



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA CIVIL,
ARQUITECTURA Y DISEÑO**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES CON
AGREGADOS DE CUARCITA PARA SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO
VIAL, ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICO CON ADICIÓN DE
PIGMENTOS**

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

EDGAR ALEJANDRO VALLEJO BARAHONA

Director: Ing. MSc Luis Mario Almache Sánchez

2016

DECLARACIÓN

Yo, Edgar Alejandro Vallejo Barahona, declaro bajo juramento que el trabajo de investigación o tesis realizada sobre **“DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES CON AGREGADOS DE CUARCITA PARA SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO VIAL, ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICO CON ADICIÓN DE PIGMENTOS”** aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

Los derechos que como autor me corresponden, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8, 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Edgar Alejandro Vallejo Barahona
C. I.: 140075524-3

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edgar Alejandro Vallejo Barahona, bajo mi supervisión.

Ing. MSc Luis Mario Almache Sánchez

DIRECTOR

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a todas las personas que creyeron en mí y han depositado su apoyo incondicional para la realización de este trabajo.

A DIOS, por sus bendiciones y su protección a diario como lo hizo en estos años de estudio, Él ha sido quien me ha colmado de sabiduría para conducirme por la vida.

A MIS PADRES, Alejandro y Raquel, deben saber que nunca existirá forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudó a conseguirlo fue su apoyo.

"Elaborar un plan y asegurar el éxito es una de las mayores satisfacciones que un hombre inteligente puede experimentar". (Henry Fayol)

ALEJANDRO VALLEJO

AGRADECIMIENTOS

Un sincero agradecimiento a Dios por regalarme esta oportunidad en la vida y permitirme vivirla junto a todos mis seres queridos, quien siempre será mi guía, mi fortaleza y mi esperanza en todo momento y en todo lugar.

A mis padres, por toda la paciencia entregada en este duro camino, pero que siempre han estado a mi lado.

Agradezco a la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Cuenca a sus docentes y autoridades, por su formación académica.

A mi director de tesis el Al Ing. MSc Luis Mario Almache Sánchez que a pesar de la distancia supo guiarme en este proceso.

Al señor Atanasio Jara por su desinteresada colaboración en este proyecto y por brindarme todo el apoyo en la elaboración de los hormigones de altas prestaciones.

Al Ing. Patricio Ruiz por permitir y darme apertura a realizar varios ensayos en el laboratorio de control de calidad de la Unión Cementera Nacional UCEM-C.E.M Planta Guapán.

A mis hermanos que han sabido ayudarme en cada paso, especialmente en los momentos difíciles en los que siempre he tenido apoyo.

A mis amigos, que me han soportado estos años, quienes se transformaron en mi familia en Cuenca y con quienes he compartido una de las mejores etapas de mi vida.

.

ALEJANDRO VALLEJO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	II
CERTIFICACIÓN.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VI
LISTA DE ECUACIONES.....	IX
LISTA DE FIGURAS.....	X
LISTA DE TABLAS.....	XIII
RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV
CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL CONCRETO.....	1
1.1. HISTORIA DEL CONCRETO DE ALTAS PRESTACIONES.....	2
1.2. IMPORTANCIA, REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS.....	3
1.2.1. AGREGADOS.....	4
1.2.2. EL CEMENTO.....	16
1.2.3. EL AGUA DE MEZCLADO.....	17
1.2.4. AIRE.....	18
1.2.5. ADITIVOS HÍPER FLUIDIFICANTES.....	19
1.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN FRESCO.....	19
1.3.1. UNIFORMIDAD.....	20
1.3.2. SEGREGACIÓN.....	20
1.3.3. TRABAJABILIDAD.....	23
1.3.4. CONSISTENCIA.....	26
1.3.5. DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO.....	28
1.3.6. FALSO FRAGUADO.....	28
1.4. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.....	28
1.4.1. DENSIDAD.....	29
1.4.2. RESISTENCIA.....	29

1.4.3.VARIACIONES DE VOLUMEN	30
1.4.4.PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS	32
1.4.5.PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN	34
1.4.6.DURABILIDAD DEL HORMIGÓN	34
1.5. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EMPLEANDO PIGMENTOS	34
1.5.1.EFECTOS DE LOS PIGMENTOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO	34
1.5.2.EFECTOS DE LOS PIGMENTOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO	35
1.5.3.EFECTOS DE LOS PIGMENTOS EN RELACIÓN CON LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN	36
CAPÍTULO II METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	37
2.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	38
2.2. ENSAYO DE LOS MATERIALES	38
2.2.1.CEMENTO	38
2.2.2.AGUA (NTE INEN 2617:2012)	48
2.2.3.PIGMENTOS	49
2.2.4.ÁRIDOS	52
CAPÍTULO III: FABRICACIÓN DE LAS MUESTRAS DEL HORMIGÓN SIN PIGMENTOS	74
3.1. ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA DEL HORMIGÓN ($f'c = 500 \text{ kg/cm}^2$)	75
3.2. ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EL ACI 318-08	75
3.3. DISEÑO DE DOSIFICACIÓN PARA MEZCLAS DE PRUEBA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA	76
3.4. CÁLCULOS DE RESISTENCIAS REQUERIDAS DE DOSIFICACIÓN	76
3.4.1.MÉTODO DEL VOLUMEN ABSOLUTO (EN CONCORDANCIA CON COMITÉS ACI 211-4R98 Y ACI 363-2R-98)	76
3.4.2.CÁLCULO DEL CONTENIDO DEL CEMENTO Y ADITIVO	84
3.4.3.CORRECCIONES DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD	84
3.5. MEZCLAS DE PRUEBA	86
3.5.1.MEZCLA DE HORMIGÓN PATRÓN	86
3.5.2.MEZCLA DE HORMIGÓN CONVENCIONAL MÁS ADICIÓN DE SIKA VISCOCRETE 2100	93
3.6. CONTROL DE CALIDAD	97

3.7. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADO	97
3.8. LIMPIEZA (POR LAVADO)	98
3.9. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA POSIBILIDAD DE USO DE ADITIVOS	98
3.10. ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS A EDADES DE 3, 7 Y 28 DÍAS	98
3.11. ANÁLISIS DE RESULTADOS	112
3.12. SELECCIÓN DE LOS MEJORES RESULTADOS Y/O NUEVAS MEZCLAS DE PRUEBA .	112
3.13. CONCLUSIONES PRELIMINARES	113
3.14. CURVAS TIEMPO VS RESISTENCIA	113
3.15. VALIDACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	119
CAPÍTULO IV RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LOS HORMIGONES CON PIGMENTOS	120
4.1. DOSIFICACIÓN CON PORCENTAJE ÓPTIMO DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO	121
4.1.1. DOSIFICACIÓN CON 4% Y 6% DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO	121
4.1.2. COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS	135
4.1.3. RESUMEN DE LOS RESULTADOS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE PIGMENTO	135
CAPÍTULO V: APLICACIÓN DEL USO DEL HORMIGÓN CON PIGMENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS	136
5.1. GENERALIDADES DE LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES	137
5.1.1. ENSAYO DE COMPRESIÓN	138
5.1.2. CÁLCULO DE LA RESISTENCIA CARACTERÍSTICA	138
5.2. FABRICACIÓN DE ADOQUINES	139
5.2.1. Diagramas de adoquines para pavimentos de color que se ofrecen en el mercado	140
5.3. MÁS APLICACIONES DEL USO DEL HORMIGÓN COLOREADO, DE USO ESTÉTICO, EN EL MUNDO	147
5.4. VALORES Y COSTOS	150
5.4.1. DOSIFICACIÓN PARA UN m ³	150
5.4.2. COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA OBRA DE HORMIGÓN PINTADO Y UNA OBRA DE HORMIGÓN CON PIGMENTO	152
5.4.3. ANÁLISIS DE COSTOS DEL MURO DE HORMIGÓN CON PIGMENTO DE COLOR...	153
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	154
BIBLIOGRAFÍA	157

LISTA DE ECUACIONES

Ec.1. 1 Ecuación de Féret.	2
Ec.1. 2 Segregación.	21
Ec. 2. 1 Valor de la degradación.	58
Ec. 2. 2 Coeficiente de uniformidad.	58
Ec. 2. 3 Contenido total de humedad.	70
Ec. 3. 1 Ecuación de la Resistencia requerida ACI 211-4R-98.	76
Ec. 3. 2 Peso del Agregado Grueso.	79
Ec. 3. 3 Contenido de Vacíos.	80
Ec. 3. 4 Ajuste de agua de mezclado.	80
Ec. 3. 5 Calculo de la cantidad de cemento.	82
Ec. 3. 6 Calculo del contenido de aditivo.	84
Ec. 3. 7 Corrección del agua de mezclado.	85
Ec. 3. 8 Corrección por humedad del agregado fino.	85
Ec. 3. 9 Corrección por humedad del agregado grueso.	85
Ec. 5. 1 Determinación de la absorción.	139

