SER CONSIDERADO COMO ÁRIDO GRUESO DE GRADO:									
	90 - 37.5 mm	63 - 37.5 mm	53 - 4.75 mm	37.5 - 4.75 mm	26.5 - 4.75 mm	19 - 4.75 mm	13.2 - 4.75 mm	9.5 - 2.36 mm	53 - 26.5 mm	37.5 - 19 mm
106	100									
90	90 - 100									
75		100								
63	26 - 60	90 - 100	100						100	
53		35 - 70	95 - 100	100					90 - 100	100
37.5	0 - 15	0 - 15		95 - 100	100				35 - 70	90 - 100
26.5			35 - 70		95 - 100	100			0 - 15	20 - 55
19	0 - 5	0 - 5		35 - 70		90 - 100	100			0 - 15
13.2			10 - 30		25 - 60		90 - 100	100	0 - 5	
9.5				10 - 30		20 - 55	40 - 70	85 - 100		0 - 5
4.75			0 - 5	0 - 5	0 - 10	0 - 10	0 - 15	10 - 30		
2.36					0 - 5	0 - 5	0 - 5	0 - 10		
1.18								0 - 5		

Tabla 2-12: Especificaciones granulométricas para el árido grueso (INEN 1976)

#### 2.2.2.2.1.2. Forma y textura

La forma y textura de las partículas de los áridos influye en las propiedades del hormigón principalmente en estado fresco, aunque pueden también modificar las propiedades mecánicas del hormigón endurecido. Las partículas alargadas y aplanadas con superficies ásperas necesitan de más agua para alcanzar la misma trabajabilidad que hormigones con agregados lisos y redondeados. Así mismo, la adherencia de los áridos con la pasta de cemento aumenta cuando la superficie de éste es áspera y angular, consiguiendo un mejor comportamiento mecánico del hormigón endurecido. Cuando la resistencia a la flexión es importante o cuando se necesite alta

resistencia a la compresión, se debe considerar este aumento de la adherencia al elegirse el agregado para el concreto (Kostmatka et al. 2004).

La forma ideal de las partículas debe ser esférica o cúbica y la presencia de partículas alargadas y aplanadas debe limitarse a valores no mayores del 15% de la masa total del agregado.(Kostmatka et al. 2004).

Una forma bastante interesante de clasificar a los áridos por su forma y su textura es la establecida por la norma británica B.S-812 que se muestran en la tablas Tabla 2-13 y Tabla 2-14

<i>Clasificación</i>	<i>Descripción</i>
Redondeada	Totalmente desgastada por el agua o fricción
Irregular	Naturalmente irregular, o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos
Angular	Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas
Aplanada	Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dos dimensiones
Alargada	Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones
Aplanada y Alargada	Material con longitud considerablemente mayor que el ancho, y ancho considerablemente mayor que el espesor

Tabla 2-13: Clasificación de la forma de los áridos, según la B. S.- 812 (Neville y Brooks 1998)

<i>Textura de la superficie</i>	<i>Características</i>	<i>Ejemplos</i>
Vidriosa	Fractura concoide	Pedernal negro, escoria vítrea
Pulida	Desgastado por agua, o debido a fractura de laminado o roca de grano fino	Gravas, esquisto, pizarra, mármol, algunas riolitas
Granulada	Fracturas que muestran granos uniformes más o menos pulidos	Arenisca, oolita
Rugosa	Fractura rugosa de roca granular fina -o media- que tiene constituyentes cristalino que no se pueden ver fácilmente	Basalto, felsita, pórfido, caliza
Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles	Granito, gabro, gneis
Panal de abeja	Con cavidades y poros visibles	Ladrillo, pómez, escoria espumosa, barro expandido.



Tabla 2-14: Clasificación de la textura superficial de las partículas de los áridos según la norma B.S. – 812 (Neville y Brooks 1998)

### **Coeficiente volumétrico.**

La presencia de partículas alargadas y aplanadas en el hormigón, puede ocasionar que las mezclas en estado fresco sean pocos trabajables y tendrán mayor dificultad de ser colocadas y compactadas. Para remediarlo, será necesario compensar con exceso de material fino (cemento y arena) y agua, disminuyendo su resistencia e incrementando las posibilidades de retracción.

Se han desarrollado muchos procedimientos estandarizados para determinar la forma de las partículas de una masa de agregados. Una de las más usadas es la establecida por la norma francesa AFNOR P18301, la cual usa el concepto de coeficiente volumétrico, que permite tener una idea de la regularidad de la partículas y se define como el cociente del volumen de una partícula y el volumen de una esfera cuyo diámetro circunscriba la mayor dimensión de esta.

Para su determinación, se toman un cierto número de partículas en condiciones saturado y superficialmente seco, y se sumergen en un recipiente graduado, con un volumen de agua previamente medido. Se determina el volumen de agua desplazada por métodos gravimétricos y ésta corresponderá al volumen de las partículas del árido, sin los poros saturables ( $v$ ). Adicionalmente, se toman las mayores dimensiones de todas las partículas seleccionadas en el proceso previo y se calculan los volúmenes teóricos las esferas que circunscribirían dichas partículas y se suman todos estos valores ( $V$ ). El cociente de estos dos valores es el coeficiente de forma o volumétrico. Las ecuaciones 2-4, 2-5 y 2-6 permiten calcular el coeficiente volumétrico de un conjunto representativo de partículas de árido grueso.

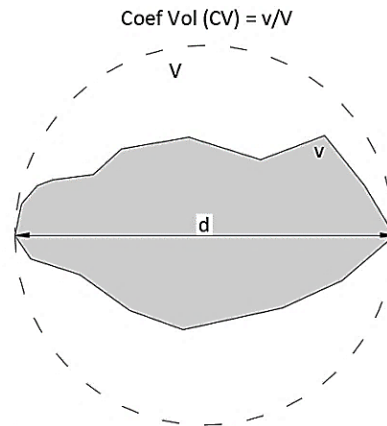


Figura 2-7: Relación entre el volumen de una partícula de árido y la circunferencia que la circunscribe.

$$v = \sum_{i=1}^n v_i \tag{2-4}$$

$$V = \sum_{i=1}^n V_i = \sum_{i=1}^n \frac{\pi}{6} d_i^3 \tag{2-5}$$

$$CV = \frac{v}{V} = \frac{v_1 + v_2 + v_3 + \dots + v_n}{\frac{\pi}{6} (d_1^3 + d_2^3 + d_3^3 + \dots + d_n^3)} \tag{2-6}$$

Donde:

CV = Coeficiente volumétrico

V = Volumen de las partículas en condiciones SSS

n = Número de partículas tomadas de la masa de agregado

d = Máxima dimensión medida de cada partícula

V = Sumatoria de los volúmenes de las esferas teóricas que circunscriben a cada partícula

### 2.2.2.2.1.3. Densidad y absorción.

Las propiedades físicas de los áridos se derivan principalmente de las de su roca de origen. La densidad es un concepto que físicamente se define como el cociente entre la masa del objeto y el volumen que ocupa en el espacio. En el caso de los áridos, este concepto debe ser entendido bajo distintos escenarios, considerando que la masa de las rocas es un material poroso, cuyas oquedades pueden estar vacías, parcialmente llenas o completamente saturadas. Bajo este criterio, es necesario describir las distintas condiciones de humedad que se pueden presentar es cualquier tipo de árido. La Figura 2-8 describe gráficamente los distintos estado de humedad que se pueden presentar en los áridos.

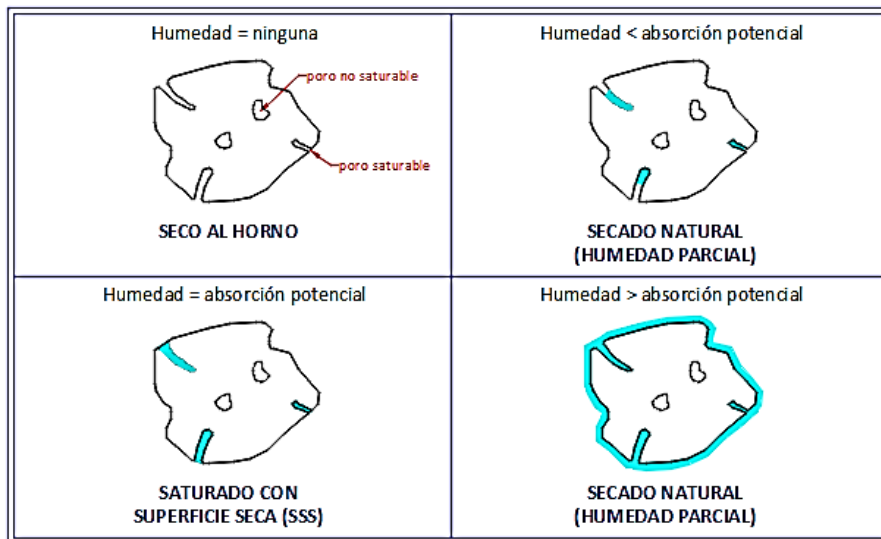


Figura 2-8: Distintos estados de humedad de los áridos (KAIZEN ENGENIEERING CONSULTING 2013).

Las normas ecuatorianas INEN NTE 856 y 857, acogiendo las nociones de sus homólogas norteamericanas ASTM C127 y ASTM C128, conceptualizan la densidad de los áridos en función de la masa del agregado (bajo distintas condiciones de humedad) y el volumen de de masa de las partículas que también podría variar según se consideren o no la porosidad del material, definiéndolo de la siguiente manera:

*Densidad.* Masa por unidad de volumen de un material.

*Densidad (SH).* Masa de las partículas del árido, seco al horno, por unidad de volumen, incluyendo el volumen de los poros permeables e impermeables, sin incluir los vacíos entre partículas.

*Densidad (SSS).* Masa de las partículas del árido, saturado y superficialmente seco, por unidad de volúmen, incluyendo el volumen de poros impermeables y poros permeables llenos de agua, sin incluir los vacíos entre partículas.

*Densidad aparente.* Masa por unidad de volumen, de la porción impermeable de las partículas del árido.

*Densidad relativa (gravedad específica).* Relación entre la densidad de un material y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada; los valores son adimensionales.



*Densidad relativa (gravedad específica) (SH).* Relación entre la densidad (SH) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

*Densidad relativa (gravedad específica) (SSS).* Relación entre la densidad (SSS) de los áridos y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.

*Densidad relativa aparente. (gravedad específica aparente).* Relación entre la densidad aparente del árido y la densidad del agua destilada a una temperatura determinada.(INEN 2002a)

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente utilizada para el cálculo del volumen ocupado por el árido en las mezclas que contiene áridos, incluyendo el hormigón de cemento portland, hormigón bituminoso y otras mezclas que son dosificadas o analizadas en base al volumen absoluto. También se la utiliza para el cálculo de los vacíos entre las partículas del árido, de acuerdo a la NTE 858. La densidad relativa (gravedad específica) (SSS) se la utiliza en la determinación de la humedad superficial del árido mediante desplazamiento de agua. La densidad relativa (gravedad específica) se la utiliza si el árido está húmedo, esto es si ha alcanzado su absorción; por el contrario, la densidad relativa (gravedad específica)(SH) se la utiliza para los cálculos cuando el árido está seco o se asume que está seco.

La densidad aparente y densidad relativa corresponden al material sólido que conforman las partículas constitutivas, sin incluir los vacíos de los poros dentro de las partículas, a los cuales es accesible el agua. Este valor no es muy utilizado en la tecnología de construcción con áridos.

Otro parámetro importante que se requiere conocer del árido es su absorción, definida como la capacidad del material de retener al agua en sus poros saturables, incluso cuando superficialmente el árido se encuentre seco. La absorción se establece midiendo la disminución de la masa del árido al pasar de un estado de humedad en condiciones SSS a un estado SH, mediante secado en el horno durante 24 horas.

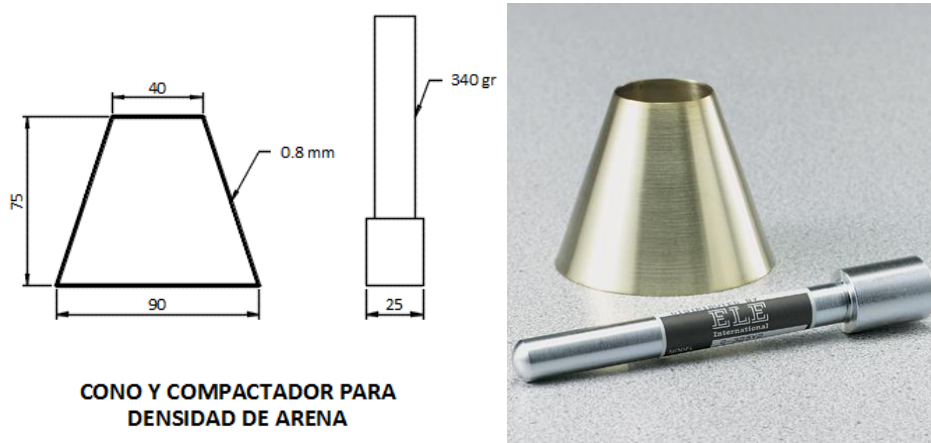


## Densidad del árido fino

Para determinar la densidad del agregado fino se sigue el procedimiento descrito en la norma INEN NTE 856 (ASTM C127), en donde se describe un procedimiento gravimétrico y otro volumétrico. El más común y que ha sido empleado en los procesos del presente trabajo es el gravimétrico, que se resume en los siguientes pasos:

- a) Se toma una muestra representativa del árido fino, según lo descrito en la norma INEN NTE 0695. Y se reduce al tamaño hasta obtener una muestra de 1 kg, siguiendo el procedimiento descrito en la norma INEN NTE 2566.
- b) Como las partículas de arena tiene poros, se necesita saturar la muestra previamente, para lo cual se dejará reposar en un recipiente con agua que cubra toda la masa durante 24 horas.
- c) Se escurre el agua superior sin ocasionar pérdida de material sólido y se coloca el material sobre un superficie horizontal no absorbente y se le aplica una moderada corriente de aire caliente hasta que desaparezca la humedad superficial (estado SSS) de las partículas.
- d) Para saber si se ha llegado a la condiciones de saturado y superficialmente seco (SSS), se utilizado un cono metálico truncado (Figura 2-9), el cual se coloca sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente, con la abertura mayor hacia abajo; y, mateniéndolo firme con la mano sobre la superfice, se llena con el árido en SSS. El material se compacta dentro del cono con un pisón normalizado de 340 gr. de peso, dejando caer verticalmente el compactador 25 veces desde una altura no mayor a 5 mm sobre la superficie del árido. Una vez compactada la muestra, se levanta verticalmente el cono, dejando libre la muestra. Se sabra que ha alcanzado la condición deseada si un lado del árido apenas se derrumba.(INEN 2002a)





**CONO Y COMPACTADOR PARA DENSIDAD DE ARENA**

Figura 2-9: Izquierda: Cono y compactador para determinar estado SSS en la arena (Autor). Derecha: Imagen de cono y compactador normalizado (ELE International)

- e) Una vez que se ha alcanzado la condición de humedad SSS, se toman 500 gr de material y se los coloca al interior de un frasco o probeta graduada (picnómetro) y previamente pesada con agua hasta la marca de calibración. Con el material dentro, se añade agua sin llegar hasta la marca de calibración para poder agitar el frasco y eliminar el aire del interior de la muestra. Posteriormente, se llena con agua hasta dicha marca y se toma el peso. Al final se extrae el material, conjuntamente con el agua y procurando extraer absolutamente todo el material. Se elimina cuidadosamente el exceso de agua y se deja secar en horno durante 24 horas, luego de lo cual se determina el peso seco del material.



Figura 2-10: Picnómetro para densidad de arena (ELE International)



El cálculo se obtiene con las siguientes ecuaciones, desde la 2-7 hasta la 2-13:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)}(SH) = \frac{A}{(B + S - C)} \quad 2-7$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)}(SSS) = \frac{S}{(B + S - C)} \quad 2-8$$

$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad especif. aparente)} = \frac{A}{(B + A - C)} \quad 2-9$$

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 A}{(B + S - C)} \quad 2-10$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 S}{(B + S - C)} \quad 2-11$$

$$\text{Densidad aparente (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5 A}{(B + A - C)} \quad 2-12$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(S - A)}{A} \times 100 \quad 2-13$$

Donde:

A = Masa de la muestra seca al horno, g

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

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

S = Masa de la muestra SSS, g

### Densidad del árido grueso

De forma similar al del árido fino, la densidad del agregado grueso se describe detalladamente en la norma INEN NTE 857 (ASTM C128), y análogamente se tomará el procedimiento gravimétrico, que se resumen en los siguientes pasos:

- a) Se toma una muestra representativa del árido grueso, según lo descrito en la norma INEN NTE 0695, se homogeniza y se reduce al tamaño, siguiendo el procedimiento descrito en la norma INEN NTE 2566, hasta obtener una muestra mínima que estará en función del tamaño máximo del agregado, y que se detalla en la Tabla 2-15. Se desechará todo el material que pase el tamiz N° 4.



Tamaño máximo nominal, mm	Masa mínima de la muestra para ensayo, kg
≤ 12,5	2
19,0	3
25,0	4
37,5	5
50,0	8
63,0	12
75,0	18
90,0	25
100,0	40
125,0	75

Tabla 2-15: Masa mínima de la muestra de ensayo NTE 857 (INEN 2002b).

- b) Una vez establecida y reducida la muestra, se deja en inmersión durante 24 horas para saturar los poros del material.
- c) Una vez saturado, se retira del agua y se elimina la humedad superficial de las partículas del árido, usando para ello un paño absorbente. Se reconoce fácilmente esta operación al desaparecer el aspecto brillante del agua superficial, tornándose mate (condición SSS)
- d) Se determina la masa de la muestra en estado SSS y se registra el dato.
- e) Luego de registrada la masa en el aire, se coloca la muestra en condiciones SSS en una canastilla normalizada hecha de malla de alambre. La balanza debe permitir colgar la canasta y determinar la masa del agregado en condiciones SSS, y sumergida completamente dentro del agua.
- f) Finalmente, se retira el material de la canasta y se pone a secar en horno a temperaturas de 110°C hasta masa constante (24 horas). Se registra el peso seco del material.
- g) Con estos datos, se calculan las densidades, usando las ecuaciones desde la 2-14 hasta la 2-20:

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)}(SH) = \frac{A}{(B - C)} \quad 2-14$$

$$\text{Densidad relativa (gravedad específica)}(SSS) = \frac{B}{(B - C)} \quad 2-15$$



$$\text{Densidad relativa aparente (gravedad espec. aparente)}(SSS) = \frac{A}{(A - C)} \quad 2-16$$

$$\text{Densidad (SH)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5A}{(B - C)} \quad 2-17$$

$$\text{Densidad (SSS)}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5B}{(B - C)} \quad 2-18$$

$$\text{Densidad aparente}, \frac{kg}{m^3} = \frac{997,5A}{(A - C)} \quad 2-19$$

$$\text{Absorción, \%} = \frac{(B - A)}{A} \times 100 \quad 2-20$$

Donde:

A = masa en aire de la muestra seca al horno, g,

B = masa en aire de la muestra saturada superficialmente seca, g, y

C = masa aparente en agua de la muestra saturada , g

#### 2.2.2.2.1.4. Masa Unitaria (peso volumétrico).

La masa unitaria de un árido, se define como la relación que existe entre la masa seca del árido y el volumen que ocupan éstas, dentro de un recipiente de volumen conocido, considerando los espacios intersticiales entre las partículas del árido. Su valor estará determinado por la constitución mineralógica del material, así como por el grado de acomodamiento de las partículas dentro del recipiente y que depende de la forma y textura del árido. Su valor queda determinado por la ecuación 2-21:

$$\text{Masa unitaria} = \frac{\text{Peso seco del material}}{\text{Volumen del recipiente}} \quad 2-21$$

El volumen del recipiente incluye, además del correspondiente a la masa sólida del árido, el de los espacios intersticiales (vacíos) y de los poros saturables y no saturables del árido. Existen dos conceptos de masa unitaria que se usan en la tecnología de la construcción y que pretenden emular las condiciones del material bajo distintas condiciones de uso: masa unitaria compacta y masa unitaria suelta. (Sánchez de Guzmán 2002)



#### **2.2.2.2.1.4.1. Masa unitaria compacta.**

Indica el grado de consolidación de las partículas de un árido, luego de haberse sometido a algún tipo de compactación, permitiendo un mejor acomodamiento y densificación del árido o del conjunto del que forma parte.

Este parámetro es de gran importancia en el diseño de mezclas de hormigón de cemento portland, puesto que simula las condiciones similares a las del agregado dentro de la masa de hormigón. Su determinación para el caso del agregado grueso es factor indispensable para el diseño de mezclas.

Para la determinación de la masa unitaria compacta, se llena un recipiente de volumen conocido en tres capas de igual altura aplicando 25 golpes uniformemente distribuidos con una varilla de acero de 16 mm de diámetro y punta de extremo redondeada. Se mide la masa del material que cabe en el recipiente y se divide para el volumen de éste. Se realizan tres ensayos para obtener un promedio.

#### **2.2.2.2.1.4.1. Masa unitaria suelta.**

Indica el estado natural del árido, sin ningún grado de compactación por lo que sus partículas se encuentran más dispersas y por lo tanto menos densas. La masa unitaria suelta, es útil cuando se van a manejar volúmenes de agregados en estado suelto, como por ejemplo para dosificaciones volumétricas o transporte del material que requiere una conversión a masa o viceversa.

Para el cálculo de este parámetro se procede de manera similar que para la masa unitaria suelta; con la única diferencia que el material simplemente se lo coloca sin ninguna compactación, dejando caer el árido a una altura no mayor a 5 cm.

Las características y volúmenes de los recipientes para el ensayo deben cumplir las condiciones establecidas en la norma ecuatoriana INEN NTE 858 o su equivalente ASTM C29. La Tabla 2-16 muestra la tabla con las capacidades nominales de los recipientes a usarse según el tamaño máximo del árido.

Tamaño máximo nominal del	Capacidad nominal del molde,
---------------------------	------------------------------



árido, mm	M3 [litros]
12,5	0,0028 [2,8]
25,0	0,0093 [9,3]
37,5	0,014 [14]
75,0	0,028 [28]
100,0	0,700 [70]
125,0	0,100 [100]

Tabla 2-16: Capacidad de los recipientes para el ensayo de masa unitaria del árido (INEN 2002c)

### 2.2.2.2.2. PROPIEDADES MECÁNICAS.

#### 2.2.2.2.2.1. Resistencia a la compresión.

La resistencia de las partículas del árido dentro de la masa del hormigón endurecido es importante debido a que pueden tener influencia en su comportamiento mecánico. La falla en un hormigón de cemento portland puede darse en cualquiera de los tres casos: a) falla del árido, b) falla de la pasta; o c) falla en la interfase entre el agregado y la pasta (falla por adherencia). En los hormigones de peso normal, la resistencia de los áridos suele ser mayor que la de la pasta de cemento, por lo que generalmente no suelen haber afecciones a su resistencia; sin embargo, cuando se tienen hormigones de altas resistencia o cuando los áridos son de baja resistencia, el agregado puede fallar antes que la pasta, ocasionando serios problemas al conjunto. Hacer ensayos de compresión en partículas del árido es difícil por lo que generalmente se hacen ensayos de las rocas de origen. (Sánchez de Guzmán 2002)

#### 2.2.2.2.2.2. Módulo de Elasticidad.

Está directamente relacionado con la resistencia del material; es decir, será mayor, cuanto mayor sea la resistencia a la compresión. Algunos investigadores han realizado investigaciones respecto a las resistencias de las rocas y sus módulos de elasticidad. Los resultados tienen valores bastante dispersos y hay una infinidad de singularidades que hacen de los resultados tan vulnerables. No obstante, se pueden citar valores característicos de algunas rocas que algunos autores han publicado. La Tabla 2-17, muestra un extracto de tres tipos de rocas bastantes comunes en la construcción.



Tipo de roca	Resistencia a la compresión, MPa	Módulo de Elasticidad GPa
Granito	140	51,4
Calizas	89.4	45,1
Arenisca	48.&	19,0

Tabla 2-17: Resistencia promedio de algunas rocas(Sánchez de Guzmán 2002)

#### 2.2.2.2.2. Tenacidad

En ciencia de materiales, la tenacidad es la energía de deformación total que es capaz de absorber o acumular un material antes de alcanzar la rotura en condiciones de impacto, por acumulación de dislocaciones (Wikipedia). La resistencia a la falla por cargas de impacto de los áridos, puede alterar su granulometría al fraccionar a las partículas y además podría también alterar las propiedades mecánicas del hormigón.

#### 2.2.2.2.3. Adherencia.

La adhesión se define como la propiedad de la materia por la cual se unen íntimamente dos superficies o materiales al entrar en contacto, ya sea por mecanismos físicos, químicos o por ambos. En términos generales, los mecanismos de adhesión se enmarcan básicamente en dos tipos: la adhesión mecánica o física y la adhesión química.(Wikipedia [sin fecha])

La adhesión mecánica se produce por la trabazón física entre dos cuerpos sólidos, tal como ocurre con las piezas de un rompecabezas. En el caso de los adherentes que inicialmente tienen una consistencia plástica, estos adoptan la forma de la superficie de contacto para luego, al endurecerse, formar la trabazón mecánica que le permite conectarse mecánicamente al cuerpo adyacente. En estos casos, la textura superficial de los sólidos juega un papel primordial para conseguir la conjunción deseada.

La adhesión química, en cambio, se basa en las fuerzas intermoleculares que existen entre las sustancias constitutivas de las superficies a ligar. A través de este mecanismo, es posible la unión de cuerpos cuyas superficies están completamente emparejadas y perfectamente pulidas. Así como las moléculas de una sustancia se atraen entre sí, también lo hacen las de sustancias distintas. La atracción (a nivel molecular), necesaria para la



## Capítulo II

adhesión química, debe ser lo suficientemente fuerte para vencer a las de cohesión de las moléculas que forman las sustancias a unirse.

En las mezclas de cemento portland, la adherencia entre las partículas del árido y la pasta hidratada de cemento, se produce en lo que se conoce como la zona de interacción interfacial ITZ (interfacial transition zone) que se encuentra en las inmediaciones del árido que está en contacto con la pasta. Las fuerzas que permiten esta unión sólida, pueden ser de tipo físico o químico; sin embargo, predominan las denominadas fuerzas de atracción de Van Der Waals y dependerán del volumen y tamaño de los espacios vacíos presentes.

Ante la aplicación de cargas en el hormigón endurecido, el microagrietamiento se produce en la zona ITZ, considerado el eslabón más débil de la cadena. Posteriormente, en el momento de la falla al incrementar las cargas, el patrón de agrietamiento siempre incluye a la interfase. En consecuencia, es necesario darle la debida importancia a las propiedades y el comportamiento de la zona de interfase. (Chan, Solís y Moreno 2003)

Varias investigaciones han mostrado que una mezcla de hormigón que contiene áridos triturados y de textura áspera, pueden mostrar mayor resistencia (especialmente a la tensión) a edades tempranas, comparadas con áridos redondeados y de textura lisa de similar mineralogía. Una adhesión mecánica entre el árido y la pasta de cemento es asumida como responsable de esto. A edades mayores, cuando la interacción química empieza, la influencia de la textura superficial puede reducirse. Por otro lado, la cantidad de agua necesaria para obtener la trabajabilidad deseada al hormigón fresco elaborado con agregados angulares y rugosos, es mayor que la necesaria con agregados redondos y lisos; de esta forma, la pequeña ventaja obtenida por la adhesión mecánica, podría perderse por el incremento de la cantidad de agua y la misma cuantía de cemento. (Kumar Mehta y Monteiro 2006)





#### 2.2.2.2.4. Dureza.

La dureza es la resistencia de la superficie de un material a ser penetrado, desgastado, cortado o deformado por un material más duro. La abrasión es la acción mecánica en la cual un material puede ser desgastado por la erosión causada por la fricción dinámica de dos o más cuerpos en contacto.

Existen muchas formas de medir la dureza de un material, tales como el ensayo Brinell o el de Rockwell que miden la huella dejada por un objeto de alta dureza sobre el material de análisis. En el caso de los minerales, la escala de Mohs, desarrollada por Friederich Mohs en 1822 ha sido un referente universal para medir la dureza comparándola con una escala del 1 al 10, en la cual cada valor entero hace referencia a conocidos materiales de la naturaleza. Así, la escala menor de 1 corresponde a un material suave como el talco; y, la de 10 se asigna al diamante concebido como el material de mayor dureza. (Neville y Brooks 1998)

La forma más común de medir la dureza y tenacidad de los áridos, es el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Ángeles (ensayo de abrasión), aplicado básicamente al árido grueso, según el procedimiento descrito en las norma INEN NTE 861 o su equivalente ASTM C535.

En esta prueba, se evalúa la pérdida por abrasión midiendo la cantidad de material fino que se produce al someter un conjunto de partículas de árido grueso, al impacto y la abrasión producidos por una carga de esferas de metal que se encuentran al interior de un cilindro giratorio, luego de 500 revoluciones. La norma INEN 872: requisitos de áridos para el hormigón, establece un nivel de pérdida de 50% con límite máximo en este ensayo.

#### 2.2.2.2.3. PROPIEDADES QUÍMICAS.

Los áridos, por definición, son partículas inertes que por lo general no tienen reactividad con los materiales que forman parte constitutiva del hormigón. A pesar de ello, las investigaciones han determinado que ciertos áridos pueden tener reacciones favorables y desfavorables con otros componentes que deben ser tomados en cuenta previo a la fabricación del hormigón.



Algunas de las reacciones más comunes del hormigón son (Sánchez de Guzmán 2002):

#### 2.2.2.2.3.1. Reacción álcali-agregado.

Al combinar el cemento con el agua, durante la mezcla del hormigón, se genera un ambiente de alta alcalinidad en el que también estarán inmersos los áridos. Algunos de ellos reaccionan químicamente con los de la pasta de cemento, desarrollándose compuestos que son altamente sensibles a la humedad. Luego de endurecido el concreto, al absorber el agua, estos compuestos se expanden y crean presiones que superan la resistencia a la tensión del concreto, formándose grietas que promueven el deterioro prematuro de las estructuras.

Las reacciones químicas que se producen obedecen a la acción de dos elementos: el primero, conocido como álcalis, agrupa a los óxidos de sodio y potasio que se encuentran en cantidades menores en el cemento portland; y el segundo, correspondiente a ciertos minerales presentes en algunos tipos de rocas o áridos. En presencia del agua y en las proporciones y condiciones adecuadas, estos elementos se activan y generan problemas a las estructuras de hormigón.

Las condiciones del hormigón que pueden generar este tipo de reacciones, son las siguientes:

- Cementos con altos contenidos de álcalis (>0,6 %)
- Presencia de minerales reactivos en los áridos del hormigón
- Exposición del hormigón endurecido a procesos de humedecimiento y secado de las estructuras.

La reacción más difundida es la que ocurre entre la sílice ( $\text{SiO}_2$ ) inestable, presente con mayor abundancia en algunas rocas y minerales, y los álcalis (óxido de sodio y potasio) que forman parte de la su composición química del cemento portland. Cuando se produce esta reacción, se forma un gel inestable que incrementa su volumen conforme va absorbiendo agua. El hinchamiento provoca presiones internas en el hormigón, provocando su



agrietamiento y el inicio del deterioro. (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)

Otra reacción que se presenta, aunque con menor frecuencia es la del tipo álcali – carbonato, generada por áridos de origen calizo que contienen dolomita y minerales arcillosos. En muchos de los casos en donde se produce este fenómeno, no se han detectado problemas nocivos para el hormigón; sin embargo, en otros poco frecuentes, se producen expansiones de volumen básicamente por dos motivos: a) desdolomitización: que produce un aumento de volumen debido a la cristalización de la calcita y brucita; y, b) expansión debida a la absorción de agua por las arcillas superficialmente expuestas en áridos con una estructura de matriz de grano fino de calcita y arcilla alrededor de cristales de dolomía.

Algunos tipos de reacciones se muestran en la Tabla 2-18

Grupo reactivo	Tipo de reacción
Diversas rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas que contienen formas de sílice reactiva (vítreo, criptocristalina o cristalina intensamente deformada)	Álcali – sílice
Algunas rocas sedimentarias carbonatadas, que contienen dolomita y minerales arcillosos	Álcali-carbonato
Ciertas rocas metamórficas que contiene filosilicatos, de estructura foliada-retículas	Árido-silicato

Tabla 2-18: Reacciones químicas de los áridos del hormigón (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)

En la Tabla 2-19 se muestran las rocas más comunes en las cuales se pueden encontrar minerales reactivos, y el nombre del mineral reactivo.

1.- Reacciones álcali – sílice	Componente reactivo
– Rocas que contiene ópalo, (rocas calcedónicas, calizas síliceas y pedernales; ciertas pizarras y areniscas)	Ópalo, tridimita
– Rocas volcánicas vítreas (rolitas, dacitas, latitas, andesitas y sus tobas; ciertos basaltos)	Componente reactivo Sílice amorfa
– Rocas de alto contenido de sílice (ortocuarcitas, areniscas, granito microcristalino, ciertos esquistos)	Cuarzo cristalino
2.- Reacciones álcali – carbonato	Componente reactivo
– Calizas dolomíticas arcillosas o tras rocas dolomíticas	Componente reactivo
3.- Reacciones álcali – silicato	Componente reactivo
– Grauvacas, argilitas, filitas, algunos esquistos y pizarras.	Hidromica (Illita)

Tabla 2-19: Componentes reactivos en ciertas reacciones químicas de los áridos. (Instituto de Ingeniería de la UNAM 2001)



#### 2.2.2.2.3.2. Epitaxia.

Es una reacción en donde se produce un proceso de cristalización de un mineral sobre otro de igual estructura mineralógica. Esa reacción química, se considera como la única favorable a la adherencia, y por tanto a la resistencia del concreto. Ocurre en ciertos áridos de origen calizo y tiende a mejorar la adherencia entre éste y la pasta de cemento.

El hidróxido cálcico (que se forma en la hidrólisis del óxido cálcico que contiene el cemento y también en la hidratación de los silicatos anhidros que producen silicatos hidratados e hidróxido cálcico) cristaliza sobre el carbonato cálcico que tiene una red análoga produciendo una continuidad cristalográfica entre árido y cemento, En realidad, se origina una capa de Portlandita perpendicular a la interfase, sobre el árido. Pero también hay gel fibroso de silicato hidratado, también perpendicular a la superficie y que se deposita en segundo lugar. A estas dos capas se les denomina Doble Capa. A continuación, se van depositando más capas de hidróxido cálcico, paralelas, y otras largas, tubulares y perpendiculares que van extendiéndose hacia la pasta. En el caso de árido calizo esta cal cristaliza como lo hace la caliza, produciendo una epitaxia que es una unión cristalográfica que aumenta las resistencias. En algunos ensayos realizados, un mortero con filler calizo tenía una resistencia a flexotracción de un 15% más que uno realizado con filler silicio en similares condiciones (Dominguez y Granizo 2008),

#### 2.2.3. El agua

En la fabricación del hormigón no se puede prescindir de uno de sus componentes esenciales como el agua, elemento indispensable requerido tanto en la elaboración de las mezclas en estado plástico, como ya en estado endurecido para favorecer las reacciones químicas del cemento. Algunos autores han establecido que las cantidades mínimas de agua necesarias para hidratar el cemento están entre del 23% al 30% de la masa del cemento; sin embargo, con esta cantidad de agua la mezcla no es manejable y requiere de una mayor cantidad para poder ser manipulada. Valores cercanos al 40% se consideran valores mínimos recomendables



para elaborar mezclas con buena trabajabilidad y la menor cantidad de agua en la mezcla.(Neville y Brooks 1998)

#### 2.2.3.1. Agua de mezclado

Esta queda definida como la cantidad por volumen unitario de hormigón requerida para hidratar la pasta de cemento hasta obtener la fluidez necesaria para brindarle trabajabilidad adecuada al hormigón durante su estado plástico. La pasta de cemento actúa como lubricante de la mezcla.

#### 2.2.3.2. Agua de hidratación.

Es la parte del agua de mezclado que usa el cemento para reaccionar químicamente con éste y pasar a formar la parte del gel que luego constituirá la estructura cristalina que le dota de resistencias mecánicas a las mezclas cementicias. Algunos autores la denominan también agua no evaporable por la propiedad de mantenerse en el conjunto aún a temperaturas mayores a los 110°C.

Algunas investigaciones han determinado que el agua mínima necesaria promedia para que el cemento se hidrate completamente es de aproximadamente el 23% ( $A/C=0.23$ ). Una cantidad menor a este valor implica que cierta cantidad de cemento podría quedar sin hidratarse; y, por lo tanto, no reaccionar químicamente ni aportar resistencia alguna.

#### 2.2.3.3. Agua evaporable

Se denomina así a aquella que puede evaporarse a temperaturas mayores a las de ebullición. Se debe incluir en esta categoría también al agua capilar que se encuentra en los bordes de la superficie del gel. Parte de esta agua puede ser cualquiera de las tres que se menciona a continuación:(Sánchez de Guzmán 2002)

##### 2.2.3.3.1. Agua adsorbida

Es aquella que se encuentra en las inmediaciones de la superficie del gel de tobermorita y muy adherida molecularmente a éste. Es también conocida con el nombre de “agua activa” por la influencia que tiene en el comportamiento del hormigón.



#### 2.2.3.3.2. Agua capilar

Es el agua que se encuentra en los capilares de la pasta y es parte del agua evaporable. Se encuentra adherida débilmente a la superficie del gel.

#### 2.2.3.3.3. Agua libre

Es también parte del agua evaporable y no está ligada a fuerzas que impidan ser evaporadas con relativa facilidad.

#### 2.2.3.4. Agua de Curado

Es el agua adicional al de mezclado que se suministra al hormigón para que la hidratación del cemento se mantenga de manera continua durante todo el tiempo que dura el proceso de fraguado del cemento. La función principal del agua de curado es la de evitar el desecamiento del hormigón por efectos de la desaparición prematura del agua evaporable. (Sánchez de Guzmán 2002)

#### 2.2.3.5. Requisitos para el agua de mezclado

Generalmente, el agua que se recomienda para la fabricación del hormigón es aquella que es apta para el consumo humano, que no posea ningún sabor u olor fuerte. El agua debe estar libre de sales, arcillas y contaminantes orgánicos que puedan afectar a la calidad del concreto, pudiendo comprometerse propiedades importantes tales como la resistencia, durabilidad, estabilidad de volumen o el tiempo de fraguado. La presencia de sales en el agua, podría promover la corrosión del acero por lo que no se permite el uso de agua salada la fabricación del hormigón armado, a más de que favorece a la formación de eflorescencias.

En resumen, el presente capítulo aporta un compendio indispensable de las propiedades, características y requisitos de los componentes del hormigón, información de cita obligatoria para la determinación y escogimiento de los materiales a ser empleados en los ensayos; y, obviamente el análisis de los posibles efectos que ocasionan que puedan tener aquellos que están siendo empleados en la fabricación del hormigón común, así como el de pavimentos.



### 3. CAPITULO III: PROPIEDADES DEL HORMIGÓN

En este capítulo, se realiza una descripción breve de las propiedades del hormigón cuando se encuentran en estado fresco y cuando se encuentra endurecido. En el primer caso la trabajabilidad es una de las propiedades más importante que se relacionan con los procesos de colocación, colado y compactación de la mezcla. Y en el segundo caso las resistencias mecánicas que aportan a la funcionalidad de material para soportar las cargas de servicio para las que fue construido. A lo largo del capítulo se muestran los factores más importantes que inciden en el comportamiento del hormigón en ambos estados y los procedimientos para evaluar los resultados en base a las normativas que regulan la calidad del producto final.

El hormigón es un material que a simple vista parece sencillo, pero tiene una naturaleza bastante compleja. A diferencia de la cal o el yeso, el cemento portland es un aglomerante complejo en cuyo proceso químico, los compuestos que inicialmente constituían el material, luego de reaccionar con el agua desarrollan estructuras cristalinas complejas muy diferentes de sus originales. Esta situación hace que el hormigón dependa de muchísimos factores que pueden alterar el proceso de fraguado, deviniendo en conflictos que ocurren al endurecerse, tal como su resistencia.

Por otro lado, la propiedad del hormigón de llenar el molde que lo recibe cuando se encuentra en estado plástico, es de vital importancia ya que, al endurecerse, deberá tener las formas y dimensiones preestablecidas para el uso que se le dará en condiciones de servicio. Llenar los moldes es una tarea aparentemente fácil; no obstante, los componentes del hormigón, especialmente los áridos, se comportan de diferente manera dependiendo de su forma, tamaño, textura, etc, haciendo que la mezcla aún moldeable, permita una fácil colocación y compactación del material sin generar disgregación de sus constituyentes para no alterar la resistencia y durabilidad, con la menor cantidad de trabajo posible.

Conocer y describir las propiedades del hormigón en sus diferentes estados, así como los factores que los modifican, es de capital importancia en



cualquier proyecto de investigación que implique actividades de experimentación. En el caso del presente trabajo, el objetivo general requiere establecer una correlación entre dos propiedades mecánicas del hormigón, para lo cual es requerido de una sustanciación conceptual que vislumbre las acciones a desarrollarse, así como para un correcto análisis de los resultados. Al mismo tiempo, la fabricación de los testigos para las pruebas necesita realizarse bajo criterios que permitan obtener mezclas con la trabajabilidad suficiente para un adecuado vaciado en los moldes, con la menor cantidad de vacíos que puedan alterar la confiabilidad de los resultados.

### **3.1. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO.**

La calidad del hormigón en estado endurecido dependerá siempre de la forma en la que fue elaborado. Este concepto engloba a todas las actividades previas al fraguado del hormigón, mientras se encuentra en estado plástico, y que repercuten posteriormente en sus propiedades mecánicas y su vulnerabilidad a patologías o agentes agresivos. Una distribución poco homogénea de sus componentes y la presencia de grandes espacios vacíos en el hormigón endurecido son ejemplos de las consecuencias de un manejo inadecuado del hormigón en estado fresco y que traería como consecuencia zonas de fallas estructurales, excesivamente permeables y altamente sensibles a daños por patología, disminuyendo la vida útil de la estructura.

#### **3.1.1. TRABAJABILIDAD.**

Uno de los factores que permite al hormigón alcanzar una buena densificación es la facilidad con la que puede colocarse el hormigón dentro de las formaletas o encofrados, con la menor energía posible y sin producir separación de sus constituyentes. A esta propiedad se le denomina trabajabilidad o manejabilidad y es una de las aristas de las que el autor considera el triángulo de calidad del hormigón.

Antiguamente, la calidad del hormigón se definía exclusivamente por su resistencia, independientemente de cual sea su comportamiento en estado



fresco, peor aún evaluando su estado en el tiempo, luego de haber estado expuesto al intemperismo u otros agentes agresivos. Ahora, las nuevas tendencias empujan hacia reinterpretar la noción de calidad, integrando los conceptos de durabilidad y trabajabilidad que completan la trilogía de calidad del hormigón (Figura 3-1).

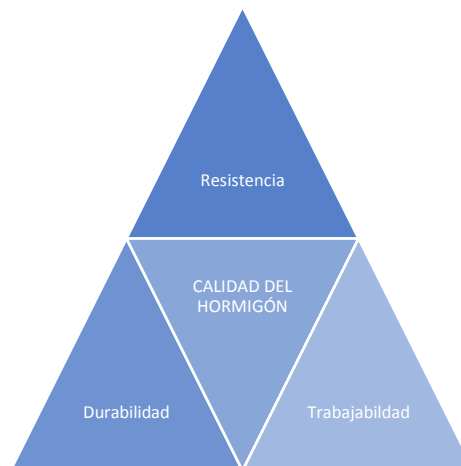


Figura 3-1: Trilogía de calidad del hormigón (autor 2017)

La norma americana ASTM C125, define a la trabajabilidad como la propiedad que determina el esfuerzo necesario para manipular una cierta cantidad de hormigón fresco con una mínima pérdida de homogeneidad. En otras palabras, la trabajabilidad del hormigón es la facilidad con que la mezcla puede ser manipulada, transportada, colocada, compactada y terminada sin segregación dañina alguna.

Es muy común que la trabajabilidad esté asociada con otros términos que refieren al estado de humedad de la mezcla. De esta manera, una mezcla con alta húmeda estaría asociada con alta trabajabilidad; y, al contrario, las secas demandarán de mucha energía para ser manipuladas y por lo tanto su trabajabilidad es baja. Aquí nace otro término denominado consistencia, la cual irá asociada al estado de humedad de la mezcla. (Sánchez de Guzmán 2002)

Consistencia fluida	Alta trabajabilidad
Consistencia plástica	Trabajabilidad mediana
Consistencia seca	Baja trabajabilidad



La experiencia profesional, permite establecer que una buena trabajabilidad no siempre estará asociada con una consistencia fluida, ya que esta dependerá de las condiciones del elemento o estructura a construirse y los equipos de vertido y compactación empleados. En tal razón, la trabajabilidad correcta estará ligada a los requerimientos de los constructores y las técnicas empleadas para la colocación y compactación del hormigón; por ejemplo, en la construcción de pavimentos de concreto con pavimentadoras es conveniente trabajar con mezclas de consistencia seca o semi-seca; al contrario, si lo que se desea es construir elementos verticales tales como columnas o muros que generalmente tienen alta cuantía de refuerzo y espacios reducidos entre los encofrados, la consistencia requerida debería ser fluida.

### **3.1.2. MEDIDA DE LA TRABAJABILIDAD.**

Hasta la fecha no ha habido un método que permita conocer directamente la trabajabilidad del hormigón fresco y varios investigadores han desarrollado distintos procedimientos para evaluarla de manera cuantitativa. Los métodos más comunes están asociados a mecanismos que permiten medir la capacidad de auto-sostenerse bajo su propio peso o la resistencia a la penetración de un objeto determinado. Todos los casos se relacionan con evaluar la fricción interna existente entre las partículas de los agregados y en donde la pasta actúa a manera de lubricante que facilita el movimiento. (Neville y Brooks 1998)

#### **3.1.2.1. ENSAYO DE ASENTAMIENTO DE ABRAMS**

Es un método desarrollado por el investigador norteamericano Duff Abrams a principios del siglo XX y que en la actualidad es el método más comúnmente usado en el mundo por su sencillez y facilidad de ejecución, y se usan tanto en campo como en laboratorio. A pesar de no medir directamente la trabajabilidad, permite conocer la consistencia de la mezcla a través de los que se conoce como el ensayo de asentamiento, cuyo procedimiento está establecido en la norma INEN NTE 1578, basada en la

norma ASTM C 143 y no es aplicable a hormigones con consistencias extremadamente secas o no cohesivas.