LISTA DE FIGURAS

Fig. 1. 1 Proporciones de materiales usados en la producción de concreto por volumen	4
Fig. 1. 2 Agregado fino (Arena)	5
Fig. 1. 3 Agregado grueso (grava)	6
Fig. 1. 4 Texturas blásticas en rocas metamórficas	10
Fig. 1. 5 Trituradora Primaria	12
Fig. 1. 6 Partes de la trituradora Simple Efecto	13
Fig. 1. 7 Principales dispositivos de articulación en las machacadoras de biela simple	13
Fig. 1. 8 Extracción de bloques pétreos	14
Fig. 1. 9 Trituradora Primaria	14
Fig. 1. 10 y Fig. 1. 11 Proceso de Trituración Primaria	14
Fig. 1. 12 Esquema Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior	15
Fig. 1. 13 Corte Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior	15
Fig. 1. 14 Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior	16
Fig. 1. 15 Cemento Portland Puzolánico Tipo IP	17
Fig. 1. 16 Esquema de la ubicación del agua en la pasta de cemento hidratado	18
Fig. 1. 17 Esquematización de ensayo de segregación de Popovics	21
Fig. 1. 18 Efectos de la exudación (Bascoy)	22
Fig. 1. 19 Cono de Abrams	25
Fig. 1. 20 Medición del asentamiento, Influencia de la temperatura y el tiempo (Bascoy)	25
Fig. 1. 21 Ensayo de la mesa de Graf (Bascoy)	27
Fig. 1. 22 Ensayo de remoldeo de VeBe	27
Fig. 1. 23 Ensayo de semiesfera de Kelly (Bascoy)	28
Fig. 1. 24 Curva de relación Tensión – Deformación	33
Fig. 1. 25 Ensayo mediante los mecanismos de dispersión de polvo seco	41
Fig. 2. 1 Presentación Cemento Guapán	39
Fig. 2. 2 Densidad del cemento mediante el frasco de Le Chatelier	40
Fig. 2. 3 Mecanismos de dispersión de polvo seco	41
Fig. 2. 4 Aparato de Vicat consistencia normal del cemento	42
Fig. 2. 5 Mezcladora de Morteros	43
Fig. 2. 6 Cubos de mortero	43

Fig. 2. 7 Mesa de sacudidas	43
Fig. 2. 8 Cuarto Húmedo	43
Fig. 2. 9 Prensa de comprensión para rotura de concreto	44
Fig. 2. 10 Aparato de Vicat automático	45
Fig. 2. 11 Aparato de Vicat electrónico	45
Fig. 2. 12 Penetración de las agujas del Aparato de Vicat	45
Fig. 2. 13 Hoja Técnica 1/2 SikaCim Color S	50
Fig. 2. 14 Hoja Técnica 2/2 SikaCim Color S	51
Fig. 2. 15 Emplazamiento de los yacimientos de cuarcita	53
Fig. 2. 16 Áridos para granulometrías	54
Fig. 2. 17 Agregado grueso	55
Fig. 2. 18 Agregado fino	55
Fig. 2. 19 Granulometría del agregado grueso	55
Fig. 2. 20 Granulometría del agregado fino	55
Fig. 2. 21 Maquina de los ángeles	59
Fig. 2. 22 Ensayo de abrasión	59
Fig. 2. 23 Cuarcita retenida en el tamiz N° 12	59
Fig. 2. 24 Picnómetro	61
Fig. 2. 25 Recipiente para determinar el peso volumétrico	62
Fig. 2. 26 Peso volumétrico varillado	62
Fig. 2. 27 Compactación del agregado grueso (varillado)	62
Fig. 2. 28 Determinación del peso volumétrico	62
Fig. 2. 29 Agregado fino superficialmente seco	66
Fig. 2. 30 Determinación del peso volumétrico del agregado fino	66
Fig. 2. 31 Procedimiento de secado mediante estufa	68
Fig. 2. 32 Arena en condiciones superficialmente seca	68
Fig. 2. 33 Prueba del cono truncado	68
Fig. 2. 34 Picnómetro, muestra y agua	68
Fig. 2. 35 Grados de Humedad Posibles en una Partícula de Agregado	70
Fig. 3. 1 Muestras Cilíndricas de Hormigón	86
Fig. 3. 2 Probetas cilíndricas de Hormigón	93

Fig. 3. 3 Ensayo de Compresión	99
Fig. 3. 4 Prensa para Rotura de Concreto	99
Fig. 3. 5 Rotura de la probeta de concreto	99
Fig. 4. 1 Pigmento Azul SIKACIM Color S	121
Fig. 4. 2 Mezcla de consistencia Blanda	121
Fig. 4. 3 Mezclado en Concretera	121
Fig. 4. 4 Colocación en cilindros y viguetas	121
Fig. 5. 1 Adoquín Fantasía	140
Fig. 5. 2 Adoquín Colonial	140
Fig. 5. 3 Adoquín Raqueta	140
Fig. 5. 4 Adoquín Holandés	140
Fig. 5. 5 Adoquín Tulipán	141
Fig. 5. 6 Adoquín Sixtino Grande	141
Fig. 5. 7 Adoquín Sixtino Pequeño	141
Fig. 5. 8 Adoquín Trébol	141
Fig. 5. 9 Adoquín Flecha	141
Fig. 5. 10 Adoquín Sevilla	141
Fig. 5. 11 Adoquín Ecológico	142
Fig. 5. 12 Adoquín Hexagonal	142
Fig. 5. 13 Adoquín Gótico	142
Fig. 5. 14 Adoquines de la fábrica d´Concreto	143
Fig. 5. 15 Plaza Marco Zero. Brasil	147
Fig. 5. 16 Monumento Encuadre Manchego. España	148
Fig. 5. 17 Pago de Carraovejas Finca y Bodega. España	148
Fig. 5. 18 Vía Tirreno Remodelación. Italia	148
Fig. 5. 19 Plaza Ca La Cordia. España	149
Fig. 5. 20 Plaza de la Paz. España	149
Fig. 5. 21 Zona residencial. Colombia	149
Fig. 5. 22 Malecón - Puerto de La Libertad. El Salvador	150
Fig. 5. 23 Muro de hormigón	152

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1	Límites granulométricos del Agregado Fino	5
Tabla 1. 2	Áridos para hormigones de alta resistencia	7
Tabla 1. 3	Contenido máximo de agentes dañinos en el agua de mezclado	18
Tabla 1. 4	Medición del asentamiento, Influencia de la temperatura y el tiempo (Bascoy)	26
Tabla 2. 1	Requisitos mínimos de resistencia a la compresión para morteros cementos Portland Puzolánico tipo IP	44
Tabla 2. 2	Agua utilizada en las mezclas de hormigón - Guía de frecuencia de ensayos.....	48
Tabla 2. 3	Carga abrasiva en función de granulometría del agregado.....	58
Tabla 2. 4	Resumen de las propiedades de los agregados	72
Tabla 3. 1	Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra	76
Tabla 3. 2	Slump recomendado para concretos de Alta Resistencia con y sin superplastificante	77
Tabla 3. 3	Tamaño máximo del agregado	78
Tabla 3. 4	Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de hormigón (Ag. Fino con módulo de finura de 2.5 - 3.2)	78
Tabla 3. 5	Requerimiento aproximado de agua de mezclado y contenido de aire del hormigón basado en el uso de una arena con 35% de vacíos	79
Tabla 3. 6	Relación Agua/cemento para hormigones sin hiperplastificante	81
Tabla 3. 7	Relación Agua/cemento para hormigones con hiperplastificante	81
Tabla 3. 8	Tolerancia de tiempo para los ensayos de especímenes	99
Tabla 4. 1	Resumen de dosificaciones con porcentajes de pigmento	135
Tabla 4. 2	Resumen de resistencias a compresión con porcentajes de pigmento	135
Tabla 5. 1	Dosificación óptima	150
Tabla 5. 2	Resumen comparativo de costos	152



CENTRO DE IDIOMAS

RESUMEN

DISEÑO DE HORMIGONES DE ALTAS PRESTACIONES (HAP) CON AGREGADOS DE CUARCITA PARA SU APLICACIÓN EN EL ÁMBITO VIAL, ESTRUCTURAL Y ARQUITECTÓNICO CON LA ADICIÓN DE PIGMENTOS

La investigación llevada a cabo en el presente documento, tiene como finalidad, encontrar el comportamiento óptimo de los hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcita, mediante la adición de pigmentos, las mismas que están siendo utilizadas, y cada vez más, en la actualidad en diferentes tipos de hormigones. Con este objetivo, se utilizó la norma ACI 211-4R-98, que describe el procedimiento para el diseño de mezclas de hormigones de altas prestaciones. Se emprende nuestra investigación con la determinación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados de cuarcita y del cemento Guapán, se obtuvo mezclas patrón con las respectivas probetas, las mismas que fueron ensayadas a las edades de 3, 7 y 28 días. Del análisis de estos resultados, se elaboró la mezcla prueba, añadiendo el hiperplastificante con ensayos a los 3, 7 y 28 días. De los valores obtenidos finalmente, se concluyó con las mezclas definitivas, añadiendo pigmentos en diferentes proporciones, que de acuerdo a las normas internacionales se debe aplicar entre un 3% a un 6% de pigmento por cantidad de cemento según el peso, y se consiguió su relación más eficiente económicamente.

Para la elaboración de los hormigones de las mezclas mencionadas, se utilizarán áridos procedentes del sector El Panecillo, perteneciente al cantón Logroño, y cemento portland Puzolánico tipo IP Guapán, hormigones que deberán tener una resistencia requerida de 598 kg/cm², partiendo de una resistencia de diseño a la compresión de 500 kg/cm².

En general, para hormigones de altas prestaciones, su relación de a/c es muy baja, por lo que, reflejan mezclas de consistencia muy secas y baja trabajabilidad, por ende es indispensable el uso de aditivos hiperplastificantes, que brinden a la mezcla mayor trabajabilidad y nos ayude a un fácil proceso de compactación en obra.

Palabras clave: Cuarcita, Agua/cemento, Altas prestaciones, Cemento, Pigmentos Resistencia.



CENTRO DE IDIOMAS

Cuenca, 13 de julio de 2016.

ABSTRACT

DESIGN OF HIGH PERFORMANCE CONCRETE (HAP) Quartzite WITH AGGREGATES FOR APPLYING IN ROADS, ARCHITECTURAL AND STRUCTURAL WITH ADDITION OF PIGMENT

The research carried out in this paper, is aimed to find the optimal behavior of high performance concrete with aggregates of quartzite, by adding pigments, thereof being used, and increasingly, currently in different types of concrete. With this aim, the standard ACI 211-4R-98 was used, describing the procedure for designing mixtures of high-performance concretes. Our research is undertaken on determining the physical and mechanical properties of quartzite aggregates and the Guapán cement, mixtures pattern was obtained with the corresponding samples, the same ones that were tested at the ages of 3, 7 and 28 days. From the analysis of these results, the test mixture was prepared by adding the hyper-plasticizer at 3, 7 and 28 days. The values obtained finally, we concluded with the final mixes, adding pigments in varying proportions, which according to international standards between 3% and 6% of pigment of cement quantity by weight must be applied, and a more efficient relationship economically was possible.

For the preparation of concrete mixtures as the above, aggregates from the area of El Panecillo were used, belonging to the Logroño canton, portland pozzolan cement type Guapán IP, concretes must have a required strength of 598 kg / cm², starting from a design resistance compression 500 kg / cm².

In general, high-performance concrete, its ratio a / c is very low, therefore, they reflect very dry consistency and workability mixtures, therefore it is essential the use of hyper-plasticizers additives, which provides greater mix workability and help us easily in the compacting process.

Keywords: Quartzite, Water / Cement, High performance, Cement, Pigments
Resistance.

EL CENTRO DE IDIOMAS DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA, CERTIFICA QUE EL DOCUMENTO QUE ANTECEDE FUE TRADUCIDO POR PERSONAL DEL CENTRO PARA LO CUAL
DOY FE Y

SUSCRIBO,


ING. EDGAR VINTIMILLA VÉLEZ
DIRECTOR





CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL **CONCRETO**





1.1 HISTORIA DEL CONCRETO DE ALTAS PRESTACIONES

A partir del desarrollo del cemento Portland (Aspdin, 1824) hasta la actualidad, el hormigón constituye una mezcla de agregados, agua (aditivos) y cemento (adiciones), lo cual presentan características determinadas en cuanto a durabilidad, resistencia y trabajabilidad, muy conocidas, a tal punto que se encuentran en códigos internacionales tales como ACI 318, 211 y en norma Ecuatoriana NTE INEN, etc.

Desde finales del siglo XIX ya se había establecido que la resistencia de un hormigón aumenta a medida que disminuye la relación agua-cemento. Féret (1896), con su famosa ecuación, cuya versión simplificada consta a continuación, fue el primero en analizar y cuantificar la influencia de la relación agua-cemento en la resistencia del hormigón a la compresión.

$$f'c = k \frac{1}{\left(1 + \frac{w}{c}\right)^2}$$

Ec.1 1 Ecuación de Féret

w = volumen de agua

c = volumen de cemento

k = constante que depende del tipo de cemento

Al reducir la relación a/c de la pasta de cemento, las partículas de cemento se acercan entre sí produciéndose menos porosidad capilar y menos espacios libres para que se desarrollen los compuestos de hidratación que cristalizan en los espacios de agua fuera de las partículas de cemento. Por esto una menor relación a/c genera resistencias mayores.

Hasta 1970, las relaciones a/c para hormigones convencionales fluctuaban normalmente entre 0.80 y 0.50 en la época en que las resistencias de los hormigones estructurales convencionales fluctuaban entre 18 y 28 MPa. El valor de 0,40 para la relación a/c se considera como el “mínimo” recomendable para garantizar una hidratación completa del cemento Pórtland y se aproxima al valor sugerido por Powers en 1968. (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

El uso de aditivos reductores de agua permitió elaborar hormigones suficientemente manejables con relaciones a/c próximas a 0,40 y con resistencias a compresión más elevadas. La demanda de hormigones de resistencias del orden de 40 y 50 MPa era cada vez mayor frente a la necesidad de construir, en hormigón armado, columnas de edificios altos que reemplazaran con ventajas económicas a las de acero. (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

Lamentablemente en esa época, los aditivos reductores de agua, disponibles en esa época, eran con base de lignosulfonatos, cuya composición era muy variable ocasionando serias alteraciones en las resistencias de los hormigones en los que se empleaban. (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

Los superplastificantes comenzaron a usarse en su verdadera función en 1981, por iniciativa de Meyer en Alemania y de Hattori en el Japón. Su efecto en los hormigones permitió romper por primera vez la barrera de la relación a/c “mínima” de 0,40 y de conseguir resistencias que superaron el límite de resistencia de los hormigones convencionales, fijado entonces en 50 MPa. Se generaban así los “Hormigones de Alta Resistencia”. Cabe mencionar que la frontera entre hormigones convencionales y hormigones de alta resistencia



se ha ido incrementando progresivamente, aceptándose, en forma generalizada, que está actualmente en los 70 MPa. (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

Los superplastificantes más usados, entre los disponibles en el mercado actual, son a base de melanina (policondensado de formaldehído y sulfonato de melamina) y a base de naftaleno (policondensado de formaldehído y sulfonato de naftaleno). Cada uno de ellos con funciones similares pero con características y presentaciones diferentes. (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

Algunos investigadores estudiaban la posibilidad de emplear materiales que, con propiedades cementantes, pudieran sumarse a la acción del cemento para conseguir incrementos en las resistencias y mejoras en algunas de las características de los hormigones.

En 1980, en Noruega se reportó la utilización del “humo de sílice”, como material ligante suplementario en la preparación de hormigones. Este material se lo obtiene como subproducto en la fabricación del silicio y su utilización proporciona al hormigón características especiales. Otros materiales cementantes como las cenizas volantes y la escoria de altos hornos se han utilizado como materiales ligantes suplementarios, pero con menos efectividad que el humo de sílice. La utilización de estos materiales ligantes suplementarios ha obligado a modificar un tanto el concepto de la relación agua-cemento, ya que para considerar su efecto es necesario adicionarlos a la cantidad de cemento empleada, generándose así el concepto de relación agua-materiales ligantes(a/ml) o agua-materiales cementantes(a/mc). (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

La utilización de superplastificantes y materiales cementantes suplementarios, estaba orientada, mediante la reducción cada vez mayor de las relaciones a/c o a/ml (rompiendo la barrera “mínima” de 0,40), hacia la obtención de hormigones con resistencias cada vez mayores. Se los seguía denominando como hormigones de “Alta Resistencia” los hormigones obtenidos no solamente eran más resistentes a la compresión, sino que mejoraban su resistencia a la tracción por flexión (MR); sus módulos de elasticidad y su consistencia eran mayores; presentaban una mejor resistencia a la abrasión y una permeabilidad más baja, demostrando una mayor durabilidad. Tomando en consideración esta importante gama de características especiales, la designación de “Hormigones de Alta Resistencia” comenzó a reemplazarse por la designación e “Hormigones de Alto Desempeño”. La paternidad de esta designación es generalmente atribuida al científico Pierre-Claude Aitcin, cuyo aporte al desarrollo de la tecnología de estos hormigones es probablemente la mayor contribución recibida para la utilización masiva y práctica de la amplia gama de los hormigones de este tipo. Sin embargo, hay otros investigadores como el francés Yves Malier, quien asegura que él junto con Roger Lacroix “acuñaron”, en 1980, la expresión “concreto de alto desempeño”. (Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, 2011)

1.2 IMPORTANCIA, REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS

El Hormigón de Altas Prestaciones es aquel de la categoría no convencional, que posee alta trabajabilidad, alta resistencia, alta estabilidad dimensional y alta durabilidad, y que satisface combinaciones especiales de requerimientos de comportamiento y uniformidad que no siempre pueden ser logrados rutinariamente usando constituyentes convencionales y prácticas normales de mezclado, colocación y curado.

Para ser usado en cualquier estructura de hormigón que deba enfrentar condiciones ambientales y solicitaciones severas, deberá ser realizada clasificar por su resistencia cilíndrica especificada a compresión, son hormigones que sobrepasan los 55.2 MPa.

Un concreto de alto desempeño no necesariamente implica el uso de materiales costosos o procesos tecnológicos complejos sino que estos están condicionados por los requerimientos estructurales, de uso y de medioambiente.