El ensayo se realiza en un cono trucado de 30 cm de altura, 10 cm de diámetro menor y 20 de diámetro mayor, con la abertura más pequeña hacia arriba. El cono se humedece y se coloca sobre una superficie plana, horizontal no absorbente y se llena con el hormigón en tres capas de igual volumen, compactando cada capa con 25 golpes de una varilla normalizada de 5/8" (16 mm), uniformemente distribuidos, cuidando de que la varilla no atraviese en más de una pulgada la capa anterior. Una vez llenado el cono, se enrasa el molde retirando los excesos rodando la misma varilla de compactación sobre el borde superior del cono, e inmediatamente después se retira lentamente el cono de forma vertical, sin movimientos laterales ni torsión. Al perder soporte lateral, el hormigón que se encontraba confinado en el cono se asentará o reventará respecto a su forma original, y se medirá la distancia vertical existente entre la altura inicial del cono y el centro original desplazado de la superficie superior del espécimen. Si ocurre un desprendimiento o corte del hormigón de una parte o porción, se debe desechar el ensayo y hacer un nuevo. Figura 3-2

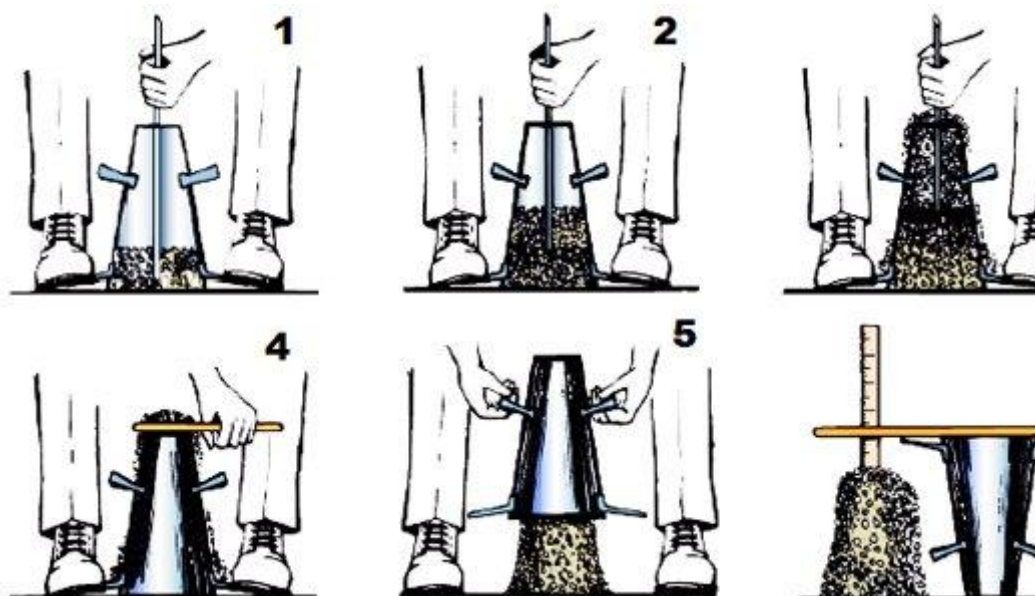


Figura 3-2: Representación gráfica del ensayo de asentamiento  
(fuente: <https://www.linkedin.com/pulse/usefulness-slump-test-concrete-g-k>)



Existen otros procedimientos para medir la trabajabilidad, tales como el método Vebe o la esfera de Kelly; sin embargo, son métodos no muy comunes en nuestro medio y consecuentemente el instrumental requerido de es difícil disponibilidad. El método del cono de Abrams ha sido escogido para el control de la trabajabilidad de las mezclas durante los ensayos relativos al presente documento.

### 3.1.2.2. FACTORES QUE AFECTAN LA TRABAJABILIDAD.

Los factores más importantes que influyen en la manejabilidad de una mezcla, son los siguientes (Sánchez de Guzmán 2002):

- a) **Contenido de agua de mezclado.** La cantidad de agua que se agrega a la mezcla es el factor principal que influye en la trabajabilidad. A pesar de todas las investigaciones que se han realizado hasta ahora, no se ha podido establecer una fórmula que pueda contener todos los factores que determinan el requerimiento de agua para una trabajabilidad establecida. Las distintas características de los agregados y tipos de cemento hacen que sea casi imposible establecer un solo criterio para determinar este factor. Por tal motivo, la mejor forma de establecerlo es a través del procedimiento de prueba y error con los materiales que se van a utilizar, aunque para ello se necesita cierta experiencia y disponibilidad de un laboratorio. Como alternativa a lo anterior, existen ábacos y tablas elaboradas por investigadores que han determinado los requerimientos de agua para diferentes tipos de áridos que pueden ser utilizados para las primeras mezclas de prueba.
- b) **Fluidez de la pasta.** Como ya se dijo anteriormente, el agua tiene dos funciones específicas: hidratar el cemento y lubricar las mezclas para dotarle fluidez. La fluidez de la pasta puede influir notablemente en la trabajabilidad y dependerá de las proporciones de agua y cemento; y no solo del agua. Por ejemplo, una pasta con poca agua y mucho cemento será muy rígida por falta de agua evaporable, haciendo una mezcla poco trabajable al no poder lubricar los áridos. Al contrario, si la mezcla tiene mucha agua y poco cemento la gran cantidad de agua



evaporable fluidifica la mezcla en exceso impidiendo la segregación de los áridos, principalmente del grueso.

- c) **Contenido de aire.** Existen dos formas en las que el aire puede estar dentro de una mezcla de hormigón fresco: la primera es a través de los procesos de dosificación y mezclado y se denomina “aire naturalmente atrapado”, su presencia en el hormigón generalmente no es deseada y se lo extrae en los procesos de compactación. Por otro lado, se puede incluir el aire intencionalmente, de una manera uniforme y controlada en forma de esferitas de aproximadamente 1 mm de diámetro. Esta operación se realiza a través de aditivos o adiciones conocidas con el nombre de “incluidores de aire”, y generalmente se usan en climas con temperaturas de congelamiento y sirven para disipar las acciones expansivas del agua al congelarse y evitar el agrietamiento. Adicionalmente, estas bolitas de aire permiten aumentar el volumen de la pasta y separar las partículas, disminuyendo la fricción y mejorando la trabajabilidad.
- d) **Gradación de los áridos.** Un agregado mal gradado presenta exceso de vacíos que producen trabazón entre las partículas e incrementa la fricción, en detrimento de la trabajabilidad. Para corregir esta deficiencia, los vacíos deberían ser llenados con mortero o pasta para darle manejabilidad, encareciendo las mezclas. Los áridos ideales son aquellos que tienen todos los tamaños de partículas, haciendo que las pequeñas ocupen los espacios dejados por las más grandes, actuando como cojinetes y disminuyendo la fricción. En cuanto al árido fino, las arenas muy finas tienen alta superficie específica y requieren de más agua mientras que las arenas gruesas tienden a hacer mezclas ásperas y poco cohesivas
- e) **Forma y textura de los áridos.** Los áridos con formas alargadas y/o aplanadas, así como los obtenidos por procesos de trituración y textura áspera requieren más agua que agregados redondos y de textura lisa



- f) **Relación pasta – áridos.** Cuando este valor es alto, los áridos podrán moverse con mayor libertad en la masa; pero, si la cantidad de pasta se reduce notablemente, no será suficiente para llenar los espacios vacíos entre las partículas y lubricar a la mezcla, convirtiéndose en una mezcla áspera y poco manejable.
- g) **Relación arena – áridos.** Una mezcla con bajo contenido de arena se vuelve áspera y difícil de trabajar, con baja cohesión, alta segregación y exudación. Al contrario, una cuantía excesiva de arena es necesario añadir mucha agua para que la mezcla sea manejable.
- h) **Aditivos.** Los aditivos tienen como función principal modificar las características del hormigón para mejorar sus condiciones ya sea en estado plástico, cuanto en estado endurecido. La clasificación establecida por la norma ASTM C494, permite el uso de productos químicos denominados reductores de agua, conocidos también como plastificantes, los cuales incrementan la plasticidad de la mezcla sin la necesidad de incrementar la cantidad de agua y sin alterar la relación agua cemento. El efecto plastificante generalmente es temporal, mientras dure la acción del aditivo.

### 3.1.3. COHESIÓN Y SEGREGACIÓN

Al definir la trabajabilidad del hormigón se señaló que no debe haber segregación para lograr una compactación adecuada. La segregación se puede definir como el efecto de separación de las partículas de un conjunto, de modo que la distribución de estas ya no es uniforme en la mezcla. En el hormigón esta particularidad se da cuando se encuentra en estado fresco y las partículas de determinado tamaño tienden a ocupar una posición distinta a las de otro tamaño, haciendo que la mezcla deje de ser uniforme en el contexto global. Las principales causas por las que se produce la segregación son las fuerzas gravitacionales, haciendo que las partículas de mayor tamaño ocupen las posiciones inferiores, a veces por inadecuados procedimientos de vaciado u otras por exceso de vibración. La segregación también puede darse por la presencia de barreras físicas tales como varillas



de refuerzo o elementos inmersos que interfieren con la movilidad de las partículas. (Neville 2011)

En general, la segregación puede presentarse de dos formas: la una en donde las partículas de mayor tamaño tienden a separarse por desplazamiento sobre los taludes de las pilas de material o porque se asientan más que las finas por efecto de gravedad; esto ocurre generalmente en mezclas duras y con baja cohesión. En cambio, en las mezclas muy fluidas se da otro tipo de segregación en donde se produce una separación de la pasta y los áridos, generalmente cuando la pasta está muy diluida. (Sánchez de Guzmán 2002)

La cohesión se define como la cualidad por la cual las partículas del material se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas. En el hormigón, la cohesión juega un papel primordial para contrarrestar la segregación, especialmente en el caso de mezclas de alta fluidez y hormigones autonivelantes. Para evitar la segregación es necesario un análisis minucioso de los componentes del hormigón y sus proporciones en el conjunto.

#### **3.1.4. EXUDACIÓN**

Conocido también con el nombre de “ganancia de agua” o “sangrado”, es una forma de segregación en la cual una parte del agua de mezclado tiende a separarse y subir hacia la superficie del hormigón fresco. Este fenómeno ocurre por una incapacidad de los sólidos (que forman parte de la mezcla), para retener el agua cuando se asientan por gravedad. (Kostmatka et al. 2004)

La velocidad de exudación debe ser analizada en conjunto con la evaporación que dependerá a su vez de los factores climáticos y ambientales, que, en caso de no tomarse los correctivos necesarios podrían ocasionar daños en el hormigón. Por una parte, si la velocidad de exudación es menor a la velocidad de evaporación, la superficie del hormigón tendrá una relación agua cemento más alta por lo probablemente que será una zona de baja resistencia y susceptible al desgaste o abrasión. Por otro lado,



si la velocidad de evaporación es mayor, pueden generarse agrietamientos por contracción plástica. (Sánchez de Guzmán 2002)

Un hormigón con buena cohesión evita el problema de sangrado. Esto se logra con una adecuada proporción de los áridos, alto contenido de materiales cementantes, alto contenido de finos, contenido reducido de agua, aire incorporado; y, a veces con la inclusión de ciertas adiciones minerales de alta finura y buena capacidad higroscópica.

### **3.2. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.**

El hormigón endurecido es un material que presenta características especiales que le permiten considerarse el material de mayor uso en la construcción a nivel mundial. Una de las características más importantes del hormigón es su resistencia mecánica, especialmente a la compresión. Sin embargo, como ya se dijo anteriormente, no se puede dejar de nombrar la durabilidad como otro aspecto de primordial importancia, que incluso algunos autores lo consideran de mayor jerarquía que la resistencia. Juntas, la resistencia y durabilidad resultan la combinación perfecta para que el hormigón sea el material favorito de los proyectistas, considerando incluso su rendimiento económico y financiero.

#### **3.2.1. RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.**

El hormigón endurecido es un material que en su concepción teórica estructural es concebido como homogéneo e isótropo; sin embargo, su naturaleza intrínseca indica que es un medio heterogéneo y discontinuo. El gel de cemento, en su proceso de cristalización, forma estructuras semicristalinas discontinuas con un cierto grado de porosidad que contiene agua no evaporable y también agua libre. Adicionalmente, el agua que migra a la superficie por causa de la exudación, deja pequeños canales -conocidos como capilares- que permiten el intercambio de humedad con el medioambiente circundante. (Kumar Mehta y Monteiro 2006)

Por su parte, la presencia de áridos en la masa del hormigón marca la heterogeneidad constitutiva debido a la infinidad de partículas de diversas formas, tamaños, texturas y composición mineralógica, que al interactuar





### Capítulo III

con la pasta de cemento desarrolla circunstancias diferentes que impiden una adhesión perfecta en cada caso. No obstante, la discontinuidad y la heterogeneidad del hormigón tienen una ventaja en su comportamiento mecánico, toda vez que estas características le brindan cierta ductilidad que le permiten disipar energía cuando se exponen a condiciones de esfuerzos extremos. (Kumar Mehta y Monteiro 2006)

En un material compuesto y heterogéneo como el hormigón es común encontrar distintas características físicas y químicas de sus componentes y variaciones en la interacción entre ellos. Los áridos son materiales rígidos y sus propiedades no varían con el tiempo; en cambio la pasta es una matriz visco-elástica cuyas propiedades mecánicas cambian con el tiempo y está sujeta a patrones ambientales.

En general, la resistencia del hormigón dependerá del comportamiento mecánico de los áridos, de la pasta endurecida y de la zona de contacto (ITZ) entre los dos. Como ya se dijo anteriormente, la interfase árido – matriz es el eslabón más frágil de la cadena (Kumar Mehta y Monteiro 2006), aunque la falla podría ocurrir en cualquier de las otras dos. En la Figura 3-3 se muestra la gráfica esfuerzo deformación típica de un árido, de la matriz y del conjunto matriz – árido (hormigón simple). Aquí puede apreciarse que la curva esfuerzo deformación del hormigón toma características de sus constituyentes, tomando una posición intermedia, creciendo casi linealmente hasta cierto punto, luego de lo cual empieza a declinar su elasticidad, hasta llegar al fallo antes que sus componentes.

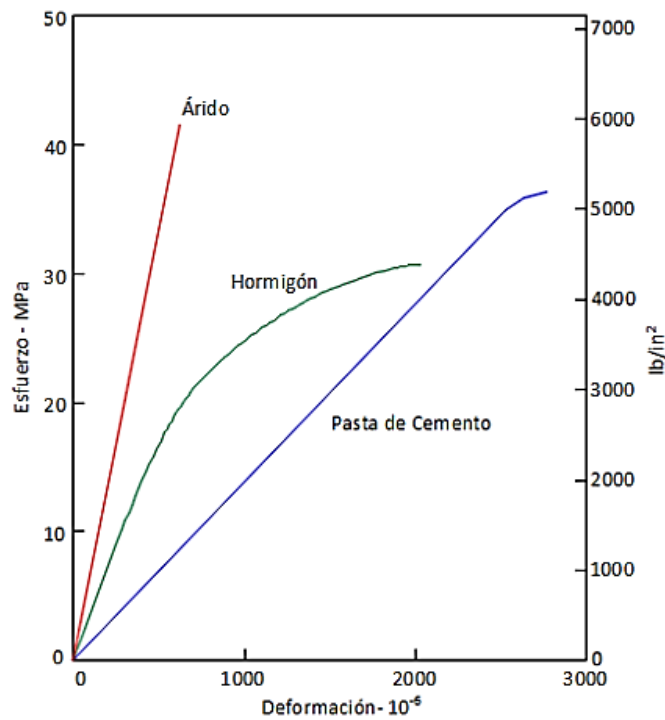


Figura 3-3: Relaciones esfuerzo-deformación para pasta de cemento, agregado y hormigón (Neville y Brooks 1998).

### 3.2.2. FACTORES QUE AFECTAN A LA RESISTENCIA

#### 3.2.2.1. RELACIÓN AGUA CEMENTO

Uno de los factores que más influye en la resistencia del hormigón, es la cantidad de agua neta empleada en la mezcla por la cantidad unitaria de cemento; es lo que se conoce como relación agua-cemento, que se expresa en unidades de masa y el resultado es adimensional.

Duff Abrams desarrollo en 1918 una investigación acerca de la influencia de este parámetro respecto a la resistencia desarrollada. Según esta, Abrams determinó que cuanto menor es la relación agua-cemento, menores son las resistencias obtenidas. La expresión a la que llegó con sus experimentos, se muestra en la ecuación 3-1 (Sánchez de Guzmán 2002).

$$R = \frac{K_1}{K_2^{(A/c)}} \tag{3-1}$$

Donde:

R = Resistencia media a la compresión

A = Cantidad de agua en masa

$C$  = Cantidad de cemento en masa.

$K_1$  y  $K_2$  son constantes empíricas que depende del tipo de cemento y árido

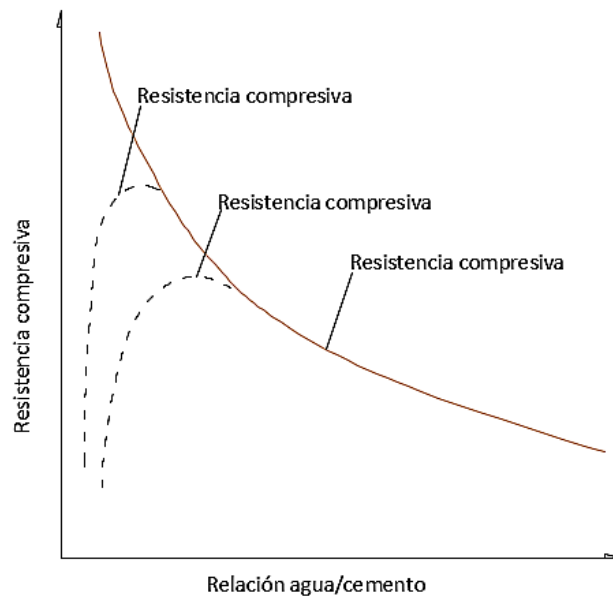


Figura 3-4: Relación entre resistencia y la proporción agua/cemento (Neville y Brooks 1998)

### 3.2.2.2. CONTENIDO DE CEMENTO

El cemento es el componente más activo del hormigón y el incremento de su contenido influirá proporcionalmente a la resistencia del hormigón. No obstante, para contenidos muy altos de cementos, el hormigón se vuelve muy vulnerable a la contracción y al agrietamiento al pasar del estado plástico al endurecido (Sánchez de Guzmán 2002).

### 3.2.2.3. TIPO DE ÁRIDOS

Los áridos juegan un papel muy importante en la resistencia del concreto, ya sea simplemente por sus características físicas o por la influencia que ejerce en el conjunto, tanto en el hormigón fresco cuanto en el endurecido. Algunas de las consideraciones que deben tomarse en cuenta son: (Sánchez de Guzmán 2002):

- La granulometría incide en la compacidad del hormigón y su densificación. La porosidad ocasionada por una defectuosa compactación afecta a la resistencia

- La textura y geometría de los áridos influyen en su adherencia con la pasta aglomerante. Un árido con textura rugosa y angular se adhiere mejor a la pasta que uno redondo y liso. Por otro lado, la forma y textura influyen también en la trabajabilidad y por ende en la cantidad de agua requerida. Así, un árido redondo y liso requiere menos agua que uno angular y rugoso, consecuentemente requiere de menos cantidad de cemento para la misma resistencia.
- La resistencia de los áridos también influye en la resistencia del hormigón. Áridos de baja densidad pueden influir negativamente en la resistencia del hormigón, especialmente cuando la resistencia de la pasta supera a la del árido.

#### 3.2.2.4. TAMAÑO MÁXIMO DEL ARIDO GRUESO.

El tamaño máximo del árido grueso influye también en las resistencias del hormigón. En un principio se conocía que cuanto mayor era, representaba un beneficio económico, toda vez que, al disponer de menos superficie específica, se necesita de una menor cantidad de mortero y de pasta para producir hormigón, sin sacrificar las resistencias requeridas. No obstante de ello, con la aparición de los hormigones de altas resistencias, se han realizado numerosas investigaciones en donde se ha llegado a la conclusión que cuanto mayor sea la resistencia requerida, menor debe ser el tamaño del árido para una máxima eficiencia. Para cada resistencia existe un rango de tamaños con los que se obtienen resultados óptimos, fuera del cual será necesario incrementar la cantidad de cemento.

En la Figura 3-5, puede verse que para hormigones de altas resistencias, se usan cuantías altas de cemento y áridos de tamaños pequeños, demostrando que el tamaño del árido si tiene influencia en la resistencia del hormigón.

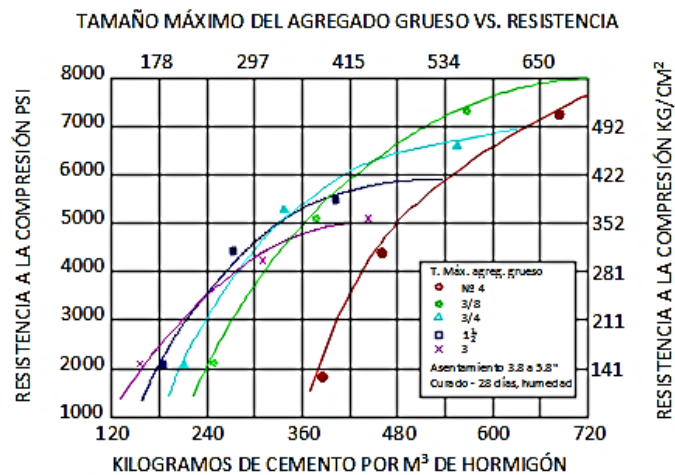


Figura 3-5: Eficiencia del cemento en kg/m<sup>3</sup> contra kg/cm<sup>2</sup>  
(Sánchez de Guzmán 2002)

### 3.2.2.5. EDAD DEL HORMIGÓN

Otro de los factores importantes que determina la resistencia del hormigón es su edad, considerándose como tal al tiempo (generalmente contado en días) que ha transcurrido desde la fecha en la que se elaboró la mezcla. Generalmente, el hormigón empieza a adquirir resistencia mecánica a partir del fraguado final, resistencia que gradualmente va creciendo con el transcurso del tiempo (Sánchez de Guzmán 2002).

En vista de que la resistencia es variable con el tiempo, la mayoría de especificaciones técnicas y normas internacionales han establecido que la edad a la que el hormigón ha adquirido la totalidad de su resistencia es 28 días. A pesar de que el crecimiento a partir de esta edad es prácticamente nulo, algunos cementos (como el caso de muchos cementos puzolánicos) tienen la capacidad de seguir incrementando las resistencias considerablemente después de esta edad, siendo bastante frecuente ensayarlos a los 45 y hasta 90 días. La Figura 3-6; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el comportamiento típico de una curva de resistencia versus edad, notándose que la ganancia de la resistencia se da mayoritariamente en los primeros días para luego declinar su crecimiento.

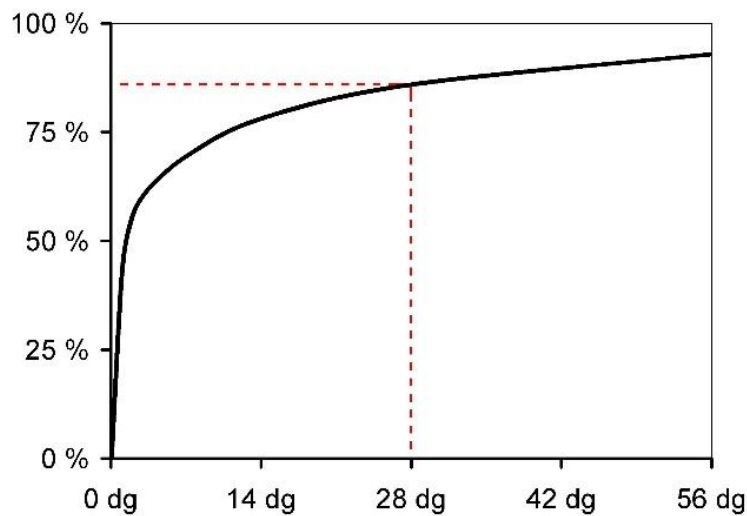


Figura 3-6: Curva Característica de crecimiento de la resistencia del hormigón vs la edad en días. (Wikipedia 2017)

#### 3.2.2.6. CURADO DEL HORMIGÓN

Inmediatamente luego del fraguado inicial de hormigón y una vez que inicia la adquisición de resistencias mecánicas, la superficie expuesta a la intemperie empieza a perder humedad, pudiendo interferir en la completa hidratación del cemento y por lo tanto incidiendo en la resistencia final. En tal virtud, es necesario restituir el agua perdida por evaporación; o, evitar la pérdida de esta humedad, operación conocida como el nombre de curado del hormigón (Neville 2011).

La hidratación del cemento es un proceso lento que puede durar varias semanas y los primeros días es donde se dan las principales reacciones químicas relacionadas con la resistencia del hormigón. En los primeros días es donde hay la mayor ganancia de resistencia, siendo en los 7 días siguientes a la fabricación en donde se alcanza entre el 50 al 70% de esta. La pérdida no controlada de la humedad que implica déficit del agua de hidratación, implicaría que parte del cemento no tiene agua para completar su proceso químico y por lo tanto no reacciona; en otras palabras, equivale a haber reducido una parte del cemento a la mezcla. Algunos investigadores han realizado estudios comparativos entre las resistencias alcanzadas por el hormigón bajo distintas condiciones de curado, siendo evidente la pérdida de sus propiedades mecánicas con un deficiente curado, tal como se puede

apreciar en la Figura 3-7; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** (Kostmatka et al. 2004).

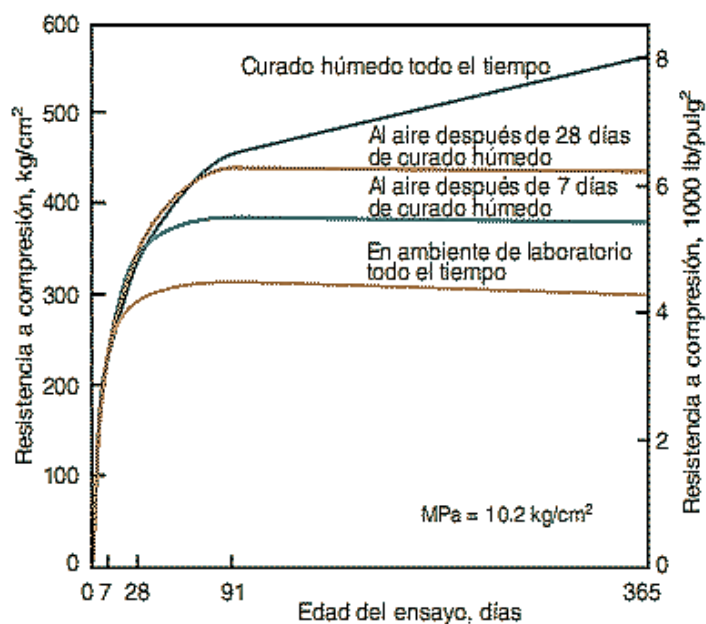


Figura 3-7: Resistencia del concreto bajo distintas condiciones de curado (Kostmatka et al. 2004)

### 3.2.2.7. TEMPERATURA

La temperatura del hormigón durante los procesos de fraguado también afecta su resistencia, debido a que temperaturas altas aceleran las reacciones químicas de la hidratación, mientras que las bajas las retardan. No obstante, las temperaturas altas a pesar que incrementan las resistencias tempranas, pueden afectar las tardías debido a una pobre estructura (probablemente más porosa) formada por una hidratación muy rápida. (Sánchez de Guzmán 2002)

Su fuera posible controlar la temperatura del curado, la temperatura ideal para el efecto fluctúa entre 21 y 25 °C, lo cual en campo es prácticamente imposible. En laboratorio es más factible conseguir la temperatura ideal si se lo hace en cuartos húmedos o piletas de inmersión. (Sánchez de Guzmán 2002)



### **3.2.3. EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.**

La resistencia a la compresión es una de las características mecánicas más importantes del hormigón. El uso este material de construcción ha sido desde su invención casi exclusivamente para soportar esfuerzos compresivos, relegando a un segundo plano otras propiedades mecánicas tales como la tensión, flexión y/o torsión. La razón de esto es la excelente respuesta a compresión respecto a la de otros esfuerzos, lo que ha provocado que el principal mecanismo para el control de calidad del hormigón sea justamente a través de ensayos para evaluar este esfuerzo. Sin embargo, es necesario conocer también el comportamiento del hormigón ante la acción esfuerzos de tensión y flexión, indispensable para el entendimiento de diferentes usos de este material.

#### **3.2.3.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Varios han sido los métodos que a lo largo de la historia se han empleado para determinar la resistencia a la compresión del hormigón. La mayoría de ellos consiste en someter a testigos cilíndricos o prismáticos, previamente elaborados, a cargas axiales que comprimen el elemento hasta su falla. Sin embargo, la aparición de nuevas tecnologías ha permitido desarrollar algunas normativas que permiten evaluar lo mismo a través de distintos ensayos, clasificándose en ensayos destructivos y no destructivos.

##### **3.2.3.1.1. ENSAYOS DESTRUCTIVOS**

###### **3.2.3.1.1.1. ENSAYO DE CILINDROS.**

Es el ensayo más universalmente empleado por su simplicidad y costo, y ha sido difundido a través de las normas americanas y británicas hacia la mayoría de países del mundo. El método sigue un procedimiento descrito en la norma INEN NTE 1576 o su referente ASTM C31M, en donde se muestran sintéticamente los siguientes pasos:

- i. Se toma una muestra representativa del hormigón, atendiendo las recomendaciones de la norma INEN NTE 1578
- ii. Se preparan los moldes para fabricar los testigos. Estos moldes deben tener dimensiones tales que su altura sea el doble de su





diámetro. Los más comunes y que se encuentran bajo la norma descrita son los de 30 x 15 cm o los de 20 x 10 cm. Las caras internas del molde deben untarse con algún aceite mineral que facilite el desmoldado.

- iii. Cuando se use cilindro de 30 x 15, se llena el molde con tres capas de igual altura, compactando cada una con una varilla lisa de 16 mm (5/8”), 60 cm de longitud y extremo redondeado, aplicando 25 golpes uniformemente distribuidos en cada capa y cuidando que en cada capa la varilla no se introduzca más de 1” en la capa anterior. Al terminar la última capa, se enraza con una regla metálica. En caso de que se use cilindros de 20 x 10, se llenará en dos capas con el mismo número de golpes y la varilla a usarse será de 10 mm (3/4”). Luego de cada capa, se usa un martillo de goma para golpear el exterior del molde de 10 a 15 veces para cerrar los huecos dejados por la varilla y eliminar la mayor cantidad de aire atrapado.
- iv. Los moldes confeccionados deben quedar en reposo, en una superficie horizontal, bajo cubierta y perfectamente protegidos durante 24 horas, después de lo cual se retira de sus moldes. Es necesario especificar que durante este lapso de tiempo se deben tener cuidados para evitar la pérdida de humedad de las muestras. La forma correcta es dejarlas en cámaras de humedad donde se garantice 95% de humedad relativa. Otra opción es el recubrimiento con fundas o láminas de polietileno.
- v. Una vez desmoldados los testigos, se dejan en curado ya sea en cámara húmeda o en inmersión, garantizando una temperatura de  $23 \pm 2$  °C, durante el tiempo necesario hasta la fecha de ensayo.
- vi. Una vez cumplido el tiempo hasta la fecha de ensayo, se retiran los cilindros y se secan superficialmente para obtener sus dimensiones y masas. Inmediatamente se procede a preparar las superficies de las bases del cilindro, con el propósito de que las cargas sean distribuidas uniformemente a las bases del cilindro sin el riesgo de concentración de esfuerzos en elementos sobresalidos. Se pueden

usar los procedimientos descritos en la norma INEN NTE 2649 o NTE 2650 para sistemas de refrentado no adherido (ASTM C617 y C1231 respectivamente).

- vii. Luego del refrentado, se somete el testigo al ensayo de compresión, usando para ello una prensa hidráulica que aplica una carga axial a una velocidad (fuerza/tiempo) establecida por norma según las dimensiones del cilindro, hasta la falla del espécimen. Las características de la prensa, así como la velocidad de aplicación de la carga, deben cumplir con las disposiciones establecidas en la norma NTE 1573 o su equivalente ASTM C39.
- viii. La carga máxima obtenida del ensayo se divide para el área del cilindro para obtener el esfuerzo máximo soportado por el testigo. Este valor es conocido como  $f'_c$  y se puede identificar como el máximo valor de la curva esfuerzo deformación del hormigón. **¡Error! o se encuentra el origen de la referencia.**

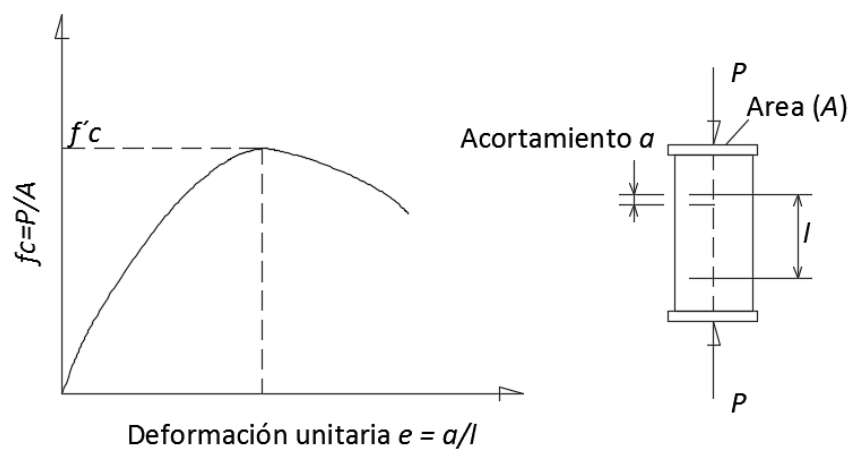


Figura 3-8: Curva esfuerzo-deformación típica en compresión axial. (González Cuevas y Robles 2005)

Cuando la relación altura-diámetro no cumpla con el requisito de 2:1, la norma ASTM C42 establece factores de corrección debido a la influencia de la esbeltez del elemento, lo cual se muestra en la Tabla 3-1.

Relación altura diámetro (h/d)	Factor de corrección
--------------------------------	----------------------



2,00	1,00
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Tabla 3-1: Factores de corrección por altura-diámetro (Sánchez de Guzmán 2002)

### 3.2.3.1.1.2. ENSAYOS DE PRISMAS

En algunos países el uso de elementos prismáticos sustituye al de las probetas cilíndricas descritas en el acápite anterior. Los cubos son usados principalmente en Alemania y Gran Bretaña y sus dimensiones son de 150 mm de arista y se compactan de forma similar a la de los cilindros, pero con la diferencia de que la varilla de compactación es de sección cuadrada de 26 mm de arista y la compactación se la hace en tres capas con 35 golpes en cada una. El ensayo de compresión se lo hace colocando el cubo en posición perpendicular a la que fue fabricado.

Otro ensayo, menos frecuente aún, es el de prismas rectangular de base cuadrada y sus dimensiones más comunes son de 70 x 70 x 350 mm o 100 x 100 x 500 mm, este ensayo es común en Francia. Para la fabricación, se coloca el molde en posición horizontal y para el ensayo de compresión se colocan con el eje longitud en posición vertical (Sánchez de Guzmán 2002).

### 3.2.3.1.1.3. EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS.

Este ensayo se realiza cuando se requiere evaluar elementos de hormigón al que no se le haya realizado control de calidad previo; o, cuando los resultados del control de calidad por otros métodos, no han dado resultados satisfactorios.

Por lo general, los testigos son extraídos mediante perforadoras tubulares de diamante, con lo que se obtienen muestras cilíndricas cuyas bases tienen superficie irregular y deben ser rectificadas posteriormente hasta obtener una superficie regularizada, sin que sea necesario el refrentado.

Previo a la extracción de las probetas, es necesario conocer la ubicación de la armadura (en el caso de hormigón armado), puesto que el extractor de núcleos tiene la capacidad de cortar el metal y su presencia podría ocasionar distorsiones en los resultados.



El ensayo de compresión se realiza en una prensa hidráulica de forma idéntica a la de los cilindros confeccionados en obra.

#### 3.2.3.1.1.4. PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE PERNOS.

Es un ensayo semidestructivo, que consiste en extraer mediante un dispositivo dotado de gatos hidráulicos, un inserto de metal con un extremo ensanchado (en forma de perno) previamente colado en el hormigón. La extracción arrancará una parte del hormigón en forma de un cono y correlacionarla con la resistencia a la compresión. El concreto que se arranca es sometido a esfuerzos de tracción y cortante que forman un cono de falla con una inclinación de aproximadamente  $45^\circ$  respecto a la superficie del concreto (Sánchez de Guzmán 2002).

Para obtener el esfuerzo de extracción, se lo calcula en la superficie cónica asumida, dividiendo la fuerza de extracción por el área del tronco y multiplicándolo por el seno de una mitad del ángulo vértice. El esfuerzo obtenido se correlaciona con el esfuerzo a compresión mediante curvas de calibración existentes u obtenidas en laboratorio.

#### 3.2.3.1.1.5. RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN.

Es un ensayo semidestructivo que se implantó en los Estados Unidos en el año de 1966, y se usa un dispositivo denominado Pistola de Windsor, en honor a su inventor. El equipo consta de una pistola accionada con pólvora que clava una punta de acero dentro del hormigón. Las puntas tienen un diámetro de 6 mm y una longitud de 80 mm. Este un método de ensayo consiste en medir la penetración que ha alcanzado la punta luego del disparo; como es de suponerse, la penetración será inversamente proporcional a la dureza del hormigón. Los resultados obtenidos se comparan con tablas que correlación esta medida con la de una tabla estandarizada que la correlaciona con la resistencia a la compresión. La norma que regula el procedimiento en esta norma es la ASTM C803. (Sánchez de Guzmán 2002)

### 3.2.3.1.2. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

#### 3.2.3.1.2.1. PRUEBA DEL ESCLERÓMETRO O MARTILLO DE REBOTE.

También conocido como martillo Schmidt, fue desarrollado en Suiza por el ingeniero Ernest Schmidt, a finales del siglo XIX. El martillo está constituido por una masa de acero que se encuentra asociada a un resorte y que se desliza sobre un émbolo encerrado dentro de un cilindro. El ensayo mide la dureza superficial del hormigón en función de los rebotes de la masa del martillo al ser liberada la masa interna para golpear en la superficie. Al rebotar, un dispositivo señalador marca el rebote en una escala graduada, cuyo valor leído se denomina número de rebote. Cada equipo viene con su respectiva curva de calibración que no es más que una correlación entre este número y la resistencia a la compresión. (Sánchez de Guzmán 2002)

Debido a que la precisión del método no es muy alta, no se aplica a control de calidad de hormigones, sino más bien para evaluar aproximadamente la resistencia de un elemento o un tramo del cual se duda de su calidad. Para mejorar la precisión se recomienda tomar varias lecturas en el mismo lugar (10 – 12) y tomar un promedio representativo.

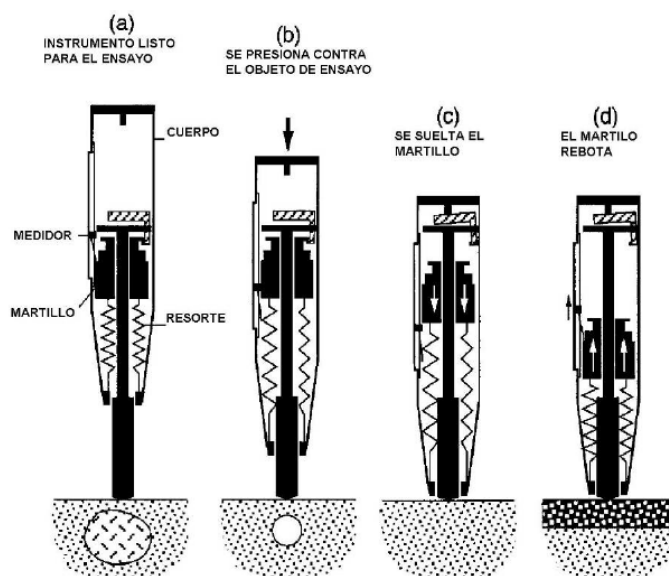


Figura 3-9: Mecanismo esquemático de funcionamiento del martillo Schmidt (Carrasco 2012)



#### 3.2.3.1.2.2. PRUEBA DEL PULSO ULTRÁSÓNICO

Este método fue propuesto por Leslie y Cheesman en Canadá y lo perfeccionó R. Jones en Inglaterra. Esta prueba se fundamenta en la propagación de las ondas sonoras en un medio continuo en donde las moléculas pueden vibrar elásticamente, es decir sobre medios sólidos, líquidos o gaseosos. En función de ello, las ondas podrán propagarse más o menos rápido, en función de la densidad del medio. (Sánchez de Guzmán 2002)

El método puede medir el tiempo en el que una onda de ultrasonido se propaga en el hormigón, sabiéndose que cuanto más denso es el medio, la velocidad de propagación de la onda será más rápida. Desde una fuente de energía se transmite un impulso electrónico a un transductor emisor, que a través de un bloque de cristales emite un impulso ultrasónico, que viaja a través del hormigón hasta el transductor receptor. La señal, se transforma nuevamente a eléctrico y se mide el tiempo que transcurrió entre la emisión y recepción de las señales, con una precisión de milisegundos.

Si bien es cierto que no existe una relación directa entre la velocidad de las ondas ultrasónicas y la resistencia del concreto, si se puede obtener una relación con el peso unitario del hormigón, cuya disminución estaría asociada a una mayor relación agua/cemento, por lo que se reduce también la resistencia (Sánchez de Guzmán 2002). El ensayo se encuentra descrito en la norma ASTM C597.

#### 3.2.4. RESISTENCIA A LA TENSIÓN.

Como ya se había mencionado, los esfuerzos de tensión en el hormigón son considerablemente más bajos en relación a los de compresión, por lo que esta propiedad no suele considerarse en el diseño de estructuras de hormigón armado. Es importante tener conocimiento acerca del comportamiento del hormigón bajo efecto de estos esfuerzos, especialmente cuando se tenga que considerar las contracciones que se producen por diferentes causas y cuyos esfuerzos superan a los que el material está en capacidad de resistir, produciendo agrietamiento.

La forma ideal de determinar la resistencia a la tensión, sería sometiendo un elemento a tracción pura hasta su falla y determinado el esfuerzo al dividir la carga final para el área. Sin embargo, la ejecución de este ensayo resulta muy complicado realizar, especialmente por el mecanismo de anclaje necesario.

Una alternativa para determinar la tensión del hormigón es a través de un método indirecto denominado “tracción indirecta”. Este método fue desarrollado en Brasil por medio de los ingenieros L. Carneiro y A. Bercellos y fue difundido rápidamente a todo el mundo. El método consiste en someter a compresión un cilindro convencional de 15 x 30 cm a lo largo de dos líneas diametralmente opuestas hasta provocar la falla del testigo, tal como se muestra en el esquema de la Figura 3-10 (Kumar Mehta y Monteiro 2006)

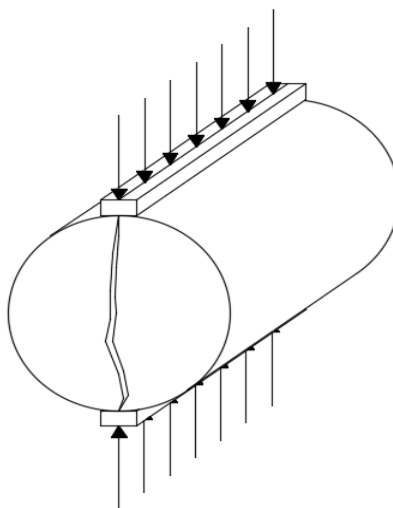


Figura 3-10: Esquema de carga para ensayo de tensión indirecta.

El procedimiento detallado se describe en la norma INEN NTE 2648 o ASTM C496 y su valor se calcula a través de la ecuación 3-2.

$$T = \frac{2P}{\pi ld} \quad 3-2$$

Donde:

- T = Resistencia a la tensión por compresión diametral, MPa,
- P = Carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, N,
- l = Longitud. mm, y
- d = diámetro, mm.



### 3.2.5. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

La resistencia a la flexión del hormigón es relativamente baja en comparación con la de compresión, pero superior a la de tracción pura. Generalmente, se usa para el diseño y construcción de pavimentos rígidos debido a que los esfuerzos a los que se encuentran sometidas las losas de pavimentos son más críticos en flexión que en compresión. Las cargas compresivas que se generan en la superficie de contacto del pavimento son muy inferiores a las que está en capacidad de soportar el hormigón; al contrario, la flexión que se genera en las losas de pavimentos puede superar con facilidad la capacidad a dichos esfuerzos. Consecuentemente, no es la resistencia a la compresión el factor principal que se debe controlar en el hormigón usado en pavimentos; sino la resistencia a la flexión. Las cargas transmitidas por los vehículos a las losas del pavimento generan momentos flectores que deben ser resistidos únicamente por el hormigón, toda vez que el uso del refuerzo no es una práctica común, especialmente por sus elevados costos.

La resistencia a la flexión, comúnmente llamada Módulo de Rotura, se evalúa a través de ensayos de vigas de hormigón de sección cuadrada de 150 mm de lado, las cuales se someten a esfuerzos flexionantes hasta su rotura. El ensayo está descrito en la norma ASTM C78 (Figura 3-11) y consiste básicamente en asentar la viga en dos apoyos simples que distan 45 cm entre sí, y dejando al menos 2,5 cm como mínimo de sus extremos. En la parte superior de la viga, se aplica una carga puntual dividida en dos puntos, de tal forma que estos estén ubicados en los dos tercios centrales de la luz libre de la viga. De esta manera, la carga se aplicará a velocidad estándar hasta su rotura.

Para confeccionar las vigas se colocan los moldes sobre una superficie plana horizontal y se llenan en dos capas que serán compactadas con una varilla estándar de 16 mm de diámetro y extremo redondeado. La cantidad de golpes que se deben dar en cada capa dependerá de las dimensiones del molde, aplicando un golpe por cada 14 cm<sup>2</sup> de superficie horizontal. Luego



de compactada cada capa se golpearán los moldes con un martillo de goma para eliminar el aire y cerrar las aberturas dejadas por el proceso de varillado.

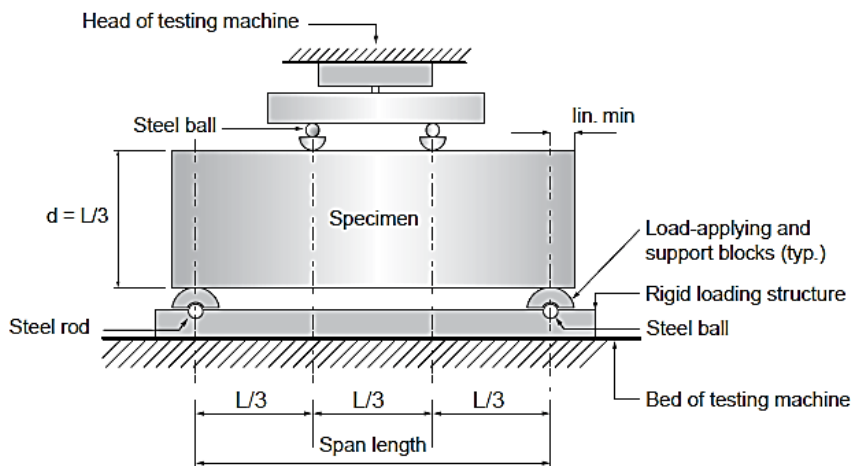


Figura 3-11: Esquema del ensayo de flexión en vigas ASTM C78  
(Kumar Mehta y Monteiro 2006)

Una vez terminada la confección de las muestras se dejan en reposo durante 24 horas en un lugar cubierto y tomando los cuidados necesarios para evitar la evaporación del agua de hidratación, dejándolas para ello en cuartos húmedos (HR>95%) o recubiertas con membranas plásticas que eviten la pérdida de humedad. Posteriormente, se desmoldan las muestras y se dejan a curar en piletas de inmersión o cuartos húmedos hasta la fecha de su rotura. Es necesario destacar que la temperatura de curado, cualquiera que sea el mecanismo, deberá estar a  $23 \pm 2$  °C.