1.2.1 AGREGADOS

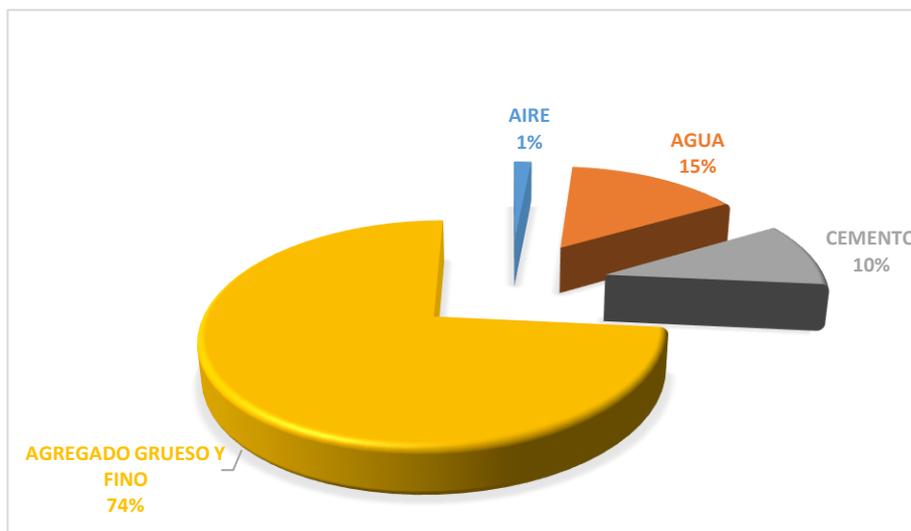
1.2.1.1 Generalidades

Un factor importante que influye en nuestro medio, para la calidad del hormigón, es la selección del tipo y calidad correcta del agregado (árido), donde es muy importante su obtención, clasificación y lavado, este último aspecto es muy importante, ya que la presencia de material orgánico en los agregados, afectará significativamente a las propiedades y resistencias del hormigón.

Si bien los agregados fino y grueso ocupan entre el 60% y el 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) (Fig. 1.1) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en esta investigación, se trabajara con agregados finos y gruesos provenientes de un mismo material de características especiales, es decir mejor desempeño comparado con materiales convencionales, que se detallarán más adelante.

Por lo tanto los agregados deberán cumplir las normas como la ASTM C 33, caso contrario se deberá comprobar su eficiencia en el concreto. Es recomendable que en una obra, todas las mezclas empleen los mismos agregados.

Fig. 1. 1 Proporciones de materiales usados en la producción de concreto por volumen



Fuente: Tecnología y Propiedades del concreto, Capítulo 1, Pág. 12.
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

1.2.1.2 Materiales

1.2.1.2.1 Agregado Fino (Arena)

Este agregado fino es el de mayor importancia en la producción de hormigones de altas prestaciones, ya que la forma de las partículas y la textura de su superficie pueden tener mucha influencia en la demanda de agua y en la resistencia a la compresión del hormigón. En los hormigones de alta resistencia, debido a la elevada demanda de material cementante, el volumen de agregados finos (partículas menores a 150 μm , tamiz ASTM N°100) tiende a ser alto. Por esto el volumen de la arena debe mantenerse al mínimo necesario para lograr

trabajabilidad y una buena compactación. Esto hace posible alcanzar las más altas resistencias del hormigón para un contenido determinado de material cementante.

Para hormigones de resistencias superiores a los 70 MPa, es recomendable el uso de arenas con un módulo de finura (M_f) dentro del rango de 2.5 a 3.2. El uso de agregados finos con un M_f menor que 2.5, genera hormigones viscosos, con baja trabajabilidad, con mayor demanda de agua y la consiguiente disminución de resistencia al igual que en las arenas manufacturadas producidas por trituración, la forma de sus partículas y el incremento del área superficial pueden afectar en forma apreciable la demanda de agua, con la correspondiente pérdida de resistencia por lo que la cantidad de material que pasa los tamices N° 50 y N° 100 debe mantenerse baja, pero dentro de los límites establecidos por el ASTM C 33. Además se deben evitar materiales contaminantes tales como arcillas y micas.

Fig. 1. 2 Agregado fino (Arena)



Fuente: Vallejo E. (2015). Arena de cuarcita. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Al momento de obtener las arenas en laboratorio, éstas deben estar enmarcadas dentro de la siguiente granulometría (Tabla 1.1)

Tabla 1. 1 Límites granulométricos del Agregado Fino

Tamiz		Porcentaje que pasa (en masa)
9.5 mm	3/8 pulg	100
4.75 mm	N°. 4	95 → 100
2.36 mm	N°. 8	80 → 100
1.18 mm	N°. 16	50 → 85
600 µm	N°. 30	25 → 60
300 µm	N°. 50	10 → 30*
150 µm	N°. 100	2 → 10**

Fuente: Norma ASTM C 33.
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

1.2.1.2.2 Agregado Grueso (Gravas)

Al ocupar el mayor volumen que cualquier otro componente en el hormigón y por influir significativamente en la resistencia y otras propiedades de dicho material, las gravas requieren de una cuidadosa selección y estar libre de fisuras o de planos débiles, limpio y sin recubrimientos superficiales. Para obtener altas resistencias del hormigón, con una relación

agua/materiales cementantes de 0.20 a 0.25, es casi seguro que la falla por resistencia a la compresión se producirá por rotura de los agregados, si éstos no alcanzan las resistencias requeridas por el hormigón.

El ACI 211 señala que se ha demostrado que los agregados de tamaño máximo nominal más pequeño proporcionan mayor resistencia potencial en el hormigón. De allí la conveniencia de usar agregados de tamaño máximo menor, mientras más alta sea la resistencia que se quiere alcanzar cuando también son importantes la optimización del módulo de elasticidad, la fluencia y la contracción por secado.

Cuadro 1. 1 Ensayos necesarios para conocer las características de los agregados

Características y ensayos de los agregados			
Descripción	Norma	Importancia	Requisito o característica reportada
Muestreo de áridos, fino y grueso.	NTE INEN 695:2010	Aceptación o rechazo de materiales	
	ASTM D 75-09		
Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso	NTE INEN 696:2011	Trabajabilidad del concreto fresco	Porcentajes mínimo y máximo que pasan por los tamices estándar
	ASTM C 136		
	AASHTO N°. T 29		
Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso	NTE INEN 857:2010	Cálculos del diseño de la mezcla	
	ASTM C 127-07		
	AASHTO T 85		
Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino	NTE INEN 856:2010	Cálculos del diseño de la mezcla	
	ASTM C 128-07a		
	AASHTO T 84		
Humedad evaporable en una muestra de agregado por secado	ASTM C 566	Tipo de Agregado	

Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

El agregado grueso (grava) a obtener en esta investigación, será un árido producto de un proceso de trituración, por lo que se garantiza la adherencia de dicho elemento al hormigón con las aristas que se forman durante la desintegración ocasionada.

Fig. 1. 3 Agregado grueso (grava).



Fuente: Vallejo E. (2015). Grava de cuarcita. [Foto]. Sucúa, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



1.2.1.3 Características de los agregados de altas prestaciones

Para producir un hormigón de altas prestaciones y teniendo en cuenta el aporte de los agregados de un mismo material y cantidades de cemento poco convencionales de tal manera que no genere una pasta débil, de forma que falle la matriz por poca adherencia, además de una relación baja de a/c se tratará de obtener áridos de tamaño máximo de 19 mm que deben como mínimo cumplir los requerimientos del ASTM C 33

Para concretos de altas prestaciones, se considera que el agregado ideal debe ser 100% agregado producto de la trituración de las rocas, de perfil angular y textura rugosa, limpio, duro, resistente, poco absorbente, de preferencia con el menor porcentaje de partículas alargadas. Los estudios recomiendan el uso de agregado chancado, pues producen resistencias más altas que agregados redondeados, la razón principal de esto es la adherencia mecánica que puede ser desarrollada con partículas angulares. Sin embargo, partículas muy anguladas causan disminución de la trabajabilidad.

Mineralógicamente los áridos que debido a su composición brindan la mayor adherencia en la matriz son: basaltos, cuarcitas, diabasas, sienitas, ofitas.¹

Se recomienda que el coeficiente de absorción en los áridos sea como máximo del 1%, y así evitar demandas de agua elevadas. (Martínez Ponce, 2008)

Además la resistencia a la compresión de los áridos debe ser superior a la del hormigón que se desea obtener. Los áridos con resistencia a compresión entre 120 y 140 MPa son recomendables para la producción de hormigones de alta resistencia.

Tabla 1. 2 Áridos para hormigones de alta resistencia,

Clase de roca	Resistencia a compresión (MPa)		Módulo de elasticidad	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Granito	120	240	40	70
Riolita	150	340	70	80
Sienita	110	250	60	80
Diorita	140	230	40	60
Microdiorita	160	300	90	100
Ofita	210	270	90	100
Basalto	130	450	60	78
Cuarcita	360		91	
Caliza	130	190	50	70

Fuente: MARTÍNEZ P. David, Hormigones de Altas Prestaciones
Elaborado y adaptado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

1.2.1.3.1 Cuarcitas como agregados

La Cuarcita (del alemán Quarzit) es una roca metamórfica dura que se origina a partir de transformaciones de rocas pre-existentes por acción de presiones o temperaturas a lo largo del tiempo. Su origen se da exclusivamente por cuarzo. Derivan del metamorfismo sobre areniscas y en algunas ocasiones tiene un origen metasomático²

¹ (Martínez Ponce, 2008)

² Metasomatismo: Proceso de sustitución de uno o más minerales por el aporte de nuevos minerales



La cuarcita es muy resistente a la erosión química y, a menudo forma crestas y cimas resistentes. El contenido de sílice casi puro de la roca ofrece poco para formar el suelo y por lo tanto a partir de las crestas de cuarcita son a menudo descubiertas o cubiertas solamente con una capa muy delgada de suelo y poca vegetación.

Al ser una roca muy dura que no se raya con el acero ya que según la escala de Mohs de la dureza del mineral éste tiene un valor de 7, además de su durabilidad combinada con su noble aspecto y su escasa absorción de agua se la recomienda para agregado en la elaboración de hormigones de alta resistencia.

1.2.1.3.2 Estructura de las cuarcitas

En función de los rasgos estructurales, las rocas metamórficas se pueden clasificar en dos grandes grupos:

1. **Rocas foliadas o esquistosas** (filitas, pizarras, esquistos, gneises, anfibolitas)
2. **Rocas no foliadas o masivas** (corneanas, cuarcitas, calizas, mármoles), recordar la relación entre fisilidad³-esquistosidad-grado de metamorfismo
3. **Rocas metamórficas foliadas:** La característica textural más prominente exhibida por el metamorfismo regional es la fábrica planar, que se representa por la foliación. Se produce principalmente por el arreglo paralelo o sub-paralelo de minerales laminados y/o alargados.

Cuando las rocas sedimentarias pelíticas son sometidas a metamorfismo regional, la moscovita y la clorita son de los primeros minerales en formarse. Éstos crecen con una orientación preferencial y dan lugar a las **pizarras**. Los minerales micáceos en las pizarras son muy finos para identificarlos a simple vista. (Ing. Cepeda, 1985)

A medida que el metamorfismo avanza y los granos se agrandan, los minerales adquieren brillo y los planos de foliación son menos regulares. Estas rocas son **filitas**⁴ y los minerales son aún muy pequeños para verlos a simple vista. Cuando los minerales pasan a ser visibles, la roca es un **esquisto**. Los esquistos también se pueden formar a partir de rocas ígneas máficas⁵, éstas suelen contener abundante clorita, epidoto y/o anfíbol.

En rocas sedimentarias limosas y/o arenosas y en rocas ígneas intermedias a félsicas⁶ se forman menos minerales de hábito laminar o acicular durante el metamorfismo. Aquellos minerales que están presentes tienden a concentrarse en bandas paralelas a la foliación definidas por micas o anfíboles. El cuarzo y el feldespato tienden a concentrarse en las bandas alternantes. Estas rocas se las conoce como **gneiss**. Si predominan los minerales laminares, aciculares y/o columnares, la roca es un esquisto. Si predominan los minerales granulares la roca es un gneiss. (Dr. Goso Aguilar, 2011)

4. Rocas metamórficas NO foliadas.

En algunas rocas metamórficas, los granos minerales no muestran una orientación preferencial distinguible. Tales rocas consisten en un mosaico de minerales un tanto equidimensionales y se caracterizan por tener textura no foliada.

³ Propiedad que poseen algunas rocas de dividirse en capas, más o menos planas

⁴ Roca procedente del metamorfismo de las arcillas y arcillitas.

⁵ Adjetivo que se aplica a un silicato o roca que es rico en magnesio y hierro

⁶ minerales, rocas y magmas ricos en elementos ligeros como el silicio, oxígeno, aluminio, sodio y potasio.



La mayoría de las rocas metamórficas no foliadas resultan del metamorfismo de contacto o regional de rocas en las cuales no hay presencia de minerales de hábito laminar, acicular o columnar. Con frecuencia, la única indicación de que una roca granular se ha metamorfoseado es el gran tamaño de grano resultante de la recristalización.

En general, las rocas metamórficas no foliadas son de dos tipos: las compuestas principalmente de un solo mineral, por ejemplo, el mármol y la cuarcita; y aquellas en la que los diferentes granos minerales son demasiado pequeños para ser vistos a simple vista, como la roca verde (greenstone) y las corneanas (hornfels).

El **mármol** está compuesto principalmente por calcita o dolomita, su tamaño de grano va de fino a grueso. Resulta del metamorfismo de contacto o regional de calizas o de dolomías. El mármol puro es blanco o azulado, pero hay variedades de todos los colores por la presencia de impurezas minerales en la roca sedimentaria original. (Ing. Cepeda, 1985)

La **cuarcita** es una roca dura y compacta formada por granos de cuarzo en condiciones metamórficas de grado medio a alto durante el metamorfismo de contacto o regional. La cuarcita pura es blanca, pero el hierro y otras impurezas le imparten comúnmente un tinte rojizo o de otro color. (Dr. Goso Aguilar, 2011)

El nombre **roca verde (greenstone)** se aplica a cualquier roca ígnea máfica alterada, de color verde oscuro, que se forme en condiciones metamórficas de bajo a alto grado. El color verde resulta de la presencia de clorita, epidoto y hornblenda. (Dr. Goso Aguilar, 2011)

Una roca **Corneana (hornfels)**, es una roca metamórfica no foliada de grano fino, resultante del metamorfismo de contacto. Se compone de diversos granos minerales equidimensionales. La composición de las corneanas depende directamente de la composición de la roca original y se conocen muchas variedades composicionales. Sin embargo, la mayoría de las corneanas derivan aparentemente del metamorfismo de contacto de rocas sedimentarias ricas en arcilla o de dolomías puras. (Dr. Goso Aguilar, 2011)

Las **Anfibolitas** son rocas metamórficas compuestas mayoritariamente de anfíbol, con poco o nada de cuarzo. Son típicamente rocas oscuras, densas que pueden o no presentar foliación. (Dr. Goso Aguilar, 2011)

1.2.1.3.3 Textura de las cuarcitas

Los minerales (blastos) crecen en un medio esencialmente sólido, por transformaciones de minerales pre-existentes. Dicho proceso se denomina **blastesis**⁷ y la textura generada se denomina **cristaloblástica**.

- **Granoblástica:** Los cristales tienen tamaño relativo similar, conformando un mosaico equidimensional. Las rocas más comunes con esta textura suelen ser los mármoles, cuarcitas y algunos gneises.
- **Lepidoblástica:** Está definida por minerales de hábito laminar (generalmente filosilicatos), homogéneamente orientados y más o menos paralelos entre sí. Las rocas más comunes son las filitas, los esquistos micáceos y la mayoría de los gneises.
- **Nematoblástica:** está definida por minerales aciculares y/o prismáticos (inosilicatos), orientados también en forma homogénea, con sus ejes mayores paralelos entre sí. Las rocas más comunes son algunas anfibolitas, gneises anfibólicos y algunos esquistos.

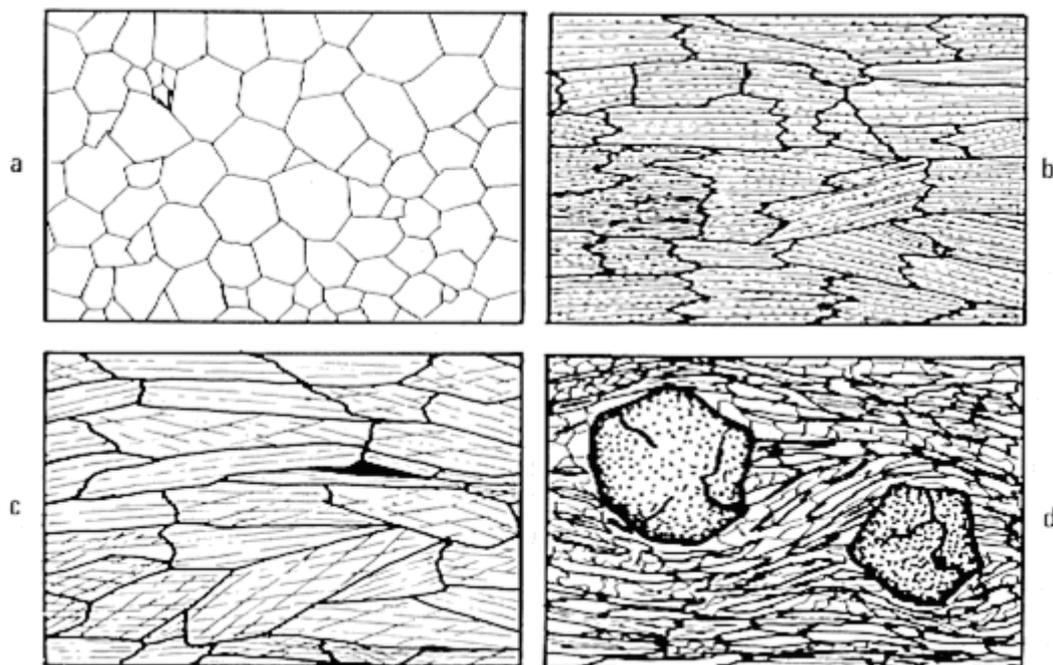
⁷ Proceso de cristalización metamórfica que tiene lugar en el curso de la génesis de las rocas metamórficas

Cabe señalar que, en la naturaleza, los procesos complejos generalmente definen combinaciones de texturas y no una única textura, por lo tanto lo más común es encontrar texturas granolepidoblásticas, granonematoblásticas y granoporfiroblásticas (esta última tendría una matriz granuda y porfiroblastos mayores inmersos en la matriz, estos porfiroblastos⁸ crecen también en estado sólido).