Luego de realizada la rotura de las vigas, se realizan los cálculos, usando la ecuación 3-3:

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \quad 3-3$$

Donde:

MR = Módulo de rotural, MPa,

P = Carga máxima aplicada, indicada por la máquina de ensayo, N,

l = Luz entre apoyos extremos, mm, y

d = ancho de la viga, mm.

b = altura de la viga, mm.



### 3.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN PARA ENSAYOS.

Los hormigones empleados en la construcción de pavimentos rígidos, y que es el enfoque principal de la presente investigación, tiene propiedades y características singulares que marcan ciertas diferencias con aquellos de uso común en estructuras sujetas principalmente a esfuerzos compresivos. Como ya se dijo anteriormente, la resistencia a la flexión es el esfuerzo crítico al cual deben diseñarse las losas de pavimento, considerando que las cargas aplicadas al pavimento producen esfuerzos de compresión sustancialmente menores a las que está en capacidad de soportar.

Las propiedades del hormigón fresco para pavimentos, van a depender del tipo de equipos que se usen para la colocación y compactación en obra. La tendencia a usar pavimentadoras, rodillos o regletas vibratorias van siendo cada vez más comunes en la construcción de carreteras. Sin embargo, para pequeños y medianos proyectos, el tendido y colocación por procedimientos convencionales aún está vigente en no pocas construcciones dentro del área de estudio. En todo caso, la consistencia del hormigón para pavimentos suele ser de mediana a seca con revenimientos medidos en cono de Abrams entre 40 – 80 mm, siendo el caso más crítico aquel empleado en los HCR (hormigones compactados con rodillo) en donde el asentamiento es prácticamente cero.

Por otro lado, en cuanto a las propiedades mecánicas, los hormigones empleados para la construcción de pavimentos suelen ser de altas y medianas resistencias y mayoritariamente se solicita el cumplimiento de resistencias compresivas únicamente. Contrariamente, otras instituciones requieren el cumplimiento de resistencias flexionantes para su aceptación. El dilema descrito se resuelve en los capítulos siguientes de este documento, al determinar una función que permita correlacionar los resultados obtenidos para ambos casos.



### *Capítulo III*

Es importante que la fabricación de hormigones para pavimentos tenga en cuenta que la prioridad es cumplir lo requerido en los diseños de pavimentos y se diseñen las mezclas para las sollicitaciones de flexión, tomando en cuenta todos los factores descritos en los numerales precedentes de este capítulo.

Los ensayos de laboratorio deben simular con la mayor fidelidad, las condiciones del hormigón colocado en obra. Para ello, se han tomado en cuenta los procesos normativos descritos para evaluar las resistencias mecánicas, tanto en compresión como flexión, basándose en los procedimientos establecidos en las normas descritas anteriormente para la fabricación, curado, refrentado y rotura de testigos.



## 4. CAPITULO IV: LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN Y LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Luego de una breve descripción de las propiedades mecánicas del hormigón en el capítulo III, es necesario puntualizar el análisis y enfocar el estudio hacia el problema de la flexión en el hormigón y su influencia en los pavimentos rígidos. En el presente capítulo se inicia con una descripción breve y general la importancia de las carreteras y la función primordial que cumplen en el contexto del desarrollo de los pueblos. Posteriormente, se estudia con mayor detalle la problemática de la flexión en el hormigón, los conceptos de la mecánica que establecen sus capacidades bajo la acción de las cargas transmitidas por el tráfico al pavimento y los factores internos y externos que intervienen en su desempeño. Se termina el capítulo, haciendo un análisis de algunas investigaciones que se han desarrollado para correlacionar estos dos esfuerzos y las correspondientes en el área de influencia del estudio.

### 4.1. LA MOVILIDAD, LAS CARRETERAS Y SU IMPORTANCIA EN EL DESARROLLO LOCAL.

El transporte es una de las actividades más importantes en el quehacer humano y en el desarrollo social y económico de los pueblos. Todas las acciones realizadas por los seres humanos en su diario vivir, están relacionadas con la movilidad para realizar sus actividades productivas. Una nación sin un adecuado sistema de transporte está condicionada a vivir enclaustrada en sus propios reductos sin la posibilidad de interactuar con otros elementos del conglomerado humano, indispensables para el intercambio de productos necesarios para su sustento vital y la generación de riquezas.

Dentro de las diversas formas de movilidad, el transporte terrestre ha sido a lo largo de la historia el más importante y ha permitido a la humanidad llegar a los lugares más recónditos del planeta trayendo consigo civilización y desarrollo. Desde la invención de la rueda, las carreteras han sido el vector que ha permitido el flujo de una infinidad de vehículos motorizados y no



motorizados, permitiendo la movilización masiva de personas y objetos hacia sus destinos, disminuyendo cada vez más el tiempo de viaje, conforme mejoran las características de la infraestructura vial.

En la actualidad, la calidad del sistema vial es un importante indicador de bienestar de una nación y debe ser una de las prioridades de los gobernantes, la inversión en la construcción y mantenimiento de la red vial. El buen estado de las carreteras implica costos que deben programarse periódicamente; pues, una carretera en mal estado incrementa los costos de transporte y sobre todo se vuelve insegura, pudiendo ser causa de accidentes que en muchos casos resultan fatales.(SENPLADES 2007)

#### **4.2. LOS PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND.**

Se denomina pavimento a la estructura conformada por un conjunto de capas horizontales de material seleccionado que soportan las cargas de los vehículos que transitan sobre ésta y lo transmiten hacia los estratos subyacentes, facilitando una superficie de rodadura eficientemente acondicionada para un tránsito confortable y seguro.

Existen diferentes tipos de pavimentos que van desde una simple superficie de tierra compactada, hasta los más sofisticados sistemas de materiales polimerizados existentes en la actualidad. Los más comunes y que se han popularizado en todo el mundo por su facilidad y costos de construcción son los pavimentos flexibles y rígidos, siendo los primeros elaborados con materiales asfálticos y los segundos con hormigones hidráulicos de cemento portland.

Desde principios del siglo XX en que se popularizaron los pavimentos, los materiales asfálticos tomaron la delantera cubriendo el mayor porcentaje de carreteras en el mundo hasta el día de hoy. Sin embargo, el uso de pavimentos rígidos ha ido creciendo progresivamente debido a las bondades de material y a su durabilidad. Si los altos costos de construcción de pavimentos rígidos, han sido un problema para su escogimiento durante décadas, nuevos análisis económicos y financieros han logrado romper aquel mito, demostrando que la larga durabilidad del material así como sus

bajos costos de mantenimiento, producen enormes beneficios respecto a otras alternativas.(IMCYC 2009)

La gran rigidez del pavimento rígido, permite una distribución de las cargas de tráfico hacia una gran área, absorbiendo un alto porcentaje de los esfuerzos y dejando un mínimo para las capas inferiores, lo cual le permite comportarse mejor ante ciertas deficiencias de la subrasante. Al contrario, los pavimentos flexibles y articulados transmiten una gran parte de la carga a sus capas subyacentes por lo que requieren estructuras de mayor altura y subrasantes estables. La Figura 4-1 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra un esquema gráfico para comprar la capacidad de transmisión de esfuerzos hacia la subrasante entre estos dos tipos de pavimento

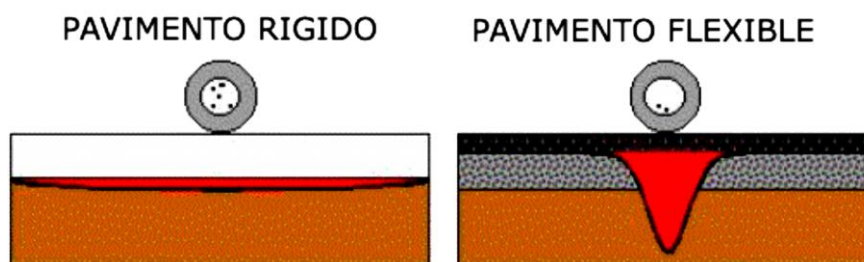


Figura 4-1: Esquema comparativo de esfuerzos transmitidos a la subrasante (Supe y Gupta 2014)

La vida útil del pavimento rígido varía entre 20 y 40 años y requiere un mantenimiento mínimo que se limita prácticamente al tratamiento de sus juntas.(IMCYC 2009)

### 4.3. EL MÓDULO DE ROTURA Y LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.

Los ingenieros viales se sustentan en la resistencia a la flexión para el diseño de los pavimentos rígidos. Casi todos los métodos para el efecto, especialmente aquellos que se han popularizados ampliamente a nivel mundial, usan este parámetro para el dimensionamiento de las losas por lo que es requisito indispensable su determinación.

En los pavimentos rígidos se desarrollan esfuerzos como resultado de varios factores, que incluyen la acción de las cargas transmitidas por las ruedas del tránsito, la dilatación y contracción por cambios de temperatura, la reacción



de capas subyacentes y los cambios volumétricos. Estos diversos factores que pueden inducir esfuerzos en el pavimento de hormigón, han generado complejas teorías que se sustentan en las siguientes hipótesis:

1. Las losas de pavimento de hormigón se consideran como vigas de concreto no reforzado. No se toma en cuenta la contribución del acero de refuerzo en la resistencia a flexión (Garber y Lester 2005)
2. La combinación de esfuerzos de flexión y tensión darán como resultado, inevitablemente, grietas transversales y longitudinales. Sin embargo, un control adecuado de grietas, en forma de juntas, controla la formación de ellas y con ello se mantiene la acción de viga.
3. Las capas subyacentes, actúan como un material elástico porque se flexiona ante la acción de las cargas de tránsito y se recupera al quitar la carga.

Bajo estas hipótesis, se han desarrollado diversos métodos de diseño, basándose la mayoría en las teorías desarrolladas por Westergaard. De todos estos métodos, los que se han desarrollado y popularizado en forma más extensa son: el método de la Asociación Americana de Carreteras de los Estados Unidos (AASHTO) y la de la Portland Cement Association (PCA)

Método AASHTO. Fue desarrollada a mediados del siglo XX por la AASHTO para calcular los espesores de los pavimentos rígidos, y entre una de las variables de esta ecuación está la resistencia a la flexión o módulo de rotura, denominado en la ecuación con la simbología  $S'_c$ , expresado en unidades inglesas (psi). La ecuación 4-1 corresponde a la (1.2.2) de la “Guía de diseño de estructuras de pavimento de la AASHTO”, página I-6.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[ \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + \quad 4-1$$

$$(4,22 - 0,32 \times P_t) \times \log_{10} \left[ \frac{S'_c \times C_d \times (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 \times J \left[ D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c/k)^{0,25}} \right]} \right]$$



W18	=	Número previsto de aplicaciones de carga de 18000 lb en un eje
Zr	=	Desviación normal estándar para determinada confiabilidad
S0	=	Desviación estándar general
D =	=	Espesor del pavimento de concreto
$\Delta$ PSI	=	Pérdida de durabilidad pi – pt
Pi	=	Índice de durabilidad inicial
Pt	=	Índice de durabilidad final
Ec	=	Módulo de elasticidad
S'c	=	Módulo de ruptura del concreto
J	=	Coefficientes de transferencia de carga
Cd	=	Coefficiente de drenaje

Método PCA: Otro de los métodos comunes para el diseño de pavimentos de hormigón, es el de la Asociación de Cemento Portland de los Estados Unidos (PCA por sus siglas en inglés), en cuyo procedimiento también considera el Módulo de Rotura como factor principal para el cálculo de los espesores, bajo los siguientes criterios (Coronado Iturbide 2002):

1. El valor del Módulo de Rotura del Hormigón se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento.
2. La deformación que se produce en el pavimento de concreto por efecto de las cargas, hace que las losas estén sometidas a esfuerzos de tensión y compresión. La relación existente entre las deformaciones debido a las cargas y los esfuerzos de compresión es muy baja como para incidir en el diseño del espesor de la losa. La relación entre la tensión y la flexión son mayores, situación que afecta el espesor de la losa. De esto se deduce que los esfuerzos y la resistencia a flexión son factores principales a considerar en el diseño de pavimentos rígidos.” Es claro entonces que para el diseño de pavimentos de concreto simple o reforzado, la característica importante del concreto es su resistencia a flexión; por otra parte, es un hecho bien sabido que a medida que aumenta la resistencia a compresión aumenta también la resistencia a tracción, cizalladura,





abrasión, impacto, etc. y por lo tanto podría pensarse que una manera indirecta de controlar la resistencia a flexión del concreto es por medio de su resistencia a compresión, lo cual no es rigurosamente cierto (Madrid M. 1977).

Los métodos de diseño de pavimentos, además de considerar las cargas estáticas que producen los esfuerzos en el hormigón, tienen que considerar también el esfuerzo a la fatiga, puesto que el mecanismo de falla generalmente ocurre al final de la vida útil del pavimento, cuando ha sido sometido a cargas cíclicas generadas por el tráfico. Cuando el concreto está sometido a cargas fluctuantes en lugar de cargas sostenidas, su resistencia a la fatiga, al igual que para otros materiales, es considerablemente menor que su resistencia estática. En el caso de los esfuerzos de flexión en vigas no reforzadas, el límite de fatiga parece ser aproximadamente el 55 por ciento de la resistencia estática correspondiente. Sin embargo, estos datos deben usarse únicamente como guías generales ya que existen otros factores tales como la humedad, edad y velocidad de aplicación de la carga (Nilson 1999).

#### **4.4. EL PROBLEMA DE LA FLEXIÓN EN LOS HORMIGONES**

El proceso de construcción de los pavimentos rígidos inicia en la producción del hormigón, y es ahí mismo en donde empieza el problema. La mayoría de metodologías desarrolladas en el mundo para diseñar mezclas se basan en análisis estadísticos, tablas y ecuaciones que están en función de la resistencia a compresión del hormigón, y no de la flexión. Uno de los métodos más usados en el mundo, es el desarrollado por el comité ACI 211.1, el cual sirve para el diseño de mezclas de hormigón de peso normal. Esta metodología usa como parámetro principal el valor de la resistencia a la compresión y su respectivo valor mayorado  $f'_{cr}$  con los cuales se puede estimar la relación agua/cemento, factor indispensable para calcular la cantidad de cemento en la mezcla. El Comité ACI 211.1, el cual ha desarrollado una de las metodologías de mayor uso y difusión en el mundo para el diseño de las mezclas. La Tabla 4-1 corresponde a una adaptación de dicho documento y en la cual se establece una relación entre la



resistencia característica requerida y la relación agua/cemento recomendado para esa resistencia.

Resistencia a Compresión a los 28 Días, kg/cm <sup>2</sup> (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	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

La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, de acuerdo con la ASTM C 31 (ASHTO T23). La dependencia asume el agregado con un tamaño nominal de 19 a 25 mm.

Adaptada del ACI 211.1 y del ACI 211.3

Tabla 4-1: Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a compresión del concreto (Kostmatka et al. 2004)

Algunos investigadores han realizado ensayos para determinar la relación entre la resistencia a la flexión vs el factor agua-cemento, tal como se muestra en la Figura 4-2; sin embargo, la mayoría de autores recomiendan realizar ensayos con los materiales propios de cada lugar, puesto que cada tipo de material le confiere características particulares al hormigón, variando en muchas veces, sustancialmente.

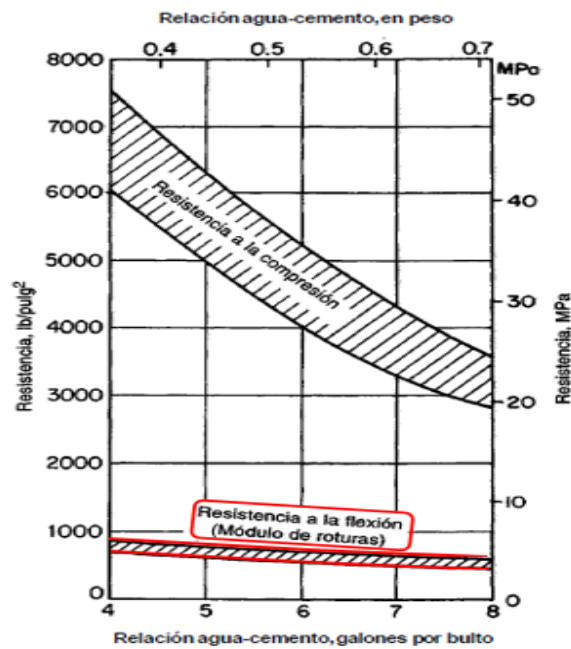


Figura 4-2: Efecto de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión y a la tensión por flexión (Nilson 1999)

La Figura 4-2 muestra la influencia decisiva de la relación agua-cemento en la resistencia a la compresión del concreto. Su influencia sobre la resistencia a la tensión, medida a través de la resistencia nominal a flexión o módulo de rotura, es pronunciada pero mucho menor que su efecto sobre la resistencia a la compresión. Esto parece ser así porque, además de la relación de vacíos, la resistencia a la tensión depende en gran medida de la resistencia de adherencia entre el agregado grueso y el mortero de cemento (es decir, la pasta de cemento más los agregados finos). De acuerdo con ensayos realizados en la Universidad de Cornell, la resistencia de adherencia se ve relativamente poco afectada por la relación agua-cemento (Nilson 1999) .

A sabiendas de que la resistencia a flexión es un parámetro que se usa casi exclusivamente en la ingeniería de pavimentos, la cantidad de investigaciones que habrá como fuente de información, será ínfima en relación con las que hay para el caso de la compresión. Por tal motivo, la mayoría de quienes proporcionan mezclas de hormigón, usan la resistencia a la compresión como variable de diseño.

Como en todo proceso de ingeniería, los diseñadores usan para sus cálculos, valores correspondientes a propiedades de los materiales que en la



realidad pueden o no cumplir con las especificaciones establecidas en el diseño. En el caso de los productores de hormigón, la mayoría de empresas proveedoras de hormigón premezclado y constructores que lo fabrican en sus propias plantas, basan su control de calidad exclusivamente en resistencias a compresión. Esto ha motivado a que muchas instituciones o clientes se hayan acostumbrado a solicitar a sus proveedores y contratistas, hormigones para pavimento que cumplan resistencias a compresión en lugar de flexión.

A pesar de que, con cierto nivel de experiencia y empirismo, se puede conseguir la flexión requerida en el diseño, es muy probable que suceda cualquiera de las dos cosas siguientes:

- Los hormigones cumplen con la resistencia a la compresión requerida por el cliente, pero no cumplen la resistencia a la flexión con la que se realizaron los cálculos, provocando que el pavimento fracase antes de terminar su vida útil. Se conocen de algunos casos en los cuales el pavimento ha fracasado a pesar de haber cumplido las resistencias de compresión requeridas, ocasionando serios conflictos legales entre los contratantes y contratistas.
- Los hormigones se fabrican con mezclas muy ricas en cemento, para cubrir cualquier deficiencia ocurrida por desconocimiento real del comportamiento a la flexión del hormigón. Esto a su vez puede generar dos problemas: a) Hormigones de alto costo de producción; y, b) Hormigones muy sensibles al agrietamiento por la excesiva cantidad de cemento presente en la mezcla.

En cuanto al control de calidad efectuado en obra, los ensayos de flexión son altamente sensibles y pueden alterarse en el transcurso desde la confección de los testigos hasta la prueba de rotura. Las vigas son muy pesadas y pueden ser dañadas y sufrir alteraciones durante las etapas de transporte, almacenamiento, manipuleo o curado. Cantidades relativamente pequeñas de pérdida de humedad superficial, pueden inducir esfuerzos de tensión en las fibras extremas y la formación de micro-fisuras que provocan una reducción importante de la resistencia a flexión. Las muestras deben ser



curadas siguiendo estrictamente las recomendaciones establecidas en las normas y mantener esta condición hasta el fecha y hora en la que serán ensayadas. El cumplimiento de estos requisitos resulta difícil de cumplir lo cual ocasiona con frecuencia valores del módulo de rotura bajos y poco confiables. Un período de secado corto puede producir una caída brusca de la resistencia a la flexión. (National Ready Mixed Concrete Association 2000).

Muchas instituciones públicas encargadas del control y la administración de sistemas viales en los Estados Unidos, han utilizado la resistencia a la flexión como mecanismo de control de calidad en la construcción de pavimentos de hormigón, pero ahora están cambiando hacia la resistencia a la compresión o a los conceptos de madurez para el aseguramiento de la calidad.

La Asociación Nacional de Productores de Hormigón Premezclado (NRMCA) y la Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA) consideran que los ensayos de resistencia a la compresión son los que mayor aceptación tienen para evaluar la calidad del hormigón y mejor resultados ofrecen en cuanto a confiabilidad, facilidad y costo. Los constructores y quienes están encargados de llevar a cabo el control de calidad, están más familiarizados con el ensayo de probetas cilíndricas y las prefieren. Según las recomendaciones de estas instituciones, la flexión debería ser utilizada en el diseño, pero la aceptación y control de calidad del hormigón debe hacerse con ensayos tradicionales de pruebas cilíndricas (Neville 2011)

En los pavimentos rígidos, donde la resistencia a la flexión es el criterio más importante en el diseño, la relación entre la compresión y la flexión puede determinarse mediante el ensayo por lotes de prueba y estableciendo la correlación entre los dos, permitiendo así una estimación bastante precisa de la fuerza de flexión del concreto en función de los ensayos de compresión (National Ready Mixed Concrete Association 2000).



#### 4.5. FACTORES QUE AFECTAN AL MÓDULO DE LA ROTURA

Como se había dicho anteriormente, la resistencia a la flexión del hormigón está relacionada directamente con la de compresión, haciendo que las variables que influyen en ésta lo harán también en el módulo de rotura; no obstante, existen algunas variables que tienen particularidades específicas con cada una de estas propiedades, las cuales se refieren a continuación (Madrid M. 1977):

##### 4.5.1. RELACIÓN AGUA-CEMENTO

Es muy conocido que la variable que mayor importancia tiene en las resistencias del hormigón es la relación agua cemento. Para cualquiera de las propiedades mecánicas en que se realice el análisis, se cumple que cuanto mayor es la relación A/C, mayor será la porosidad de la pasta cementante y consecuentemente menores resistencias mecánicas. En el caso de la resistencia a la flexión, existe una correlación entre ésta y el factor A/C, tal como se muestra en la Figura 4-2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la que adicionalmente puede observarse una variación no lineal de la relación entre el esfuerzo a compresión y el módulo de rotura.

##### 4.5.2. EDAD

Debido a que el proceso de hidratación del cemento es un proceso lento y dura varios días (incluso meses) hasta alcanzar su totalidad, el hormigón va incrementando su resistencia conforme pasa el tiempo. La evolución de la resistencia depende de muchos factores y es muy difícil encontrar una correlación con el tiempo para todos los casos. No obstante, algunos estudios realizados han llegado a determinar que a edades tempranas el crecimiento del módulo de rotura es ligeramente mayor al de la resistencia a compresión, para luego compensarse progresivamente hasta alcanzar el 100% de la resistencia a los 28 días. Este fenómeno, obviamente disminuye cuando se usan cementos de altas resistencias iniciales o aditivos acelerantes de fraguado.

En la Figura 4-3 se puede ver una comparación del crecimiento de las resistencias en especímenes ensayados a flexión y a compresión, notándose que los de flexión tienden a crecer ligeramente más rápido, para luego alcanzar ambos el 100% a los 28 días.

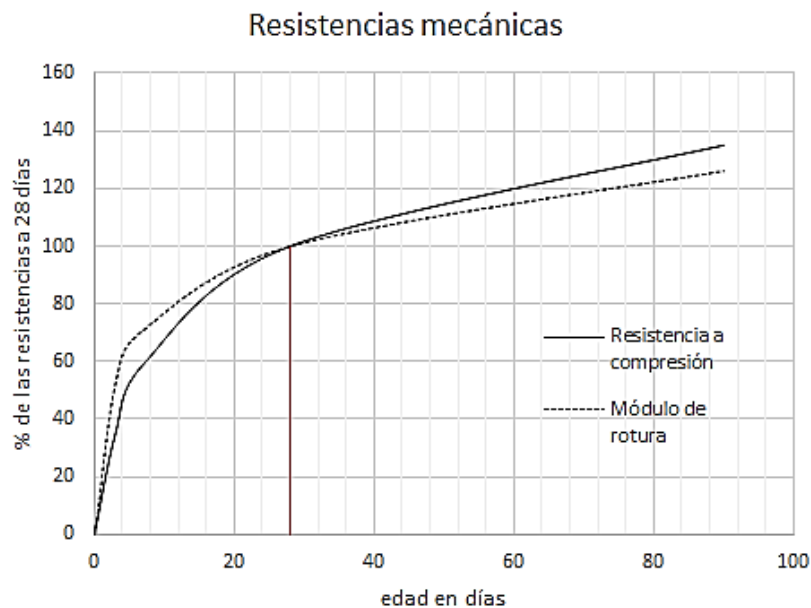


Figura 4-3: Comparación del Porcentaje de la Resistencia a la Compresión y de la Flexión, respecto al Tiempo. Elaborado en base a (Madrid M. 1977)

### 4.5.3. TIPO DE AGREGADO GRUESO

El módulo de rotura depende mucho de la adherencia que existe entre el mortero y el árido grueso en mayor medida que la resistencia a compresión. La forma angular y la textura rugosa de los áridos triturados permiten un buen anclaje mecánico con el mortero y la pasta de cemento, brindándole un incremento de entre 10 y 20% respecto a áridos lisos y redondeados.

En la Figura 4-4, se puede ver una gráfica en la que se hace un análisis de las resistencias a la flexión con dos tipo de áridos para las mismas relaciones agua-cemento. Los que están elaborados con áridos triturados alcanzan valores significativamente mayores que los hormigones elaborados con gravas naturales.

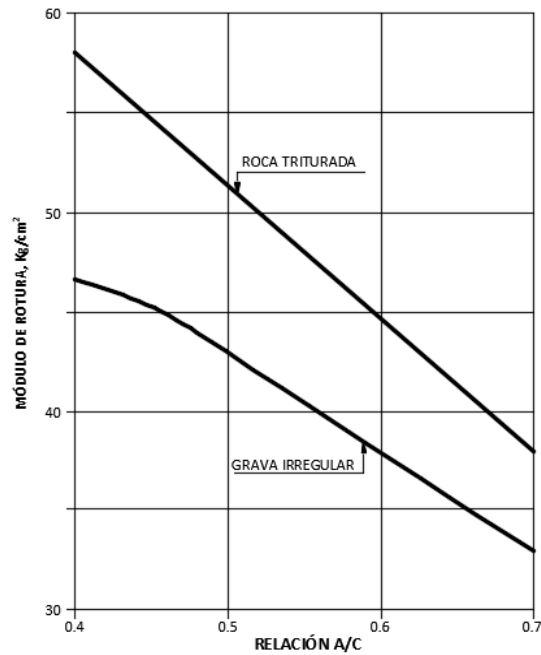


Figura 4-4: gráfica del módulo de rotura vs la relación A/C para distintos tipos de agregado grueso (Madrid M. 1977)

#### 4.5.4. CURADO

Es muy conocida la influencia del curado en la resistencia a compresión del hormigón, y bajo el mismo criterio, debería actuar en la resistencia a flexión. En un estudio realizado por Delmar I. Bloem, denominado “Concrete Strength in Structures” y publicado por el ACI Journal, se realizaron ensayos sobre dos losas macizas de 15 cm de espesor; a las que se les aplicó distintos mecanismos de curado. En la primera se le dotó de agentes curadores y se cubrió con telas húmedas y láminas de plástico durante 14 días, y la denominó “curado excelente”. En el segundo caso, no se aplicó ninguna protección y denominó al ensayo: “mal curado”. Posteriormente se extrajeron núcleos cilíndricos y se les sometió a ensayos de compresión, después de habérselos dejado 48 horas inmersos en agua. Los resultados que se pueden ver en la Figura 4-5, muestran una disminución de la resistencia de hasta un 36% respecto a cilindros normalizados y curados en obra. Comparativamente, una pérdida de ese tipo equivale a un 20% del módulo de rotura.



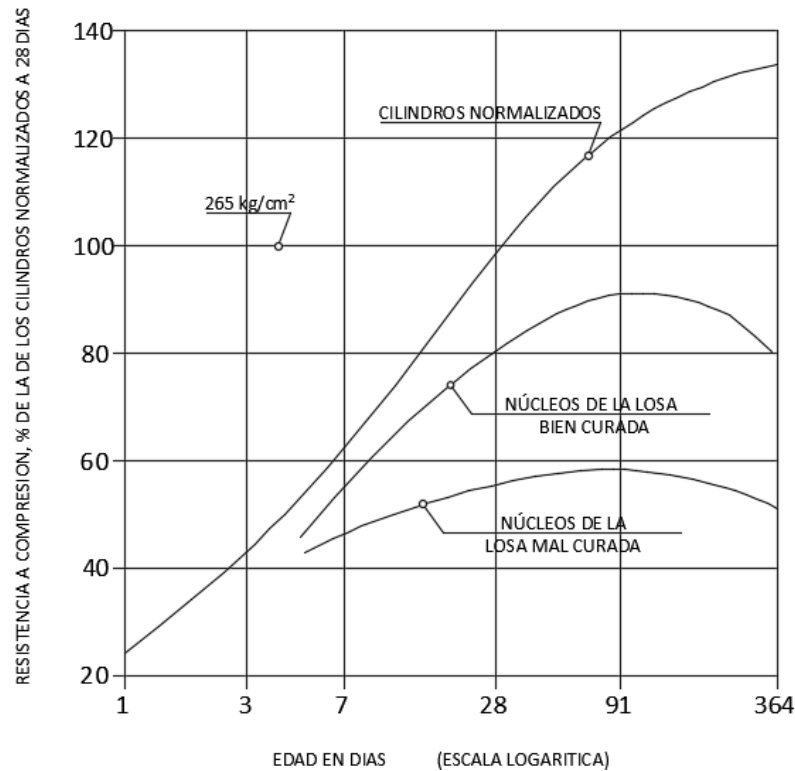


Figura 4-5: Gráfica que muestra la influencia de distintas condiciones de curado en la resistencia mecánica del hormigón (Madrid M. 1977)

Un curado adecuado del hormigón favorece no únicamente a la generación de resistencias mecánicas sino que también evita eficazmente a la generación de fisuras y microfisuras que se pueden producir antes o después del endurecimiento (Madrid M. 1977).

#### 4.6. CORRELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y EL MÓDULO DE ROTURA.

La resistencia a la compresión del hormigón es una propiedad comúnmente empleada en los cálculos del diseño estructural, pero para algunos propósitos la flexión es de gran interés; por ejemplo, en el diseño de las losas de pavimento de carreteras y de campos de aviación, esfuerzos cortantes y resistencia al agrietamiento. Al analizar la naturaleza de los esfuerzos en el hormigón, se ha llegado a establecer que existe una relación íntima entre los esfuerzos de compresión y de flexión; sin embargo, lejos de lo que muchos creerían no existe una proporcionalidad directa entre éstos, ya que la variación es diferente para cada caso. En otras palabras, cuando el

esfuerzo a la compresión crece, el de flexión también pero a una tasa de cambio mucho menor (Neville 2011).

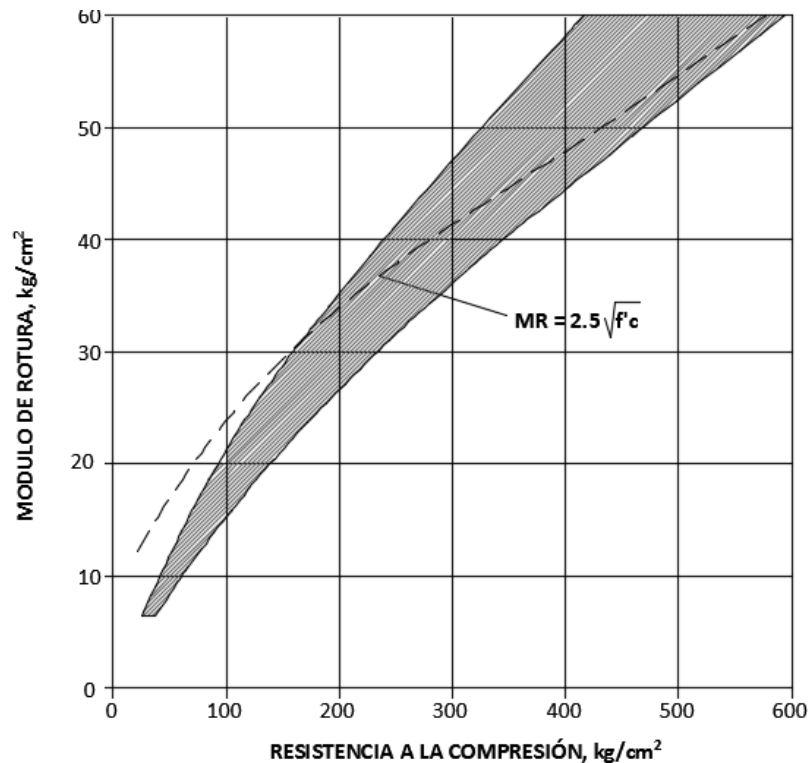


Figura 4-6: Faja de correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión (Madrid M. 1977)

Algunos investigadores han determinado que la relación que existe entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión, se asemeja a una función exponencial similar a la de una parábola, tal como se indica en la Figura 4-6. En ésta se puede apreciar una banda de valores y no una línea única, debido a la variabilidad ocasionada principalmente por las características de la materia prima. Resulta entonces indispensable, en la construcción de pavimentos de hormigón, realizar ensayos de vigas y cilindros para determinar la correlación existente entre ambas variables para cada clase de hormigón empleado. En algunos casos, en los que no es posible esta determinación o en aquellos que por su envergadura no justifican una investigación detallada al respecto, se pueden tomar ecuaciones elaboradas

por otros investigadores, siempre y cuando se tengan referencias de que éstas han sido evaluadas en otros proyectos similares. (Madrid M. 1977).

Algunos proyectos de investigación se han desarrollado en el mundo para establecer la correlación entre estos dos esfuerzos, desarrollado ecuaciones que pretenden generalizar el valor del módulo de rotura en función de la resistencia a compresión del concreto. Por ejemplo, el Comité ACI 318S14, dentro de la parte estructural, establece la ecuación teórica para calcular la resistencia a la flexión:

$$MR = 0,62\lambda \sqrt{f'c}, \text{ para unidades SI} \quad (\text{ACI318S: Ec.19.2.3.1}) \quad 4-2$$

$$MR = 7,5\lambda \sqrt{f'c}, \text{ para unidades inglesas} \quad 4-3$$

Donde:

MR = Módulo de rotural, MPa,

f'c = Resistencia a la compresión en, MPa,

$\lambda$  = factor de modificación en función del tipo de concreto y de áridos

El factor de modificación se determina según la Tabla 4-2

Factor de modificación $\lambda$		
Concreto	Composición de los agregados	$\lambda$
Todos livianos	Fino: ASTM C330 M Grueso: ASTM C330M	0,75
Liviano, mezcla fina	Fino: Combinación de ASTM C330M y C33M Grueso: ASTM C330M	0,75 a 0,85 <sup>[1]</sup>
Arena, liviana	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM 330M	0,85
Arena, liviana, Mezcla gruesa	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C330M y C33M	0,85 a 1,00 <sup>[2]</sup>
Peso Normal	Fino: ASTM C33M Grueso: ASTM C33M	1,00
<sup>[1]</sup> Se permite la interpolación lineal de 0.75 a 0.85 con base al volumen absoluto del agregado fino de peso normal como una fracción del volumen absoluto total de agregado fino. <sup>[2]</sup> Se permite la interpolación lineal de 0.80 a 1.00 con base al volumen absoluto del agregado grueso de peso normal como como una fracción del volumen absoluto total de agregado grueso.		

Tabla 4-2: Factor de modificación para el Módulo de Rotura en función del tipo de hormigón y los áridos empleados, reproducido



de la tabla ACI318S - 19.2.4.2. (American Concrete Institute (ACI) 2014)

Por su parte, el comité ACI 330 en su documento “Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots” desarrolla toda una metodología para el diseño y construcción de losas de hormigón destinadas a lotes de parqueos y similares. En su parte relativa a las propiedades mecánicas del hormigón, refiere respecto a los esfuerzos flexionantes de la siguiente forma: “Mientras el diseño de pavimentos es generalmente basado en el esfuerzo flexionante del hormigón, es más práctico usar la resistencia a la compresión para el control de calidad en el campo. En proyectos grandes, la correlación entre el esfuerzo a la flexión y la resistencia a la compresión debe ser desarrollada mediante ensayos de laboratorio con la mezcla específica que será empleada.”

En pequeños proyectos pueden usarse, con ciertos cuidados, la siguiente expresión:

$$MR = 0,445f'c^{2/3}, \text{ para unidades SI (MPa) (ACI 330R: Ec. 2.1)} \quad 4-4$$

$$MR = 2,3f'c^{2/3}, \text{ para unidades Inglesas (PSI)} \quad 4-5$$



La Figura 4-7 muestra la gráfica de la ecuación 4-4, en el cual se han colocado los esfuerzos flexionantes en el eje de las ordenadas y las compresivas en el de las abscisas. Puede advertirse la similitud con la Figura 4-6 en la obviamente ambas representan funciones exponenciales.

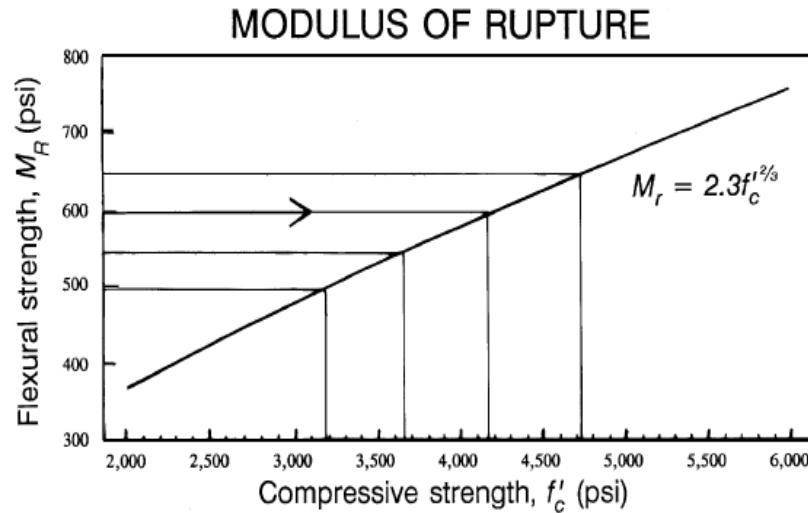


Figura 4-7: Módulo de Rotura vs esfuerzo de Compresión.  
(American Concrete Institute (ACI) 1988)

En un documentos elaborado por el Insituto Mexicano del Transporte se resume una tabla con distintos modelos elaborados por varios investigadores que han realizado sus estudios para correlacionar los esfuerzos de compresión y flexión, en condiciones ideales similares a a las de laboratorio. En la Tabla 2-1Figura 4-2, Tabla 4-3: Modelos para relacionar la resistencia a la compresión con la flexión (Garnica, Gomez y Sesma 2002) que se detalla a continuación se transcribe la información del documento a mención.

Modelo	Fuente
$M_R = 9,5(f_c)^{0,5}$ , [PSI]	Modelo de la PCA
$M_R = 0,62(f_c)^{0,5}$ , [MPa]	ACI
$M_R = 8,3(f_c)^{0,5}$ , [PSI]	Teychenne
$M_R = 0,3(f_c)^{0,5}$ , [MPa]	Comité Europeen du Beton
$M_R = k_1(f_c)^{k_2}$ , [PSI]	Neville
$M_R = \frac{8,3}{4 + 12000/f_c}$	Sozen, et al.
$M_R$ es laresistencia a la flexión del concreto en MPa O PSI y $f_c$ es la resistencia a la compresión del concreto en MPa o PSI En la ecuación de Neville, $k_2$ oscila de 3 a 6, $k_1$ de 0,3 a 0,8	



Tabla 4-3: Modelos para relacionar la resistencia a la compresión con la flexión (Garnica, Gomez y Sesma 2002)

El profesor Ing. Gabriel Gómez Cortez, investigador colombiano, realizó una ponencia en el año 2005, en el XV Simposio Ingeniería de Pavimentos Realizado en Melgar, Colombia. Aquí expuso algunas expresiones para relacionar la compresión y flexión en el hormigón, las cuales se reproducen en la Tabla 4-4, que se muestra a continuación:

Fuente	Ecuaciones [MPa]	Comentario
ACI 318-95	$0.62 (f'c)^{0.5}$	Para cálculo de deflexiones Concretos de peso unitario 2300-2400 kg/m <sup>3</sup>
Código Canadiense CSA A 23.3	$0.60 (f'c)^{0.5}$	$20 \leq f'c \leq 80$ MPa
Código Nueva Zelanda	$0.8 (f'c)^{0.5}$	Para módulo de Rotura promedio
Carrasquillo ACI 363R-92	$0.94 (f'c)^{0.5}$	$20 \leq f'c \leq 83$ MPa
I.C.P.C Nota Tec.10	$0.8 (f'c)^{0.5}$	
Gómez Ref. 2	$0.705 (f'c)^{0.5}$	Agregados ciudad de Bogotá $21 \leq f'c \leq 35$ Mpa
Durán Ref. 3	$0.701 (f'c)^{0.5}$	Concretos alta resistencia Bogotá adicionados con ceniza volante $40 \leq f'c \leq 60$ MPa
NSR-98 C.9.5.2.2. 0.7	$0.7 (f'c)^{0.5}$	Para control de deflexiones Ec. (C.9-4*)
Código Modelo CEB-90	$0.5 (f'c)^{2/3}$	Diseño parqueaderos
ACI 330R	$0.445 (f'c)^{2/3}$	Diseño parqueaderos

Tabla 4-4: Otras ecuaciones para calcular el Módulo de rotura en función de la resistencia a la compresión (Gómez Cortez 2005)

En una publicación del International Journal of Mechanics and Solids de la India, se muestran también otras investigaciones en las que se muestran las ecuaciones para distintos lugares en el mundo, tal como se muestra en la Tabla 4-5:

S No.	Investigation	Suggested $f_t - f_c^1$ relationship $f_t, f_c^1$ in $N/mm^2$	Year of publication	Strength valid upto MPa	Remarks
1	Akazawa	$f_t = 0.209 (f_c^1)^{0.73}$	1953	-----	-----
2	Carneiro and Barcellor	$f_t = 0.185 (f_c^1)^{0.735}$	1953	-----	-----
3	Vinayaka	$f_t = 0.88 (f_c^1)^{0.716}$	1959	-----	-----
4	Sen and Desayi	$f_t = 0.628 (f_c^1)^{0.73}$	1962	-----	Converted using their equation $f_c$ cylinder = 0.848 $f_c$ cube
5	Carino and Iew	$f_t = 0.272 (f_c^1)^{0.71}$	1982	-----	-----
6	Raphael	$f_t = 0.313 (f_c^1)^{0.667}$	1984	-----	-----
7	ACI Building code 318-89	$f_t = 0.556 (f_c^1)^{0.5}$	1989	Strength between 13.79 to 61.38	For conversion $f_c$ cylinder = 0.81 $f_c$ cube was used
8	N. Gardner	$f_t = 0.313 (f_c^1)^{0.667}$	1990	57.23	-----
9	Oluokun	$f_t = 0.206 (f_c^1)^{0.79}$	1991	62.07	For conversion $f_c$ cylinder = 0.8 $f_c$ cube was used

$f_c^1$  = cylinder compressive strength

Tabla 4-5: Correlación entre resistencia a flexión y compresión sugeridas por varios investigadores para Hormigón normal (Sekhar y Rao 2008)

Como puede observarse, todas las ecuaciones antes descritas, se ajustan a modelos potenciales, semejantes a una semi-parábola que pasa por el origen. Con sus respectivas diferencias por las particularidades de sus constituyentes, el conjunto de ecuaciones marcan una faja de ecuaciones similares a la mostrada en la Figura 4-6. Con esto, se descarta la posibilidad de una tendencia lineal entre los dos esfuerzos, y mostrándose además que la tasa de crecimiento de la flexión es menor, conforme se incrementa la resistencia a la compresión.

En el Ecuador hay pocos estudios relacionados con este tema y de la información que el autor ha alcanzado a recopilar, se han encontrado algunos trabajos realizados básicamente en las ciudades de Quito y Guayaquil. Entre los más relevantes se podrían citar un conjunto de trabajos realizados en la universidad central del Ecuador, en donde se hace un análisis de flexión de vigas y se obtiene algunas expresiones para la correlación entre la flexión y compresión del hormigón. Algunos de los detalles encontrados se resumen en la Tabla 4-6

autor	expresión	observación
Augusto Gómez Soto	$M_r = 0,88\sqrt{f'c}, [MPa]$	Agregados provenientes de la cantera de San Roque, Imbabura



Jessica Hurtado Flores	$M_r = 0,88\sqrt{f'c}, [MPa]$	Agregados provenientes de la cantera de Ramirez, Imbabura
Carlos A. Aulestia Alarcón, José G. Pazmiño García	$M_r = 5,6597, [MPa]$ $f'c = 44,3525, [MPa]$	No determina una ecuación sino valores característicos de flexión y módulo de rotura para agregados del sector de Guayllabamba, Pichincha

Tabla 4-6: Algunas correlaciones entre  $M_r$  y  $f'c$  con materiales del Imbabura y Pichincha

Otra investigación, realizada como trabajo de titulación, fue desarrollado en la Escuela Politécnica del Litoral por las autoras Karla Crespo León y Natividad García Troncoso en el año 2009, en el cual se hace un análisis de correlación entre esfuerzos esfuerzos de compresión, tensión indirecta y flexión, usando agregados calizos de la provincia del Guayas. Entre lo relevante de ese trabajo, en relación al objetivo de la presente investigación, es la correlación entre  $f'c$  y  $M_r$ , la cual se transcribe en la ecuación 4-6.

$$y = 0,1315x^2 + 7,9996x - 3.8146, \text{ (MPa)} \quad 4-6$$

Donde:

y = Resistencia a la compresión del hormigón, MPa,

x = Módulo de rotura del hormigón, MPa,

Aparentemente, esta ecuación difiere de las anteriores por cuanto es una función polinómica de segundo grado; sin embargo, debe notarse que la expresión se encuentra invertida respecto a las demás por cuanto la variable independiente es el MR; es decir, si el ajuste de los puntos se hubiera realizado de forma inversa, se tendría un ecuación de tipo potencial.