Además de las texturas cristaloblásticas mencionadas, existen otras texturas definidas por una o más fases cristalinas, las cuales son más raras de encontrar, por ejemplo:

- **Textura poiquiloblástica:** Se da cuando un cristal presenta un número importante de inclusiones de otros minerales formados a expensas de él, apareciendo como un cristal esquelético. (Dr. Goso Aguilar, 2011)

Fig. 1. 4 Texturas blásticas en rocas metamórficas. A) Granoblástica. B) Lepidoblástica. c) Nematoblástica. d) Porfidoblástica.



Fuente: http://www.ugr.es/~agcasco/msecgeol/secciones/petro/pet_met.htm#estr

1.2.1.3.4 Propiedades mecánicas de las cuarcitas

Las propiedades mecánicas de la cuarcita define la capacidad del material para resistir acciones externas o internas que implican la aplicación de fuerzas sobre el mismo entre las cuales se posee algunos valores típicos de la Cuarcita.

- Resistencia a la compresión 20.7 a 62.7 MPa
- Resistencia a la flexión: 1.323 MPa
- Resistencia al deslizamiento: SRV en seco: 92, SRV en húmedo: 58
- Densidad aparente: 2300 a 2700 Kg/m³
- Porosidad abierta: 0,3 %
- Resistencia a la abrasión: 32,2 mm Carga de rotura al anclaje: 1.986 N
- Resistencia a la heladicidad: disminución de la resistencia a la flexión 17,58 %

⁸ Textura de rocas metamórficas recrystalizadas, consisten en cristales grandes dispersos entre los cristales de grano fino.



- Resistencia al envejecimiento por choque térmico: Valor medio de variación de masa: 0,03 %
- Absorción de agua a presión atmosférica: 0,58 %
- Dureza: Aproximada 7 en la escala de Monh
- Desgaste: 0.15

1.2.1.3.5 Cuarcita a analizar

La Cuarcita pura posee una textura granoblástica y es generalmente de color blanco a gris, a pesar de que a menudo se producen cuarcitas en varios tonos de rosa y rojo, debido a cantidades variables de óxido de hierro (Fe_2O_3). Otros colores, como amarillo y naranja, se deben a las impurezas minerales.

Por lo tanto la Cuarcita es una roca metamórfica dura y compacta de grano medio a fino que originalmente era de arenisca o sílex. Se convierte en piedra cuarcita por medio del calor y la presión, generados por la compresión tectónica en cinturones orogénicos. Cuando se produce la metamorfosis de la piedra arenisca cuarcita, los granos de cuarzo individuales re-cristalizan junto con el material antiguo de cementación para formar un mosaico entrelazado de cristales de cuarzo íntimamente soldados, a menudo indentados y entrelazados con lo cual, la roca obtiene una estructura masiva y sin foliación marcada.

La estructura de una roca hace referencia a la constitución interior, es decir al conjunto de rasgos condicionados por la forma, correlación mutua de los componentes minerales, dimensiones de los granos, es decir de las condiciones en que se forman.

Las muestras a menudo muestran un aspecto azucarado en una superficie de ruptura fresca por el cual puede distinguirse de la piedra arenisca de sílice - cimentado mediante una cuidadosa inspección de la superficie fresca: en piedra arenisca, la roca se rompe alrededor de granos minerales, mientras que en la cuarcita, la roca se rompe a través de los granos. Se utiliza como árido para hormigón de alta resistencia y para fabricar mezclas asfálticas, aunque su adherencia con los ligantes bituminosos presenta problemas que no se encuentran con los áridos calizos, pero su resistencia al desgaste las hace imprescindibles en las capas de rodadura para evitar que se conviertan en deslizantes al paso del tráfico.

1.2.1.4 Trituración

1.2.1.4.1 Proceso de trituración de la cuarcita

Para la obtención de agregados finos y gruesos a lo largo de esta investigación fue necesaria la fracturación del tamaño de las rocas extraídas del yacimiento o cantera hasta obtener una granulometría que cumpla con la normativa ASTM C33, tratando de obtener un agregado grueso (gravas) de $\frac{3}{4}$ " (19.1 mm) como máximo y un agregado fino (arena) que se considera como todo aquel material que logre pasar el tamiz #4 (4.76 mm).

Todo este proceso de trituración generado demanda una gran cantidad de energía, y se dice que la eficiencia de la utilización de la energía durante la fragmentación de las partículas sólidas es sólo el 1% respecto de la nueva superficie creada.⁹

⁹ (Errol G., 1990)

1.2.1.4.1.1 Trituración primaria

La trituración primaria recibe, comúnmente, el todo-uno o mineral bruto de la extracción pétreo y efectúa la primera reducción del tamaño de las rocas. Estos equipos de trituración utilizan preferiblemente las fuerzas de impacto o percusión y las de compresión.

Estos equipos se caracterizan por las dimensiones de los tamaños de materiales pétreos que admiten, por su robustez y capacidad. Y como se conoce que en toda operación de reducción de tamaño va a existir un roce y dado el carácter abrasivo de las sustancias minerales como la cuarcita, va a generarse un desgaste de partes más o menos vitales de los equipos de trituración. (Andrea Blanco, 2014)

Los equipos caracterizados por la forma en que aplican la fuerza necesaria para la trituración primaria son:

- Machacadoras o trituradoras de mandíbulas, Quebrantadoras

Estos equipos utilizan la compresión como fuerza predominante y la aplican de forma discontinua por atrapamiento entre dos mandíbulas, una fija y otra móvil mediante diferentes sistemas de actuación. Pueden ser de simple o de doble efecto. (Andrea Blanco, 2014)

- Trituradoras giratorias.

Proporcionan un principio similar al de las trituradoras de mandíbulas pero lo aplican de forma giratoria con lo cual en el efecto de giro el material pétreo es situado en un punto que es comprimido y fragmentado entre la cabeza y el cóncavo, luego de pasado el instante de presión es liberado y dado este proceso de fracturación discontinua, tiene la apariencia desde el punto de vista exterior al equipo es de un funcionamiento continuo. (Andrea Blanco, 2014)

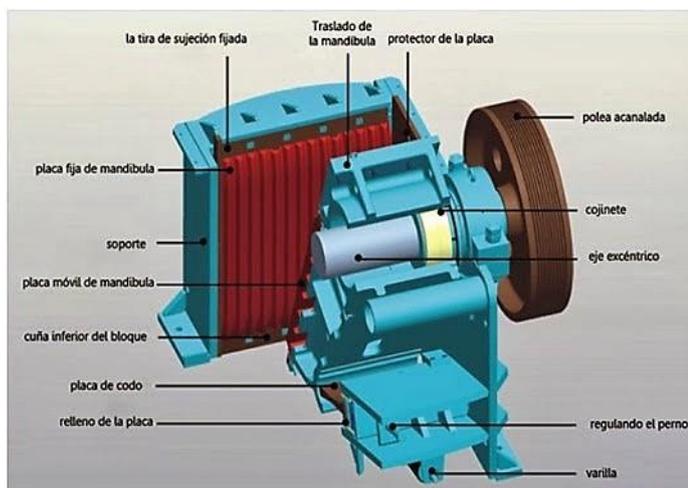
Otros equipos, trituradores de choque, de impacto y de percusión. Utilizan la energía del impacto, la fuerza de compresión o el cizallamiento según la tecnología empleada.

Fig. 1. 5 Trituradora Primaria.



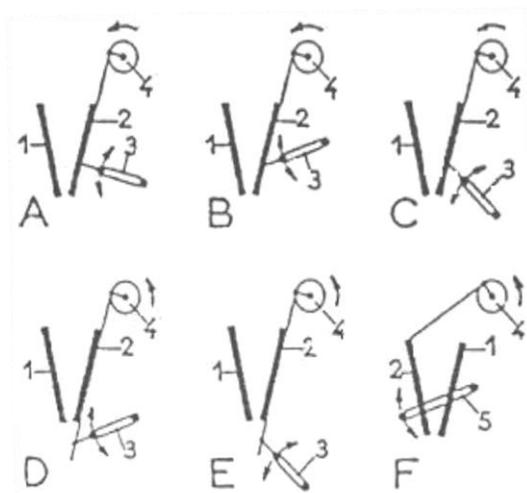
Fuente: <http://g02.a.alicdn.com/kf/HTB1dkbPIXXXXacXXXq6xXFXXT/-Skype-live-2908675027-hot-sale-Quarry-Jaw-Crusher-for-primary-crushing-font-b-process-b.jpg>

Fig. 1. 6 Partes de la trituradora Simple Efecto



Fuente: <http://apuntes-ing-mecanica.blogspot.com/2014/01/trituradoras-quijadas-i.html>

Fig. 1. 7 Principales dispositivos de articulación en las machacadoras de biela simple (Movimiento tipo D)



1. Mandíbula fija.
2. Mandíbula móvil.
3. Placa de articulación.
4. Eje excéntrico.
5. Pequeña biela.

Fuente: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/tecnologia-mineralurgica/materiales-de-clase-1/7. trituracion.pdf>

En la investigación se utilizó una planta de trituración que se encuentra ubicada en el cantón Sucúa en el cual existe una trituradora primaria de mandíbulas de simple efecto, esta es una máquina en la que un solo eje hace a la vez de articulación y tiene una componente para acercarse o alejarse de la mandíbula fija y para el giro de la mandíbula móvil que a su vez hace las funciones de biela, se suprime una de las placas de articulación y su excentricidad describe un movimiento de una elipse en la zona de la boca de salida.