#### 4.7. VARIABILIDAD DE LAS ECUACIONES Y SU PROBLEMA DE APLICACIÓN.

Como se pudo advertir en la sección anterior, existe una gran número de ecuaciones que permiten calcular el módulo de rotura a partir de la resistencia a la compresión. Los resultados obtenidos al aplicar cada una de éstas ecuaciones arrojarán valores distintos de MR para una mismo valor de  $f'c$ . A pesar de que las diferencias son relativamente pequeñas, la incidencia que tiene en los cálculos de espesores, puede resultar considerablemente grandes, teniendo repercusiones en la calidad o el en costo del pavimento.





Los proyectistas que actualmente tienen a su cargo el diseño de las estructuras de pavimento, muy difícilmente podrán tener información veraz y oportuna de las propiedades mecánicas de una clase específica de hormigón, elaborado con materia prima local, debido a la escasa información existente en el medio. En casi la totalidad de los casos, los ingenieros asumen valores de Módulo de Rotura obtenidos de libros, documentos científicos o especificaciones que recomiendan un valor para cada clase de carretera. Generalmente, las carreteras expuestas a grandes flujos vehiculares y paso de camiones pesados requerirán valores de MR mayores a los de carreteras de bajo flujo vehicular. El problema sustancial es determinar cuál es la resistencia a la compresión específica con la que se deberán fabricar los pavimentos, toda vez que, como ya se comentó anteriormente, los diseños de las mezclas se realizan ordinariamente con la resistencia a compresión. Hacer uso de las ecuaciones mostradas en la sección anterior permitirá tener una idea de los valores que correspondan, con el riesgo de escoger una ecuación incorrecta y los valores que se obtengan de esta, sin la garantía de obtener un diseño óptimo y confiable.

El profesor Gabriel Gómez Cortés, en una de sus disertaciones en la ciudad de Cuenca – Ecuador, ponía de manifiesto que “pequeñas variaciones del módulo de rotura, producen grandes cambios en el número de repeticiones de carga que puede soportar un pavimento de hormigón”. Para demostrar lo dicho, se ha realizado un ejercicio, tomando en cuenta una situación típica de diseño, en el cual se ha tomado exclusivamente la resistencia a compresión del hormigón como variable de control y dimensionamiento de los pavimentos rígidos. Muchos parten de una relación bastante común, y comentada en algunos autores, en donde se dice que la correlación entre  $M_r$  y  $f'_c$ , fluctúa entre 8 y 10 veces la raíz cuadrada de  $f'_c$ . Quienes toman esta relación como válida, tienen un conjunto de valores dentro del rango que podrían ser usados en los cálculos, sin que necesariamente arrojen un buen resultado. Algunos probablemente tomarán un valor medio, que le daría menor probabilidad de error.



Para ilustrar el problema, se ha tomado un ejemplo de un pavimento con características predeterminadas y donde se irá cambiando únicamente el módulo de rotura, dentro del rango referido en el párrafo anterior; y, manteniendo las otras variables intactas. Con estos valores se resuelve la ecuación de la metodología AASHTO y se calcula el número de repeticiones de carga que podrá soportar este pavimento.

En el ejemplo se toma para un camino arterial rural con una confiabilidad del 85%. La desviación normal del error  $S_0$  recomendado para pavimentos rígidos está entre 0,30 - 0,40, tomándose un valor de 0.37. La vía estará confinada por hombros de hormigón y se usarán dispositivo de transferencia de carga. El Valor asumido de J es 3,2. Las condiciones de drenaje son buenas y se toma un valor de  $C_d=1$ . La resistencia característica a compresión del Hormigón es de 5000 psi (35 MPa), y el módulo de elasticidad se obtuvo aplicando la ecuación del ACI  $E_c = 57000 (f'_c)^{0,5} = 4\ 030\ 508$  psi.

Datos para la ecuación:

$$Z_r = -1,037 \text{ (85\%)}$$

$$S_o = 0,37$$

$$P_o = 4,5$$

$$P_t = 2,0$$

$$J = 3,2$$

$$E_c = 4030508 \text{ PSI (correspondiente a un } f'_c = 5000 \text{ PSI)}$$

$$k = 72$$

$$C_d = 1$$

D = espesor del pavimento 10 plg.

Aplicando la ecuación de que el módulo de rotura ( $S'_c$  en la nomenclatura inglesa)  $S'_c = a\sqrt{f'_c}$ , en donde a varía entre 8-10, se tomarán los valores externos y el intermedio para determinar el número de repeticiones de carga.

i. Tomando  $a = 8$ ,  $S'_c = 8\sqrt{5000} = 565,68$



Resolviendo la ecuación 4-1 con ese valor, el número de repeticiones de carga ( $W_{18}$ ) = **7 004 425**

ii. Tomando  $a = 9$ ,  $S'c = 9\sqrt{5000} = 636,40$

Resolviendo con ese valor, el número de repeticiones de carga ( $W_{18}$ ) = **10 700 782**

iii. Tomando  $a = 10$ ,  $S'c = 9\sqrt{5000} = 707,11$

Resolviendo con ese valor, el número de repeticiones de carga ( $W_{18}$ ) = **15 630 056**

Haciendo un ejercicio inverso, con los mismos datos, pero calculando el espesor de las losas, se ha impuesto un número de 10.000.000 de repeticiones de carga y variando de la misma forma el módulo de rotura, se tiene los siguientes resultados.

*Para  $MR = 565.68$ , el espesor de la losa es 10.6 pulg*

*Para  $MR = 636,40$ , el espesor de la losa es 10.0 pulg*

*Para  $MR = 707.11$ , el espesor de la losa es 9.4 pulg*

En el primer caso, el análisis de un pavimento de 10 pulgadas de espesor puede tener un rango de valores de repeticiones de carga tan grande entre los dos extremos que haría dudar si en realidad la durabilidad del pavimento sería tan corta o tan larga antes de alcanzar su fracaso. Siendo conservador, el proyectista tomaría el menor valor obtenido y redimensionaría el pavimento a un espesor mayor para garantizar la durabilidad del pavimento, incrementando el costo de fabricación. Al contrario si se tomase el valor mayor, el proyecto tendría menores costos de fabricación, pero el riesgo de fracaso de la estructura será una incertidumbre que el diseñador deberá mantener durante el período de diseño de la infraestructura.

En el segundo caso, tomando como dato el número de repeticiones de carga de 10.000.000, obtenido de las estimaciones de tráfico que circulará por la carretera, los valores obtenidos del espesor de la losa, tiene una variabilidad relativamente pequeña (1.2 pulgadas); sin embargo, al realizar un análisis de



#### Capítulo IV

costos, la diferencia entre los dos extremos representa un costo aproximado de USD 20.000 por km de carril de circulación de 3.65 m

En resumen, tener un dato certero acerca de la correlación entre los esfuerzos de compresión y flexión, permitirá a los diseñadores, constructores y fiscalizadores tener mayor certeza en las decisiones a tomarse en el desarrollo de un proyecto vial.

“El ensayo de resistencia a flexión es una herramienta útil en la investigación y en la evaluación de laboratorio de los ingredientes del concreto y de sus proporciones, es muy sensible a las variaciones de los ensayos para ser utilizado como base para la aceptación o rechazo del concreto en el campo”.

(Stanton y Bloem 2000)



## 5. CAPÍTULO V: CASO DE ESTUDIO.

Como ya se dijo en el capítulo anterior, es importante realizar investigaciones que permitan obtener una buena correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión usando materia prima propia del lugar en donde se están fabricando los hormigones. En el presente trabajo se realizaron ensayos para determinar la correlación entre estos dos tipos de esfuerzos, usando para ello dos tipos de áridos que son los que mayor demanda tienen en la ciudad de Cuenca y sus alrededores.

En este capítulo se muestra todo el procedimiento desarrollado a lo largo de toda la fase experimental de esta investigación, así como también la metodología, cálculos y procesamiento de los resultados.

### 5.1. ÁREA DE INFLUENCIA DEL ESTUDIO

El estudio se circunscribe a la ciudad de Cuenca y sectores aledaños en las cuales los materiales y metodologías constructivas son similares. Los lugares que abarca la zona de estudio están dentro de las provincias de Azuay y Cañar, exceptuando a aquellos cantones ubicados en la zona costanera o que tienen mayor influencia costera y emplean otras fuentes de materiales. Las ciudades en las que el estudio tendría interés están en función de la cercanía a la ciudad de Cuenca o de las zonas donde se expenden los mismos materiales. Específicamente el área de se circunscribe a las cuencas del río Paute y Rircay, y las ciudades que se muestran en la Tabla 5-1. La Figura 5-1, muestra la ubicación geográfica de la zona de estudio.

Provincia	Cantón/Ciudad
Azuay	Cuenca
	Gualaceo
	Paute
	Chordeleg
	Sigsig
	San Fernando
	Girón
	Santa Isabel
Cañar	Azogues
	Biblián
	Déleg
	Cañar

	El Tambo
--	----------

Tabla 5-1: Zona de influencia del proyecto

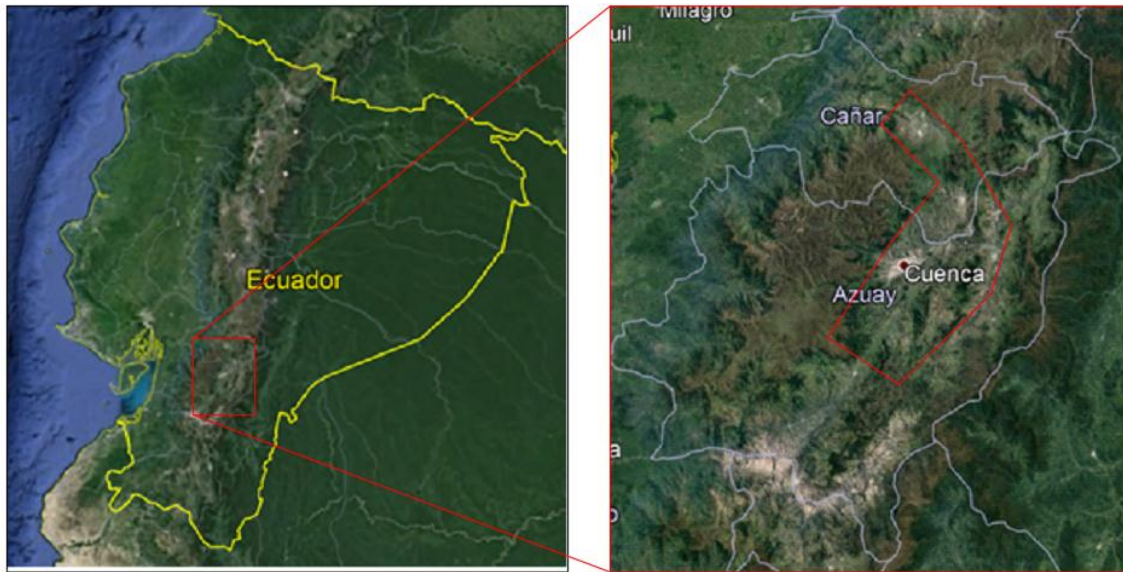


Figura 5-1: ubicación geográfica de la zona de influencia de la investigación (GoogleEarth 2017)(GoogleEarth 2017)(GoogleEarth 2017)

## 5.2. ESTADO DEL ARTE DE LAS INVESTIGACIONES REALIZADAS DENTRO DEL ÁREA DE ESTUDIO

Existen pocos casos de investigación acerca de la correlación entre el módulo de rotura (MR) y la resistencia a la compresión del hormigón ( $f'_c$ ) en el Ecuador. A pesar de que es un tema que ya se ha investigado ampliamente en otras partes del mundo desde mediados del siglo anterior, en nuestro país no se lo ha desarrollado lo suficiente y peor aún en la localidad. Es muy probable que las investigaciones realizadas en otros lugares, sumadas a los factores de seguridad de los métodos de cálculo y las bondades del material, dejan un cierto estado de satisfacción en los resultados e impiden visualizar el problema en su verdadero contexto.

Muchos ingenieros viales de la localidad involucrados en el diseño de pavimentos tienen concepciones distintas acerca del comportamiento mecánico del hormigón bajo efectos de la flexión; sin embargo, todos usan ecuaciones empíricas que establecen correlaciones entre  $M_r$  y  $f'_c$ , sin que exista un sustento técnico que las avale. Adicionalmente, hay quienes



## Capítulo V

emplean una correlación lineal, lo cual contradice la mayoría de las investigaciones a nivel internacionales.

Cuenca es el centro poblado más importante del austro ecuatoriano, tanto por el tamaño de su población cuanto por aporte académico de sus universidades, de alto prestigio nacional. Muchas de las acciones desarrolladas en esta ciudad y de sus instituciones han trascendido por sus logros hacia otras localidades de menor tamaño y relevancia. Esta observación es necesaria en vista de que varios procedimientos de práctica común en temas relacionados con el diseño y construcción de pavimentos rígidos se han impuesto fuertemente en la región y se afianzan mucho más cuando sus resultados han sido mayoritariamente positivos. Una de estas concepciones ha sido la de establecer que los hormigones de pavimentos deben cumplir como condición única, que la resistencia a compresión supere los 300 kg/cm<sup>2</sup> (30MPa). Esto se evidencia en casi todos los contratos de pavimentación rígida que constantemente se están lanzando a través del portal de compras públicas por instituciones del sector público ubicadas en la zona de estudio. Este criterio difiere parcialmente con los de otros autores y organismos de control a nivel nacional e internacional que emplean la resistencia a flexión como parámetro, tal como se muestra en la Tabla 5-2:

Autor / Institución	Criterio	
Guide Specifications for Highway Construction, AASHTO	Resistencia recomendada a la flexión desde:	550 PSI (3.8 MPa)
Design of Concrete Pavement for City Streets, ACPA	Resistencia recomendada a la flexión desde:	550 PSI (3.8 MPa)
PEMEX, Subdirección de Ingeniería	Resistencia recomendada a la flexión desde:	42 kg/cm <sup>2</sup> (597 PSI)
INSTITUTO NACIONAL VIAS (INVIAS) Colombia.	Resistencia recomendada a la flexión desde:	38 kg/cm <sup>2</sup> (540 PSI)
MTOP, NEVI 12	En las especificaciones técnicas de MTOP, ya no existen rubros de pavimentos de hormigón con f'c sino con MR y ninguno está debajo de:	40 kg/cm <sup>2</sup> (569 PSI)

Tabla 5-2: Valores mínimos recomendados para la resistencia a flexión en pavimentos rígidos. (AASHTO 2008)(American Concrete Pavement Association (ACPA) 1992)(CEMEX CONCRETOS 2004)(INVIAS 2008)(M.T.O.P. 2013)

Para verificar lo mencionado en los párrafos anteriores, se visitó a 5 empresas productoras de hormigón premezclado para auscultar los métodos

empleados en los diseños de las mezclas y en el control de calidad de los hormigones elaborados para la construcción de pavimentos. El resultado de las entrevistas, se muestra a continuación, omitiéndose el nombre de las empresas en honor a la confidencialidad de información y de sus políticas institucionales.

Pregunta 1: ¿Es parte de su oferta de productos la provisión de hormigón para pavimentos rígidos?

Respuesta:

Denominación	Opciones de respuesta	
	SI	NO
Hormigonera 1	X	
Hormigonera 2	X	
Hormigonera 3	X	
Hormigonera 4	X	
Hormigonera 5	X	

Pregunta 2: ¿Sus clientes que solicitan hormigón para pavimento, requieren que éste debe cumplir resistencias a flexión?

Respuesta:

Denominación	Opciones de respuesta			
	Siempre	Con frecuencia	Rara vez	Nunca, solo a compresión
Hormigonera 1				X
Hormigonera 2			X	
Hormigonera 3				X
Hormigonera 4				X
Hormigonera 5			X	

Pregunta 3: ¿Cuál es el método de diseño empleado para dosificar las mezclas de hormigón de pavimentos?

Denominación	Opciones de respuesta				
	ACI 211.1	RNL	PCA	FULLER	OTRO
Hormigonera 1					X
Hormigonera 2	X				
Hormigonera 3		X			
Hormigonera 4	X				
Hormigonera 5	X				





Pregunta 4: ¿Cómo realiza el control de calidad de los hormigones para pavimentos?

Denominación	Opciones de respuesta		
	Compresión	Flexión	Ambos
Hormigonera 1	X		
Hormigonera 2	X		
Hormigonera 3	X		
Hormigonera 4	X		
Hormigonera 5			X

Pregunta 5: ¿Han realizado ensayos de correlación entre  $M_r$  y  $f'_c$  con los materiales que están empleando?

Denominación	Opciones de respuesta		
	SI	NO	PARCIALMENTE
Hormigonera 1		X	
Hormigonera 2		X	
Hormigonera 3		X	
Hormigonera 4		X	
Hormigonera 5		X	

Pregunta 6: ¿En caso de no contar con una correlación  $M_r$  vs  $f'_c$ , cuál de los siguientes tipos de funciones considera usted que es la que mejor se ajusta a dicha correlación?

Denominación	Opciones de respuesta				
	Función lineal	Función polinomial	Función exponencial	Función logarítmica	Desconoce
Hormigonera 1					X
Hormigonera 2	X				
Hormigonera 3					X
Hormigonera 4					X
Hormigonera 5	X				

Pregunta 7: ¿En caso de tener una función (ecuación) que le permita calcular un valor aproximado de  $M_r$  en función de  $f'_c$ , cuál sería?

Denominación	Función	No tiene
Hormigonera 1		X



Hormigonera 2	$Mr = 0,10 f'c$	
Hormigonera 3		X
Hormigonera 4		X
Hormigonera 5	$Mr = (0,10-0,12) f'c$	

De las respuestas obtenidas en el sondeo, se obtienen las siguientes resultados:

- Pregunta 1** El 100% de las hormigoneras produce o ha producido hormigón para pavimento rígido
- Pregunta 2** La mayoría de clientes solicitan hormigón que debe cumplir resistencias a compresión y rara vez solicitan requisitos de flexión
- Pregunta 3** La mayoría de hormigoneras, usan métodos del ACI 211.1 para el diseño de sus mezclas de hormigón, y solo uno que usa eventualmente el método del Road Note Lab. Todos parten de  $f'c$  para sus cálculos.
- Pregunta 4** Solo una de las hormigoneras hace control de calidad con flexión de vigas, el resto realiza exclusivamente ensayos de compresión
- Pregunta 5** Ninguna de las hormigoneras ha realizado análisis estadístico para correlacionar  $Mr$  y  $f'c$
- Pregunta 6** Tres de los encuestados desconoce el tipo de función que correlaciona  $Mr$  y  $f'c$ , mientras los demás consideran que la función es de tipo lineal.
- Pregunta 7** Ninguna de las hormigoneras dispone de una función de correlación entre  $Mr$  y  $f'c$ . Dos de ellas consideran que el módulo de rotura varía linealmente entre al 10 y el 12% de la resistencia a la compresión

### 5.3. PRODUCCIÓN DE HORMIGÓN PARA PAVIMENTOS EN EL ÁREA DE ESTUDIO

Cuenca es una ciudad que cuenta con un gran porcentaje de calles y avenidas construidas con pavimentos de hormigón de cemento portland. Algunas administraciones municipales han elegido este tipo de pavimento por el excelente comportamiento ante las cargas de tráfico y su alta durabilidad con un mínimo costo de mantenimiento. Los programas Mejora



## Capítulo V

Tu Barrio y Barrio Para Mejor Vivir, impulsaron la construcción masiva de calles en la ciudad, usando mayoritariamente pavimentos rígidos. Dichos modelos de gestión fueron replicados con ciertas modificaciones en algunos cantones de las provincias del Azuay y Cañar, construyéndose pavimentos de hormigón hidráulico con excelentes resultados.

En la ciudad de Azogues, a fines de la década de los años 80, se realizó la pavimentación de casi la totalidad del casco central urbano, que se conserva en relativo buen estado hasta la presente fecha en la mayoría de los casos. En las últimas dos décadas, las tendencias urbanas tienden a expandirse hacia las áreas periféricas de las ciudades y se ha proliferado la construcción de urbanizaciones y lotizaciones que requieren obligatoriamente la construcción de obras de infraestructura. Los pavimentos rígidos han sido los preferidos por los urbanizadores locales en este tipo de obras.

El éxito de los pavimentos rígidos en calles y avenidas urbanas, motivó a su uso en las carreteras rurales sin alcanzar los mismos resultados, especialmente en aquellas con altos volúmenes de vehículos pesados. Carreteras como la Biblián - Zhud o la Cuenca – Girón, son ejemplos en los que se evidencian fracasos de considerables tramos de carretera en corto tiempo de uso. Alrededor de estos problemas se han dado intensos debates acerca de los orígenes de la falla y de sus responsables.

Hasta la década de los noventa, era común la práctica de muchos contratistas elaborar el hormigón en el sitio de la obra, usando mezcladoras mecánicas apostadas al pie de la obra y dosificando volumétricamente. El uso del hormigón premezclado se fue imponiendo progresivamente hasta que en la actualidad es la práctica generalizada, siendo incluso de uso obligatorio por muchas instituciones contratantes.

Entre las ciudades de Azogues y Cuenca, se han desarrollado algunas empresas proveedoras de hormigón premezclado que brindan su servicio a todos los cantones anteriormente descritos. En la Tabla 5-3 se detallan las hormigoneras que brindan servicio al público. No se incluyen en este cuadro,

las plantas temporalmente instaladas para un proyecto específico o de uso exclusivo de los contratistas.

Denominación	Ubicación	Cantón	Provincia
Guapán	Guangarcucho	Cuenca	Azuay
Holcim	Sector parque industrial	Cuenca	Azuay
Hormiazuay	Cuenca-Norte	Cuenca	Azuay
Hormicreto	Sector Parque industrial	Cuenca	Azuay
Hormicenter	Javier Loyola	Azogues	Cañar
C_3 Cia. Ltda.	Sector Parque industrial	Cuenca	Azuay

Tabla 5-3: Proveedores de hormigón premezclado para la ciudad de Cuenca y sus alrededores.

En el presente trabajo se ha priorizado el análisis de los hormigones usados en la construcción de pavimentos rígidos y que generalmente son producidos y dosificados en planta bajo controles de calidad más estrictos, descartando aquellos elaborados al pie de la obra, en donde existe un mayor número de variables, imposibles de controlar en un solo estudio.

#### 5.4. CEMENTOS DISPONIBLES PARA LA PRODUCCIÓN DEL HORMIGÓN.

En el Ecuador existen cinco fábricas cementeras que dotan la totalidad del producto que se consume internamente. Dos de las que hasta hace poco eran mayoritariamente de capital público, forman parte de la compañía de economía mixta UCEM C.E.M. Las otras tres cementeras son empresas de capitales privados y tienen sus plantas de producción en las cercanías de las ciudades de Guayaquil y Latacunga (Holcim), Otavalo (UNACEM) y Cuenca (Atenas). De todas las marcas de cemento, las que se expenden mayoritariamente en el área de estudio son: Holcim, Guapán y Atenas quedando las otras con volúmenes absolutamente marginales.

Hasta hace poco, casi todas las plantas procesadoras, fabricaban cemento tipo I y IP bajo la norma INEN NTE 490; sin embargo, en la actualidad están migrando hacia la norma INEN NTE 2380. En la Tabla 5-4, se resumen las marcas y tipos de cemento que se expenden comercialmente en todo el país. En la actualidad, el 100% del cemento que se expende es de fabricación nacional.



FABRICA	UBICACIÓN PLANTA	PRODUCTOS	TIPO	PRESENTACIÓN	NORMA
<b>HOLCIM</b>	Guayaquil y Latacunga	Holcim Fuerte	GU	Sacos/granel	INEN NTE 2380
		Premium	HE	Sacos/granel	INEN NTE 2380
		Base Vial	MH	Sacos/granel	INEN NTE 2380
		Ultra Durable	HS	Sacos/granel	INEN NTE 2380
		Utka	MS	Sacos	INEN NTE 2380
<b>SELVALEGRE</b>	Otavalo	Selvalegre Plus	IP	Sacos/granel	NTE INEN 490
		Armaduro	IP	Sacos/granel	NTE INEN 490
		Campeón	HS	Sacos	INEN NTE 2380
		Gladiador	IP	Granel	NTE INEN 490
		Techcem	IP	Granel	NTE INEN 490
		Magno HE	HE	Granel	INEN NTE 2380
		Cemento HS	HS	Granel	INEN NTE 2380
<b>GUAPÁN</b>	Azogues	Guapán IP	IP	Sacos/granel	NTE INEN 490
		Guapán HE	HE	Granel	INEN NTE 2380
<b>CHIMBORAZO</b>	Riobamba	Chimborazo IP	IP	Sacos/granel	NTE INEN 490
		Chimborazo HE	HE	Granel	INEN NTE 2380
<b>ATENAS</b>	Cuenca	Atenas	GU	Sacos/granel	INEN NTE 2380

Tabla 5-4: Fábricas cementeras en el país y productos disponibles (HOLCIM 2017)(UNACEM 2017)(INDUSTRIAS GUAPAN 2017)(CEMENTO CHIMBORAZO 2017)

## 5.5. FUENTES DE ÁRIDOS

Durante décadas, las fuentes de áridos para las construcciones en la ciudad de Cuenca y sus alrededores, han sido obtenidas de los depósitos aluviales de los ríos aledaños y de los macizos rocosos que los circundan. Los abundantes áridos naturales del río Cuenca y del río Paute han sido siempre conocidos como materiales de buenas características y aptos para la fabricación de hormigones de todo tipo. Así mismo, los macizos rocosos de la zona del Tahuall, han sido aprovechados para la obtención de áridos triturados. En los últimos años, y a partir del desastre de la Josefina en el año de 1993, la explotación de las canteras en dicho sector se ha ido restringiendo progresivamente y su volumen es insuficiente para abastecer a las necesidades locales. En la Figura 5-2, se muestra la zona de mayor explotación de áridos en los alrededores del río Cuenca y río Paute.

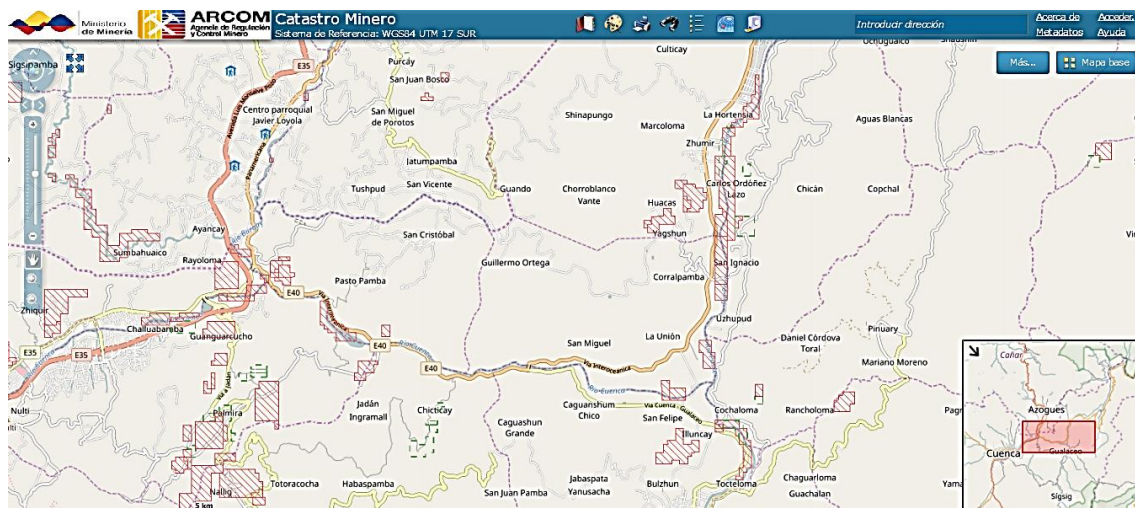


Figura 5-2: Minas registradas en la Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM en el sector de los Ríos Cuenca, Santa Bárbara y Paute (ARCOM 2017).

Por otro lado, el sector de Santa Isabel ha sido la alternativa que en los últimos años ha suplido el déficit de áridos en el sector de Paute. Los áridos provenientes de este lugar también presentan buenas propiedades, sin embargo, la distancia hacia la ciudad de Cuenca es mayor, encareciendo los costos de transporte, en comparación con los de Paute. La Figura 5-3 muestra la zona de Santa Isabel y las minas alrededor del río Rircay.

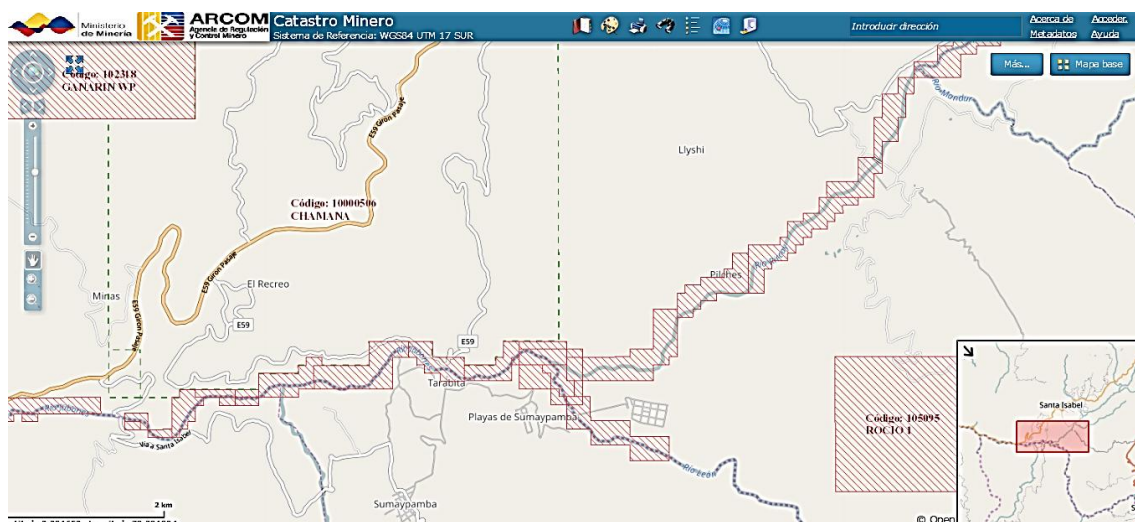


Figura 5-3: Minas registradas en la Agencia de Regulación y Control Minero ARCOM en el sector de los Ríos Jubones y Rircay (ARCOM 2017)



## 5.6. DETERMINACIÓN DE LOS CEMENTOS Y ÁRIDOS PARA LOS ENSAYOS

Existe una gran cantidad de áridos y cementos disponibles en el sector y resultaría casi imposible realizar la investigación con absolutamente todas los materiales y sus respectivas combinaciones. El criterio del autor se sustenta en tomar las principales fuentes de materiales que han sido de uso común por los mayores productores y proveedores de hormigón que se encuentran operando de manera permanente en el sector. Para esta determinación, se usa la información proporcionada en la encuesta que se realizó a las cinco hormigoneras. En la Tabla 5-5 se muestra el tipo de cemento y áridos empleados, sin identificar el nombre de la empresa y los datos recabados en dicha encuesta.

Datos	HORMIGONERA				
	1	2	3	4	5
<b>Marca y Tipo de cemento</b>	Atenas tipo GU	Guapán tipo HE	Guapán tipo HE	Holcim HE	Holcim HE
<b>Procedencia del árido fino</b>	2 fuentes: Paute y Santa Isabel	Santa Isabel	Santa Isabel	Santa Isabel y Paute	Paute y Santa Isabel
<b>Módulo de finura</b>	Entre 2.8 y 3.2	N / D	2.9 y 3.0	N / D	N / D
<b>Tipo de árido fino</b>	Natural de río	Natural de río	Natural de río	Natural de río	Natural de río
<b>Procedencia del árido grueso</b>	Tahual, producción propia	Santa Isabel	Santa Isabel	Santa Isabel y Paute	Paute
<b>Tamaño máximo del agregado grueso</b>	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"	3/4"
<b>Tipo de árido grueso</b>	Triturado	Triturado	Triturado	Triturado	Triturado

Tabla 5-5: Cementos y áridos empleados en las principales hormigoneras de la ciudad de Cuenca.

De los datos recabados, el cemento de mayor uso es de tipo HE y la marca de mayor demanda es Holcim HE, seguido de Guapán HE. Este cemento no se expende en sacos y se entrega únicamente a productores de hormigón premezclado a granel. Con el propósito de usar el mismo cemento que se está usando en las plantas de producción, se solicitó a la empresa Holcim de la dotación de una cantidad necesaria para realizar los ensayos; sin embargo, no se tuvo una respuesta favorable. Se acudió a la empresa

Guapán, con el mismo requerimiento, y se autorizó la donación de todo el cemento de tipo HE necesario.

En cuanto al árido fino, la mayoría de hormigoneras está empleando la arena proveniente del sector de Santa Isabel. Las arenas provenientes de las minas del río Paute, tienden a ser un poco gruesas y tienden a de los requerimientos establecidos en la norma INEN NTE 872, razón por la cual, los hormigoneros han preferido el uso de arena de Santa Isabel.

Por otro lado, el agregado grueso tiene una incidencia fuerte en las resistencias de flexión, especialmente en relación a la forma y textura. En tal razón, se ha escogido dos tipos de materiales: el uno proveniente de las minas de Santa Isabel y el otro de la mina del sector el Descanso, en donde se tritura material del río Paute. El proveedor de los áridos de Santa Isabel es el Señor Mariano Heredia, mientras que el del sector El Descanso es del Señor Julio Sanmartín que tritura material de Paute. En ambos casos, el material es producto de la trituración mecánica de materiales granulares de origen aluvial.

En la Figura 5-4 y Figura 5-5, se muestran las ubicaciones de las dos zonas mineras.

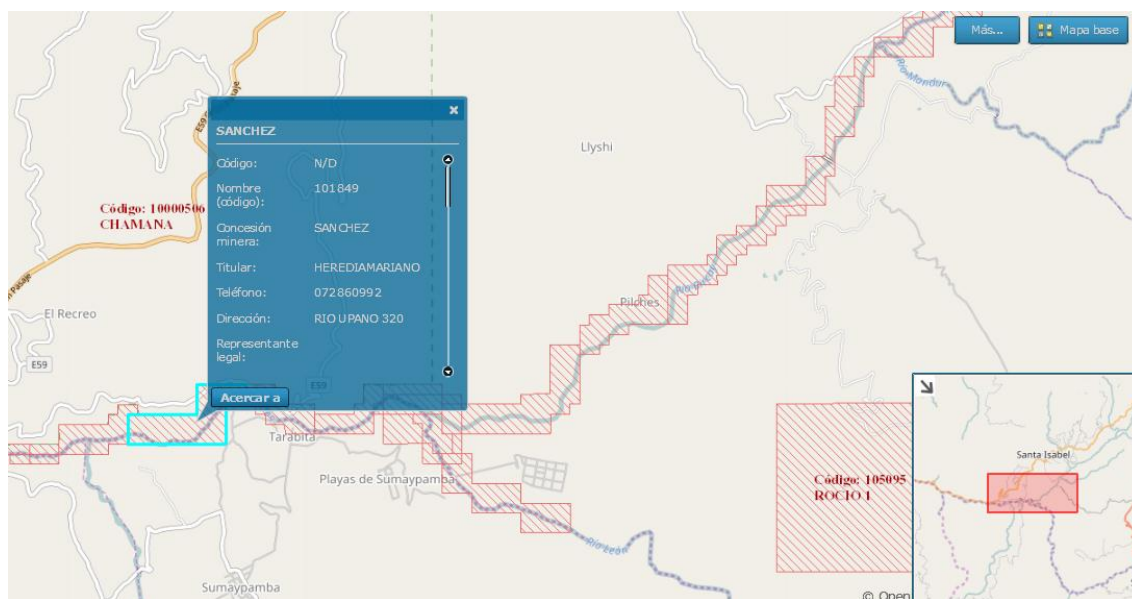


Figura 5-4: Ubicación de la mina de Santa Isabel (ARCOM 2017)



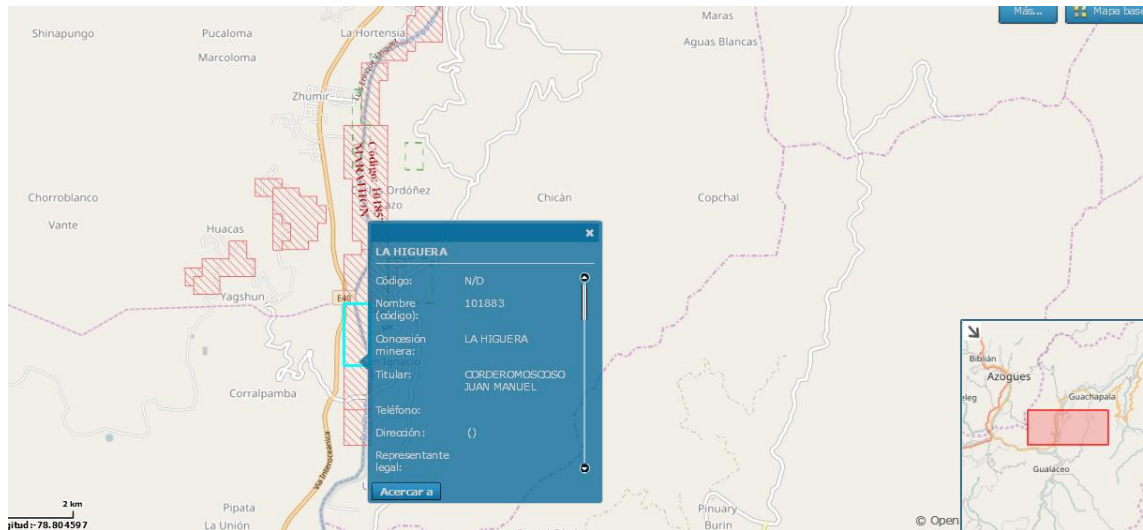


Figura 5-5: Ubicación de la mina de Santa Isabel (ARCOM 2017)

## 5.7. CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

Previo a la realización de los ensayos es necesario determinar las propiedades y características de los componentes del hormigón, de tal forma que se pueda establecer su incidencia en el del hormigón, tanto en estado fresco como endurecido. Los ensayos se programaron sin incluir aditivos ni adiciones para impedir la introducción de otras variables que puedan alterar el objetivo de la investigación.

Los ensayos inicialmente estaban previstos a realizarse en el laboratorio de materiales de construcción de la facultad de ingeniería de la Universidad de Cuenca; sin embargo, la alta demanda de usuarios en este laboratorio impidió una apropiada planificación y programación de los ensayos en ese lugar. Consecuentemente, fue necesario acudir a otros laboratorios para la ejecución de las pruebas

### 5.7.1. CEMENTO.

El cemento empleado en los ensayos es de la marca Guapán y es del tipo HE para altas resistencias iniciales. Se escogió este cemento tomando en cuenta su amplio uso y la disponibilidad en condiciones óptimas de muestreo y calidad.

El muestreo se realizó directamente desde los silos de almacenamiento de la misma planta de producción. Se tomaron 6 muestras que fueron colocadas en fundas vacías de papel idénticas a las del producto ensacado, en cantidades de aproximadamente 25 kg, y depositados en un lugar seco y cubierto en el laboratorio.

Las propiedades del cemento son evaluadas diariamente a través del departamento de control de calidad de la cementera, dotado de equipos e instrumental de alta tecnología. Los resultados de los ensayos son tabulados y colocados en la página web institucional, y que se muestran en la Tabla 5-6 se ponen también los datos correspondientes al cemento IP, para advertir algunas peculiaridades

Propiedad	Valor cemento HE	Valor cemento IP
Densidad relativa	2,92	3,00
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /gr)	4963	4495
Fraguado inicial (min)	142	177
Resistencia compresión 28d (MPa)	43,41	33,7

Tabla 5-6: Resumen de propiedades más relevantes del cemento portland GUAPÁN HE y GUAPÁN IP a mayo de 2017 (INDUSTRIAS GUAPAN 2017)

En la Figura 5-6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se muestra un comparativo del crecimiento de las resistencias, tanto para el cemento HE como para el IP. Como puede apreciarse, la ganancia de la resistencia a edades tempranas en el cemento tipo HE es considerablemente mayor que la del tipo IP. El uso del cemento HE es una tendencia en la mayoría de proveedores de hormigón premezclado, atendiendo la solicitud de clientes que requieren poner en servicio sus estructuras en el menor tiempo posible. En el caso de los pavimentos de concreto, la norma ecuatoriana de vialidad NEVI 12, establece que las vías construidas con pavimentos de hormigón, se pueden abrir al tráfico cuando las resistencias hayan alcanzado al menos 3,79 MPa de resistencia a la flexión. La Figura 5-6 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra una gráfica comparativa de las curvas de crecimiento de la resistencia en el tiempo.

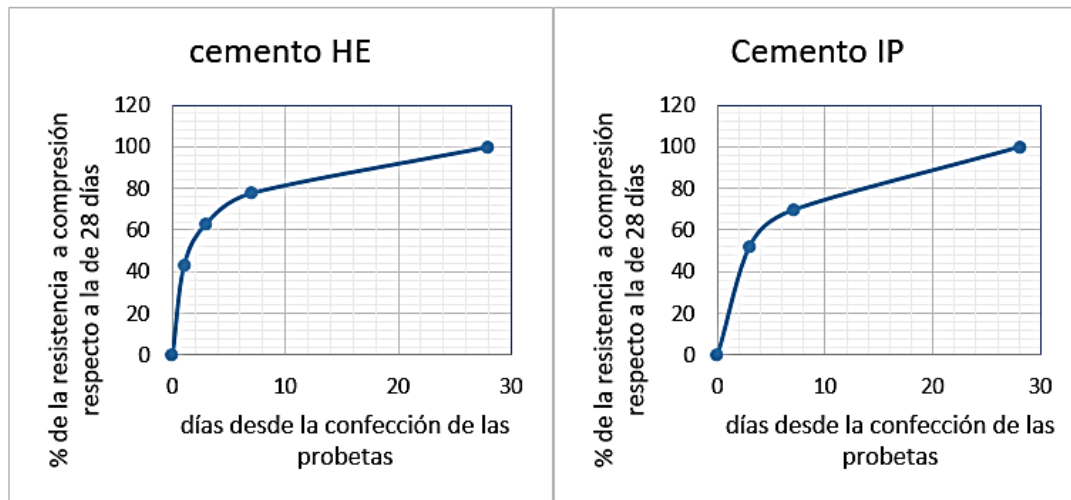


Figura 5-6: Comparativo del crecimiento porcentual de la resistencia del cemento Guapán HE y el Guapán IP. Elaboración (Autor 2017). Datos obtenidos de (INDUSTRIAS GUAPAN 2017)

Si por una parte es bueno el uso de cementos para altas resistencias tempranas, se deben tener en cuenta que también generan mayor calor de hidratación y la probabilidad de agrietamiento por gradiente térmico se incrementa. Igualmente, el cemento HE tiene mayor finura que el tipo IP y consecuentemente mayor superficie específica, requiriendo por lo tanto una cantidad mayor de agua de hidratación.

### 5.7.2. LOS ÁRIDOS

En general, en un trabajo de investigación es necesario realizar la mayor cantidad de pruebas posibles en los áridos, para descartar cualquier agente que introduzca variables indeseables que puedan interferir en los resultados. Dicho de otra forma, la posibilidad de contar con áridos que cumplan con los requisitos normativos para un árido de calidad, permitirá disponer de resultados altamente confiables, disminuyendo la probabilidad de ensayo fallido a consecuencia de áridos mal gradados, con altos contenidos de impurezas, material orgánico, partículas indeseables, etc. La mayoría de especificaciones de construcción han tomado como base para aceptación de los áridos del hormigón, el cumplimiento de la norma americana ASTM C33, que a su vez es la referencia casi idéntica de la norma vigente en Ecuador a través de la norma técnica INEN NTE 872.



#### 5.7.2.1. MUESTREO

Para la toma del material, se extrajo desde las pilas de almacenamiento en los stocks aledaños a la cantera. Para ello se siguieron las recomendaciones establecidas en la norma INEN NTE 0695, apéndice W, numeral 2.2, en donde se dice “Cuando no están disponibles los equipos mecánicos, la muestra obtenida desde la pila debe estar compuesta por lo menos de tres porciones tomadas en el tercio superior, en el punto medio y en el tercio inferior del volumen de la pila. En el muestreo, se debe remover la capa exterior, la cual puede tener alguna segregación y tomar la muestra del material que está debajo” (INEN 2008)

Para los ensayos, se hicieron reducciones de las cantidades de las muestras, de tal forma que el material empleado sea suficiente y lo más homogéneo posible. Con esto se evita que el material pueda ser tomado de una parte en donde hay segregación y no sea representativo del conjunto.

El procedimiento, conocido coloquialmente como cuarteo, se realizó de forma manual en la mayoría de los casos, siguiendo el procedimiento descrito en la norma INEN NTE 2566, que para el caso dice lo siguiente: “Colocar la muestra original en una superficie firme, limpia y nivelada, donde no exista ni pérdida de material ni adición accidental de material extraño. Mezclar el material completamente volteando toda la muestra más de tres veces. Luego de la última vuelta, conformar con toda la muestra una pila cónica, depositando cada palada sobre la parte superior de la anterior. Con cuidado, aplanar la pila cónica hasta un espesor y un diámetro uniformes, presionando la punta con la pala para que cada cuarto resultante de la pila contenga la composición original del material. El diámetro puede ser aproximadamente cuatro a ocho veces el espesor. Dividir la masa aplanada en cuatro cuartos iguales con una pala o una paleta y retirar dos cuartos diagonalmente opuestos, incluyendo todo el material fino y limpiar los espacios vacíos. Mezclar sucesivamente y cuartear el material restante hasta reducir la muestra al tamaño deseado” (INEN 2010c). La Figure 5-7 muestra gráficamente la forma de ejecutar esta tarea.

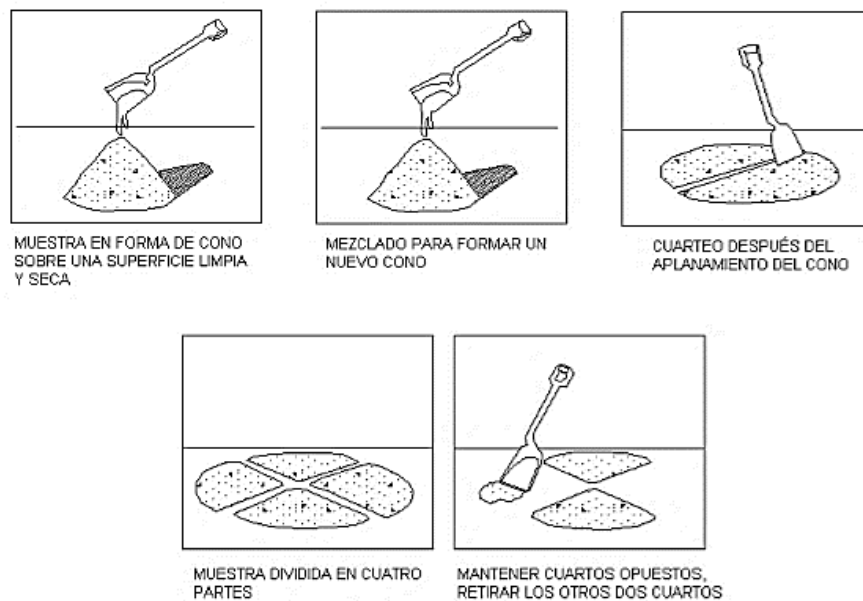


Figure 5-7: Representación gráfica del proceso de cuarteo manual (INEN 2010c).



Figura 5-8: Cuarteo del árido grueso

### 5.7.2.2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD NATURAL DE LOS ÁRIDOS

Esta operación se ha realizado en distintas etapas del proceso y permite conocer la cantidad de agua existente en los poros del árido, así como la adherida superficialmente. El procedimiento se realiza siguiendo lo establecidos en la norma NTE INEN 0862. Para ello, se toma una muestra representativa del material en estado húmedo y se determina su peso. Posteriormente se seca la muestra completamente por medio de una fuente



de calor tal como un horno, estufa o microondas. Hay que tener cuidado cuando se usan mecanismos que calientan muy rápidamente, puesto que puede causar la explosión de algunas partículas y pérdida de material. Lo ideal es un horno de temperatura controlada en donde se coloca el material a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante (generalmente 24 hrs) luego de lo cual se retira de la fuente de calor hasta que la temperatura sea manejable y se determina el peso seco. La humedad del material se calcula con la ecuación (INEN 2012)

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad 5-1$$

Donde:

P = Humedad del árido, porcentaje (%)

W = Peso del árido húmedo, (gr)

D = Peso del árido seco al horno, (gr)

En el caso de las mezclas, cada vez que se elabora una determinada clase de hormigón, se determina previamente la humedad de árido para poder realizar las respectivas correcciones de humedad, empleando para ello un método rápido como el de la estufa, que permite disponer en poco tiempo la humedad del árido con una buena aproximación.

### 5.7.2.3. GRANULOMETRÍA

La granulometría es una de las propiedades físicas más importantes de los áridos y tiene una influencia determinante en el comportamiento del hormigón. Las teorías de gradaciones ideales tienen un objetivo primordial que es el de dotarle un buena trabajabilidad al hormigón fresco y buenas resistencias mecánicas al endurecerse. Las agencias reguladoras de construcción y diseño de obras de infraestructura, han establecido estándares para que los áridos empleados tengan buenas propiedades físicas, químicas y mecánicas y de ser posible se asemejen a las de un árido ideal. En nuestro país la norma INEN NTE 872, establece los requisitos granulométricos que deben cumplir los áridos, y son de obligatorio cumplimiento.

Los requerimientos granulométricos para el árido fino se muestran en la Tabla 5-7.

TAMIZ INEN	PORCENTAJE QUE PASA
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 $\mu\text{m}$	25 a 60
300 $\mu\text{m}$	10 a 30
150 $\mu\text{m}$	2 a 10

Tabla 5-7: Requisitos de gradación del árido fino (INEN 1976)

En la Figura 5-9 se muestra que el árido fino empleado en este estudio está dentro de los requerimientos granulométricos, y su módulo de finura tiene un valor de 2,41. Las recomendaciones de ACI para aplicación de su método de diseño de mezclas, establece que su valor debe estar entre 2,3 y 3,1. En el caso del árido empleado cumple con los requisitos granulométricos de la especificación.

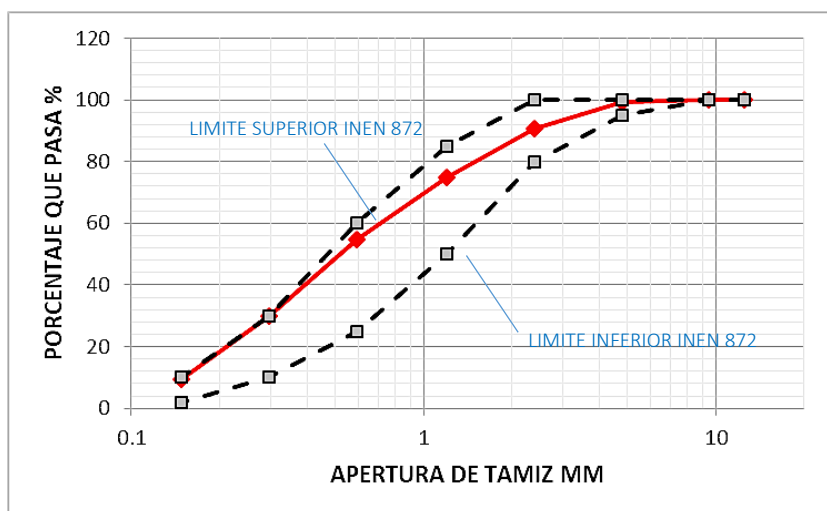


Figura 5-9: : Curva granulométrica para el árido fino. Mina Sr. Mariano Heredia, Sta. Isabel. (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

En caso del árido grueso, la especificación granulométrica depende del tamaño máximo del árido (TMN). Los áridos que están usando las hormigoneras, de acuerdo a las encuestas realizadas, es un árido triturado y tiene un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ". Consecuentemente, el árido grueso requerido para los ensayos tendrá las mismas características. En la Tabla 5-8, se ha resumido una parte de la norma INEN NTE 872, en la que

se ha extraído los requerimientos granulométricos correspondientes a un árido grueso de TMN de 3/4".

TAMIZ INEN (aberturas cuadradas) (mm)	PORCENTAJE QUE PASA
26,5 mm	100
19 mm	90 a 100
13,2 mm	
9,5 mm	20 a 55
4,75 $\mu\text{m}$	0 a 10
2,36 $\mu\text{m}$	0 a 5

Tabla 5-8: Requisitos de gradación para el árido grueso TMN 3/4".  
Adaptado de (INEN 1976)

En el caso del árido grueso de Santa Isabel, los resultados de la granulometría se muestran en la curva de Figura 5-10, donde se observa que el árido cumple con los requisitos granulométricos de la norma INEN NTE 872.

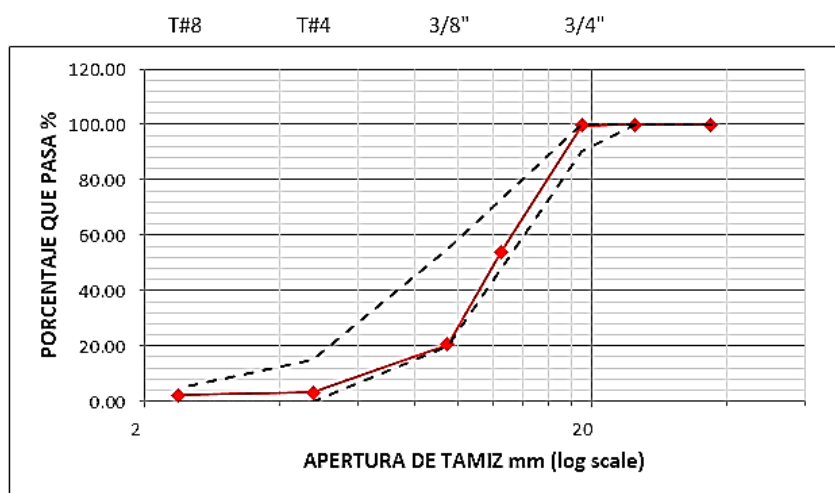


Figura 5-10: Curva granulométrica para el árido grueso TMN 3/4".  
Mina Sr. Mariano Heredia, Sta. Isabel (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

Adicionalmente se realizaron ensayos con los áridos del río Paute, pero únicamente con el árido grueso, puesto que las arenas naturales de este sector no son de fácil adquisición por sus restricciones de explotación y volúmenes limitados, razón por la cual los productores prefieren la arena de Santa Isabel, aunque los costos sean un poco mayores. La mina de donde se han tomado los materiales pertenece a la compañía VIPESA, del Sr. Julio Sanmartín. El proceso de trituración empleado en esta planta, tiene dos



etapas y producen en distintos lotes, produciendo separadamente áridos de  $3/4''$  y  $3/8''$ . Al tomar únicamente el árido de  $3/4''$ , se notó que había faltantes de material fino, desviándose completamente de la especificación, tal como se muestra en la Figura 5-11.

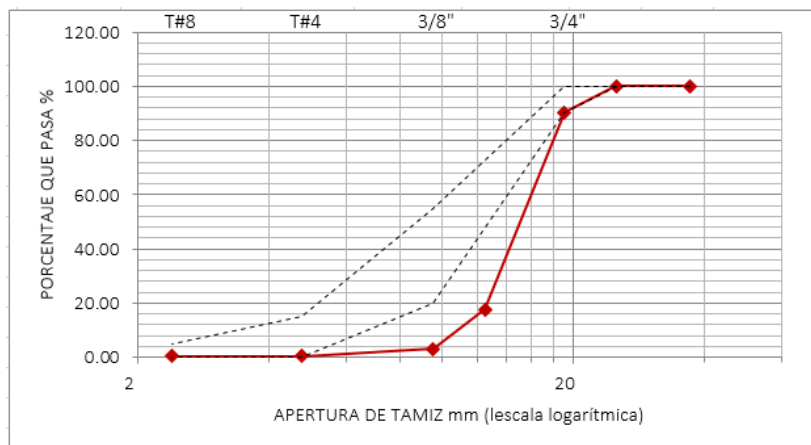


Figura 5-11: Curva granulométrica para el árido grueso TMN  $3/4''$ .  
 Mina VIPESA, El Descanso. (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

En la granulometría se notó que el árido tenía faltante de partículas menores a  $1/2''$  por lo que se requirió árido del tamaño  $3/8''$  para completar los tamaños faltantes. Con este material, luego de hacer su granulometría, se hicieron cálculos y mezclas hasta llegar a la granulometría deseada, quedando en proporción de 56.7% del material de  $3/4''$  y 43.3% para el de  $3/8''$ . La granulometría final se muestra en la Figura 5-12. Con los datos de esta mezcla, se preparó la cantidad suficiente de material para los ensayos y las mezclas de pruebas en un stock en laboratorio.

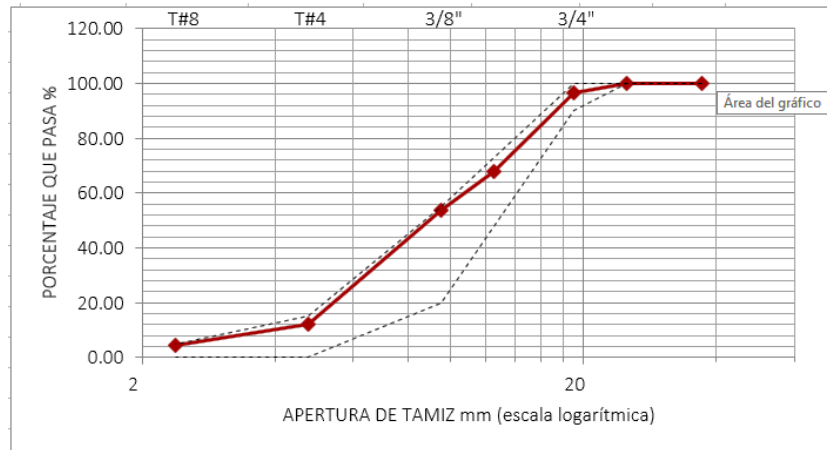


Figura 5-12: Curva granulométrica para el árido grueso mezcla de 3/4" y 3/8". Mina VIPESA, El Descanso (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

#### 5.7.2.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS.

Estos parámetros son indispensables para el diseño de las mezclas, pues con estos se pueden conocer los volúmenes que ocupan en el conjunto. La absorción permite determinar la cantidad de agua neta que requiere la mezcla, adicional a aquella que ocupa los poros saturables de árido. Los procedimientos para su determinación también están estandarizados en las normas ecuatorianas INEN NTE 856 y 857, para los áridos finos y gruesos respectivamente.

Los resultados obtenidos para el árido fino se transcriben en el cuadro de la Tabla 5-9: Densidades y absorción del árido fino. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017) Tabla 5-9

Descripción	Valor
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	2,43
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	2,52
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	2,69
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	2.417,45
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	2.518,30
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	2.680,25
Absorción % =	3,96%

Tabla 5-9: Densidades y absorción del árido fino. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

En la Figura 5-13 puede verse el procedimiento para determinar el estado de Saturado y Superficie Seca del árido fino. La Figure 5-14 muestra el picnómetro empleado para determinar el volumen de la arena en estado SSS, por métodos gravimétricos.



Figura 5-13: Determinación del estado SSS de la arena



Figure 5-14: Picnómetro para determinar la densidad del árido fino.

Para el árido grueso del árido proveniente de Santa Isabel, el resumen de resultados se muestra en la Tabla 5-10.

Descripción	Valor
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	2,50
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	2,57
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	2,69
Densidad (SH), $\text{kg/m}^3$ =	2.484,27
Densidad (SSS), $\text{kg/m}^3$ =	2.561,15
Densidad aparente (SH), $\text{kg/m}^3$ =	2.682,60
Absorción % =	2,89%

Tabla 5-10: Densidades y absorción del árido fino. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

Y los ensayos en el árido grueso de VIPESA, considerando el conjunto 3/4” + 3/8” se muestra en la Tabla 5-11.

Descripción	Valor
Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	2,63
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	2,68
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	2,76
Densidad (SH), $\text{kg/m}^3$ =	2.617,80
Densidad (SSS), $\text{kg/m}^3$ =	2.670,68
Densidad aparente (SH), $\text{kg/m}^3$ =	2.754,58
Absorción % =	1,82%

Tabla 5-11: Densidades y absorción del árido fino. Mina: J. Sanmartín Tabla 5-11

Como algo relevante, se puede advertir que el árido procedente del proveedor VIPESA, es más denso que el procedente de la mina de Santa Isabel.

En la Figura 5-15 se aprecia el procedimiento para retirar la humedad superficial del árido grueso hasta llegar a la condición SSS.



Figura 5-15: Eliminación de la humedad superficial del árido grueso mediante secado con telas absorbentes

La Figura 5-16 corresponden a la determinación del peso material en condiciones SSS al aire, y la Figura 5-17; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** en donde se obtiene el peso del material en condiciones SSS sumergido en agua. Estas operaciones son parte del procedimiento para determinar la densidad y la absorción del árido grueso.

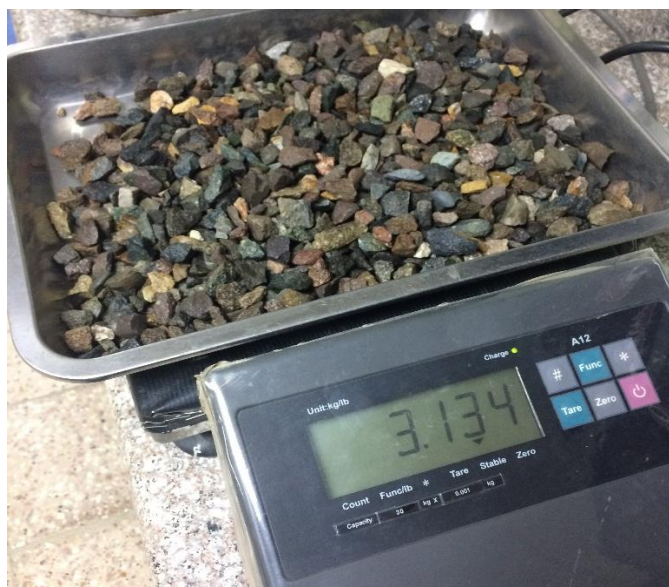


Figura 5-16: Determinación del peso en el aire del árido grueso en estado SSS



Figura 5-17: Determinación del peso sumergido en agua del árido grueso en condiciones SSS

### 5.7.2.5. PESO VOLUMÉTRICO.

El peso volumétrico o masa unitaria es un parámetro indispensable para el diseño de las mezclas. Sirve para la determinar el volumen que ocupa el árido grueso dentro del volumen unitario de hormigón fresco. En el caso del árido fino, únicamente sirve para la dosificación volumétrica o para convertir volumen a peso y viceversa. El procedimiento para la determinación de estos parámetros se detalla en la norma INEN NTE 858.

Los resultado se muestran en la Tabla 5-12, Tabla 5-13 y Tabla 5-14, correspondientes al árido fino, árido grueso de Santa Isabel y árido grueso de Paute, respectivamente.

Descripción	Valor
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup> =	1.614,92
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup> =	1.517,29

Tabla 5-12: Masas unitarias suelta y compacta para el árido fino.  
Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

Descripción	Valor
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup> =	1.351,10
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup> =	1.238,31

Tabla 5-13: Masas unitarias suelta y compacta para el árido grueso. Mina: M. Heredia (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

Descripción	Valor
Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup> =	1,592.79
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup> =	1,497.94

Tabla 5-14: Masas unitarias suelta y compacta para el árido grueso. Mina: VIPESA (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

### 5.7.2.6. ENSAYO DE RESISTENCIA AL DESGASTE

Conocido también con el nombre de ensayo de abrasión. Es una forma de medir la dureza del árido y su capacidad de soportar el desgaste de las partículas por efecto de la fricción o rozamiento del árido o del hormigón bajo condiciones de servicio, principalmente por la acción de tránsito o de la acción erosiva del agua. El ensayo se realiza siguiendo el procedimiento establecido en la norma INEN NTE 860, considerando que el tamaño de las partículas no supera los 37 mm.

El ensayo aplica exclusivamente para el árido grueso ya que en la arena no tiene aplicabilidad práctica. Las especificaciones técnicas de la Norma Ecuatoriana de Vialidad, establece como el valor máximo de desgaste para los áridos en 50%

Los ensayos se realizaron en los dos tipos de áridos gruesos y se ejecutaron en el laboratorio de la Ing. Cristina Vintimilla. El resumen de los resultados se muestra en la Tabla 5-15

Material	% de desgaste
Árido grueso de la mina de M. Heredia	21,3
Árido grueso de la mina de VIPESA	13,2

Tabla 5-15: Valores de desgaste del árido grueso en la Máquina de los Ángeles (Vintimilla 2017)

De los resultados de esta prueba, puede advertirse que ambos áridos tienen valores bajos de abrasión; sin embargo, también se puede ver que los áridos de Santa Isabel son más vulnerables a agentes abrasivos que el material de Paute.

#### 5.7.2.7. COEFICIENTE DE FORMA DEL ÁRIDO GRUESO.

Este factor es importante porque permite tener una idea de la forma del árido en su contexto general. Se ha utilizado este ensayo a pesar de no formar parte de las normas ecuatorianas de cumplimiento obligatorio, pero muy común en algunas legislaciones, especialmente aquellas que se ajustan hacia normativa europea, en donde tiene plena vigencia. Algunas normas como la boliviana, especifican valores mínimos de 0,15 para la aceptación del árido y las españolas (EHE) un poco más estrictas exigen un valor mínimo de 0,20. (Quiroz y Salamanca 2007). Los valores obtenidos en laboratorio, para ambos materiales, están por encima de los mínimos citados anteriormente y se puede ver un mejor factor de forma en el árido provisto por VIPESA en donde el proceso de trituración es más depurado, logrando una menor cantidad de partículas alargadas y aplanadas. El resultado se muestra en la Tabla 5-16.

Material	Coef. De forma
Árido grueso de la mina de M. Heredia	0,22
Árido grueso de la mina de VIPESA	0,31

Tabla 5-16: Coeficiente de forma de los áridos gruesos empleados en la investigación. (Laboratorio de materiales de construcción UCACUE 2017)

La Figura 5-18; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra el momento en que se determina la máxima dimensión de los áridos seleccionados para el ensayo.

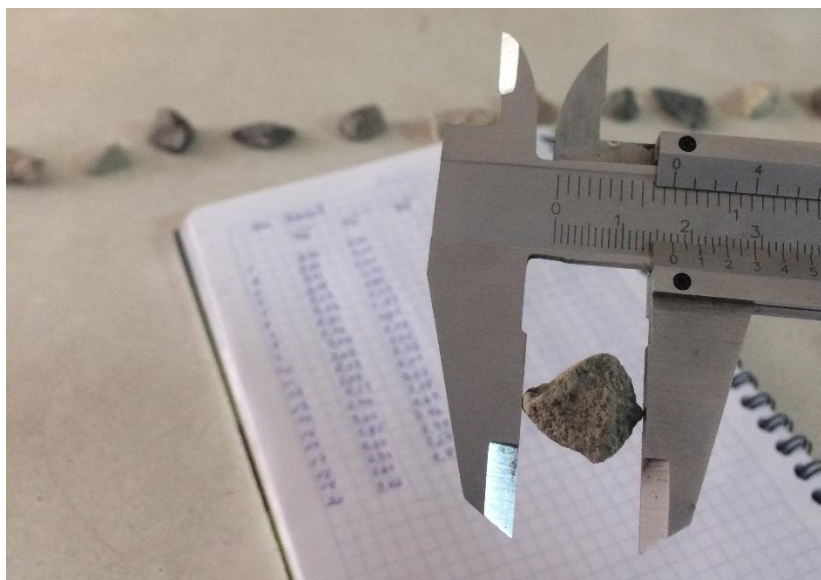


Figura 5-18: Medición de la máxima longitud de las partículas para el cálculo del coeficiente de forma. (Autor 2017)

## 5.8. DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

Para la elaboración de las mezclas de prueba se utilizó el método establecido por el comité 211.1 del Instituto Americano del Concreto, y que a su vez es el de mayor uso y difusión en la actualidad. El método, sin embargo, requiere como condicionante que los áridos cumplan con los requerimientos (especialmente granulométricos) descritos en la norma ASTM C33, que es homóloga la ecuatoriana INEN NTE 872. Como ya se vio anteriormente, los áridos cumplen esta condición el procedimiento es aplicable.

Los cálculos para estimar las cantidades necesarias fueron realizados en una hoja de cálculo, elaborada por el autor, en donde se parte de una resistencia requerida a la compresión. No obstante, la metodología no contempla diseñar mezclas para una resistencia específica sino para





distintas relaciones agua cemento, que obviamente estarán relacionadas. El rango de las relaciones agua/cemento ( $A/C$ ) escogidas variarán desde 0,35 hasta 0,60, teniendo 6 dosificaciones para cada árido. A pesar de que la relación  $A/C$  de 0,6 no es recomendable para pavimentos rígidos, se la incluye para tener un rango más amplio para visualizar el comportamiento del hormigón para valores bajos y determinar con mejor criterio una curva de ajuste.

### **5.8.1. ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO.**

El asentamiento, relacionado con la trabajabilidad, es un parámetro que debe usarse en función del tipo de elemento que se pretende construir. En el presente caso, el elemento a construirse son únicamente las probetas, tanto cilíndricas como prismáticas, que serán posteriormente sometidas a ensayos de rotura. Consecuentemente, el asentamiento elegido será un valor intermedio que facilite las labores de confección de las muestras. El valor escogido de asentamiento en cono de Abrams es de 80 mm.

### **5.8.2. SELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.**

Esta variable se determina en función del tamaño de los elementos estructurales, del espaciamiento libre entre las varillas de acero y el espesor de las losas. En el presente caso, estos determinantes no aplican ya que las mezclas servirán únicamente para la fabricación de testigos de hormigón. El tamaño está condicionado al tipo de agregado elegido con las condiciones descritas anteriormente, que corresponde a un agregado de 3/4".

### **5.8.3. ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE AGUA PARA LA MEZCLA Y DEL CONTENIDO DE AIRE.**

En el diseño de las mezclas de hormigón, la cantidad de agua que se debe calcular para añadir a la mezcla, se conoce como agua neta y sirve para hidratar el cemento y darle trabajabilidad a la mezcla; por lo tanto, esta agua no debe incluir la de absorción presente en los poros saturables del árido.

La cantidad de agua necesaria para una determinada trabajabilidad, deben ser motivo de un estudio independiente por cada tipo de material, y materia de otra investigación. El autor no ha encontrado estudios que se hayan

Capítulo V

realizado esta comparación con los materiales empleados. En su defecto, se usan tablas, ábacos y ecuaciones desarrolladas en otros lugares y se elaboran mezclas de prueba ir ajustando hasta alcanza la trabajabilidad deseada.

Las cantidades de agua se han calculado con la ecuación 5-2, desarrollada Jerath y Kabbani en un artículo publicado por el Journal ACI de julio agosto de 1983 (Bolívar 1987), y que coinciden bastante bien con las tablas publicadas por el comité ACI 211.1 y que se muestran en la Tabla 5-17 en la cual se ha marcado con líneas para identificar el procedimiento.

$$Agua (kgf) = 218,80 \frac{[asentamiento (mm)]^{0,1}}{[Tam. máximo(mm)]^{0,18}} \quad 5-2$$

Con un tamaño del árido de 19 mm (3/4") y un asentamiento de 80 mm, las cantidades de agua necesarias para las mezclas serán de 200 kg de agua por m3 de hormigón. Este valor se ajusta para el volumen de la revoltura y de la humedad natural del árido.

Water, Kg/m <sup>3</sup> of concrete for indicated nominal maximum sizes of aggregate								
Slump, mm	9.5*	12.5*	19*	25*	37.5*	50†*	75†‡	150†‡
Non-air-entrained concrete								
25 to 50	207	199	190	179	166	154	130	113
75 to 100	228	216	205	193	181	169	145	124
150 to 175	243	228	216	202	190	178	160	—
Approximate amount of entrapped air in non-air-entrained concrete, percent	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Air-entrained concrete								
25 to 50	181	175	168	160	150	142	122	107
75 to 100	202	193	184	175	165	157	133	119
150 to 175	216	205	197	184	174	166	154	—
Recommended average total air content, percent for level of exposure:								
Mild exposure	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5****	1.0****
Moderate exposure	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5****	3.0****
Extreme exposure††	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5****	4.0****

Tabla 5-17: Contenidos aproximados de requerimiento de agua de mezcla y contenido de aire para diferentes asentamientos y tamaños nominales máximos de los áridos (American Concrete Institute Committee 211 1997)

En cuanto a la estimación de la cantidad de aire atrapado, la misma Tabla 5-17 tabla trae una aproximación de la cantidad probable de agua, en función de tamaño máximo del árido. Cuanto más grandes son lo áridos,

menor es la cantidad de aire atrapado. Las mezclas de prueba no tienen inclusores de aire, por lo tanto, para el árido grueso empleado, se estima aproximadamente un 2%. Para un metro cúbico, el volumen equivale a 0,02 m<sup>3</sup>.

#### 5.8.4. RESISTENCIA DE DISEÑO

La resistencia de diseño, denotada con la simbología  $f'_{cr}$ , se determina en base a un análisis estadístico de un conjunto consecutivo de pruebas, en donde se puede determinar un valor característico y la variabilidad de las pruebas. El valor de  $f'_{cr}$  considera un factor de mayoración para evitar la posibilidad de tener resultados por debajo de la resistencia requerida. El factor de sobrediseño depende de la variabilidad de los resultados y va disminuyendo conforme disminuya también la variabilidad de los resultados. En el caso de no contar con estadísticas, se puede partir de las tablas que propone el ACI para y que se muestran en la Tabla 5-18 publicada por el INECYC .

En esta investigación, no se parte de una resistencia de diseño sino se escogen directamente 6 relaciones agua cemento, sin importar cuál sea la resistencia a compresión a la que corresponde. Con este dato se salta lo procedimiento previo, aunque internamente se tiene toda la información para efectos de comprobación y seguimiento de la fiabilidad de los resultados.

Resistencia especificada MPa	Resistencia requerida MPa
$f'c < 21$	$f'_{cr} = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'_{cr} = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'_{cr} = 1.1 f'c + 5,0$

Tabla 5-18: Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no has datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra (Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto (INECYC) 2009)

#### 5.8.5. SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Como ya se había mencionado, las relaciones agua cemento está previamente establecidas en las premisas de la investigación y no están ligadas obligatoriamente a una resistencia de diseño.

Las relaciones agua cemento empleadas en la investigación son:



0,35 – 0,40 – 0,45 – 0,50 – 0,60

### 5.8.6. CÁLCULO DEL CONTENIDO DE CEMENTO

La cantidad de cemento se obtiene a partir de la relación agua/cemento escogida en la etapa anterior. Con ese valor, y la cantidad de agua que ya se ha calculado, se puede despejar de la ecuación 1 y determinar su valor con la ecuación

5-3

$$\left(\frac{A}{C}\right) = \frac{\text{Cuantía de agua (A), kg}}{\text{Cuantía de cemento (C), kg}} \quad 1$$

$$\text{Cuantía de cemento (C), kg} = \frac{\text{Cuantía de agua (A), kg}}{(A/C)} \quad 5-3$$

En base a ello, las relaciones A/C establecidas y las cantidades de agua determinadas se calculan las cuantías de cemento requeridas para un m<sup>3</sup> de hormigón fresco. El resumen se muestra en la Tabla 5-19

RELACION A/C	Cantidad de agua/m <sup>3</sup> de hormigón, kg	Cantidad de cemento/m <sup>3</sup> de hormigón, kg
0,35	200	571
0,40	200	500
0,45	200	444
0,50	200	400
0,55	200	363
0,60	200	333

Tabla 5-19: Determinación de la cantidad de agua para cada relación A/C

Para calcular el volumen que ocupa el cemento en el hormigón (volumen absoluto), se divide la masa seca del cemento entre su densidad (ecuación 5-4)

$$\text{volumen absoluto de cemento(m3)} = \frac{\text{masa seca del cemento, kg}}{\text{Densidad del cemento, kg/m3}} \quad 5-4$$



### 5.8.7. ESTIMACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE LOS ÁRIDOS

#### 5.8.7.1. ARIDO GRUESO

El método ACI 211.1, es un método de volúmenes absolutos que se ha empleado para el diseño de las mezclas y parte de una tabla en la cual relaciona el módulo de finura del árido fino, y la expresión  $b/b_0$  cuyo significado es el siguiente:

$b =$  Volumen absoluto de las partículas del árido grueso, por unidad de volumen

$b_0 =$  Volumen absoluto de las partículas del árido grueso, por unidad de volumen compactado de árido grueso

La relación  $b/b_0$ , es un valor adimensional que representa el volumen seco y compactado del árido grueso por volumen unitario de hormigón (Volumen de partículas de árido más el volumen de los espacios entre partícula y partícula)(Sánchez de Guzmán 2002).

El valor de  $b_0$  se puede calcular dividiendo la masa unitaria seca compactada entre la densidad SH del árido grueso, (ecuación 5-5)

$$b_0 = \frac{\text{Masa unitaria compacta}}{\text{Densidad (SH)}} \quad 5-5$$

Con los valores del tamaño máximo del árido y el módulo de finura obtenido de los ensayos de granulometría, se obtiene de la Tabla 5-20Tabla 4-2 el valor correspondiente a  $b/b_0$ .

Tamaño máximo nominal del árido grueso (Pulg)	Volumen de árido grueso seco y compactado con varilla <sup>(a)</sup> , por volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de la arena <sup>(b)</sup>			
	Módulo de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,0
3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
1"	0,71	0,69	0,67	0,65
1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
2"	0,78	0,76	0,74	0,72
3"	0,82	0,80	0,78	0,76
6"	0,87	0,85	0,83	0,81

- (a) Los volúmenes están basados en áridos secos y compactados con varilla, como se describe en la norma A:S.T.M. C-29. Estos volúmenes se han seleccionado de relaciones empíricas para producir un hormigón con un grado de manejabilidad apropiado para la construcción reforzada usual. Para obtener un hormigón con menos trabajabilidad como el que se utiliza en la construcción de pavimentos de hormigón, éstos valores se pueden aumentar en un 10%. Para hormigón con más trabajabilidad como el que algunas veces se requiere cuando la colocación se efectúa por bombeo, estos valores se pueden reducir hasta en un 10%.
- (b) El módulo de finura de la arena es igual a la suma de las relaciones (acumulativas) retenidas en tamices de malla con aberturas de 0,149 , 0,297 , 0,595 , 1,19 , 2,38 y 4,76.

Tabla 5-20: Volumen de árido grueso por volumen unitario de hormigón, adaptado del ACI 211.1 (Sánchez de Guzmán 2002)

El valor obtenido de la tabla se multiplica por el peso volumétrico compactado, y ese será el peso seco del material. Ahora, si ese valor se divide para la su densidad SH, se obtendrá el volumen absoluto del material.

#### 5.8.7.2. ARIDO FINO

Usando el método de los volúmenes absolutos, se calcula el correspondiente del árido fino, por diferencia del volumen total menos el de los otros componentes. Así, el volumen de árido fino será igual a 1 menos el volumen absoluto de árido grueso, menos el volumen absoluto de cemento, menos el volumen de agua y menos el volumen de aire (ecuación 5-6)

$$Vol_{af} = 1 - Vol_{ag} - Vol_{cem} - Vol_{agua} - Vol_{air} \quad 5-6$$

Las cantidades estimadas para un volumen unitario (en este caso 1 m<sup>3</sup>), se deben proporcionar para las cantidades que se van a emplear en cada lote de hormigón (batch). La mezcladora de laboratorio tiene una capacidad de aproximadamente 45 litros, limitando a la fabricación únicamente de 2 vigas de 15x15x53 cm y 2 cilindros de 15x30 cm. Adicionalmente se debe calcular un volumen adicional por pérdidas del material al adherirse en la olla, a los recipientes y pequeños derrames.

En la Tabla 5-21 se muestra una parte de la hoja de cálculo donde se puede apreciar un resumen de pesos para una dosificación con A/C = 0,35

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO				VOLUMEN DE REVOLTURA	
Cemento		571.43 kg		21.94 Kg	
Agregado grueso		1047.12 kg		40.20 kg	
Agregado fino		457.01 kg		17.55 kg	
Agua		200.00 kg		7.68 kg	
Aditivo (plastificante)		0.00 kg		0.00 kg	

Tabla 5-21: Resumen de pesos calculados para una revoltura o lote de hormigón para 2 vigas y 2 cilindros

### 5.8.8. CORRECIÓN POR HUMEDAD

Previo al pesaje de los materiales para la elaboración de las mezclas se debe determinar la humedad de los áridos para establecer la cantidad real de agua que debe añadirse al cemento y áridos para obtener el asentamiento deseado. La cantidad de agua que las tablas calculan para añadir a la mezcla, es la que algunos la conocen como agua neta. Esta agua es aquella que tendría que añadirse a la mezcla independientemente de la que pueda absorber el árido en sus poros hasta alcanzar su condición de saturado y superficie seca (SSS). Como ejemplo se puede decir que si el árido tiene una humedad por debajo de la de saturación, tendrá que añadirse algo más de agua que la establecida en los cálculos. Al contrario, si la humedad del material es mayor a la de saturación, deberá disminuirse la cantidad de agua.

La ecuación 5-7Tabla 5-8, sirve para calcular el peso real del material considerando su humedad natural al momento de realizar la mezcla.

$$Ph = Ps \left( 1 + \frac{H}{100} \right) \quad 5-7$$

Donde:

Ph = Peso húmedo del árido

Ps = Peso seco del árido

H = Porcentaje de humedad del árido

La cantidad de agua por añadir (Ac), se determina con la ecuación 5-8

$$A_c = A - (H_{ng} - H_{sg}) \times P_{sg} - (H_{nf} - H_{sf}) \times P_{sf} \quad 5-8$$

Donde:

Ac = Cantidad de agua corregida por humedad

Hng= porcentaje de humedad natural del árido grueso

- Hsg = Porcentaje de absorción del árido grueso  
Psg = Peso seco del árido grueso  
Hnf = porcentaje de humedad natural del árido fino  
Hsf = Porcentaje de absorción del árido fino  
Psf = Peso seco del árido fino.

En la Figura 5-19; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta una parte del cálculo en donde se muestran las correcciones por humedad de los áridos.

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO			VOLUMEN DE REVOLTURA		
Cemento		571.43 kg			21.94 Kg
Agregado grueso		1047.12 kg			40.20 kg
Agregado fino		457.01 kg			17.55 kg
Agua		200.00 kg			7.68 kg
Aditivo (plastificante)		0.00 kg			0.00 kg
<b>AJUSTE POR HUMEDAD</b>					
% de absorción del agregado grueso		1.82%			
% de absorción del agregado fino		3.96%			
% de Humedad del agregado grueso		7.85%			
% de Humedad del agregado fino		1.99%			
<b>CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD</b>					
Cemento		571.43 kg			21.94 Kg
Peso Agregado grueso		1129.32 kg			43.36 kg
Peso Agregado fino		466.1 kg			17.90 kg
Agua a ser adicionada		145.83 kg			5.60 kg
Aditivo (plastificante)		0.00			0.00 kg

Figura 5-19: Ejemplo de la corrección del peso por humedad del árido

## 5.9. ENSAYOS EN EL HORMIGÓN.

### 5.9.1. DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ENSAYOS

La programación de los ensayos se concibió tomando en cuenta valores mínimos para tener un número suficiente de muestras que permitan tener un conjunto de datos que permita realizar una buena correlación.

Para determinar el tamaño de la muestra o el número de ensayos a realizarse, se ha tomado en cuenta los procedimientos estadísticos basados en el coeficiente de Pearson para correlación lineal. El procedimiento es plenamente válido, aun cuando los datos no se ajusten necesariamente a



una recta, lo cual se demostrará con el valor del coeficiente de correlación. El cálculo del tamaño muestral con un planteamiento bilateral puede realizarse mediante la ecuación 5-9 (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002)

$$n = \left[ \frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{1/2 \ln \left( \frac{1+r}{1-r} \right)} \right]^2 + 3 \tag{5-9}$$

Donde  $n$  es el número de muestras y  $r$  el valor estimado del coeficiente de correlación. Los valores  $z_{1-\alpha/2}$  y  $z_{1-\beta}$  se obtienen de la distribución normal estándar en función de la seguridad y el poder estadístico elegidos para el estudio. En particular, para una seguridad del 95% y un poder estadístico del 80% se tiene que  $z_{1-\alpha/2} = 1,96$  y  $z_{1-\beta} = 0,84$ . En la Tabla 5-22 y en la Tabla 5-23 se muestran los valores de estos parámetros utilizados con mayor frecuencia en el cálculo del tamaño muestral, en función de la seguridad y el poder con los que se trabaje. (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002)

Seguridad	$\alpha$	Prueba bilateral $z_{1-\alpha/2}$	Prueba unilateral $z_{1-\alpha}$
80%	0,200	1,282	0,842
85%	0,150	1,440	1,036
90%	0,100	1,645	1,282
95 %	0,050	1,960	1,645
97,5%	0,025	2,240	1,960
99%	0,010	2,576	2,326

Tabla 5-22: Valores de  $z_{1-\alpha/2}$  y  $z_{1-\alpha}$  utilizados con mayor frecuencia en el cálculo del tamaño muestral en función de la seguridad  $1-\alpha$  elegida para el estudio (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002)

	$\beta$	$z_{1-\beta}$
99%	0,01	2,326
95%	0,05	1,645
90%	0,10	1,282
85 %	0,15	1,036



80%	0,20	0,842
75%	0,25	0,674
70%	0,30	0,524
65%	0,35	0,385
60%	0,40	0,253
55%	0,45	0,126
50%	0,50	0,000

Tabla 5-23: Valores de  $z_{1-\beta}$ , utilizados con mayor frecuencia en el cálculo del tamaño muestral en función de el poder estadístico  $1 - \beta$  elegido para el estudio (Pértegas Díaz, S.; Pita Fernández 2002)

Resolviendo la ecuación 5-9 con los siguientes datos para el análisis bilateral:

Correlación estimada	0.5
Nivel de seguridad	0,95
Poder estadístico	0,80
Pérdidas	5%
El tamaño muestral mínimo es	30

De cada lote de hormigón se obtuvieron 2 cilindros y 2 vigas a su vez se realizarán 3 mezclas para cada relación A/C. Considerando que son 6 relaciones A/C da un total de 36 muestras.

### 5.9.2. ELABORACIÓN DE LAS MEZCLAS

Una vez terminado el proceso de diseño, se pueden realizar las mezclas para las pruebas de resistencia. Las acciones previas son las siguientes:

- i. Disponer de todos los equipos, herramientas y moldes en perfecto estado justo antes de la elaboración de las mezclas,
- ii. Disponer de un lugar para almacenar los áridos, sin producir segregación,
- iii. Guardar el cemento en un lugar seco y protegido de la humedad para evitar su endurecimiento,
- iv. Disponer de agua potable en suficiente cantidad para la elaboración de las mezclas y para las labores de limpieza,

## Capítulo V

- v. Disponer de un lugar apropiado para guardar las muestras, evitando exponerlas a condiciones ambientales extremas.

Los equipos y herramientas mínimas para la elaboración de las mezclas son los siguientes:

- Mezclador mecánico para hormigón
- Balanzas de 1 g de precisión y 30 kg de capacidad
- Balanza de 0.1 g de precisión y 2 kg de capacidad
- 1 Kit para determinar el asentamiento (Cono de Abrams, varilla de compactación y bandeja metálica)
- Moldes cilíndricos de 15 x 30 cm y prismáticos de 15 x 15 x 53 para toma de muestras
- Baldes industriales para pesaje de los materiales
- Bailejo, codal metálico de 30 cm y martillo de goma

En las figuras siguientes se muestran algunas etapas durante la elaboración de las muestras



Figura 5-20: Pesaje de los áridos



Figura 5-21: Evaluación del asentamiento en el cono de Abrams



Figura 5-22: Desmoldado de las muestras

### 5.9.3. CURADO DE LAS MUESTRAS

Luego de elaboradas las probetas, se guardaron en un lugar fresco, interior, cuidando de que puedan perder humedad. Para evitar la pérdida de humedad en las primeras horas, se usaron láminas de polietileno para cubrir las superficies expuestas hasta el día siguiente. Inmediatamente, fueron desmoldadas y colocadas en una pileta con agua hasta la fecha de su

ensayo. La temperatura del agua fue controlada con calentadores eléctricos provistos de termostatos, manteniendo la temperatura de curado entre 21 y 23 °C. Figura 5-23.



Figura 5-23: Curado por inmersión y control de la temperatura de curado (Autor 2017)

#### 5.9.4. CABECEO O REFRENTADO DE LAS MUESTRAS.

Esta es una acción indispensable y necesaria únicamente para las probetas cilíndricas. El refrentado regulariza la superficie del cilindro, especialmente la cara superior que muchas veces no tiene el terminado perfecto y las irregularidades de su superficie podrían ocasionar concentración de esfuerzos en las partes sobresalidas.

Los métodos de refrentado están estandarizados y descritos en la norma INEN NTE 2649 Y NTE 2650, correspondientes al refrentado con azufre (Figura 5-24) y con superficie no adherida de neopreno, respectivamente. No se tiene conocimiento de un estudio que compare las bondades y debilidades de uno u otro método; sin embargo, se tomó la decisión del primero únicamente por la alta confianza y fiabilidad de los resultados que el

autor tiene con el método y las recomendaciones de otros investigadores. En el caso de hormigones con resistencias superiores a los 35 MPa, es necesario que el refrentado se haga al menos con dos horas antes del ensayo.

En el caso de las vigas, no es necesario ningún tipo de refrentado, puesto que la viga se ensaya apoyando los lados laterales de la viga, es decir de forma perpendicular a la posición de cuando fueron confeccionados. Estas caras son lo suficientemente lisas y bien terminadas.



Figura 5-24: Refrentado con mortero de azufre. (Autor 2017)

### 5.9.5. ENSAYOS DE ROTURA

Las pruebas de rotura, tanto de compresión como de flexión, se realizaron simultáneamente y a las fechas establecidas en el cronograma de ensayos. Se realizaron pruebas en probetas con edades de 7, 14 y 28 días, permitiendo obtener información de las resistencias mecánicas del hormigón y sus variaciones a lo largo del proceso de maduración. Adicionalmente, los ensayos a edades tempranas permiten ampliar el rango de las variables en el proceso de correlación, sin incrementar el número de pruebas.

El procedimiento para las pruebas de resistencia está descrito claramente en la norma NTE INEN 1573 para ensayos de compresión de muestras cilíndricas y la norma INEN NTE 2554 para ensayo de tres puntos en vigas sometidas a flexo-tracción. Es importante resaltar que, para las pruebas de flexión, las vigas no pueden dejarse secar ya que podría ocasionar algún tipo de agrietamiento, que por más pequeño que fuere, podría reducir su capacidad para resistir esfuerzos flexionantes. En tal razón, las vigas deben ensayarse en el menor tiempo posible luego de ser extraídas de las áreas de curado.

En la Figura 5-25 se puede visualizar las actividades previas en las que se toman las dimensiones y pesos de la probetas, inmediatamente antes de someterse a las pruebas de rotura. A pesar de que el peso no es un factor que interviene en los cálculos de esfuerzos, permite determinar la densidad del hormigón, elemento importante de análisis para cualquier análisis físico del hormigón.



Figura 5-25: Toma de dimensiones y de pesos de las probetas cilíndricas antes del ensayo (Autor 2017)

En la Figura 5-26 se registra el momento en el que se toman las dimensiones, sus pesos y se marcan las líneas demarcatorias de los apoyos y los tercios centrales. Esto permite conocer si la falla se produjo en esta zona o no, los pesos de los especímenes sirven únicamente para determinar la densidad del hormigón.



Figura 5-26: Medición, pesaje y marcado de las vigas antes del ensayo (Autor 2017)

La Figura 5-27 muestra dos probetas luego del ensayo de compresión. La imagen de la izquierda corresponde a un cilindro de alta resistencia mientras que el de la derecha a uno de baja. En el caso de los primeros (resistencias superiores a los 35 MPa), las fallas tienden a ser abruptas y explosivas, provocando esquirlas que se desprenden violentamente hacia afuera, pudiendo ocasionar daños a los observadores y a los equipos. Para evitarlo, se emplearon delgadas láminas de plástico que fueron colocadas, a manera de envoltura, alrededor de los cilindros de alta resistencia, con el propósito de evitar la expulsión de los fragmentos. Todas las muestras tuvieron fallas típicas, sin alteraciones que pudieran evidenciar anomalías en el mecanismo de fallo.



Figura 5-27: Dos ensayos con similares tipos de falla. La imagen de la izquierda muestra una muestra de alta resistencia y falla abrupta.



En Figura 5-28, de forma análoga, se muestran las imágenes de vigas luego de haber alcanzado su máxima capacidad para resistir la carga máxima en flexión. Las fallas por este mecanismo son abruptas tanto para hormigones de alta o baja resistencia y las cargas de rotura son sumamente inferiores a las de compresión. Todos los ensayos provocaron la rotura de las vigas dentro del tercio central de la luz libre de las vigas, permitiendo el uso de una sola ecuación para el cálculo de la resistencia flexionante.



Figura 5-28: Mecanismos de falla en vigas sometidas a flexión

La prensa empleada para los ensayos es un equipo de *marca ELE International*, con capacidad para 250 000 lbf, provisto de un ADR que permite controlar la velocidad de aplicación de las cargas, previamente calibradas con modos de operación tanto para vigas cuanto para cilindros. El modo de trabajo con la que está calibrada la prensa es el siguiente;

Modo 1: Resistencia a compresión, lectura digital de la carga en kgf

Modo 2: Resistencia a la flexión, lectura digital de la carga en kilonewtons

Al final, luego del ensayo, se registran los datos correspondientes a la carga máxima registrada en la prensa y que servirá para calcular el mayor esfuerzo soportado por el testigo. Los reportes de laboratorio, en los cuales se anotan las fechas de confección y rotura, dimensiones y pesos de los especímenes



y las cargas máximas soportados por los cilindros y vigas, se muestran en el anexo A.