Este movimiento origina un frotamiento de la roca con las mandíbulas con el que produce un mayor desgaste por abrasión, pero con diseños de mandíbulas adecuadas, perfil de la mandíbula curva, se pueden utilizar prácticamente con cualquier material y así son adecuadas para triturar granito, cuarcita, etc.

Esta trituradora de mandíbulas reduce el tamaño de los bloques de cuarcita hasta obtener un tamaño de 6" a 8". A continuación, los fragmentos de cuarcita obtenidas son llevados por bandas transportadoras hacia una trituradora secundaria como se ilustra en la siguiente figura.

Fig. 1. 8 Extracción de bloques pétreos.



Fuente: Vallejo E. (2015). Extracción de bloques pétreos. [Foto]. Sucúa, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 1. 9 Trituradora Primaria



Fuente: Vallejo E. (2015). Trituradora Primaria. [Foto]. Sucúa, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 1. 10 y Fig. 1. 11 Proceso de Trituración Primaria



Fuente: Vallejo E. (2015). Trituración Primaria de la cuarcita. [Foto]. Sucúa, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

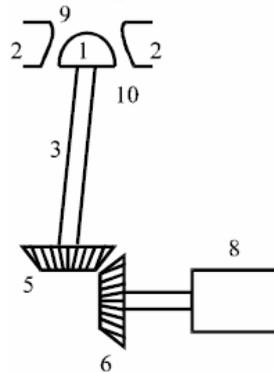
1.2.1.4.1.2 Trituración secundaria

Para esta etapa de la trituración secundaria se generan alimentaciones más finas de los materiales pétreos ya que es el segundo escalón de la trituración por el cual esta predispuesta una criba vibratoria que clasifica el material proveniente de la trituración primaria el que consta de tres eslabones que selecciona granulometrías de 60 mm, 40 mm y 25 mm.

Para el producto que no cumpla con las granulometrías esperadas, será enviado hacia la trituradora secundaria para reducir el tamaño de 0 – 60 mm del agregado. El material restante será enviado hacia los puntos de acopio clasificados mediante una banda transportadora.

En esta investigación se utilizó una trituradora giratoria o cónica de acción continua de eje vertical y apoyo superior. Esta trituradora cuenta con una mandíbula fija (2) y sus correspondientes placas de trituración, además cuenta con una mandíbula móvil (1), en forma de cono, con base en la parte inferior. El cono triturador (1), va empotrado sobre el eje vertical (3) que tiene una articulación (7) en su parte superior. La parte inferior del eje va montada excéntricamente (4) a una corona dentada (5), la que gira merced al accionamiento de un motor (8), a través de un eje y un piñón (6).

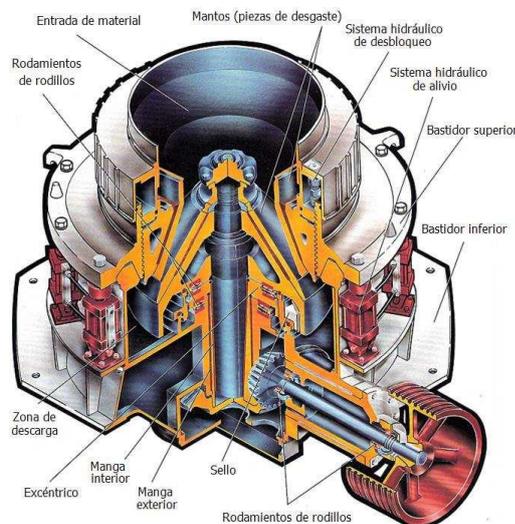
Fig. 1. 12 Esquema Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior.



Fuente: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf

De esta forma el cono triturador se va acercando y alejando de la mandíbula fija en forma continua y triturando el mineral. Este se alimenta por la parte superior (9), por la boca de entrada y sale de la maquina por gravedad en la parte inferior (10), por la abertura de salida. Estas máquinas son sensibles a la humedad y a la pegajosidad de los minerales.

Fig. 1. 13 Corte Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior



Fuente: http://materias.fi.uba.ar/7202/MaterialAlumnos/05_Apunte%20Trituracion.pdf

Fig. 1. 14 Trituradora giratoria de eje vertical y apoyo inferior



Fuente: Vallejo E. (2015). Trituración secundaria de la cuarcita. [Foto]. Sucúa, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

1.2.1.4.1.3 Obtención de arenas

Se obtuvo arenas luego del proceso de trituración primaria y secundaria, mediante la clasificación según las granulometrías del material mediante la criba vibratoria por el cual el material fino que pasaba la criba N° 4 es transportada mediante una banda a un punto de acopio del material denominado chispa, una vez ya en el laboratorio se procedió a tamizar de forma manual utilizando la malla # 4.

1.2.2 EL CEMENTO

El cemento hidráulico es un polvo fino que tiene la propiedad de fraguar y endurecer debido a una reacción química producida por el agua, manteniendo unidos los agregados.

La selección del cemento a usarse en hormigones de altas prestaciones es más rigurosa que en el caso de los hormigones tradicionales, pero con un adecuado escogitamiento del cemento a utilizar se debe realizar ensayos de morteros que deben dar resistencias de 30 MPa a los 7 días. Los cementos Pórtland, que cumplan con las normas y sean similares, pueden comportarse de manera diferente cuando las relaciones agua/cemento, de los hormigones en que se utilizan, son más bajas que lo normal. Según Aïtcin, en los hormigones cuyas relaciones a/c se encuentran entre 0.20 y 0.35, las diferencias de comportamiento de cementos Pórtland similares, pueden darse a distintos factores:

- Finura del cemento
- Reactividad del C3A y del C3S
- Solubilidad de las diferentes formas de sulfato de calcio en el cemento
- Solubilidad de los álcalis

Es conveniente seleccionar aquellos cementos que, aunque produzcan hormigones menos resistentes a los 28 días, generen las mayores resistencias a los 91 días. Normalmente las pruebas se realizan con contenidos de cemento de entre 400 y 500 kg/m³.

El cemento utilizado en esta investigación, es el cemento Guapán, este cemento mantiene la certificación de conformidad con sello de calidad de acuerdo a la norma Ecuatoriana NTE INEN 490 : 2011, equivalente a la norma norteamericana ASTM 595 es un cemento portland

Puzolánico tipo IP, que se caracteriza por fabricar hormigones de alta resistencia inicial, por lo que se recomienda en el uso de prefabricados de hormigón, tales como losas, vigas, postes, bordillos, tubos, adoquines, bloques, elementos de hormigón pre y post tensado, etc., y en hormigones premezclados para losas, vías, aceras, bordillos, entre otros; con diseños de concreto de 140, 180, 210, 240, 250, 280, 300, 320, 360 Kg/cm² de resistencia a la compresión, 4,5 MPa hasta 7.2 MPa de resistencia a la flexión.

Fig. 1. 15 Cemento Portland Puzolánico Tipo IP



Fuente: <http://www.multicomercio.com.ec/responsive/static/images/cemento.jpg>

1.2.3 EL AGUA DE MEZCLADO

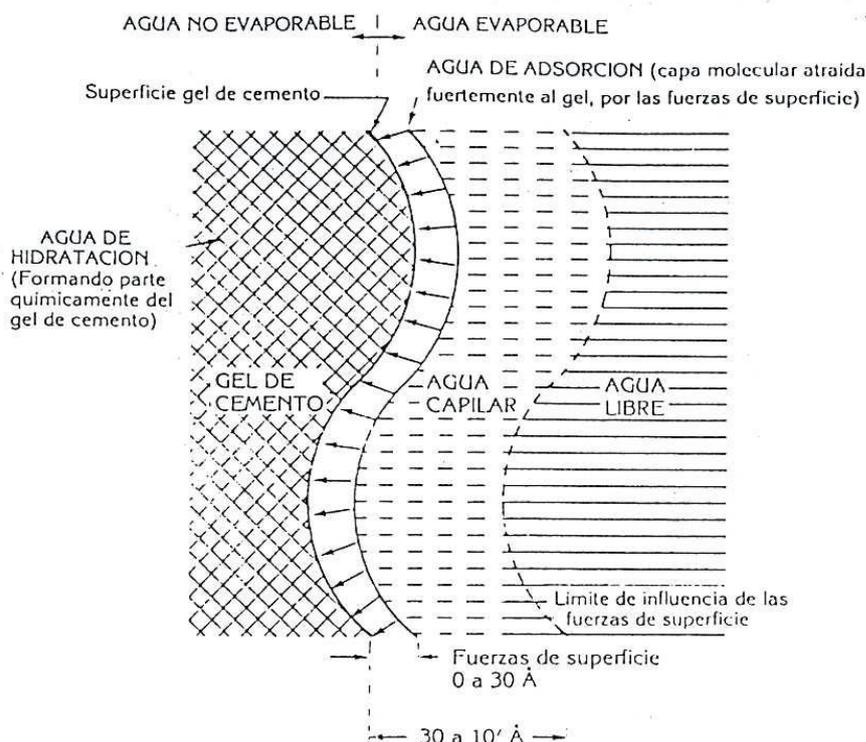
La calidad del agua que se utiliza en hormigones de altas prestaciones no es más estricto que los necesarios para el agua, en los hormigones convencionales, por lo que el agua para la mezcla, en lo posible, debe ser agua que se pueda beber o potable.