### 5.10. RESULTADOS

Los registros de laboratorio son un conjunto de datos que dan una idea del comportamiento mecánico del hormigón, sin embargo, los cálculos y los procedimientos estadísticos permiten saber si existe un patrón de comportamiento que caracteriza al hormigón ante determinadas acciones o cargas.

Los cálculos en si son sumamente sencillos. En el caso de las resistencias cilíndricas, el esfuerzo de compresión se calcula dividiendo la máxima carga registrada en el ensayo de compresión para el área de la sección transversal del cilindro, tal como se muestra en la ecuación 5-10

$$f'c = \frac{4P}{\pi D^2} \quad 5-10$$

Donde:

- $f'c$  = Resistencia a compresión del hormigón, kgf/cm<sup>2</sup>
- $P$  = Carga máxima a la compresión, kgf
- $D$  = Diámetro promedio de la seccion transversal, cm

Y para el cálculo de los esfuerzos de flexión en las vigas, la ecuación 5-11:

$$M_r = \frac{PL}{bD^2} \quad 5-11$$

Donde:

- $M_r$  = Módulo de rotura en, MPa
- $P$  = Carga máxima resitrado, antes del ensayo, N
- $L$  = Longitud libre entre apotos , mm
- $b$  = Ancho de las viga, mm
- $D$  = Altura de las viga, mm

#### 5.10.1. TABLA DE VALORES DE $f'c$ y $M_r$

En la Tabla 5-24 se muestra el resumen los resultados de las resistencias obtenidas para los probetas confeccionadas con los áridos de Santa Isabel.



Número	f'c (MPa)	Mr (MPa)	Relación Mr/f'c
1	34.91	4.42	0.127
2	37.26	4.61	0.124
3	44.64	4.99	0.112
4	41.59	5.38	0.129
5	29.09	4.05	0.139
6	33.13	4.25	0.128
7	30.28	4.61	0.152
8	29.59	4.51	0.152
9	31.41	5.08	0.162
10	32.06	4.67	0.146
11	21.19	3.61	0.170
12	28.19	4.32	0.153
13	32.56	4.62	0.142
14	31.63	4.27	0.135
15	29.86	4.38	0.147
16	30.21	4.34	0.144
17	17.73	3.04	0.172
18	21.78	3.48	0.160
19	24.85	3.63	0.146
20	26.45	3.91	0.148
21	25.80	3.56	0.138
22	26.12	3.77	0.144
23	13.22	2.36	0.188
24	15.03	2.97	0.160
25	20.12	3.40	0.159
26	18.93	3.56	0.224
27	23.58	3.78	0.167
28	23.36	3.72	0.132
29	12.73	2.85	0.164
30	16.08	2.68	0.161
31	17.08	2.26	0.143
32	13.67	2.25	0.188
33	20.72	3.33	0.160
34	20.00	2.85	0.159

Tabla 5-24: Resumen de resistencias a compresión y flexión de los hormigones fabricados con áridos de Santa Isabel

Análogamente, se muestra lo mismo para los resultados de las probetas manufacturadas con el árido grueso de Paute en la Tabla 5-25

Número	f'c (MPa)	Mr (MPa)	Relación Mr/f'c
1	22.30	3.73	0.167
2	23.05	3.96	0.172
3	31.19	4.69	0.150
4	32.26	3.99	0.124
5	35.31	5.13	0.145
6	25.92	4.02	0.155
7	23.20	3.88	0.167
8	24.74	3.72	0.150
9	38.04	5.16	0.136



10	40.78	4.81	0.118
11	36.03	4.98	0.138
12	41.51	5.03	0.121
13	38.05	4.95	0.130
14	39.21	4.88	0.124
15	38.47	4.88	0.127
16	33.65	5.05	0.150
17	41.06	5.23	0.127
18	43.40	5.42	0.125
19	40.89	5.09	0.124
20	44.25	5.00	0.113
21	52.80	6.31	0.119
22	53.84	6.24	0.116
23	35.01	4.88	0.139
24	40.25	5.28	0.131
25	47.81	5.92	0.124
26	45.76	5.15	0.113
27	30.71	3.82	0.124
28	37.34	4.53	0.121
29	40.03	5.16	0.129
30	40.59	5.50	0.135
31	24.03	3.53	0.147
32	23.39	3.96	0.170
33	33.06	4.26	0.129
34	34.23	4.42	0.129
35	36.22	5.06	0.140
36	36.12	4.75	0.131
37	21.89	3.33	0.152
38	21.79	3.33	0.153
39	26.00	4.16	0.160
40	26.72	4.05	0.151
41	30.96	4.50	0.145
42	29.32	3.96	0.135
43	14.54	2.71	0.186
44	13.52	2.40	0.178
45	20.79	3.37	0.162
46	20.95	3.60	0.172
47	25.98	3.77	0.145
48	26.70	4.49	0.168

Tabla 5-25: Resumen de resistencias a compresión y flexión de los hormigones fabricados con árido fino de Santa Isabel y árido grueso de Paute

En cada revoltura se obtuvieron igual número de vigas y columnas, permitiendo establecer parejas cilindro-viga que se ensayaron a la misma

edad y formar pares de datos ordenados que pueden ser ubicados en un plano cartesiano, a manera de coordenadas (x,y). Determinar cuál de las dos variables es la dependiente es un poco relativo y depende de cual se considere más conocida para ubicarse en el eje horizontal, a manera de variable independiente. Para el presente caso, la resistencia a compresión es la que mayor difusión, conocimiento y frecuencia de uso tienen entre los ingenieros. Por esta razón se le asigna como variable independiente.

En la Figura 2-1Figura 5-29; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la nube de puntos formada por los datos del grupo de ensayos.

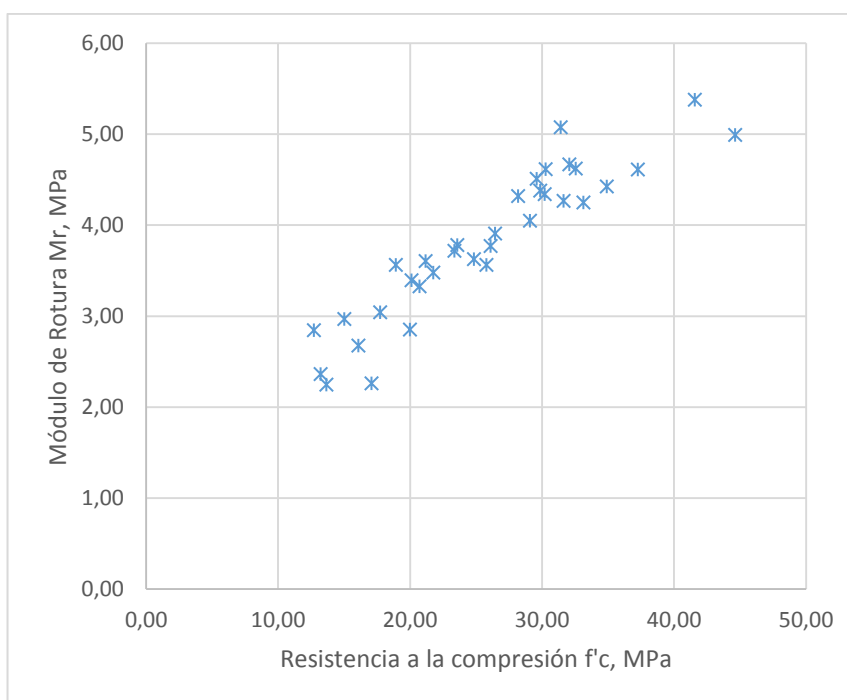


Figura 5-29: Gráfica de dispersión de los puntos correspondientes a las resistencias a flexión vs compresión del hormigón elaborado con áridos de Santa Isabel (Autor 2017)

La Figura 5-30 muestra la nube de puntos de los datos correspondientes a los ensayos de flexión vs compresión realizado con el árido fino de la mina Heredia y el árido grueso de la mina VIPESA.

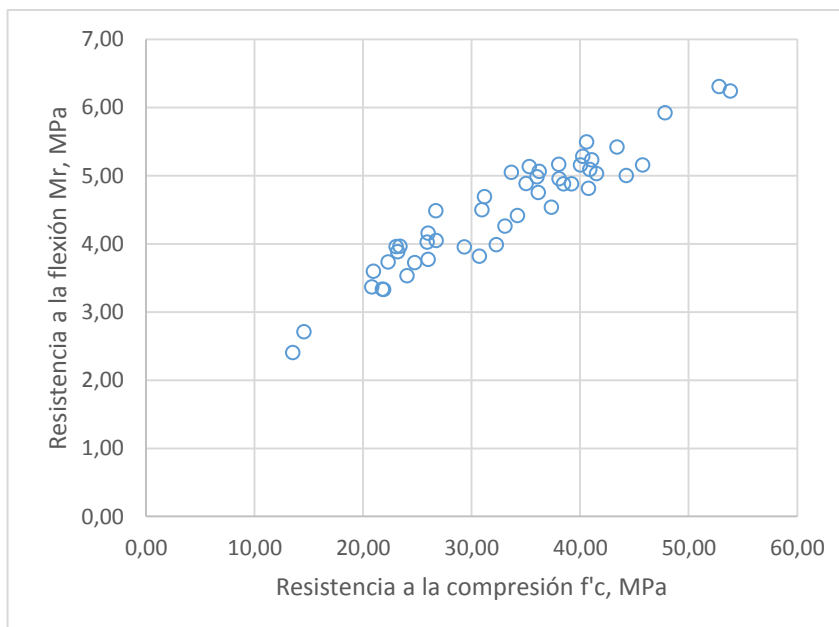


Figura 5-30: Gráfica de dispersión de los puntos correspondientes a las resistencias a flexión vs compresión del hormigón elaborado con árido fino de Santa Isabel y árido grueso de Paute (Autor 2017)

### 5.10.2. CORRELACIÓN

Una correlación es un término que se usa para indicar el grado de correspondencia que existe entre dos variables que identifiquen cualquier fenómeno o situación que ocurre en la naturaleza y es susceptible de ser medida. Cuando los cambios que se producen en una variable, repercuten en la otra; y , si esa variación obedece a ciertos patrones o modelos matemáticos, entonces se tiene un caso de correlación. Al representarse los datos de las dos variables como pares ordenados, se tiene una nube de puntos en un plano cartesiano bidimensional que podrían mostrar una tendencia de comportamiento, mostrando una cierta direccionalidad geométrica, ajustándose hacia una función o línea de tendencia.

El ajuste numérico se ha realizado a través de herramientas informáticas tales como Microsoft Graph, Matlab y SSPS. Todas estas herramientas se



sustentan en la resolución numérica del método conocido como el de los mínimos cuadrados. Este método se basa en una técnica en la cual, dados un conjunto de pares ordenados y un conjunto de funciones, busca la función que mejor se aproxime a la curva que la representa con el criterio del mínimo error cuadrático. En resumen, intenta reducir al mínimo la suma de los cuadrados de residuos, considerados como tales las diferencias en entre las ordenadas de los puntos y las de la función en esa misma abscisa. Por su parte, las líneas de tendencia no son más que una representación gráfica de la ecuación de mejor ajuste.

La hojas de cálculo MS Excel, incluye dentro de sus opciones la herramienta MS Graph, que permite con facilidad realizar ajustes a conjuntos de puntos y líneas de tendencia, sustentando en la teoría de mínimos cuadrados. Las familias de funciones con las que el programa puede realizar los ajustes son los siguientes (MICROSOFT 2015) :

### **Lineal**

Calcula el número mínimo de cuadrados en una línea utilizando la ecuación 5-12:

$$y = mx + b \quad 5-12$$

donde  $m$  es la pendiente y  $b$  es la intersección.

### **Polinómica**

Calcula el número mínimo de cuadrados mediante puntos utilizando la ecuación 5-13

$$y = b + c_1x + c_2x^2 + c_3x^3 + \dots + c_6x^6 \quad 5-13$$

donde  $b$  y  $c_1 \dots c_6$  son constantes.



## Logarítmica

Calcula el número mínimo de cuadrados mediante puntos utilizando la siguiente ecuación 5-14

$$y = c \ln x + b \quad 5-14$$

donde  $c$  y  $b$  son constantes y  $\ln$  es el logaritmo natural (neperiano).

## Exponencial

Calcula el número mínimo de cuadrados mediante puntos utilizando la ecuación

$$y = ce^{bx} \quad 5-15$$

donde  $c$  y  $b$  son constantes y  $e$  es la función logarítmica natural (neperiana).

## Potencial

Calcula el número mínimo de cuadrados mediante puntos utilizando la siguiente ecuación.

$$y = ce^{bx} \quad 5-16$$

donde  $c$  y  $b$  son constantes.

La correlación es un indicador numérico que permite determinar cuantitativamente el grado de ajuste de un conjunto de datos con una determinada línea de tendencia. Su valor fluctúa entre 1 y -1, siendo los extremos del intervalo los que determinan una mejor correlación y el valor de cero indica que no existe indicio ninguna tendencia. El cálculo de este valor se obtiene a través de las ecuaciones 5-17 a la 5-19 y que determina el grado de ajuste que se ha obtenido de los puntos a la función de análisis.



**Valor R-cuadrado**

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \tag{5-17}$$

where

$$SSE = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 \tag{5-18}$$

and

$$SST = \left( \sum Y_i^2 \right) - \frac{\left( \sum Y_i \right)^2}{n} \tag{5-19}$$

En la nube de puntos de las gráfica de la Figura 5-31, que corresponde a los hormigones elaborados con árido grueso de Santa Isabel, se ha añadido una línea de tendencia correspondiente a una función exponencial, dando un buena correlación en comparado con las otras funciones posibles. El coeficiente de correlacion es  $R^2=0.87$

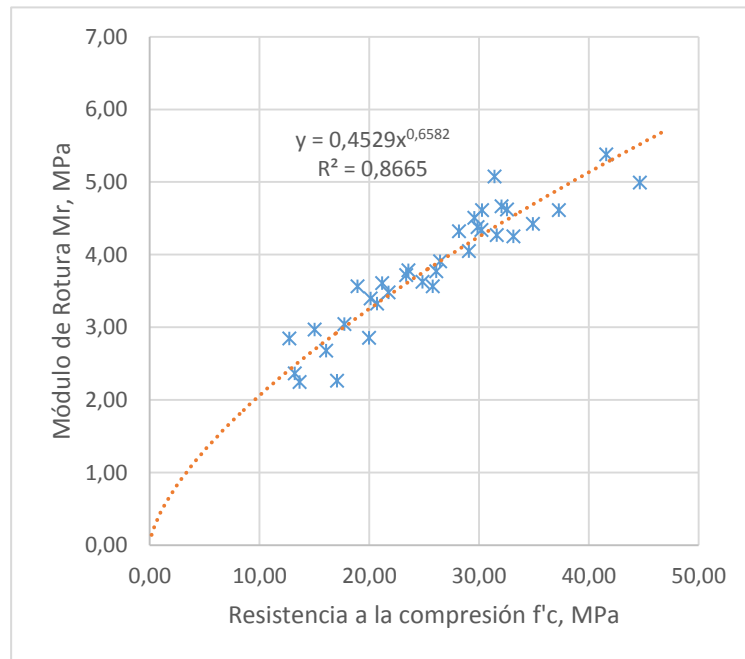


Figura 5-31: Línea de tendencia y correlación con los datos de los hormigones elaborados con árido grueso de Santa Isabel

Por otro lado los resultado de correspondientes a los hormigones con al árido grueso de Paute, que se muestra en la Figura 5-32, tiene la misma tendencia, un conjutno de puntos que se toman una tendencia hacia una linea con concavidad hacia abajo, de la misma forma que el anterior. En este

caso, el coeficiente de correlación es mas alto y muestra mejor la cohesión de los puntos. El coeficientes de corelación  $R^2= 0,91$

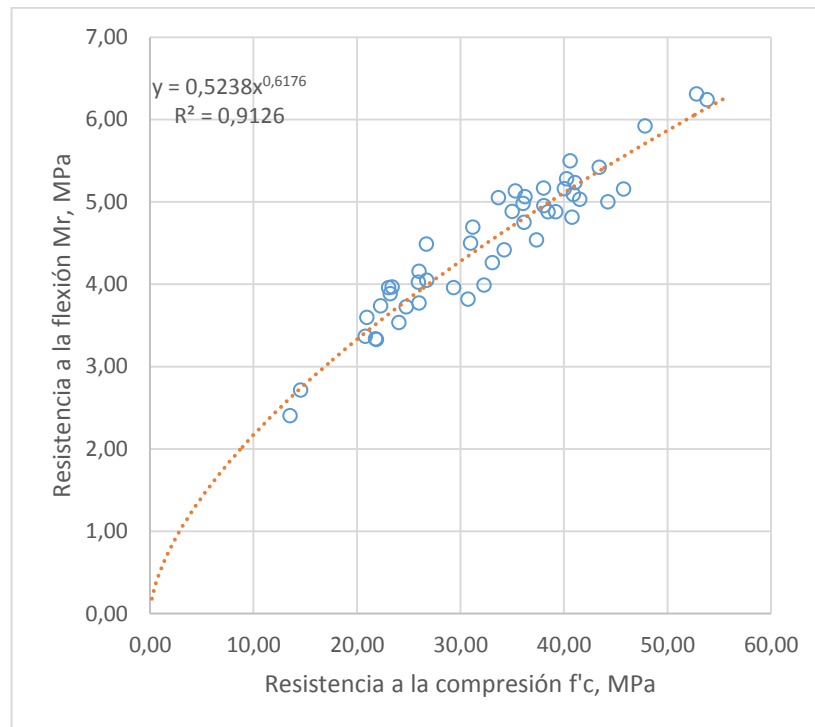


Figura 5-32: Línea de tendencia y correlación para los datos de los hormigones elaborados con árido grueso de Paute

Del análisis de los dos conjuntos de datos, se ha podido observar que ambos tiene tendencias parecidas y las líneas de tendencias tieden casi a superponerse. En la Figura 5-33, se superpusieron ambas ecuaciones y las ecuaciones prácticamente son idénticas, al menos dentro de los rangos en los que se pueden tener valores comunes de esfuerzos en los hormigones.

Se tomó entonces la decisión de consolidar todos los datos para tener una gran conjunto de datos y probar la tendencia de la curva de mejor ajuste. Los resultado se muestan en la Figura 5-34 y los resultado realmente son buenos, con una correlación general mayor a 0.9, lo cual corrobora las hipótesis iniciales y las teorías desarrolladas.

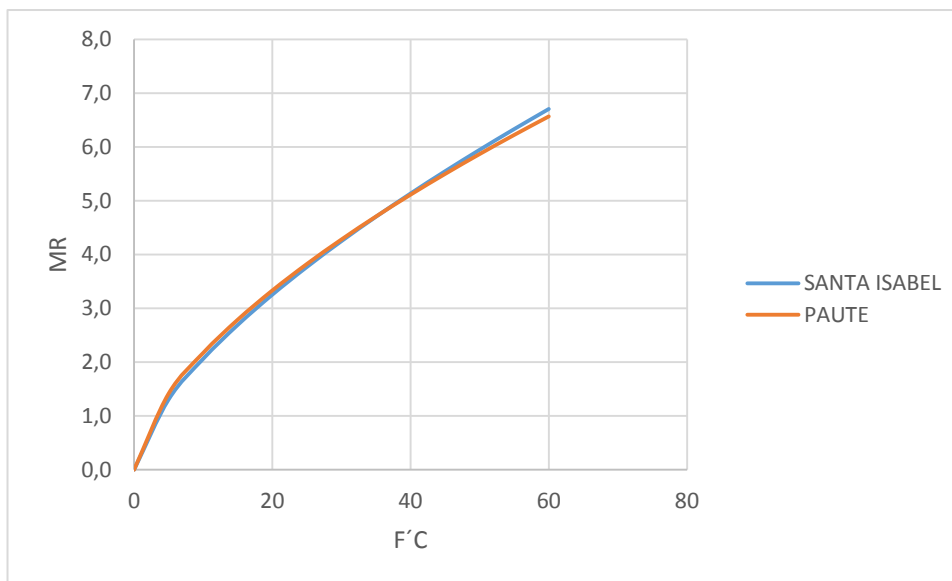


Figura 5-33: Ecuaciones de las líneas de tendencia para ambos casos

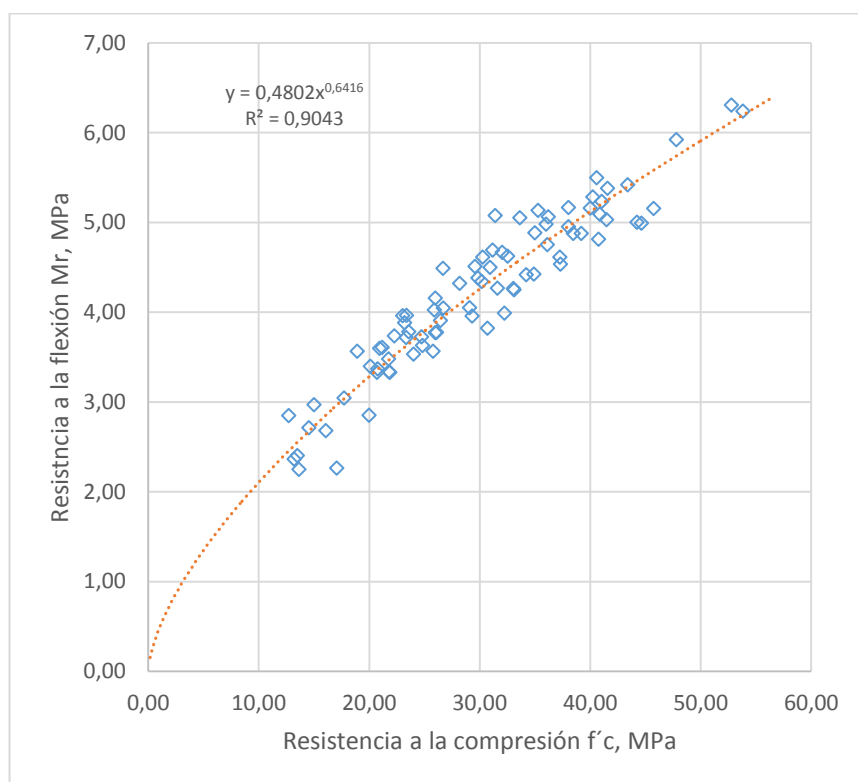


Figura 5-34: Curva de correlación entre Mr y f'c usando los resultados de ambos tipos de árido grueso. (Autor 2017)



En resumen, las ecuaciones de mejor ajuste para los diferentes casos es el siguiente:

Descripción	Ecuación	
Árido fino y árido grueso obtenidos de las minas de Santa Isabel. Mr y f'c en MPa	$M_R = 0,4529f'c^{0,6582}$	5-20
Árido fino de VIPESA y árido fino de Santa Isabel. Mr y f'c en MPa	$M_R = 0,5238f'c^{0,6176}$	5-21
Ecuación con los resultados combinados de ambas fuentes de materiales. Mr y f'c en MPa	$M_R = 0,4802f'c^{0,6416}$	5-22

A sabiendas de que los áridos empleados en la región por parte de la mayoría de productores de hormigón, han sido empleados en el presente trabajo, se podría considerar que la ecuación  $M_R = 0,4802f'c^{0,6416}$  podría ser empleada como la ecuación de referencia que permita correlacionar el módulo de rotura y la resistencia a la compresión para muchos trabajos de consultoría, diseño de mezclas y control de calidad de los hormigones empleados en la construcción de pavimentos.



## 6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- En el presente trabajo de investigación, una de las primeras actividades realizadas fue establecer los principales centros de producción de hormigón en la zona de estudio. Este dato permitió establecer 5 empresas productoras de hormigón en donde se realizaron sendas encuestas para conocer las condiciones en las se diseña, fabrica y se controla la producción del hormigón de cemento portland, haciendo énfasis en el hormigón para pavimentos rígidos. Como resultado de las encuestas realizados, se llega a las siguientes conclusiones:
  - Todas las hormigoneras producen o han producido alguna vez hormigones para pavimentos rígidos; sin embargo, el porcentaje producido con este propósito es mínimo en relación a los volúmenes totales promedios.
  - Casi la totalidad de los clientes que solicitan hormigón para pavimentos, requieren el cumplimiento de resistencias a compresión en lugar de resistencias a flexión. Esta situación tiene una consecuencia lógica y se debe principalmente a que las calles y carreteras son obras de infraestructura pública que no se pueden ejecutar sin el permiso y control de instituciones públicas tales como Gobiernos Autónomos Descentralizados, Ministerios, etc. Muchos de ellos, dentro de sus especificaciones constructivas, solicitan el cumplimiento de resistencias compresivas únicamente, lo cual se ha generalizado entre la mayoría de ingenieros viales, dejando la impresión de que la flexión del hormigón no es una condición de importancia. Sin embargo, las especificaciones de construcción de caminos NEVI 12, clasifican los tipos de hormigones de pavimento, únicamente en función de su



resistencia a la flexión, cambiando acertadamente la tendencia que anteriormente requerían resistencias compresivas.

- Pocos centros de producción hacen el control de calidad del hormigón para pavimentos, mediante ensayos de flexión. Quienes sí lo hacen, no llevan un registro estadístico ordenado para determinar la variabilidad del ensayo y correlacionarlo con los de compresión.
- Ninguno de los centros de producción, tienen una metodología científica para correlacionar los esfuerzos de flexión y compresión; y, consideran que existe una proporcionalidad directa entre ellos. Los valores de la capacidad de resistencia a la flexión varían según sus criterios entre el 10 al 12% de la resistencia a compresión.
- Algunas instituciones y profesionales del medio, consideran que el hormigón que debe ser empleado en la construcción de pavimentos, debe cumplir una resistencia mínima de 300 kg/cm<sup>2</sup>. Basándose en este criterio, y tomando el otro que estima el módulo de rotura en hasta un 12% de la resistencia compresiva, daría un valor máximo de 36 kg/cm<sup>2</sup>, valor que no cumple con las recomendaciones de la mayoría de teorías de diseño de pavimentos que establecer valores mínimos entre 38 y 40 kg/cm<sup>2</sup> para vías con bajos volúmenes de tráfico. Los consultores usan valor de módulo de rotura entre 40 y 50 kg/cm<sup>2</sup> en sus diseños de pavimentos, dejando entrever un cierto divorcio entre los criterios de diseño y las prácticas constructivas.
- Los casos críticos de fallas de pavimentos se han presentado principalmente en vías de alto tráfico vehicular y carreteras rurales interprovinciales. Los expedientes de las investigaciones de las causas de las fallas de algunas carreteras, son documentos reservados y no son de conocimiento público; a pesar de ello, el tipo de falla hace



presumir que son de origen estructural, dejando en la incertidumbre en determinar la responsabilidad hacia el diseño o la construcción.

- En cuanto a los materiales empleados en la fabricación de los hormigones, los productores y contratistas usan cementos y áridos disponibles en el sector, dando por entendido que los materiales no presentan conflictos ni patologías relativos a su calidad.
- En cuanto a los ensayos de materiales, se tomaron muestras de los áridos provenientes, tanto de la zona de Paute como de Santa Isabel. En el caso del árido fino, se realizó únicamente el análisis del proveniente de Santa Isabel, en razón de que el de Paute es escaso, tiene un valor del módulo de finura muy alto y ha dejado de ser empleado por la mayoría de hormigoneras. En su lugar, se está empleando casi en su totalidad el árido fino proveniente de Santa Isabel. De los ensayos realizados en el laboratorio, se ha llegado a determinar que cumple con lo requerido en las especificaciones ASTM C33, condición requerida en la mayoría de especificaciones técnicas de construcción y requisito para la aplicación del método de mezclas ACI 211.1.
- En cuanto a los áridos gruesos, se realizaron ensayos en muestras de materiales provenientes de las áreas mineras de Paute y Santa Isabel. Ambos tipos de árido cumplen con los requisitos para su uso en el hormigón establecidos en la especificación ASTM C33. A pesar de tener una constitución mineralógica similar, el árido de Paute tiene una densidad promedio ligeramente mayor a la de Santa Isabel, lo cual influye también en mayor resistencia al desgaste por parte del primero. Adicionalmente, el proceso de trituración del árido de Paute (muestra obtenida de la mina VIPESA), que considera un sistema de trituración secundaria, mejorando la forma de las partículas, da como resultado un coeficiente de forma mucho mejor que el de Santa Isabel, optimizando las condiciones de trabajabilidad de la mezcla. No



obstante, un punto en contra con el árido de Paute, representa la gran cantidad de polvo de trituración con la que se encuentra mezclado el árido y que generó algunas distorsiones en los ensayos, siendo necesario su lavado.

- En cuanto al cemento, se utilizó únicamente un cemento de tipo HE producido por la fábrica GUAPÁN, la cual prestó todas las facilidades para su obtención y dotación, sin ningún costo, loable acción que determina la predisposición de generar conocimiento alrededor de la línea de productos que están disponibles para su venta al público. El acompañamiento que se brindó y las facilidades a las instalaciones y laboratorios, permitió verificar que el producto cumple los requisitos establecidos en las normas INEN correspondientes.
- En el caso de HOLCIM, no fue posible el análisis de su cemento, puesto que los funcionarios en la planta de la ciudad de Cuenca, no dieron apertura a la provisión ni la compra del material, que se expende únicamente a granel.
- Para el diseño de las mezclas, se presentaron algunos inconvenientes relacionados con las estimaciones del agua de mezclado. Las cantidades de agua fueron controladas minuciosamente, haciendo un control previo de la humedad natural del árido y haciendo ajustes por humedad en cada una de las revolturas. Los cálculos se realizaron, tomando como referencia las recomendaciones del método ACI 211.1 para áridos triturados de TMN 3/4", siendo insuficiente la cantidad estimada dando mezclas extremadamente secas por lo que fue necesario realizar ajustes a las dotaciones de agua para llegar a la trabajabilidad deseada. Esta situación se presentó especialmente para las mezclas más ricas en cemento y su dosis iba disminuyendo conforme se incrementaba la relación agua/cemento. Adicionalmente, se verificó que el árido de Paute requería una cantidad menor de agua que el de Santa Isabel, para el mismo revenimiento. Consecuentemente, se llegó a la conclusión que es necesario





desarrollar un modelo para determinar las cantidades de agua para cada tipo de árido empleado, lo cual es motivo de otra investigación.

- Los ensayos de rotura se realizaron en equipos debidamente calibrados y sus resultados fueron absolutamente coherentes con las estimaciones del diseño, mostrando un crecimiento de las resistencias conforme se disminuye la relación agua cemento, tanto para los ensayos de flexión como en los de compresión. En el caso de hormigones de mayor resistencia, la relación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión daba valores variables alrededor de 0.11 y 0.12. En el caso de hormigones de menor resistencia dieron valores más que alcanzaron de hasta 0.18 y 0.19; demostrándose con esto, que la tasa de crecimiento de la resistencia a la compresión es mayor que la de la flexión, a medida que disminuye la relación agua/cemento.
- La disposición de los puntos generados por las parejas de ensayos ( $f'c, MR$ ), formaron una nube de puntos con un patrón de tendencia hacia una curva de tipo potencial para el caso ambos tipos de áridos, consiguiéndose un muy buen coeficiente de correlación, alrededor de 0.9. Ello da una muy buena percepción de la confiabilidad de los ensayos; y, a su vez de las expresiones desarrolladas en la presente investigación. Con estos antecedentes, es posible colegir con cierta certidumbre, que las expresiones desarrolladas en este trabajo podrían ser empleadas por consultores y productores de hormigón para fines prácticos en diseño de pavimentos rígidos y en la producción y control del hormigón requerido.

## 6.2. RECOMENDACIONES.

- Las instituciones públicas, organizaciones estatales y productores de cemento y hormigón, deben establecer convenios con centros de investigación y financiar investigaciones similares a la presente, que permitan conocer con profundidad las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción que son de uso común, especialmente en aquellos casos en los cuales se tienen incertidumbre acerca del real comportamiento de los materiales promoviendo el uso



adecuado de los materiales de construcción, sustentado en bases científicas sólidas que justifiquen diseños y construcciones de calidad, optimizando los recursos disponibles.

- Es necesario involucrar a las universidades en la investigación de la tecnología de materiales, creando centros especializados de investigación dotados de laboratorios especializados para el caso y con el financiamiento respectivo. Muchos de los casos, se desarrollan investigaciones costosas, que apuntan supuestamente a mejorar y aportar procesos innovadores y nuevos materiales que a la larga no se ejecutan y se quedan como simples propuestas para formalizar un proceso de titulación. Es necesario que a través de estas instituciones, se puedan resolver conflictos que generan incertidumbre en situaciones tan básicas que muchas veces no llaman la atención de los investigadores pero que en la realidad son problemas que se presentan diariamente en las actividades profesionales de la ingeniería y aún no han sido resueltos.
- Los organismos de carácter público, que dictan las normas y regulaciones relativas a la planificación, diseño y construcción de pavimentos de hormigón a nivel local (GADs), deben desarrollar normativas y especificaciones más acordes a los fundamentos científicos que rigen el comportamiento y desempeño de los pavimentos rígidos, incluyendo los conceptos de la flexión, especialmente para proyectos de mayor envergadura y altos volúmenes de tráfico. Es importante además que se pueda categorizar las calles y carreteras en función de su importancia y volúmenes de tráfico, para asignar los valores recomendados del módulo de rotura requerido.
- Algunas obras de pavimentación rígida han fracasado en corto tiempo sin que hasta la fecha se conozcan las causas que originaron el daño, pudiendo ser una falla de tipo estructural ya sea por defectos constructivos o por deficiencias del material empleado. Es de vital importancia levantar la información técnica necesaria a través de



## Capítulo VI

estudios de patología para establecer el origen del problema y los resultados de dicha investigación aporten datos necesarios para el desarrollo de nuevas teorías o para afianzar algunas hipótesis que aún no se han demostrado.

- El uso probetas cilíndricas para el control de calidad por resistencias compresivas, tendría mayor valor si se aplican los criterios establecidos en el presente documento. Como ya se mencionó en los capítulos anteriores, las pruebas de flexión son costosas, difícilmente manejables y altamente vulnerables. Es recomendable de que las instituciones de control puedan establecer las correlaciones para cada tipo de materiales y prescindir de los ensayos de flexión como mecanismo de control de calidad en obra.
- Es importante que se pueda establecer un hilo conductor para una línea de investigación complementaria al presente documento, ampliando el concepto a áridos no triturados, de diferentes tamaños máximos o de fuentes distintas a las empleadas para enriquecer el conocimiento en torno al tema del presente.



## BIBLIOGRAFÍA

AASHTO, 2008. *Guide Specifications for Highway Construction*. S.l.: s.n. ISBN 9781560513780.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), 1988. *Guide for Design Construction of concrete Parking Lots*. 5. S.l.: The Association.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI), 2014. *ACI 318-14: Building Code Requirements for Structural Concrete*. 1. S.l.: s.n. ISBN 9780870319648.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE COMMITTEE 211, 1997. Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight, and mass concrete [211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete (Reapproved 2009)]. [en línea], pp. 38. Disponible en: <http://www.worldcat.org/oclc/51217995%5Cnhttp://www.concrete.org/bookstorenet/ProductDetail.aspx?ItemID=211191>.

AMERICAN CONCRETE PAVEMENT ASSOCIATION (ACPA), 1992. *Design of Concrete Pavement for City Streets*. , pp. 8.

ARCOM, 2017. *Catastro Minero del Ecuador*. [en línea]. [Consulta: 1 agosto 2017]. Disponible en: <http://geo.controlminero.gob.ec:1026/geovisor/>.

ASTM C 125, 2011. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. *Annual Book of ASTM Standards*, vol. 3, no. Reapproved 2009, pp. 1-30. DOI 10.1520/E0007-03R09.2.

BOLÍVAR, O.G., 1987. *Guía Práctica Para El Diseño De Mezclas De Hormigón*. , pp. 186.

CARRASCO, M.F., 2012. *Tecnología del Hormigón - Unidad 7*. , Primera. pp. 1-25.

CEMENTO CHIMBORAZO, 2017. CEMENTO CHIMBORAZO. [en línea]. Disponible en: [www.cementochimborazo.com](http://www.cementochimborazo.com).



## Bibliografía

- CEMEX CONCRETOS, 2004. Pavimentos de concreto reforzado. *Anales de Ingeniería*, vol. 27, no. 326, pp. 458-477.
- CHAN, J.L.Y., SOLÍS, R.C. y MORENO, É.I., 2003. Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería* [en línea], vol. 7, no. 2, pp. 39-46. ISSN 1665-529X. Disponible en: <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=46770203>.
- DOMINGUEZ, J. y GRANIZO, M., 2008. Altas resistencias del hormigón autocompactante. *Sika S.A., Centro Tecnológico Madrid*,
- GARBER, N. y LESTER, H., 2005. *Ingeniería de Tránsito y Carreteras*. 3. Mexico D.F.: Thompson. ISBN 0-534-38743-8.
- GARNICA, P., GOMEZ, J.A. y SESMA, J.A., 2002. Mecánica de Materiales para Pavimentos. , no. 197, pp. 1-234.
- GÓMEZ CORTEZ, G., 2005. Evaluación del módulo de rotura del concreto con base en su resistencia a compresión: Variabilidad de su correlación. *XV Simposio Ingeniería de Pavimentos*,. Melgar, Colombia: s.n.,
- GONZÁLES CUEVAS, O. y ROBLES, F., 2005. *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Cuarta. Mexico D.F.: s.n.
- GOOGLEEARTH, 2017. GOOGLE EARTH. [en línea]. Disponible en: [www.google.com](http://www.google.com).
- HOLCIM, 2017. HOLCIM. [en línea]. Disponible en: [www.holcim.com.ec](http://www.holcim.com.ec).
- IMCYC, 2009. *Pavimentos de concreto hidráulico* [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://books.google.com/books?id=GVxZAAAAMAAJ&pgis=1>.
- INDUSTRIAS GUAPAN, 2017. GUAPAN. [en línea]. Disponible en: [www.industriasguapan.com.ec](http://www.industriasguapan.com.ec).
- INECYC, 2010. NOTAS TÉCNICAS LOS CEMENTOS COMPUESTOS : ,
- INEN, 1976. NTE INEN 872: REQUISITOS DE LOS ÁRIDOS PARA HORMIGÓN. *Acta salmanticensia: Ciencias* [en línea], pp. 9. Disponible



## Bibliografía

en:

[http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/granulometria.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometria.pdf).

INEN, 2002a. NTE INEN 856: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres De Gasolina.*, vol. 1, no. Primera Edición, pp. 5.

INEN, 2002b. NTE INEN 857: DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO. *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres De Gasolina.*, vol. 1, no. Primera Edición, pp. 5.

INEN, 2002c. NTE INEN 858: DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA Y PORCENTAJE DE VACÍOS DE LOS ÁRIDOS. *Gestión Ambiental. Aire. Vehículos Automotores. Límites Permitidos De Emisiones Producidas Por Fuentes Móviles Terrestres De Gasolina.*, vol. 1, no. Primera Edición, pp. 5.

INEN, 2008. NTE INEN 695: ÁRIDOS. MUESTREO. [en línea], vol. 2007, pp. 2-8. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/cgi-bin/wxis.exe/iah/?IsisScript=iah/iah.xis&base=bvsde.others&lang=e&nextAction=lnk&exprSearch=BVSDE.00013745&indexSearch=ID>.

INEN, 2010a. NTE INEN 152: CEMENTO PORTLAND. REQUISITOS. ,

INEN, 2010b. NTE INEN 2380: CEMENTO HIDRÁULICO. REQUISITOS DE DESEMPEÑO PARA CEMENTOS HIDRÁULICOS. ,

INEN, 2010c. NTE INEN 2 566: Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo. , vol. 1373.

INEN, 2011. NTE INEN 490: CEMENTOS HIDRÁULICOS COMPUESTOS. REQUISITOS. ,



## Bibliografía

- INEN, 2012. NTE INEN 0980: Áridos. Determinación del contenido total de humedad. [en línea], Disponible en: [http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/nte\\_inen\\_0980.pdf](http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/nte_inen_0980.pdf).
- INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM, 2001. *Manual de Tecnología del Concreto*. 1a. Mexico D.F.: CFE.
- INSTITUTO ECUATORIANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO (INECYC), 2009. CONTROL DE CALIDAD EN EL HORMIGÓN, parte II.
- INVIAS, 2008. *Manual de diseño de pavimentos de concreto para vías con bajos y altos volúmenes de tránsito*. Instituto Colombiano de Productores de Cemento. – Medellín: ICPC. S.l.: s.n. ISBN 9789589741184.
- KAIZEN ENGINEERING CONSULTING, 2013. Tecnología del Concreto, Módulo IV. [en línea]. S.l.: s.n., Disponible en: [https://es.slideshare.net/Consultora\\_KECSAC/modulo-iv-tecnologia-del-concreto](https://es.slideshare.net/Consultora_KECSAC/modulo-iv-tecnologia-del-concreto).
- KOSTMATKA, S., KERKHOFF, B., PANARESE, W. y TANESSI, J. (PCA), 2004. *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Primera. Mexico D.F.: s.n.
- KUMAR MEHTA, P. y MONTEIRO, P., 2006. *Concrete, Microstructure, Properties and Materials*. .
- LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN UCACUE, 2017. Reporte de laboratorio. . AZOGUES:
- M.T.O.P., 2013. Norma para Estudios y Diseño Vial (NEVI) - Volúmen 3. , pp. 1028.
- MADRID M., C., 1977. CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO DE MEZCLAS Y EL CONTROL DE CALIDAD DE CONCRETO DE CEMENTO PARA PAVIMENTOS. ,



## Bibliografía

- MICROSOFT, 2015. *AYUDA DE MICROSOFT EXCEL*. 2015. S.l.: s.n.
- NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION, 2000. CIP 16 - Flexural Strength Concrete. *NRMCA Publications*, pp. 1-2.
- NAWY, E.G., 2008. *Construction Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC.
- NEVILLE, A. y BROOKS, J.J., 1998. *Tecnología del Concreto*. Primera. Mexico D.F.: s.n.
- NEVILLE, A.M., 2011. *Properties of Concrete*. S.l.: s.n. ISBN 9780273755807.
- NILSON, A.H., 1999. *Diseño de Estructuras de Concreto*. S.l.: s.n. ISBN 007046586X.
- PÉRTEGAS DÍAZ, S.; PITA FERNÁNDEZ, S., 2002. Determinación del tamaño muestral para calcular. *A Coruña. Cad Aten Primaria*, vol. 9, pp. 209-211. ISSN 1134-3583.
- QUIROZ, M. y SALAMANCA, L., 2007. *GUIA DIDÁCTICA DE TECNOLOGIA DEL HORMIGÓN*. S.l.: s.n.
- RIVERA, G., 2013. Concreto Simple. *Tecnología del concreto*, pp. 256.
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D., 2002. *Tecnología del Concreto y Mortero*. PRIMERA. Bogotá: BHANTAR.
- SÁNCHEZ DE GUZMÁN, D., 2011. *Durabilidad y Patología del Concreto*. 2. Bogotá: ASOCRETO. ISBN 978-958-8564-08-1.
- SCOTT, J. a y HESS, J.R., 2002. Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads Reported by ACI Committee 325. , pp. 1-32.
- SEKHAR, T.S. y RAO, P.S., 2008. Relationship between Compressive , Split Tensile , Flexural Strength of Self Compacted Concrete. *International Journal of Mechanics and Solids*, vol. 3, no. 2, pp. 157-168.
- SENPLADES, 2007. Plan Nacional de desarrollo 2007-2010. [en línea], pp. 458. Disponible en: <http://www.planificacion.gob.ec/wp->





## Bibliografía

content/uploads/downloads/2013/09/Plan-Nacional-Desarrollo-2007-2010.pdf.

STANTON, W. y BLOEM, D.L., 2000. Studies of Flexural Strength of Concrete, Part 3, Effects of Variations in Testing procedures. *NRMCA Publications*,

STATISTA, T.S.P., 2017. Cement production globally and in the U.S. from 2010 to 2016 (in million metric tons). [en línea]. [Consulta: 1 junio 2017]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/219343/cement-production-worldwide/>.

SUPE, J.D. y GUPTA, M.K., 2014. FLEXURAL STRENGTH – A MEASURE TO CONTROL QUALITY OF RIGID CONCRETE PAVEMENTS. , vol. 5, no. 11, pp. 46-57.

UNACEM, 2017. UNACEM. [en línea]. Disponible en: [www.ucacem.com.ec](http://www.ucacem.com.ec).

VINTIMILLA, C.I., 2017. Reporte de Laboratorio. . S.l.:

WEYMOUTH, C.A.G., 1933. Effects of Particle Interference in Mortars and Concretes. , vol. 5033, no. 214, pp. 75231.

WIKIPEDIA, 2017. Hormigón. [en línea]. [Consulta: 30 junio 2017]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Hormigón>.

WIKIPEDIA, [sin fecha]. Adhesión. [en línea]. Disponible en: <https://es.wikipedia.org/wiki/Adhesión>.



## ANEXO 1: Reportes de Laboratorio



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**



ENSAYO:	COEFICIENTE DE FORMA DEL ÁRIDO GRUESO
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES
UBICACIÓN:	CUENCA
CLIENTE:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FECHA DE MUESTREO:	05/2017
FECHA DE ENSAYO:	05/2017
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)
MUESTRA Nº:	1
NORMA EN ENSAYO:	

Partícula N°	Longitud de las partículas retenidas en la tamiz				Volumen de las esferas circunscritas			
	Ret, T. 3/4"	Ret, T. 1/2"	Ret, T. 3/8"	Ret, T #4				
1	2.90	3.33	3.08	2.11	12.77	19.33	15.30	4.92
2	2.68	3.50	1.80	1.94	10.08	22.45	3.05	3.82
3	3.31	2.30	1.66	1.92	18.99	6.37	2.40	3.71
4	3.18	2.70	1.54	1.40	16.84	10.31	1.91	1.44
5	3.57	2.85	1.84	1.31	23.82	12.12	3.26	1.18
6	2.86	2.33	1.73	1.41	12.25	6.62	2.71	1.47
7	2.81	2.87	1.55	1.71	11.62	12.38	1.95	2.62
8	2.76	4.01	1.67	1.48	11.01	33.76	2.44	1.70
9	3.24	2.12	1.66	1.41	17.81	4.99	2.40	1.47
10	2.62	2.05	1.70	2.51	9.42	4.51	2.57	8.28
11	2.73	2.75	1.42	1.35	10.65	10.89	1.50	1.29
12	2.59	2.01	1.53	1.44	9.10	4.25	1.88	1.56
13	2.59	3.08	2.14	1.42	9.10	15.30	5.13	1.50
14	2.94	2.18	2.52	1.01	13.31	5.42	8.38	0.54
15	3.01	1.69	1.44	1.34	14.28	2.53	1.56	1.26
16	2.85	3.26	2.05	2.38	12.12	18.14	4.51	7.06
17	2.50	3.72	1.93	1.28	8.18	26.95	3.76	1.10
18	2.91	2.57	2.06	1.49	12.90	8.89	4.58	1.73
19	2.61	1.72	1.73	1.49	9.31	2.66	2.71	1.73
20	3.02	2.62	1.64	1.36	14.42	9.42	2.31	1.32

S de los volúmenes de las esferas =	619.26
A Peso picnómetro + agua + material SSS, gr	1422.67
B Peso de las partículas en condiciones SSS, gr	349.76
C Peso seco al horno de las partículas, gr	339.38
D Peso picnómetro + agua, gr	1208.9

Peso del volumen de agua desalojada, gr	135.99
Densidad del agua, gr/cm3	0.9975
S Volúmenes de las partículas	136.33

<b>Coefficiente volumétrico</b>	<b>0.22</b>
---------------------------------	-------------

OBSERVACIÓN Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**



ENSAYO:	COEFICIENTE DE FORMA DEL ÁRIDO GRUESO
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES
UBICACIÓN:	CUENCA
CLIENTE:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FECHA DE MUESTREO:	05/2017
FECHA DE ENSAYO:	05/2017
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)
MUESTRA Nº:	1
NORMA EN ENSAYO:	

Partícula N°	Longitud de las partículas retenidas en la tamiz				Volumen de las esferas circunscritas			
	Ret, T. 3/4"	Ret, T. 1/2"	Ret, T. 3/8"	Ret, T #4				
1	2.90	3.33	3.08	2.11	12.77	19.33	15.30	4.92
2	2.68	3.50	1.80	1.94	10.08	22.45	3.05	3.82
3	3.31	2.30	1.66	1.92	18.99	6.37	2.40	3.71
4	3.18	2.70	1.54	1.40	16.84	10.31	1.91	1.44
5	3.57	2.85	1.84	1.31	23.82	12.12	3.26	1.18
6	2.86	2.33	1.73	1.41	12.25	6.62	2.71	1.47
7	2.81	2.87	1.55	1.71	11.62	12.38	1.95	2.62
8	2.76	4.01	1.67	1.48	11.01	33.76	2.44	1.70
9	3.24	2.12	1.66	1.41	17.81	4.99	2.40	1.47
10	2.62	2.05	1.70	2.51	9.42	4.51	2.57	8.28
11	2.73	2.75	1.42	1.35	10.65	10.89	1.50	1.29
12	2.59	2.01	1.53	1.44	9.10	4.25	1.88	1.56
13	2.59	3.08	2.14	1.42	9.10	15.30	5.13	1.50
14	2.94	2.18	2.52	1.01	13.31	5.42	8.38	0.54
15	3.01	1.69	1.44	1.34	14.28	2.53	1.56	1.26
16	2.85	3.26	2.05	2.38	12.12	18.14	4.51	7.06
17	2.50	3.72	1.93	1.28	8.18	26.95	3.76	1.10
18	2.91	2.57	2.06	1.49	12.90	8.89	4.58	1.73
19	2.61	1.72	1.73	1.49	9.31	2.66	2.71	1.73
20	3.02	2.62	1.64	1.36	14.42	9.42	2.31	1.32

S de los volúmenes de las esferas =	619.26
A Peso picnómetro + agua + material SSS, gr	1422.67
B Peso de las partículas en condiciones SSS, gr	349.76
C Peso seco al horno de las partículas, gr	339.38
D Peso picnómetro + agua, gr	1208.9
Peso del volumen de agua desalojada, gr	135.99
Densidad del agua, gr/cm3	0.9975
S Volúmenes de las partículas	136.33
<b>Coefficiente volumétrico</b>	<b>0.22</b>

OBSERVACIÓN Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**



ENSAYO: COEFICIENTE DE FORMA DEL ÁRIDO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 05/2017

FECHA DE ENSAYO: 05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA N°: 1

NORMA EN ENSAYO: \_\_\_\_\_

Partícula N°	Longitud de las partículas retenidas en la tamiz				Volumen de las esferas circunscritas			
	Ret, T. 3/4"	Ret, T. 1/2"	Ret, T. 3/8"	Ret, T #4				
1	3.16	2.79	2.03	1.71	16.52	11.37	4.38	2.62
2	3.22	2.30	1.66	1.67	17.48	6.37	2.40	2.44
3	2.88	2.43	1.89	1.60	12.51	7.51	3.53	2.14
4	2.81	2.32	1.80	1.26	11.62	6.54	3.05	1.05
5	2.43	3.07	1.70	1.75	7.51	15.15	2.57	2.81
6	2.75	2.83	2.19	1.23	10.89	11.87	5.50	0.97
7	2.98	2.48	2.00	1.85	13.86	7.99	4.19	3.32
8	3.16	2.49	2.37	1.43	16.52	8.08	6.97	1.53
9	2.47	2.76	2.08	1.26	7.89	11.01	4.71	1.05
10	3.03	2.61	1.97	1.68	14.57	9.31	4.00	2.48
11	3.01	2.97	1.92	1.59	14.28	13.72	3.71	2.10
12	2.82	2.71	1.84	1.35	11.74	10.42	3.26	1.29
13	3.26	2.69	2.00	1.16	18.14	10.19	4.19	0.82
14	2.55	2.12	1.53	1.24	8.68	4.99	1.88	1.00
15	3.17	2.33	1.80	1.13	16.68	6.62	3.05	0.76
16	2.95	3.10	1.60	1.21	13.44	15.60	2.14	0.93
17	3.00	2.65	1.62	1.05	14.14	9.74	2.23	0.61
18	2.94	2.28	2.32	1.23	13.31	6.21	6.54	0.97
19	2.51	2.02	1.75	1.27	8.28	4.32	2.81	1.07
20	2.90	2.06	1.67	1.10	12.77	4.58	2.44	0.70

	Σ de los volúmenes de las esferas =	546.60
A	Peso picnómetro + agua + material SSS, gr	1499.77
B	Peso de las partículas en condiciones SSS, gr	462.28
C	Peso seco al horno de las partículas, gr	455.62
D	Peso picnómetro + agua, gr	1208.9

	Peso del volumen de agua desalojada, gr	171.41
	Densidad del agua, gr/cm <sup>3</sup>	0.9975
	Σ Volúmenes de las partículas	171.84

	<b>Coefficiente volumétrico</b>	<b>0.31</b>
--	---------------------------------	-------------

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**

ENSAYO: COEFICIENTE DE FORMA DEL ÁRIDO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CLIENTE: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 05/2017

FECHA DE ENSAYO: 05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 1

NORMA EN ENSAYO: \_\_\_\_\_

Partícula N°	Longitud de las partículas retenidas en la tamiz				Volumen de las esferas circunscritas			
	Ret, T. 3/4"	Ret, T. 1/2"	Ret, T. 3/8"	Ret, T #4				
1	3.16	2.79	2.03	1.71	16.52	11.37	4.38	2.62
2	3.22	2.30	1.66	1.67	17.48	6.37	2.40	2.44
3	2.88	2.43	1.89	1.60	12.51	7.51	3.53	2.14
4	2.81	2.32	1.80	1.26	11.62	6.54	3.05	1.05
5	2.43	3.07	1.70	1.75	7.51	15.15	2.57	2.81
6	2.75	2.83	2.19	1.23	10.89	11.87	5.50	0.97
7	2.98	2.48	2.00	1.85	13.86	7.99	4.19	3.32
8	3.16	2.49	2.37	1.43	16.52	8.08	6.97	1.53
9	2.47	2.76	2.08	1.26	7.89	11.01	4.71	1.05
10	3.03	2.61	1.97	1.68	14.57	9.31	4.00	2.48
11	3.01	2.97	1.92	1.59	14.28	13.72	3.71	2.10
12	2.82	2.71	1.84	1.35	11.74	10.42	3.26	1.29
13	3.26	2.69	2.00	1.16	18.14	10.19	4.19	0.82
14	2.55	2.12	1.53	1.24	8.68	4.99	1.88	1.00
15	3.17	2.33	1.80	1.13	16.68	6.62	3.05	0.76
16	2.95	3.10	1.60	1.21	13.44	15.60	2.14	0.93
17	3.00	2.65	1.62	1.05	14.14	9.74	2.23	0.61
18	2.94	2.28	2.32	1.23	13.31	6.21	6.54	0.97
19	2.51	2.02	1.75	1.27	8.28	4.32	2.81	1.07
20	2.90	2.06	1.67	1.10	12.77	4.58	2.44	0.70

	Σ de los volúmenes de las esferas =	546.60
A	Peso picnómetro + agua + material SSS, gr	1499.77
B	Peso de las partículas en condiciones SSS, gr	462.28
C	Peso seco al horno de las partículas, gr	455.62
D	Peso picnómetro + agua, gr	1208.9

	Peso del volumen de agua desalojada, gr	171.41
	Densidad del agua, gr/cm <sup>3</sup>	0.9975
	Σ Volúmenes de las partículas	171.84

	Coeficiente volumétrico	0.31
--	-------------------------	------

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO:	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO	
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES	
UBICACIÓN:	CUENCA	
CONSTRUCTOR:	Ing. Jorge Crespo Crespo	(Solicitante en calidad de tesista)
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA	
FECHA DE MUESTREO:	01/03/2017	
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2017	
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	
MUESTRA Nº:	01	
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 856:2010	ASTM C128

SÍMBOLOS

- A = Masa de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, gr
- C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua, gr
- S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr

DATOS:

A =	480,9 gr
B =	1449,7 gr
C =	1751,6 gr
S =	500,0 gr

CÁLCULOS:

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B + S - C} =$	2,43
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{S}{B + S - C} =$	2,52
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{B + A - C} =$	2,69
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + S - C} =$	2.417,45
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(S)}{B + S - C} =$	2.518,30
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + A - C} =$	2.680,25
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	3,96%

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paul Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de abril de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**

ENSAYO:	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES	
UBICACIÓN:	CUENCA	
CONSTRUCTOR	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)	
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA	
FECHA DE MUESTREO:	01/03/2017	
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2017	
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	
MUESTRA Nº:	01	
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 857:2010	ASTM C127

SÍMBOLOS

- A = Masa en el aire de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa en el aire de la muestra saturado superficialmente seca, gr
- C = Masa aparente en agua de la muestra

DATOS:

- A = 3047,0 gr
- B = 3135,0 gr
- C = 1914,0 gr

CÁLCULOS:

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B - C} =$	2,50
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{B}{B - C} =$	2,57
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{A - C} =$	2,69
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B - C} =$	2.484,27
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(B)}{B - C} =$	2.561,15
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{A - C} =$	2682,6
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	2,89%

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

  
 Ing. Paúl Allessas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de abril de 2017





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO:	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES
UBICACIÓN:	CUENCA
CLIENTE:	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FECHA DE MUESTREO:	01/03/2017
FECHA DE ENSAYO:	08/03/2017
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)
MUESTRA N°:	01
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 858:2010

**SÍMBOLOS**

- Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m<sup>3</sup>
- Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m<sup>3</sup>
- Gc = masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
- Gs = masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
- T = masa del molde; kg
- V = Volumen del molde; m<sup>3</sup>

**DATOS:**

Gc =	27865,0 g
Gs =	26785,7 g
T =	14935,0 g
V =	0,0096 m <sup>3</sup>

**CÁLCULOS:**

Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$Mc = \frac{G_c - T}{V} =$	1.351,10
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	$Ms = \frac{G_s - T}{V} =$	1.238,31

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de abril de 2017



# Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS (ING. JORGE CRESPO)

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 01/03/2017

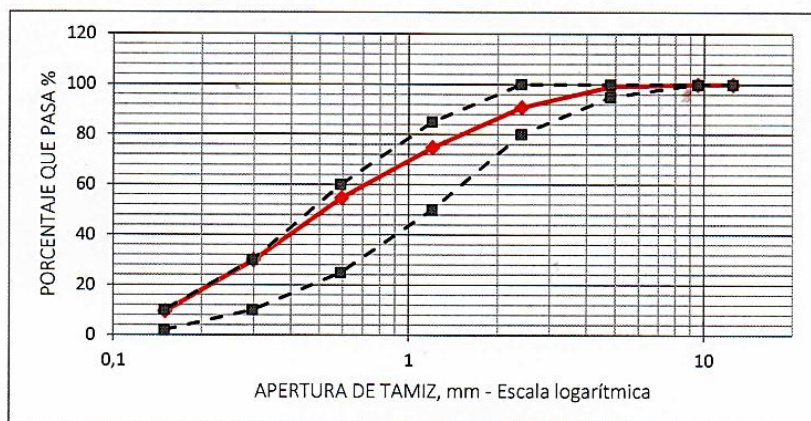
FECHA DE ENSAYO: 14/03/2017

CANTERA: MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)

MUESTRA N°: 01

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010      NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO	ASTM							
1/2"	12,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/8"	9,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
4	4,8 mm	12,40	0,89	0,89	99,11	95	100	CUMPLE
8	2,4 mm	115,40	8,30	9,19	90,81	80	100	CUMPLE
16	1,2 mm	223,20	16,04	25,23	74,77	50	85	CUMPLE
30	(590μ)	278,80	20,04	45,27	54,73	25	60	CUMPLE
50	(297μ)	345,50	24,84	70,11	29,89	10	30	CUMPLE
100	(149μ)	284,50	20,45	90,56	9,44	2	10	CUMPLE
Fondo	Fondo	131,30	9,44	100,00	0,00			
TOTAL		1.391,10						
Peso de la muestra		1.391,50						
% de pérdidas		0,03						
Módulo de Finura		2,41	CUMPLE					



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

  
 Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de abril de 2017



# Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 01/03/2017

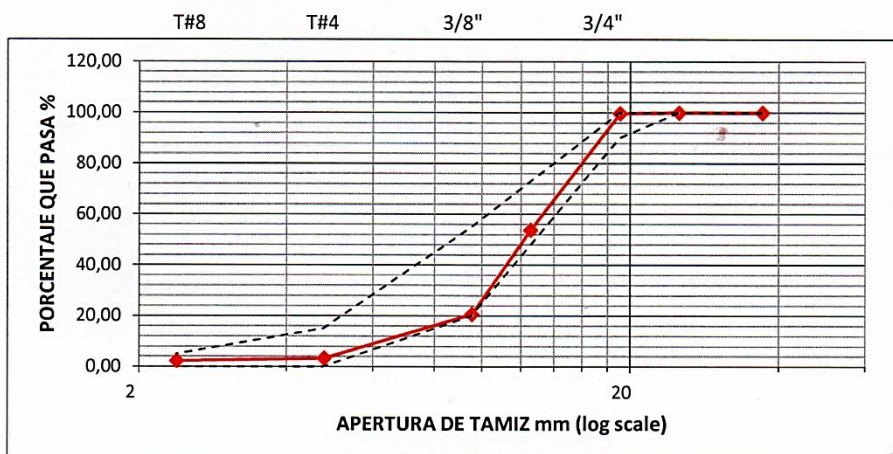
FECHA DE ENSAYO: 14/04/2017

CANTERA: MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)

MUESTRA Nº: 1

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	53,30	0,36	0,36	99,64	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	6.789,00	45,90	46,26	53,74			
3/8"	9,5	4.898,00	33,12	79,38	20,62	20	55	CUMPLE
#4	4,75	2.577,26	17,43	96,81	3,19	0	15	CUMPLE
#8	2,38	152,94	1,03	97,84	2,16	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	319,09	2,16	100,00	0,00			
TOTAL		14.789,59						
Peso de la muestra		14.801,00						
% pérdidas		0,08%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Mllescas Cárdenas  
 Jefe de LCMMS

Azogues, 6 de abril de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**

ENSAYO:	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES	
UBICACIÓN:	CUENCA	
CONSTRUCTOR:	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)	
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA	
FECHA DE MUESTREO:	01/03/2017	
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2017	
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	
MUESTRA N°:	01	
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 857:2010	ASTM C128

**SÍMBOLOS**

- A = Masa de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, gr
- C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua, gr
- S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr

**DATOS:**

- A = 480,9 gr
- B = 1449,7 gr
- C = 1751,6 gr
- S = 500,0 gr

**CÁLCULOS:**

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B + S - C} =$	2,43
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{S}{B + S - C} =$	2,52
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{B + A - C} =$	2,69
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + S - C} =$	2.417,45
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(S)}{B + S - C} =$	2.518,30
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + A - C} =$	2.680,25
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	3,96%

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

  
 Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 7 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO:	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES	
	0	
UBICACIÓN:	CUENCA	
CONSTRUCTOR	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)	
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA	
FECHA DE MUESTREO:	08/05/2017	
FECHA DE ENSAYO:	09/05/2017	
CANTERA:	VIPESA	
MUESTRA Nº:	1	
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 857:2010	ASTM C127

SÍMBOLOS

- A = Masa en el aire de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa en el aire de la muestra saturado superficialmente seca, gr
- C = Masa aparente en agua de la muestra

DATOS:

A =	3928,7 gr
B =	4000,0 gr
C =	2506,0 gr

CÁLCULOS:

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B - C} =$	2,63
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{B}{B - C} =$	2,68
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{A - C} =$	2,76
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B - C} =$	2.617,80
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(B)}{B - C} =$	2.670,68
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{A - C} =$	2754,58
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	1,82%

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO, MATERIAL PASANTE EL T#4

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

FECHA DE ENSAYO: 09/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 1

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 856:2010      ASTM C128

SÍMBOLOS

- A = Masa de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, gr
- C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua, gr
- S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr

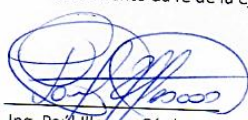
DATOS:

A =	480,0 gr
B =	1449,7 gr
C =	1758,7 gr
S =	500,0 gr

CÁLCULOS:

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B + S - C} =$	2,51
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{S}{B + S - C} =$	2,62
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{B + A - C} =$	2,81
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + S - C} =$	2.502,91
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(S)}{B + S - C} =$	2.612,21
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + A - C} =$	2.800,72
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	4,16%

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

  
 Ing. Paul Illguez Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO:	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES
UBICACIÓN:	CUENCA
CONSTRUCTOR	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FECHA DE MUESTREO:	01/03/2017
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2017
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)
MUESTRA Nº:	1
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 858:2010

**SÍMBOLOS**

- Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m<sup>3</sup>
- Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m<sup>3</sup>
- Gc = masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
- Gs = masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
- T = masa del molde; kg
- V = Volumen del molde; m<sup>3</sup>

**DATOS:**

Gc =	10873,0 gr
Gs =	10585,0 gr
T =	6109,0 gr
V =	0,00295 m <sup>3</sup>

**CÁLCULOS:**

Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	Mc	$\frac{G_c - T}{V} =$	1.614,92
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	Ms	$\frac{G_s - T}{V} =$	1.517,29

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

  
 Ing. Paul Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO:	MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO) Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES
UBICACIÓN:	CUENCA
CLIENTE:	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA
FECHA DE MUESTREO:	08/05/2017
FECHA DE ENSAYO:	09/05/2017
CANTERA:	VIPESA
MUESTRA Nº:	1
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 858:2010

**SÍMBOLOS**

- Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m<sup>3</sup>
- Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m<sup>3</sup>
- Gc = masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
- Gs = masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
- T = masa del molde; kg
- V = Volumen del molde; m<sup>3</sup>

**DATOS:**

Gc =	30178,0 g
Gs =	29270,3 g
T =	14935,0 g
V =	0,00957 m <sup>3</sup>

**CÁLCULOS:**

Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m <sup>3</sup>	Mc	$\frac{G_c - T}{V} =$	1.592,79
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m <sup>3</sup>	Ms	$\frac{G_s - T}{V} =$	1.497,94

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paul Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
**LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**  
**Y MECÁNICA DE SUELOS**

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

PROYECTO: PROYECTO DE TESIS (ING. JORGE CRESPO)

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 01/03/2017

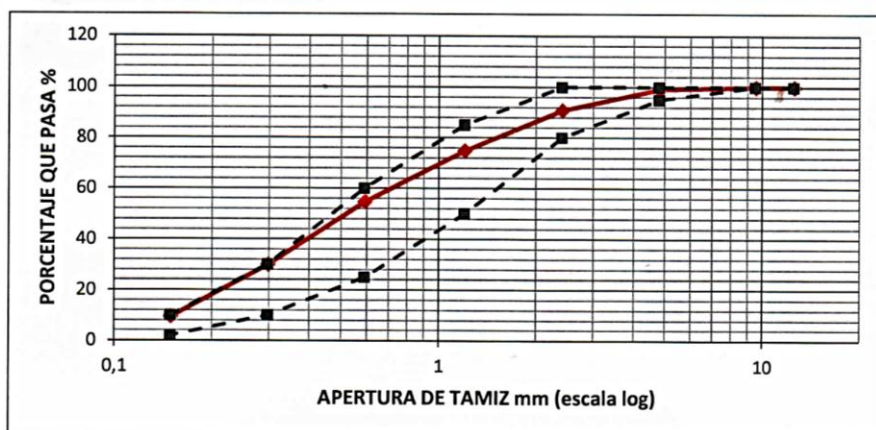
FECHA DE ENSAYO: 01/03/2017

CANTERA: MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)

MUESTRA Nº: 1

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO	ASTM							
1/2"	12,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/8"	9,5 mm	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
4	4,8 mm	12,40	0,89	0,89	99,11	95	100	CUMPLE
8	2,4 mm	115,40	8,30	9,19	90,81	80	100	CUMPLE
16	1,2 mm	223,20	16,04	25,23	74,77	50	85	CUMPLE
30	(590μ)	278,80	20,04	45,27	54,73	25	60	CUMPLE
50	(297μ)	345,50	24,84	70,11	29,89	10	30	CUMPLE
100	(149μ)	284,50	20,45	90,56	9,44	2	10	CUMPLE
Fondo	Fondo	131,30	9,44	100,00	0,00			
TOTAL		1.391,10						
Peso de la muestra		1.391,50						
% de pérdidas		0,03						
Módulo de Finura		2,41	CUMPLE					



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 6 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

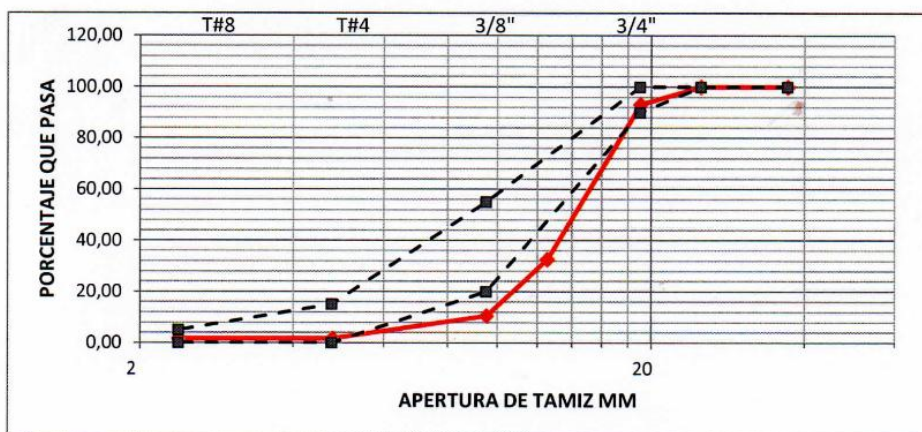
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 1

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	1.106,00	6,88	6,88	93,12	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	9.735,00	60,53	67,41	32,59			
3/8"	9,5	3.553,00	22,09	89,50	10,50	20	55	NO CUMPLE
#4	4,75	1.426,00	8,87	98,36	1,64	0	15	CUMPLE
#8	2,38	0,00	0,00	98,36	1,64	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	263,00	1,64	100,00	0,00			
TOTAL		16.083,00						
Peso de la muestra		16.091,00						
% pérdidas		0,05%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 21 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

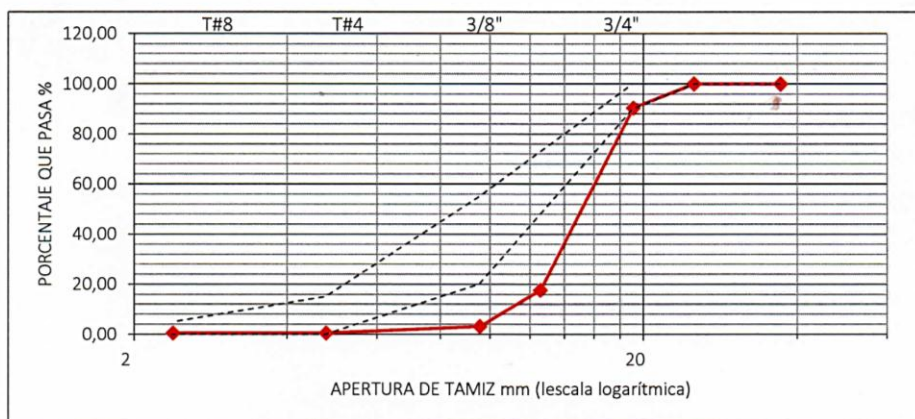
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA N°: 2

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	1.100,00	9,65	9,65	90,35	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	8.285,00	72,67	82,32	17,68			
3/8"	9,5	1.659,00	14,55	96,87	3,13	20	55	NO CUMPLE
#4	4,75	303,00	2,66	99,53	0,47	0	15	CUMPLE
#8	2,38	0,00	0,00	99,53	0,47	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	53,81	0,47	100,00	0,00			
TOTAL		11.400,81						
Peso de la muestra		11.420,00						
% pérdidas		0,17%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

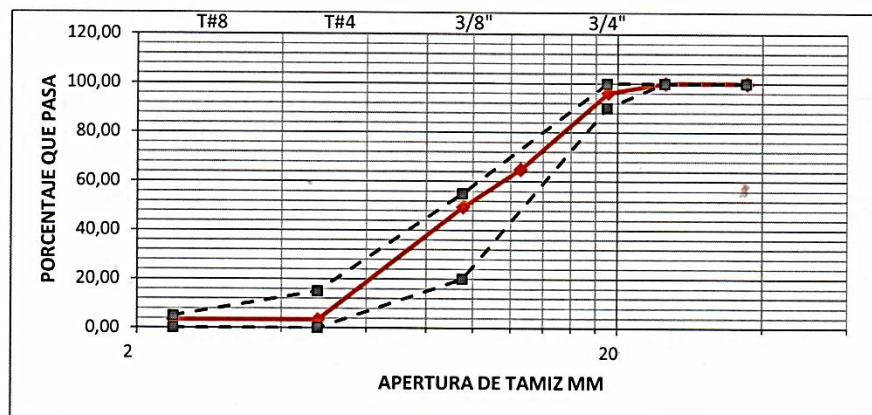
Ing. Paúl Hescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 21 de junio de 2017

## Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**ENSAYO:** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO  
**PROYECTO:** TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES  
**UBICACIÓN:** CUENCA  
**CONSTRUCTOR:** Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)  
**FISCALIZACIÓN:** UNIVERSIDAD DE CUENCA  
**FECHA DE MUESTREO:** 08/05/2017  
**FECHA DE ENSAYO:** 12/05/2017  
**CANTERA:** VIPESA  
**MUESTRA Nº:** 1  
**NORMA EN ENSAYO:** NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	564,00	3,90	3,90	96,10	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	4.508,00	31,19	35,09	64,91			
3/8"	9,5	2.237,00	15,48	50,56	49,44	20	55	CUMPLE
#4	4,75	6.657,00	46,05	96,62	3,38	0	15	CUMPLE
#8	2,38	0,00	0,00	96,62	3,38	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	489,00	3,38	100,00	0,00			
TOTAL		14.455,00						
Peso de la muestra		14.462,00						
% pérdidas		0,05%						



**OBSERVACIÓN:** Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.



Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 21 de junio de 2017

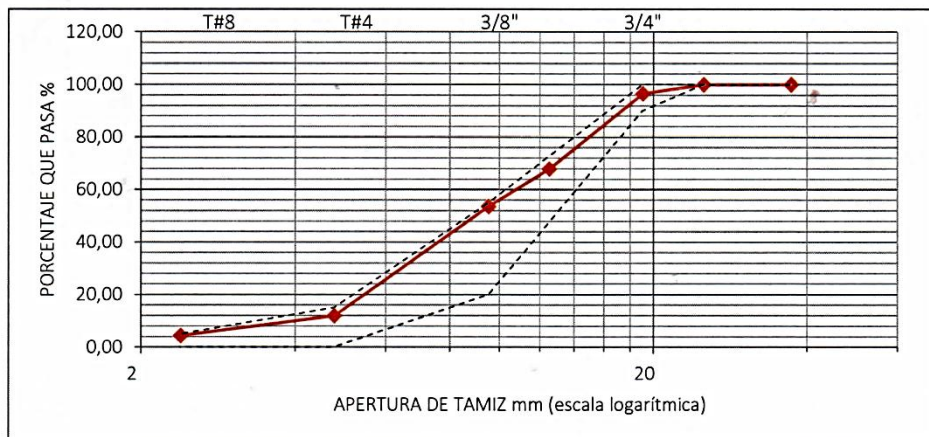


**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS



**ENSAYO:** ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO  
**PROYECTO:** TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES  
**UBICACIÓN:** CUENCA  
**CONSTRUCTOR:** Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)  
**FISCALIZACIÓN:** UNIVERSIDAD DE CUENCA  
**FECHA DE MUESTREO:** 08/05/2017  
**FECHA DE ENSAYO:** 12/05/2017  
**CANTERA:** VIPESA  
**MUESTRA Nº:** 2  
**NORMA EN ENSAYO:** NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	456,00	3,46	3,46	96,54	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	3.776,00	28,68	32,14	67,86			
3/8"	9,5	1.872,00	14,22	46,35	53,65	20	55	CUMPLE
#4	4,75	5.494,00	41,72	88,08	11,92	0	15	CUMPLE
#8	2,38	1.001,00	7,60	95,68	4,32	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	569,00	4,32	100,00	0,00			
TOTAL		13.168,00						
Peso de la muestra		13.193,00						
% pérdidas		0,19%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Allessas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 21 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

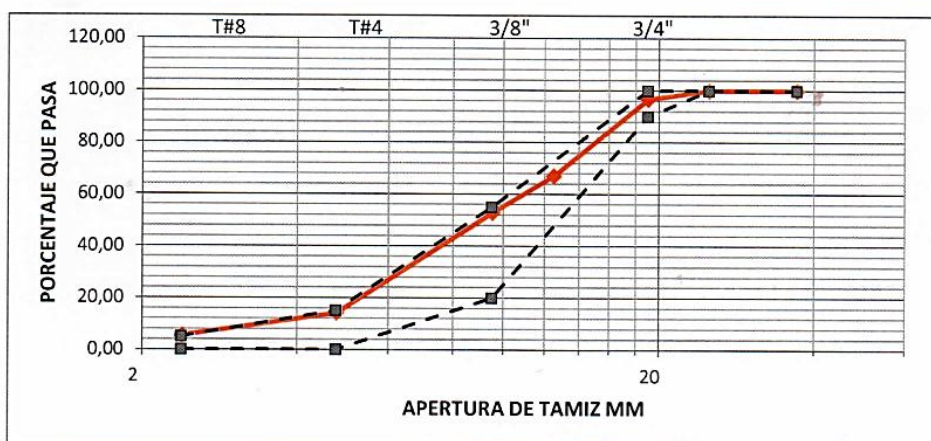
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 3

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	454,00	3,30	3,30	96,70	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	4.079,00	29,63	32,93	67,07			
3/8"	9,5	1.964,00	14,27	47,19	52,81	20	55	CUMPLE
#4	4,75	5.327,00	38,69	85,89	14,11	0	15	CUMPLE
#8	2,38	1.201,00	8,72	94,61	5,39	0	5	NO CUMPLE
Fondo	Fondo	742,00	5,39	100,00	0,00			
TOTAL		13.767,00						
Peso de la muestra		13.193,00						
% pérdidas		-4,35%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

  
 Ing. Paul Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 21 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

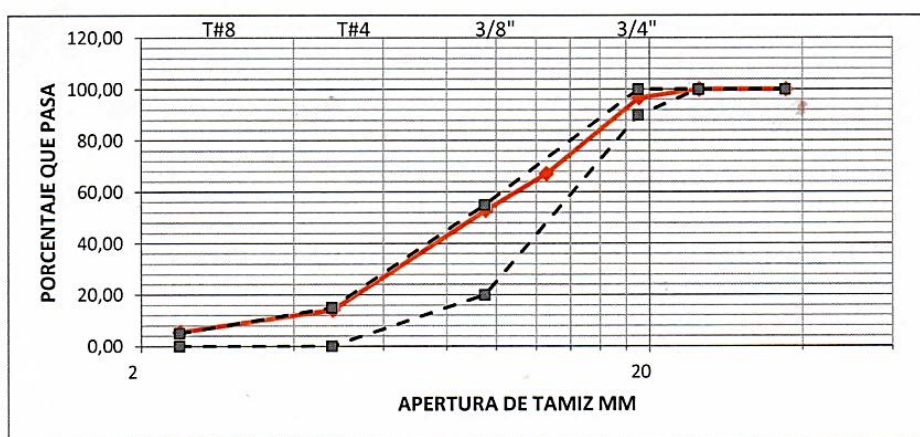
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 4

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	454,00	3,30	3,30	96,70	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	4.079,00	29,63	32,93	67,07			
3/8"	9,5	1.964,00	14,27	47,19	52,81	20	55	CUMPLE
#4	4,75	5.327,00	38,69	85,89	14,11	0	15	CUMPLE
#8	2,38	1.201,00	8,72	94,61	5,39	0	5	NO CUMPLE
Fondo	Fondo	742,00	5,39	100,00	0,00			
TOTAL		13.767,00						
Peso de la muestra		13.193,00						
% pérdidas		-4,35%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 21 de junio de 2017



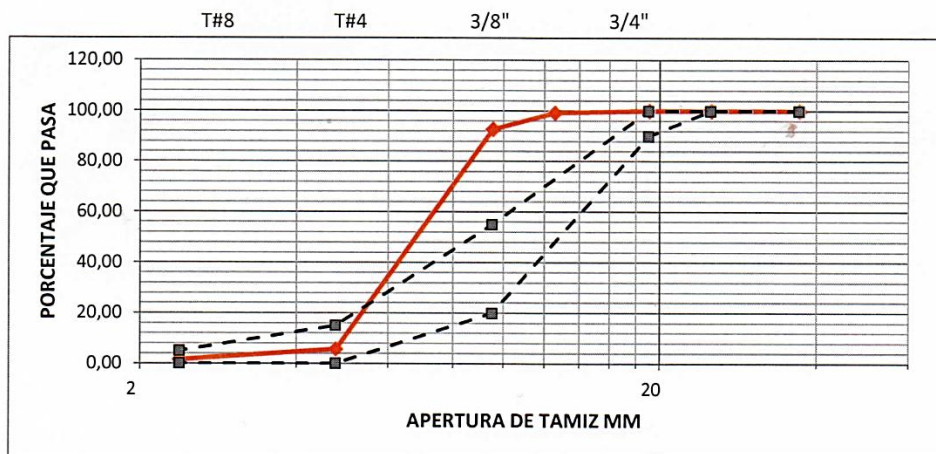
Anexo 1: Reportes de Laboratorio

UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN
Y MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES
UBICACIÓN: CUENCA
CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)
FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA
FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017
CANTERA: VIPESA
MUESTRA Nº: 5
NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

Table with 8 columns: TAMIZ # (ISO ASTM, ISO), PESO RETENIDO (g), % RETENIDO, % RETENIDO ACUM., % PASA, NORMA INEN 872, and CUMPLE NORMA INEN 872. It lists sieve sizes from 2" down to #8 and a total weight of 15,435.00g.



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Handwritten signature of Ing. Paúl Jlescas Cárdenas, Jefe de LCMMS.

Azogues, 21 de junio de 2017





**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS



ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

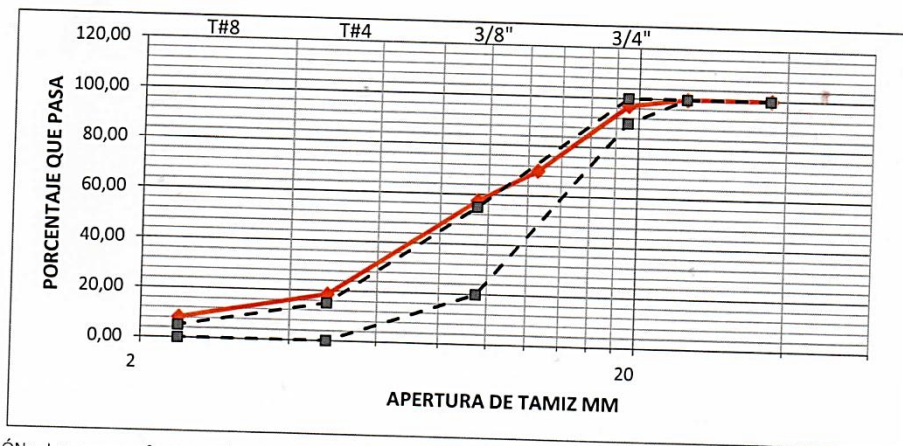
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA N°: 6

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	584,00	2,98	2,98	97,02	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	5.290,00	27,02	30,01	69,99			
3/8"	9,5	2.437,00	12,45	42,46	57,54	20	55	NO CUMPLE
#4	4,75	7.614,00	38,89	81,35	18,65	0	15	NO CUMPLE
#8	2,38	2.051,00	10,48	91,83	8,17	0	5	NO CUMPLE
Fondo	Fondo	1.600,00	8,17	100,00	0,00			
TOTAL		19.576,00						
Peso de la muestra		19.601,00						
% pérdidas		0,13%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Hlescas Cárdenas  
 Jefe de LCMMS

Azogues, 21 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

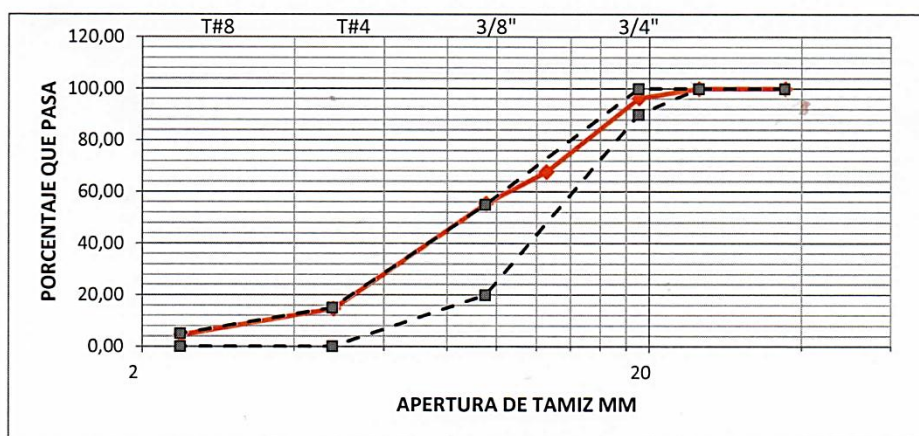
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 7

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	489,00	3,74	3,74	96,26	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	3.733,00	28,54	32,28	67,72			
3/8"	9,5	1.603,00	12,26	44,53	55,47	20	55	NO CUMPLE
#4	4,75	5.338,00	40,81	85,34	14,66	0	15	CUMPLE
#8	2,38	1.333,05	10,19	95,54	4,46	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	583,95	4,46	100,00	0,00			
TOTAL		13.080,00						
Peso de la muestra		13.101,00						
% pérdidas		0,16%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Mescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMs

Azogues, 21 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

PROYECTO: TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES

UBICACIÓN: CUENCA

CONSTRUCTOR: Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)

FISCALIZACIÓN: UNIVERSIDAD DE CUENCA

FECHA DE MUESTREO: 08/05/2017

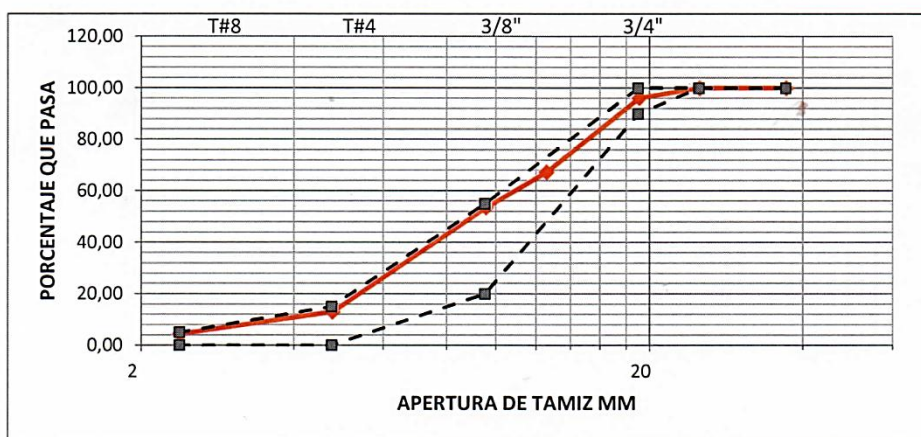
FECHA DE ENSAYO: 12/05/2017

CANTERA: VIPESA

MUESTRA Nº: 7

NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO ASTM	ISO							
2"	50	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1 1/2"	37	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
1"	25	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100	CUMPLE
3/4"	19	721,00	3,86	3,86	96,14	90	100	CUMPLE
1/2"	12,5	5.379,00	28,82	32,68	67,32			
3/8"	9,5	2.590,00	13,87	46,55	53,45	20	55	CUMPLE
#4	4,75	7.560,00	40,50	87,05	12,95	0	15	CUMPLE
#8	2,38	1.595,00	8,54	95,60	4,40	0	5	CUMPLE
Fondo	Fondo	822,00	4,40	100,00	0,00			
TOTAL		18.667,00						
Peso de la muestra		18.691,00						
% pérdidas		0,13%						



OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Ilfescas Cárdenas  
 Jefe de LCMMS

Azogues, 21 de junio de 2017



Anexo 1: Reportes de Laboratorio

**UNIVERSIDAD CATOLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
 Y MECÁNICA DE SUELOS

ENSAYO:	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA), Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO	
PROYECTO:	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES	
UBICACIÓN:	CUENCA	
CONSTRUCTOR:	Ing. Jorge Crespo Crespo (Solicitante en calidad de tesista)	
FISCALIZACIÓN:	UNIVERSIDAD DE CUENCA	
FECHA DE MUESTREO:	01/03/2017	
FECHA DE ENSAYO:	01/03/2017	
CANTERA:	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	
MUESTRA Nº:	01	
NORMA EN ENSAYO:	NTE INEN 857:2010	ASTM C128

SÍMBOLOS

- A = Masa de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, gr
- C = masa del picnómetro lleno con muestra y agua, gr
- S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr

DATOS:

- A = 480,9 gr
- B = 1449,7 gr
- C = 1751,6 gr
- S = 500,0 gr

CÁLCULOS:

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B + S - C} =$	2,43
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{S}{B + S - C} =$	2,52
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{B + A - C} =$	2,69
Densidad (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + S - C} =$	2.417,45
Densidad (SSS), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(S)}{B + S - C} =$	2.518,30
Densidad aparente (SH), kg/m <sup>3</sup> =	$\frac{997,5(A)}{B + A - C} =$	2.680,25
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	3,96%

OBSERVACIÓN: Los ensayos fueron realizados por el solicitante en calidad de tesista y el con el apoyo del personal e instrumental del laboratorio. Los resultados de los ensayos son responsabilidad del tesista y el presente documento da fe de la ejecución de los mismos y la asesoría para su correcta aplicación.

Ing. Paúl Illescas Cárdenas  
 Jefe de LMCMS

Azogues, 7 de junio de 2017



<b>LABORATORIO DE SUELOS</b>	Dirección: General Torres 18-40 Y Eugenio Espejo
	Teléfonos: 4058706 / 2824513 / Cel.: 0984746016
ING. CRISTINA VINTIMILLA MSC.	email.: laboratoriosueloscris@hotmail.com. / cuenca - Ec

**LABORATORIO DE SUELOS**

ENSAYO DE ABRASIÓN								
NORMA ASTM C-131								
<b>PROYECTO:</b> Tesis del Ing. Jorge Crespo								
<b>SECTOR:</b> Santa Isabel	<b>FECHA:</b> 07/08/2017							
<b>SOLICITA:</b> Ing. Jorge Crespo	<b>ENSAYADO:</b> Ing. Cristina Vintimilla							
	<b>CALCULADO:</b> Ing. Cristina Vintimilla							
<table border="1"> <tr> <th colspan="3">ENSAYO DE DESGASTE MECANICO DE LOS AGREGADOS.</th> </tr> <tr> <th colspan="3">MAQUINA DE LOS ANGELES.</th> </tr> </table>			ENSAYO DE DESGASTE MECANICO DE LOS AGREGADOS.			MAQUINA DE LOS ANGELES.		
ENSAYO DE DESGASTE MECANICO DE LOS AGREGADOS.								
MAQUINA DE LOS ANGELES.								
	<b>ENSAYO</b>	1						
<b>A</b>	<b>PESO DEL MATERIAL ANTES DEL ENSAYO</b>	5001 gm.						
<b>B</b>	<b>PESO DEL MATERIAL NO DESGASTADO DESPUES DEL ENSAYO</b>	3937 gm.						
<b>C=A-B</b>	<b>PESO DEL MATERIAL PERDIDO DESPUES DEL ENSAYO</b>	1064 gm.						
<b>D=C/A*100</b>	<b>% DE DESGASTE.</b>	21,3 %						
<b>OBSERVACIONES:</b>								
-----								
-----								
-----								
-----								

  
 Ing. Cristina Vintimilla  
 MASTER EN GEOTECNIA  
 Senescyt 1007-05-605320





<b>LABORATORIO DE SUELOS</b> ING. CRISTINA VINTIMILLA MSC.	Dirección: General Torres 18-40 Y Eugenio Espejo Teléfonos: 4058706 / 2824513 / Cel.: 0984746016 email.: laboratoriosueloscris@hotmail.com. / cuenca - Ecuador
---	--

**LABORATORIO DE SUELOS**

ENSAYO DE ABRASIÓN						
NORMA ASTM C-131						
<b>PROYECTO:</b> Tesis del Ing. Jorge Crespo						
<b>SECTOR:</b> El Descanso	<b>FECHA:</b>	07/08/2017				
<b>SOLICITA:</b> Ing. Jorge Crespo	<b>ENSAYADO:</b>	Ing. Cristina Vintimilla				
	<b>CALCULADO:</b>	Ing. Cristina Vintimilla				
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">ENSAYO DE DESGASTE MECANICO DE LOS AGREGADOS.</th> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center;">MAQUINA DE LOS ANGELES.</td> </tr> </table>			ENSAYO DE DESGASTE MECANICO DE LOS AGREGADOS.		MAQUINA DE LOS ANGELES.	
ENSAYO DE DESGASTE MECANICO DE LOS AGREGADOS.						
MAQUINA DE LOS ANGELES.						
	<b>ENSAYO</b>	1				
<b>A</b>	<b>PESO DEL MATERIAL ANTES DEL ENSAYO</b>	5001 gm.				
<b>B</b>	<b>PESO DEL MATERIAL NO DESGASTADO DESPUES DEL ENSAYO</b>	4340 gm.				
<b>C=A-B</b>	<b>PESO DEL MATERIAL PERDIDO DESPUES DEL ENSAYO</b>	661 gm.				
<b>D=C/A*100</b>	<b>% DE DESGASTE.</b>	13,2 %				
<b>OBSERVACIONES:</b>						

Ing. Cristina Vintimilla  
 MASTER EN GEOTECNIA  
 Senescyt 1007-05-605320





## ANEXO 2: Reportes de Resultados



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS

**PROYECTO:** TESIS CASO 1- A. G. DE SANTA ISABEL, A. F. DE SANTA ISABEL  
**CONTRATISTA/CLIENTE:** ING. JORGE CRESPO  
**FECHA:** JULIO DE 2017  
**NORMA:** INEN NTE 1773:2010

ID	FECHA	A/C	EDAD	ENSAVO	FECHA ROTURA	REQUERIDO	DIMENSIONES			PESO	ÁREA	CARGA	ESFUERZO COMPRESIÓN		DENSIDAD	
							DIAMETRO1	DIAMETRO2	DIAM PROM				ALTAURA1	ALTAURA2		KG/CM2
1	18/04/2017	0.35	7		25/04/2017		15.00	15.00	15.00	12181	176.71	62890	355.88	34.91	2260.01	
2	18/04/2017	0.35	14		02/05/2017		15.10	15.10	15.10	12437	179.08	68020	379.83	37.26	2269.61	
3	18/04/2017	0.35	21		09/05/2017		15.20	15.20	15.25	12396	182.65	83120	455.07	44.64	2217.84	
4	18/04/2017	0.35	28		16/05/2017		15.30	15.20	15.25	12356	182.65	77440	423.97	41.59	2251.15	
5	19/04/2017	0.40	7		26/04/2017		15.00	14.80	14.90	12193	174.37	51710	296.56	29.09	2288.95	
6	19/04/2017	0.40	14		03/05/2017		15.10	15.10	15.10	12454	179.08	60480	337.73	33.13	2276.43	
7	19/04/2017	0.40	21		10/05/2017		15.10	15.30	15.20	12399	181.46	56010	308.67	30.28	2236.65	
8	19/04/2017	0.40	21		10/05/2017		15.10	15.30	15.20	12298	181.46	54730	301.61	29.59	2211.19	
9	19/04/2017	0.40	28		17/05/2017		15.50	15.00	15.25	12310	182.65	58480	320.17	31.41	2202.46	
10	19/04/2017	0.40	28		17/05/2017		15.20	15.10	15.15	12413	180.27	58920	326.85	32.06	2250.30	
11	25/04/2017	0.45	7		02/05/2017		15.10	15.20	15.15	12460	180.27	38930	215.96	21.19	2262.52	
12	25/04/2017	0.45	14		09/05/2017		14.90	15.10	15.00	12260	176.71	50780	287.36	28.19	2263.54	
13	25/04/2017	0.45	28		23/05/2017		15.00	15.00	15.05	12351	181.46	60220	331.87	32.56	2220.72	
14	25/04/2017	0.45	28		23/05/2017		15.00	15.10	15.05	12495	177.89	57350	322.38	31.63	2296.37	
15	26/04/2017	0.45	28		24/05/2017		15.10	15.30	15.20	12375	181.46	55230	304.37	29.86	2228.67	
16	26/04/2017	0.45	28		24/05/2017		14.90	15.30	15.10	12385	179.08	55150	307.97	30.21	2256.43	
17	27/04/2017	0.50	7		04/05/2017		15.30	15.20	15.25	12435	182.65	33010	180.72	17.73	2213.97	
18	27/04/2017	0.50	14		11/05/2017		15.20	15.40	15.30	12371	183.85	40810	221.97	21.78	2191.76	
19	27/04/2017	0.50	28		25/05/2017		15.10	15.20	15.15	12456	180.27	45660	253.29	24.85	2258.09	
20	27/04/2017	0.50	28		25/05/2017		15.00	15.10	15.05	12284	177.89	47970	269.65	26.45	2245.60	
21	28/04/2017	0.50	28		26/05/2017		15.00	15.20	15.10	12251	179.08	47990	262.96	25.80	2228.38	
22	28/04/2017	0.50	28		26/05/2017		15.10	15.30	15.20	12424	181.46	48310	266.23	26.12	2230.21	
23	02/05/2017	0.55	7		09/05/2017		14.90	15.10	15.00	12341	179.08	24130	134.75	13.22	2241.10	
24	02/05/2017	0.55	14		16/05/2017		15.00	15.00	15.00	12266	176.71	27070	153.18	15.03	2264.64	
25	09/05/2017	0.55	21		30/05/2017		15.00	15.10	15.05	12315	177.89	36490	205.12	20.12	2299.88	
26	09/05/2017	0.55	21		30/05/2017		15.10	15.20	15.15	12422	180.27	34780	192.94	18.93	2255.62	
27	09/05/2017	0.55	28		06/06/2017		15.10	15.10	15.10	12380	179.08	43050	240.40	23.58	2266.61	
28	09/05/2017	0.55	28		06/06/2017		15.10	15.10	15.10	12400	179.08	42650	238.16	23.36	2270.27	
29	12/05/2017	0.60	7		19/05/2017		15.30	15.30	15.30	12293	183.85	23850	129.72	12.73	2289.82	
30	12/05/2017	0.60	14		26/05/2017		15.20	15.20	15.20	12193	181.46	29740	163.89	16.08	2285.53	
31	12/05/2017	0.60	21		02/06/2017		15.40	15.40	15.40	12353	186.27	32430	174.11	17.08	2240.52	
32	12/05/2017	0.60	21		02/06/2017		15.40	15.30	15.35	12115	185.06	25780	139.31	13.67	2234.34	
33	15/05/2017	0.60	28		12/06/2017		15.40	15.40	15.40	12185	186.27	39340	211.20	20.72	2240.33	
34	15/05/2017	0.60	28		12/06/2017		15.40	15.30	15.35	12363	185.06	37720	203.83	20.00	2256.97	
															<b>Densidad promedio</b>	<b>2250.16</b>

Ing. Paul Illescas Cárdenas  
 Jefe de Laboratorio





**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**  
 LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS  
 REPORTE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN

PROYECTO: TESIS CASO 1: A. G. DE SANTA ISABEL A. F. DE SANTA ISABEL FISCALIZADOR: N/A JULIO DE 2017 NORMA: INEN NTE 2554:2011  
 CONTRATISTA/CLIENTE: ING. JORGE CRESPO

ID	FECHA CONFIECC.	A/C	TIEMPO ENSAYO	FECHA ROTURA	DIMENSIONES (MM)			LUZ LIBRE (MM)		PESO	CARGA N	ESFUERZO MPa	
					LONG 1	LONG 2	ANCHO 1	ANCHO 2	ALT 1				ALT 2
1	18/04/2017	0.35	7	25/04/2017	530	530	150	150	150	457.2	27227	32660	4.42
2	18/04/2017	0.35	14	02/05/2017	535	535	150	150	150	457.2	27316	34050	4.61
3	18/04/2017	0.35	21	09/05/2017	534	535	151	151	150	457.2	27674	37580	4.99
4	18/04/2017	0.35	28	16/05/2017	533	533	152	149	150	457.2	27599	39840	5.38
5	19/04/2017	0.40	7	26/04/2017	535	534	150	150	150	457.2	27680	29890	4.05
6	19/04/2017	0.40	14	03/05/2017	537	536	151	152	150	457.2	27732	31680	4.25
7	19/04/2017	0.40	21	10/05/2017	532	533	149	150	150	457.2	27102	33940	4.51
8	19/04/2017	0.40	21	10/05/2017	535	534	152	150	150	457.2	27147	33500	4.61
9	19/04/2017	0.40	28	17/05/2017	533	535	150	151	150	457.2	27512	37840	5.08
10	19/04/2017	0.40	28	17/05/2017	533	534	150	150	150	457.2	27432	35370	4.67
11	25/04/2017	0.45	7	02/05/2017	534	534	152	152	150	457.2	27585	26970	3.61
12	25/04/2017	0.45	14	09/05/2017	535	535	150	150	150	457.2	27432	31890	4.32
13	25/04/2017	0.45	28	23/05/2017	534	534	149	149	150	457.2	27436	33890	4.62
14	25/04/2017	0.45	28	23/05/2017	535	534	150	150	150	457.2	27728	31917	4.27
15	26/04/2017	0.45	28	24/05/2017	536	536	150	150	151	457.2	27902	32770	4.38
16	26/04/2017	0.45	28	24/05/2017	536	536	149	152	149	457.2	27456	32360	4.34
17	27/04/2017	0.50	7	04/05/2017	537	537	151	151	153	457.2	27830	23530	3.04
18	27/04/2017	0.50	14	11/05/2017	533	534	152	152	150	457.2	27635	26200	3.48
19	27/04/2017	0.50	28	25/05/2017	533	537	151	151	150	457.2	27626	27130	3.63
20	27/04/2017	0.50	28	25/05/2017	534	534	150	150	151	457.2	27600	29230	3.91
21	28/04/2017	0.50	28	26/05/2017	533	534	152	152	150	457.2	27505	26840	3.56
22	28/04/2017	0.50	28	26/05/2017	535	536	152	151	153	457.2	27505	29260	3.77
23	02/05/2017	0.55	7	09/05/2017	535	536	152	153	154	457.2	27859	18570	2.36
24	02/05/2017	0.55	14	16/05/2017	533	534	152	152	150	457.2	27635	22360	2.97
25	09/05/2017	0.55	21	30/05/2017	535	532	153	153	150	457.2	27482	25740	3.40
26	09/05/2017	0.55	21	30/05/2017	536	537	151	153	152	457.2	28037	27740	3.56
27	09/05/2017	0.55	28	06/06/2017	537	537	152	152	151	457.2	27850	28670	3.78
28	09/05/2017	0.55	28	06/06/2017	533	534	150	151	151.5	457.2	27440	28000	3.72
29	12/05/2017	0.60	7	19/05/2017	534	534	150	150	150	457.2	27548	21010	2.85
30	12/05/2017	0.60	14	26/05/2017	536	537	152	152	152	457.2	27877	20570	2.68
31	12/05/2017	0.60	21	02/06/2017	536	537	151	152	152	457.2	27900	17370	2.26
32	12/05/2017	0.60	21	02/06/2017	532	533	151	152	150	457.2	27295	16860	2.25
33	15/05/2017	0.60	28	12/06/2017	534	535	152	152	154	457.2	28032	26230	3.33
34	15/05/2017	0.60	28	12/06/2017	530	536	152	153	152	457.2	27642	21830	2.85

Ing. Paúl Illiescas Cárdenas  
 Jefe de Laboratorio

Anexo 2: Reportes de resultados



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS

REPORTE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: TESIS CASO 1.- A. G. DE PAUTE; A. F. DE SANTA ISABEL      FISCALIZADOR: N/A      NORMA: INEN NTE 1773:2010

CONTRATISTA/CLIENTE ING. JORGE CRESPO      FECHA: JULIO DE 2017

ID	FECHA CONFECC.	EDAD A/C	ENSAYO	FECHA ROTURA	REQUERIDO	DIMENSIONES			PESO gr	ÁREA CM2	CARGA KGF	ESFUERZO COMPRESIÓN KG/CM2	DENSIDAD		
						DIAMETRO1	DIAMETRO2	DIAM PROM							
101	31/05/2017	0.35	7	01/01/1900	fc	15.10	15.20	15.15	29.10	12200	180.27	40970	227.27	22.30	2325.69
102	31/05/2017	0.35	7	07/06/2017		15.40	15.40	15.40	29.20	12271	186.27	43770	234.99	23.05	2260.01
103	31/05/2017	0.35	14	14/06/2017		15.30	15.50	15.40	30.60	30.40	186.27	59230	317.99	31.19	2178.46
104	31/05/2017	0.35	14	14/06/2017		15.30	15.20	15.25	29.30	12213	182.65	60070	328.87	32.26	2282.05
105	31/05/2017	0.35	28	28/06/2017		15.25	15.24	15.25	30.60	12309	182.53	65700	359.93	35.31	2203.72
106	31/05/2017	0.35	7	07/06/2017		15.30	15.30	15.30	30.50	12383	183.85	48570	264.18	25.92	2208.28
107	02/06/2017	0.40	7	09/06/2017		15.30	15.40	15.35	29.60	12504	185.06	43770	236.52	23.20	2286.57
108	02/06/2017	0.40	7	09/06/2017		15.20	15.30	15.25	29.60	12337	182.65	46070	252.23	24.74	2285.72
109	02/06/2017	0.40	14	16/06/2017		15.00	15.30	15.15	30.60	12700	180.27	69900	387.76	38.04	2306.10
110	02/06/2017	0.40	14	16/06/2017		10.15	10.25	10.20	20.30	3880	81.71	39970	415.72	40.78	2335.06
111	02/06/2017	0.40	28	30/06/2017		15.30	15.30	15.30	30.30	12559	183.85	67530	367.30	36.03	2258.17
112	02/06/2017	0.40	28	30/06/2017		15.25	15.30	15.28	29.20	12411	183.25	77540	423.13	41.51	2315.41
119	07/06/2017	0.45	7	14/06/2017		15.20	15.30	15.25	30.60	12546	182.65	70840	387.84	38.05	2246.51
120	07/06/2017	0.45	7	14/06/2017		15.20	15.00	15.10	30.60	12750	179.08	71570	399.66	39.21	2330.53
121	07/06/2017	0.45	14	21/06/2017		15.20	15.00	15.10	30.60	12677	179.08	70230	392.17	38.47	2317.19
122	07/06/2017	0.45	14	21/06/2017		14.90	15.00	14.95	30.60	12580	175.54	60220	343.06	33.65	2345.83
123	07/06/2017	0.45	28	05/07/2017		15.18	15.25	15.22	30.60	12755	181.82	76100	418.55	41.06	2303.88
124	07/06/2017	0.45	28	05/07/2017		14.49	15.40	14.95	29.30	12679	175.42	77600	442.36	43.40	2462.61
125	12/06/2017	0.35	7	19/06/2017		15.30	15.20	15.25	30.50	12735	182.65	76130	416.80	40.89	2282.72
126	12/06/2017	0.35	14	26/06/2017		15.40	15.50	15.45	30.50	12685	187.48	84560	451.04	44.25	2218.42
127	12/06/2017	0.35	28	10/07/2017		14.93	15.02	14.98	30.50	12651	176.13	94800	538.25	52.80	2355.06
128	12/06/2017	0.35	28	10/07/2017		15.26	15.34	15.30	30.50	12900	183.85	109900	548.81	53.84	2300.47
129	13/06/2017	0.40	7	20/06/2017		15.30	15.00	15.15	30.70	12476	180.27	64330	356.86	35.01	2261.72
130	13/06/2017	0.40	14	27/06/2017		15.20	15.00	15.10	30.70	12699	179.08	73470	410.27	40.25	2325.02
131	13/06/2017	0.40	28	11/07/2017		14.95	15.18	15.07	30.50	12678	178.25	86880	487.41	47.81	2328.15
132	13/06/2017	0.40	28	11/07/2017		15.25	15.24	15.25	30.60	12802	182.53	85150	466.49	45.76	2295.74
133	15/06/2017	0.45	7	22/06/2017		15.20	15.30	15.25	30.70	12688	182.65	57180	313.05	30.71	2266.38
134	15/06/2017	0.45	14	29/06/2017		15.00	15.20	15.10	30.70	12578	179.08	68160	380.61	37.34	2291.59
135	15/06/2017	0.45	28	13/07/2017		15.13	15.18	15.16	30.60	12683	180.39	73600	408.01	40.03	2301.49
136	15/06/2017	0.45	28	13/07/2017		15.23	15.23	15.23	30.60	12795	182.18	75370	413.72	40.59	2295.25
137	16/06/2017	0.50	7	23/06/2017		15.10	15.10	15.10	30.50	12709	179.08	43870	244.98	24.03	2330.67
138	16/06/2017	0.50	7	23/06/2017		15.10	15.10	15.10	30.50	12677	179.08	42690	236.39	23.39	2320.99
139	16/06/2017	0.50	14	30/06/2017		15.00	15.10	15.05	30.40	12712	177.89	59960	337.05	33.06	2346.73
140	16/06/2017	0.50	14	30/06/2017		15.00	15.00	15.00	30.50	12644	176.71	61660	348.92	34.23	2342.20
141	16/06/2017	0.50	28	14/07/2017		15.20	15.10	15.15	30.60	12791	180.27	66560	369.23	36.22	2318.82
142	16/06/2017	0.50	28	14/07/2017		15.20	15.30	15.25	30.60	12770	182.65	67260	368.24	36.12	2292.25
143	22/06/2017	0.55	7	29/06/2017		14.90	15.20	15.05	30.50	12542	177.89	39690	223.11	21.89	2304.00
144	22/06/2017	0.55	7	29/06/2017		15.20	15.30	15.25	30.50	12742	182.65	40570	222.11	21.79	2287.72




**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS

REPORTE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

PROYECTO: TESIS CASO 1: A. G. DE PAUTE, A. F. DE SANTA ISABEL FISCALIZADOR: N/A

CONTRATISTA/CLIENTE	ING. JORGE CRESPO	FECHA:	JULIO DE 2017	NORMA:	INEN NTE 1773:2010										
145	22/06/2017	0.55	14	06/07/2017	15.22	15.14	15.18	30.60	30.70	12747	180.98	47970	265.06	26.00	2297.97
146	22/06/2017	0.55	14	06/07/2017	15.10	15.21	15.16	30.60	30.70	12640	180.39	49140	272.42	26.72	2286.20
147	22/06/2017	0.55	28	20/07/2017	15.10	15.20	15.15	30.60	30.40	12660	180.27	56890	315.59	30.96	2302.60
148	22/06/2017	0.55	28	20/07/2017	15.20	15.30	15.25	30.50	30.70	12745	182.65	54590	298.87	29.32	2280.28
149	26/06/2017	0.60	7	03/07/2017	15.01	15.16	15.09	30.60	30.50	12600	178.72	26490	148.22	14.54	2307.70
150	26/06/2017	0.60	7	03/07/2017	15.34	15.27	15.31	30.50	30.70	12673	183.97	25350	137.79	13.52	2251.13
151	26/06/2017	0.60	14	10/07/2017	15.01	15.17	15.09	30.50	30.60	12578	178.84	37900	211.92	20.79	2302.14
152	26/06/2017	0.60	14	10/07/2017	15.29	15.27	15.28	30.50	30.60	12713	183.37	39170	213.61	20.95	2269.34
153	26/06/2017	0.60	28	24/07/2017	15.10	15.30	15.20	30.70	30.60	12647	181.46	48060	264.85	25.98	2273.95
154	26/06/2017	0.60	28	24/07/2017	15.10	15.00	15.05	30.60	30.60	12443	177.89	48420	272.18	26.70	2285.81
													Densidad promedio		2295.28

Ing. Paul Illescas Cárdenas  
Jefe de Laboratorio

Anexo 2: Reportes de resultados



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS  
REPORTE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN

**PROYECTO:** TESIS CASO 1: A. G. DE PAUTE; A. F. DE SANTA ISABEL      **FISCALIZADOR:** N/A      **FECHA:** JULIO DE 2017      **NORMA:** INEN NTE 2554:2011  
**CONTRATISTA/CLIENTE:** ING. JORGE CRESPO

ID	FECHA CONFEC.	A/C	EDAD ENSAYO	FECHA ROTURA	DIMENSIONES (MM)						LUZ LIBRE (mm)	PESO	CARGA N	ESFUERZO MPa
					LONG 1	LONG 2	ANCHO 1	ANCHO 2	ALT 1	ALT 2				
101	31/05/2017	0.35	7	07/06/2017	533	533	151	151	150.5	150	457.2	27455	27840	3.73
102	31/05/2017	0.35	7	07/06/2017	535	538	150	153	149	152	457.2	27800	29710	3.96
103	31/05/2017	0.35	14	14/06/2017	530	535	151	152	150	150	457.2	27678	34970	4.69
104	31/05/2017	0.35	14	14/06/2017	533	534	151	153	153	153	457.2	27869	31040	3.99
105	31/05/2017	0.35	28	28/06/2017	535	533	152	150.5	151	151	457.2	27770	38700	5.13
106	31/05/2017	0.35	7	07/06/2017	533	533	151	151.5	153	153	457.2	28192	31170	4.02
107	02/06/2017	0.40	7	09/06/2017	534	536	150	151	151	151	457.2	28087	29140	3.88
108	02/06/2017	0.40	7	09/06/2017	533	533	152	151.5	152	152	457.2	28097	28550	3.72
109	02/06/2017	0.40	14	16/06/2017	530	535	152.5	151	150	150	457.2	27862	38570	5.16
110	02/06/2017	0.40	14	16/06/2017	535	535	151	151.5	151	151.5	457.2	28186	36420	4.81
111	02/06/2017	0.40	28	30/06/2017	535	538	150	151	150	150	457.2	27982	36880	4.98
112	02/06/2017	0.40	28	30/06/2017	533	536	151	151	153	153	457.2	28435	38890	5.03
119	07/06/2017	0.45	7	14/06/2017	536	537	152	150	152	151	457.2	28378	37540	4.95
120	07/06/2017	0.45	7	14/06/2017	534	532	152	151	151	150	457.2	28128	36600	4.88
121	07/06/2017	0.45	14	21/06/2017	534	534	151	152	150	150	457.2	28191	36360	4.88
122	07/06/2017	0.45	14	21/06/2017	532	533	151	150	150	150	457.2	28617	37400	5.05
123	07/06/2017	0.45	28	05/07/2017	536	535	153	151	152	151	457.2	28456	39930	5.23
124	07/06/2017	0.45	28	05/07/2017	534	535	152	152	152	152	457.2	28351	41610	5.42
125	12/06/2017	0.35	7	19/06/2017	535	535	153	153	152	152	457.2	28468	38960	5.09
126	12/06/2017	0.35	14	26/06/2017	536	534	152	152	153	152	457.2	28250	38530	5.00
127	12/06/2017	0.35	28	10/07/2017	533	532	152	151	150	150.6	457.2	28331	47210	6.31
128	12/06/2017	0.35	28	10/07/2017	531	535	151	151	151	151	457.2	28424	47610	6.24
129	13/06/2017	0.40	7	20/06/2017	535	536	152	151	153	152	457.2	28304	37620	4.88
130	13/06/2017	0.40	14	27/06/2017	536	538	151.5	152	150.5	153	457.2	28368	40360	5.28
131	13/06/2017	0.40	28	11/07/2017	534	535	152	153	151	151	457.2	28392	45030	5.92
132	13/06/2017	0.40	28	11/07/2017	534	535	152	150	152	152	457.2	28223	39330	5.15
133	15/06/2017	0.45	7	22/06/2017	536	537	152	153	154	154	457.2	28518	30210	3.82
134	15/06/2017	0.45	14	29/06/2017	534	534	150	152	152	151.5	457.2	28105	34490	4.53
135	15/06/2017	0.45	28	13/07/2017	537	539	153	153	152.5	150.5	457.2	28399	39610	5.16
136	15/06/2017	0.45	28	13/07/2017	537	533	152	152	151.6	150	457.2	27890	41550	5.50
137	16/06/2017	0.50	7	23/06/2017	536	538	151	151	152	150	457.2	28350	26600	3.53
138	16/06/2017	0.50	7	23/06/2017	536	536	151	150	150	153	457.2	28704	30550	3.96
139	16/06/2017	0.50	14	30/06/2017	531	534	151	151	150	151.5	457.2	28346	31980	4.26
140	16/06/2017	0.50	14	30/06/2017	534	536	150	152	151	151	457.2	28447	33250	4.42



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

LABORATORIO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y MECÁNICA DE SUELOS  
 REPORTE DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE HORMIGÓN

**PROYECTO:** TESIS CASO 1: A. G. DE PAUTE; A. F. DE SANTA ISABEL      **FISCALIZADOR:** N/A      **FECHA:** JULIO DE 2017      **NORMA:** INEN NTE 2554:2011  
**CONTRATISTA/CLIENTE:** ING. JORGE CRESPO

ID	FECHA CONFECC.	A/C	EDAD ENSAYO	FECHA ROTURA	DIMENSIONES (MM)			LUZ LIBRE (mm)	PESO	CARGA N	ESFUERZO MPa	
					LONG 1	LONG 2	ANCHO 1					
141	16/06/2017	0.50	28	14/07/2017	353	534	150	151	151	28090	38490	5.06
142	16/06/2017	0.50	28	14/07/2017	532	536.5	150	150	151	28147	35530	4.75
143	22/06/2017	0.55	7	29/06/2017	533	534	153	151.5	151	28018	25110	3.33
144	22/06/2017	0.55	7	29/06/2017	534	537	151	152	153	28382	25950	3.33
145	22/06/2017	0.55	14	06/07/2017	533	535	149.5	152	151	28005	31250	4.16
146	22/06/2017	0.55	14	06/07/2017	532	535	151	150	151	28057	30370	4.05
147	22/06/2017	0.55	28	20/07/2017	535	534	151	151	152	27889	34100	4.50
148	22/06/2017	0.55	28	20/07/2017	535	537	152	150	151	27974	29590	3.96
149	26/06/2017	0.60	7	03/07/2017	533	534	152	152	151	27876	20620	2.71
150	26/06/2017	0.60	7	03/07/2017	534	538	152	152	152.5	27982	18270	2.40
151	26/06/2017	0.60	14	10/07/2017	533	534	151	151	152	27910	25530	3.37
152	26/06/2017	0.60	14	10/07/2017	535	538	153	150	151	28168	27350	3.60
153	26/06/2017	0.60	28	24/07/2017	531	531	151	151	151	27687	28401	3.77
154	26/06/2017	0.60	28	24/07/2017	535	535	151	151	152	28169	34000	4.49

Ing. Paúl Illasca Cárdenas  
 Jefe de Laboratorio



## ANEXO 3: Formularios del diseño de mezclas

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	25/4/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	S	
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	S	
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,45		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHES0,45-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> ACI 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	330 Kg/cm <sup>2</sup>	(33 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

**6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA**

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

**7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO  $f_{cr}$**

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	330 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>414 Kg/cm<sup>2</sup></b>

**8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO**

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	414 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,40</b>

**9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO**

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,40} = \mathbf{500,00}$$

Se usarán 500 kg de cemento por cada m3 de concreto

**10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO**

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{500}{2920} = \mathbf{0,171 \text{ m}^3}$$



**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/4	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/8	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/4	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.  
 See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b<sub>0</sub>)= **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

**Vol. A. G. = 0,360 m3**

Volumen de árido fino = 1- vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

**Vol. A. F. = 0,249 m3**

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **626,471 kg**

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 lts 0,017 m3
Cemento	500,00 kg	8,73 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	626,47 kg	10,93 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	<b>1,00%</b>
% de Humedad del agregado fino	<b>2,90%</b>

CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD

Anexo 3: Diseño de mezclas

	<b>POR M3</b>	<b>BATCH</b>
Cemento	500,00 kg	8,73 Kg
Peso Agregado grueso	931,23 kg	16,25 kg
Peso Agregado fino	644,64 kg	11,25 kg
Agua a ser adicionada	224,07 kg	3,91 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg
NOTA :		

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	27/4/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,5		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHES0,5-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	245 Kg/cm <sup>2</sup>	(25 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	245 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>329 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	329 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,50</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,50} = \mathbf{400,00}$$

Se usarán 400 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{400}{2920} = \mathbf{0,137 \text{ m}^3}$$

**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate*			
	2.40	2.60	2.80	3.00
¾	0.50	0.48	0.46	0.44
½	0.59	0.57	0.55	0.53
¾	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1½	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29. These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.5.1. See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b<sub>0</sub>)= **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \text{ kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. = **0,360 m<sup>3</sup>**

Volumen de árido fino = 1 - vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. = **0,283 m<sup>3</sup>**

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **712,714 kg**

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M <sup>3</sup> DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	17,451 lts 0,017 m <sup>3</sup>
Cemento	400,00 kg	6,98 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	712,71 kg	12,44 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	1,00%
% de Humedad del agregado fino	2,50%

CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD



Anexo 3: Diseño de mezclas

	<b>POR M3</b>	<b>BATCH</b>
Cemento	400,00 kg	6,98 Kg
Peso Agregado grueso	931,23 kg	16,25 kg
Peso Agregado fino	730,53 kg	12,75 kg
Agua a ser adicionada	227,84 kg	3,98 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg
NOTA :		

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	2/5/2027		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,55		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHES0,55-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	207 Kg/cm <sup>2</sup>	(21 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19.0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	207 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>291 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	291 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,55</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,55} = \mathbf{363,64}$$

Se usarán 363,64 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{364}{2920} = \mathbf{0,125 \text{ m}^3}$$



**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate-			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/4	0.50	0.48	0.46	0.44
3/8	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/4	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29. These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1. See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b<sub>0</sub>)= **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

**Vol. A. G. = 0,360 m3**

Volumen de árido fino = 1- vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

**Vol. A. F. = 0,295 m3**

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **744,072 kg**

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 lts 0,017 m3
Cemento	363,64 kg	6,35 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	744,07 kg	12,99 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	<b>1,00%</b>
% de Humedad del agregado fino	<b>2,00%</b>

CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD



Anexo 3: Diseño de mezclas

	<b>POR M3</b>	<b>BATCH</b>
Cemento	363,64 kg	6,35 Kg
Peso Agregado grueso	931,23 kg	16,25 kg
Peso Agregado fino	758,95 kg	13,24 kg
Agua a ser adicionada	232,02 kg	4,05 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg
NOTA :		

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	5/5/2027		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,6		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESS0,6-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1		<input type="checkbox"/> Road Note Laboratory

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	207 Kg/cm <sup>2</sup>	(21 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	207 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>291 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	---
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	291 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,55</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,55} = \mathbf{363,64}$$

Se usarán 363,64 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{364}{2920} = \mathbf{0,125 \text{ m}^3}$$

**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate+			
	2.40	2.60	2.80	3.00
¾	0.50	0.48	0.46	0.44
½	0.59	0.57	0.55	0.53
¾	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1½	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.  
 †See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b0) = **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \text{ kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. = **0,360 m3**

Volumen de árido fino = 1 - vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. = **0,295 m3**

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **744,072 kg**

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 lts
Cemento	363,64 kg	6,35 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	744,07 kg	12,99 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg
		0,017 m3

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	1,00%
% de Humedad del agregado fino	4,20%

CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD



Anexo 3: Diseño de mezclas

	<b>POR M3</b>	<b>BATCH</b>
Cemento	363,64 kg	6,35 Kg
Peso Agregado grueso	931,23 kg	16,25 kg
Peso Agregado fino	775,32 kg	13,53 kg
Agua a ser adicionada	215,65 kg	3,76 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg
NOTA :		

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	12/6/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	S	
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	VIPESA	P	
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,35		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESP0,35-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1		<input type="checkbox"/> Road Note Laboratory

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	370 Kg/cm <sup>2</sup>	(37 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO						
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN			
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo	
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5	
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0	
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0	
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0	
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5	
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0	
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5	
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0	

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f_c$ =	370 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	100 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>470 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	470 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,35</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,35} = \mathbf{571,43}$$

Se usarán 571,43 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{571}{2920} = \mathbf{0,196 \text{ m}^3}$$



**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.

†These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.

See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b <sub>0</sub> )=	<b>0,66</b>
--	-------------

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:

$$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. =	<b>0,360 m3</b>
--------------	-----------------

Volumen de árido fino = 1- vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. =	<b>0,224 m3</b>
--------------	-----------------

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso =	<b>922,014 kg</b>
Peso árido fino =	<b>564,868 kg</b>

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 lts 0,017 m3
Cemento	571,43 kg	9,97 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	564,87 kg	9,86 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	7,85%
% de Humedad del agregado fino	1,99%

**CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD**

	POR M3	BATCH
Cemento	571,43 kg	9,97 Kg
Peso Agregado grueso	994,39 kg	17,35 kg
Peso Agregado fino	576,11 kg	10,05 kg
Agua a ser adicionada	165,40 kg	2,89 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

NOTA :

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	13/6/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	S	
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	VIPESA	P	
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,4		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESP0,4-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1	<input type="checkbox"/> Road Note Laboratory	

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	330 Kg/cm <sup>2</sup>	(33 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	330 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>414 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	---
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	414 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,40</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,40} = \mathbf{500,00}$$

Se usarán 500 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{500}{2920} = \mathbf{0,171 \text{ m}^3}$$

**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/4	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 †These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.  
 ‡See ASTM C 1.36 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b<sub>0</sub>)= **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto:

$$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \text{ kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. = **0,360 m<sup>3</sup>**

Volumen de árido fino = 1 - vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. = **0,249 m<sup>3</sup>**

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **626,471 kg**

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 lts 0,017 m <sup>3</sup>
Cemento	500,00 kg	8,73 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	626,47 kg	10,93 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	1,46%
% de Humedad del agregado fino	2,85%

**CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD**

	POR M3	BATCH
Cemento	500,00 kg	8,73 Kg
Peso Agregado grueso	935,48 kg	16,33 kg
Peso Agregado fino	644,33 kg	11,24 kg
Agua a ser adicionada	220,14 kg	3,84 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

NOTA :

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	15/6/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	VIPESA		P
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,45		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESP0,45-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A CI 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	286 Kg/cm <sup>2</sup>	(29 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO		PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN	
Pulg	mm			Suave	Moderado Severo
3/8	9,5	3,0		4,5	6,0 7,5
1/2	12,5	2,5		4,0	5,5 7,0
3/4	19	2,0		3,5	5,0 6,0
1	25	1,5		3,0	4,5 6,0
1 1/2	38	1,0		2,5	4,5 5,5
2	50,8	0,5		2,0	4,0 4,0
3	76,1	0,2		1,5	3,5 4,5
6	152,4	0,2		1,0	3,0 4,0

<b>TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)</b>	3/4
<b>PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO</b>	<b>2</b>
<b>LLEVA AIRE INCLUIDO?</b>	NO
<b>NIVEL EXPOSICIÓN</b>	SUAVE
<b>PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO</b>	<b>0,0</b>

<b>Volumen de aire por volumen unitario =</b>	<b>0,020</b>
---	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	286 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>370 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	370 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,45</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,45} = \mathbf{444,44}$$

Se usarán 444,44 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{444}{2920} = \mathbf{0,152 \text{ m}^3}$$

**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/4	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 †These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.  
 ‡See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b <sub>0</sub> )=	<b>0,66</b>
--	-------------

Determinación del volumen de agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. =	<b>0,360 m<sup>3</sup></b>
--------------	----------------------------

Volumen de árido fino = 1- vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. =	<b>0,268 m<sup>3</sup></b>
--------------	----------------------------

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso =	<b>922,014 kg</b>
Peso árido fino =	<b>674,388 kg</b>

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 lts 0,017 m <sup>3</sup>
Cemento	444,44 kg	7,76 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	674,39 kg	11,77 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	1,46%
% de Humedad del agregado fino	2,92%

**CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD**

	POR M3	BATCH
Cemento	444,44 kg	7,76 Kg
Peso Agregado grueso	935,48 kg	16,33 kg
Peso Agregado fino	694,08 kg	12,11 kg
Agua a ser adicionada	220,20 kg	3,84 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

NOTA :

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	16/6/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	VIPESA		P
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,5		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESP0,5-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	245 Kg/cm <sup>2</sup>	(25 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

<b>TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)</b>	3/4
<b>PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO</b>	<b>2</b>
<b>LLEVA AIRE INCLUIDO?</b>	NO
<b>NIVEL EXPOSICIÓN</b>	SUAVE
<b>PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO</b>	<b>0,0</b>

<b>Volumen de aire por volumen unitario =</b>	<b>0,020</b>
---	--------------



### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lt/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f_c =$	245 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr} =$	<b>329 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	329 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,50</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,50} = \mathbf{400,00}$$

Se usarán 400 kg de cemento por cada m3 de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{400}{2920} = \mathbf{0,137 \text{ m}^3}$$

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/4	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 †These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.

See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b0) = **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. = **0,360 m3**

Volumen de árido fino = 1 - vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. = **0,283 m3**

#### 12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **712,714 kg**

#### 13. RESUMEN DE CANTIDADES

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
		17,451 Its 0,017 m3
Cemento	400,00 kg	6,98 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	712,71 kg	12,44 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

#### 14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	3,35%
% de Humedad del agregado fino	8,50%

#### CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD

	POR M3	BATCH
Cemento	400,00 kg	6,98 Kg
Peso Agregado grueso	952,9 kg	16,63 kg
Peso Agregado fino	773,3 kg	13,50 kg
Agua a ser adicionada	163,41 kg	2,85 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

NOTA :

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	22/6/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)	S	
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	VIPESA	P	
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,55		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESP0,55-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I.211.1 <span style="margin-left: 100px;"><input type="checkbox"/> Road Note Laboratory</span>		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPESOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	207 Kg/cm <sup>2</sup>	(21 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $litros/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO									
1 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
1 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
10 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO									
1 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
1 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
10 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
contenido de aire incorporado (%), en función del tipo de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (litro agua)/(m3 de concreto)**

#### DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

Como no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	207 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	84 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>291 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

De acuerdo a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

Tabla A1.5.3.4(a) – RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	---
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	291 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0.55</b>

#### DETERMINACIÓN DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0.55} = \mathbf{363,64}$$

Se usarán **363,64 kg de cemento por cada m3 de concreto**

#### DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{364}{2920} = \mathbf{0,125 m^3}$$

**11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS**

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
¾	0.50	0.48	0.46	0.44
½	0.59	0.57	0.55	0.53
¾	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1½	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.  
 †These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.  
 ‡See ASTM C 136 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b0) = **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m3 de concreto:

$$b = \left( \frac{b}{b_0} \right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. = **0,360 m3**

Volumen de árido fino = 1- vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. = **0,295 m3**

**12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =**

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **744,072 kg**

**13. RESUMEN DE CANTIDADES**

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
	17,451 lts	0,017 m3
Cemento	363,64 kg	6,35 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	744,07 kg	12,99 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

**14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD**

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	<b>4,55%</b>
% de Humedad del agregado fino	<b>6,54%</b>

**CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD**

	POR M3	BATCH
Cemento	363,64 kg	6,35 Kg
Peso Agregado grueso	963,97 kg	16,82 kg
Peso Agregado fino	792,73 kg	13,83 kg
Agua a ser adicionada	165,50 kg	2,89 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

NOTA :

## DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN DE CEMENTO PORTLAND

### 1. DATOS DEL PROYECTO

<b>PROYECTO:</b>	TESIS MAESTRIA EN CONSTRUCCIONES		
<b>UBICACIÓN:</b>	CUENCA		
<b>CLIENTE:</b>	Ing. Jorge Crespo Crespo		
<b>REVISIÓN:</b>	UNIVERSIDAD DE CUENCA		
<b>FECHA ELABORACIÓN</b>	26/6/2017		
<b>CANTERA AGR. FINO:</b>	MARIANO HEREDIA (SANTA ISABEL)		S
<b>CANTERA AGR. GRUESO:</b>	VIPESA		P
<b>CEMENTO</b>	GUAPÁN	G	TIPO HE
<b>CLASE - RESISTENCIA</b>	0,6		
<b>MEZCLA N°:</b>	1 CODIGO	GHESP0,6-1	
<b>MÉTODO DISEÑO:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> A.C.I 211.1 <input type="checkbox"/> Road Note Laboratory		

### 2.- INFORMACIÓN PRELIMINAR

<b>TIPO DE ELEMENTO:</b>	Pavimento de hormigón	
<b>MENOR DIMENSIÓN DEL ELEMENTO:</b>	No aplica	El tamaño del arido ha sido elegido por el constructor
<b>MENOR ESPACIAMIENTO ENTRE VARILLAS:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>ESPOSOR DE LA LOSA:</b>	No aplica	El tamaño del árido ha sido elegido por el constructor
<b>AIRE INCLUIDO:</b>	NO	
<b>MÉTODO DE FABRICACIÓN:</b>	Dosificación en peso usando mezcladora mecánica	
<b>CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN:</b>	NO	
<b>NIVEL DE EXPOSICIÓN A SULFATOS:</b>	NO	
<b>TIPO DE AGREGADO FINO:</b>	Natural de río, redondeado	
<b>TIPO DE AGREGADO GRUESO:</b>	Natural de río, triturado	
<b>RESISTENCIA REQUERIDA POR EL CLIENTE:</b>	186 Kg/cm <sup>2</sup>	(19 MPa)

### 3- ELECCIÓN DEL ASENTAMIENTO

<input type="checkbox"/> Requerida por el cliente <input checked="" type="checkbox"/> Sugerida en función del tipo de elemento	
<b>CONSISTENCIA DEL CONCRETO</b>	MEDIA
<b>ASENTAMIENTO DE DISEÑO:</b>	80 +/- 20 mm

### 4.- ELECCIÓN DEL TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO

TMA =	3/4	19,0	mm	<i>De acuerdo al análisis granulométrico</i>
-------	-----	------	----	--

### 5.- ESTIMACIÓN DE CONTENIDO DE AIRE

CONTENIDO APROXIMADO DE AIRE EN EL CONCRETO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN Y TAMAÑOS DEL AGREGADO					
TAMAÑO MAX AGREGADO GRUESO		PORCENTAJE PROMEDIO APROXIMADO DE AIRE ATRAPADO	PORCENTAJE PROMEDIO TOTAL DE AIRE RECOMENDADO PARA VARIOS GRADOS DE EXPOSICIÓN		
Pulg	mm		Suave	Moderado	Severo
3/8	9,5	3,0	4,5	6,0	7,5
1/2	12,5	2,5	4,0	5,5	7,0
3/4	19	2,0	3,5	5,0	6,0
1	25	1,5	3,0	4,5	6,0
1 1/2	38	1,0	2,5	4,5	5,5
2	50,8	0,5	2,0	4,0	4,0
3	76,1	0,2	1,5	3,5	4,5
6	152,4	0,2	1,0	3,0	4,0

TAMAÑO MÁXIMO DEL ÁRIDO GRUESO (EN PULGADAS)	3/4
PORCENTAJE DE AIRE ATRAPADO	<b>2</b>
LLEVA AIRE INCLUIDO?	NO
NIVEL EXPOSICIÓN	SUAVE
PORCENTAJE DE AIRE INCLUIDO	<b>0,0</b>

Volumen de aire por volumen unitario =	<b>0,020</b>
--	--------------

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 6.- ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA

Tabla 5.1. Requerimientos aproximados de agua de mezclado y de contenido de aire para diferentes valores de asentamiento y tamaños máximos de agregados.

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $l/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

CANTIDAD DE AGUA = **200 (lt agua)/(m3 de concreto)**

#### 7.- DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA DE DISEÑO $f_{cr}$

En razón de que no existen datos estadísticos, se parte de la tabla de sobrediseño de ACI

$f'_c$ =	186 Kg/cm <sup>2</sup>
Factor sobrediseño =	70 Kg/cm <sup>2</sup>
$f_{cr}$ =	<b>256 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### 8.- ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA CEMENTO

Al no estar expuesto a condiciones especiales, se escoge la relación Agua/Cemento por RESISTENCIA

TABLE A1.5.3.4(a) — RELATIONSHIPS BETWEEN WATER-CEMENT RATIO AND COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE (SI)

Compressive strength at 28 days, MPa*	Water-cement ratio, by mass	
	Non-air-entrained concrete	Air-entrained concrete
40	0.42	—
35	0.47	0.39
30	0.54	0.45
25	0.61	0.52
20	0.69	0.60
15	0.79	0.70

Valor de resistencia ( $f_{cr}$ ) requerido	256 Kg/cm <sup>2</sup>
Relación A/C adoptada	<b>0,60</b>

#### 9.- CÁLCULO DE LA CUANTÍA DE CEMENTO

$$C = \frac{\text{AGUA (KG)}}{A/C} = \frac{200}{0,60} = \mathbf{333,33}$$

Se usarán 333,33 kg de cemento por cada m<sup>3</sup> de concreto

#### 10.- DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE CEMENTO POR VOLUMEN DE CONCRETO

$$V_{\text{CEMENTO}} = \frac{C}{\gamma_{\text{cemento}}} = \frac{333}{2920} = \mathbf{0,114 \text{ m}^3}$$

### Anexo 3: Diseño de mezclas

#### 11.- VOLUMEN DE LOS AGREGADOS

**Table 6.3.6 – Volume of coarse aggregate per unit of volume of concrete**

Nominal maximum size of aggregate, in.	Volume of oven-dry-rodded coarse aggregate* per unit volume of concrete for different fineness moduli of fine aggregate†			
	2.40	2.60	2.80	3.00
¾	0.50	0.48	0.46	0.44
½	0.59	0.57	0.55	0.53
¾	0.66	0.64	0.62	0.60
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1½	0.75	0.73	0.71	0.69
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.82	0.80	0.78	0.76
6	0.87	0.85	0.83	0.81

\*Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C 29.

†These volumes are selected from empirical relationships to produce concrete with a degree of workability suitable for usual reinforced construction. For less workable concrete, such as required for concrete pavement construction, they may be increased about 10 percent. For more workable concrete see Section 6.3.6.1.

†See ASTM C 1.36 for calculation of fineness modulus.

Volumen de árido grueso por volumen unit. de hormigón (b/b<sub>0</sub>)= **0,66**

Determinación del volumen de agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto:

$$b = \left(\frac{b}{b_0}\right) \cdot b_0$$

$$b_0 = 0,54 \quad \text{kg/m}^3$$

$$b = (0,66) \cdot b_0$$

$$b = 0,360$$

Vol. A. G. = **0,360 m<sup>3</sup>**

Volumen de árido fino = 1 - vol a.g.-vol cemento-vol. Aire - vol. Agua

Vol. A. F. = **0,306 m<sup>3</sup>**

#### 12. PESO DEL CONJUNTO DE AGREGADOS =

Peso árido grueso = **922,014 kg**

Peso árido fino = **770,213 kg**

#### 13. RESUMEN DE CANTIDADES

PESO DE CADA COMPONENTE POR M3 DE CONCRETO	VOLUMEN DEL BATCH	
	17,451 Its	0,017 m <sup>3</sup>
Cemento	333,33 kg	5,82 Kg
Agregado grueso	922,01 kg	16,09 kg
Agregado fino	770,21 kg	13,44 kg
Agua	200,00 kg	3,49 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

#### 14. CORRECCIÓN POR HUMEDAD

% de absorción del agregado grueso	2,89%
% de absorción del agregado fino	3,96%
% de Humedad del agregado grueso	4,00%
% de Humedad del agregado fino	6,50%

CANTIDADES CORREGIDAS POR HUMEDAD

	POR M3	BATCH
Cemento	333,33 kg	5,82 Kg
Peso Agregado grueso	958,89 kg	16,73 kg
Peso Agregado fino	820,28 kg	14,32 kg
Agua a ser adicionada	170,21 kg	2,97 kg
Aditivo (plastificante)	0,00 kg	0,00 kg

NOTA :