El agua de mezclado cumple dos funciones muy importantes, una es la de permitir la hidratación de las partículas del cemento, y la otra es hacer que la mezcla sea manejable facilitando su manipulación, pero con el tiempo, ésta se evapora, dejando vacíos, los mismos que disminuyen la resistencia y durabilidad del hormigón, sin embargo, presencias relativamente pequeñas de azúcares pueden producir problemas en el tiempo de fraguado y desarrollo de resistencia

La cantidad de agua que requiere las partículas del cemento para su hidratación, se encuentran alrededor del 25% al 30% de la masa del cemento, pero con esta cantidad, la mezcla no es manejable, por lo que se requiere como mínimo una cantidad total de agua del orden del 40% de la masa de cemento, para la elaboración de hormigones convencionales, por lo tanto, para hormigones de altas prestaciones como regla práctica se establece que se debe colocar la menor cantidad de agua en la mezcla, pero teniendo en cuenta que el hormigón debe ser trabajable. (Ing. Rivera, Concreto Simple, 2010)

Por este motivo es imperativo el uso de aditivos híper fluidificantes en este tipo de mezclas donde la cantidad de agua es mínima.

Fig. 1. 16 Esquema de la ubicación del agua en la pasta de cemento hidratado.



Fuente: Portugal Barriga. P. (2007). Tecnología del concreto de alto desempeño. Arequipa, Perú.

Tabla 1. 3 Contenido máximo de agentes dañinos en el agua de mezclado.

Sustancia	Valor máximo
Cloruros	330 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
pH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Portugal Barriga. P. (2007). Tecnología del concreto de alto desempeño. Arequipa, Perú.

1.2.4 AIRE

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que atrape aire dentro de la masa, para lo cual es necesario utilizar métodos de compactación y vibración para su liberación ya que el aire incorporado tiene el efecto de disminuir la resistencia, particularmente en mezclas de alta resistencia, y por esa razón se ha utilizado incorporadores de aire sólo donde se necesita una alta durabilidad, como por ejemplo en hormigones que estarán sujetos a ciclos de congelación y deshielo.

La resistencia del hormigón dependerá de la relación gel – espacio, la que se define como la relación entre el volumen de pasta de cemento hidratada y la suma de los volúmenes de pasta de cemento hidratada más los de los poros capilares. Esto es particularmente cierto cuando se utilizan agentes incorporadores de aire. De aquí que la resistencia de la mezcla se pueda reducir de un 5 % a 7 % por cada 1% de aire en la mezcla.



1.2.5 ADITIVOS HÍPER FLUIDIFICANTES

Para obtenerlo es necesario utilizar aditivos químicos que nos permiten apreciables reducciones del agua de mezclado, pueden controlar y mejorar los tiempos de fraguado, la pérdida de revenimiento, la trabajabilidad y la durabilidad de los hormigones.

Para mezclas ricas en cemento son especialmente efectivos los reductores de agua de alto rango (HRWR). Estos aditivos ayudan a dispersar las partículas de cemento y pueden reducir hasta en un 30% la demanda de agua de mezclado, aumentando considerablemente la resistencia a compresión del hormigón con lo cual está permitiendo obtener hormigones con una resistencia última a la compresión mayor a 40 MPa, es decir incrementando la resistencia a edades tempranas, entre otras propiedades.

Las dosis varían de acuerdo al tipo de material usado, condiciones ambientales y a los requerimientos de un proyecto específico por tal razón Sika Ecuatoriana recomienda usar dosis entre 0,19% a 0,9% del peso del cemento.

En el presente trabajo se aplicó Sika ViscoCrete 2100, un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con polímeros policarboxilatos diseñados para cumplir con todos los requerimientos de la Norma ASTM C-494. Tipos A y F, siendo muy efectivo para producir hormigones con diferentes niveles de trabajabilidad, idóneo para hormigones de alta resistencia e ideal para la producción de hormigones autocompactados (SCC).

Éstos aditivos, logran aumentar la plasticidad de la masa del hormigón, con relaciones a/c muy bajas, produciendo hormigones muy trabajables, poco porosos y de alta resistencia gracias a la tecnología de los policarboxilatos, que generan una gran dispersión de las partículas de cemento, impidiendo la floculación de las mismas, con lo que se reduce mucho el agua intersticial y se consigue mejorar considerablemente, la hidratación del conglomerante.

La correcta selección de la combinación cemento-hiperplastificante es de tanta importancia, que una mala selección puede ocasionar que no se alcancen resistencias de 40 MPa, aunque el contenido de cemento se incremente, o se trate de disminuir la relación a/c con el uso de aditivos. Esta situación puede conducir a costos de producción elevados y a incrementos severos de los tiempos de fraguado. Generalmente los mejores resultados se obtienen si el hiperplastificante se agrega después de que el cemento ha recibido agua en las operaciones de dosificación y mezclado.

1.3 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN FRESCO

El hormigón se encuentra en estado fresco desde el momento que se puso en contacto el agua con el cemento hasta cuando el hormigón comienza a fraguar.

Por tal razón se concibe que el hormigón en estado fresco es realmente una suspensión concentrada de agregados finos y gruesos en un líquido viscoso formado por la pasta de cemento, dicha pasta de cemento a su vez no es un fluido homogéneo y está compuesta de partículas de cemento en agua. Por lo tanto el concreto en estado fresco en una escala macroscópica fluye como un líquido.

Las características que presenta una mezcla fresca dependerán de las estructuras a construirse, los métodos de colocación y compactación disponibles. La baja calidad de una estructura se debe a las malas condiciones de colocación que provocan una considerable pérdida de resistencia, al igual que el agua juega un rol muy importante en las propiedades



del hormigón fresco, pero con una incidencia negativa para las propiedades del material endurecido.

Sin embargo, se han descrito características susceptibles a medición o apreciación, capaz de indicar algunas propiedades de la mezcla. Estas características son:

- Uniformidad
- Trabajabilidad.
- Consistencia.
- Densidad del hormigón fresco.
- Falso fraguado.

A continuación se describirá cada una de estas propiedades, detallando su metodología de medición y su procedimiento.

1.3.1 UNIFORMIDAD

Esta propiedad debe ser mantenida en el tambor de mezclado, durante la colocación y compactación, para lograr un hormigón de propiedades físico-mecánicas y de durabilidad homogéneas en toda su masa. La uniformidad se modifica por los fenómenos de segregación y exudación.

1.3.2 SEGREGACIÓN

Es la separación mecánica de los componentes de una mezcla heterogénea de modo que la distribución granulométrica de las partículas deja de ser uniforme. Los diferentes tamaños y densidades de las partículas son las principales causas de la segregación, por lo que la segregación hace que el hormigón sea más débil, menos durable, y dejará un pobre acabado en la superficie, además de disminuir la resistencia del hormigón endurecido, donde puede producir fisuramientos y agujeros en la mezcla, afectando la resistencia a la compresión, y el acabado de un elemento estructural.

Para evitar la segregación, la pasta de cemento debe tener una viscosidad adecuada para adherirse y lubricar a las partículas que conforman los agregados, por lo que el mortero debe tener la suficiente cohesión para mantener a todas las partículas unidas, atrapándolas y reteniéndolas, evitando que estas se separen de la mezcla.

Existen dos tipos de segregación:

- *Segregación interna:* en este caso las partículas grandes tienden a separarse, (por asentamiento o descohesión) o la pasta se separa de los agregados por la adición exagerada de agua a la mezcla y las diferentes densidades de los agregados,
- *Segregación externa:* las fuerzas exteriores que actúan sobre el hormigón fresco superan las fuerzas internas de cohesión. Esto ocurre durante el transporte, colocación y vibrado.

El hormigón debe verterse directamente en su posición definitiva, sin moverlo, ni dejarlo fluir sobre los encofrados, ni aplicarle un vibrado prolongado ya que esto produce el **sangrado** o **exudación** del hormigón fresco, que es el afloramiento del agua libre hacia la superficie, llevando consigo partículas inertes de cemento, que al fraguar el hormigón resultan en porosidades por lo tanto el vibrado se suspende cuando dejan de aparecer burbujas de aire en la superficie.

En hormigones normales la segregación producirá una gran concentración de agregado grueso en la parte inferior del molde y en los hormigones livianos, será en la parte superior, debido a su tendencia a flotar. La segregación origina en la estructura puntos de muy baja resistencia, se forman zonas sin mortero denominados nidos de abeja, que permiten el ataque al hormigón y al acero, de fluidos agresivos. Así se disminuye la seguridad de la estructura y su vida útil.

1.3.2.1 Ensayos de segregación

Se utiliza un ensayo ideado por Popovics en el cual se llena un molde de altura adecuada con hormigón y el mismo es compactado. Luego, se extraen muestras del material fresco de la parte superior e inferior, en forma separada. Una vez separada las muestras se procede a determinar por lavado sobre el tamiz N° 4 (4.75 mm) el porcentaje de agregado grueso en las dos muestras. El factor de segregación (F_s), se calcula como el cociente de los pesos de agregado grueso:

$$F_s = \frac{P_s}{P_i}$$

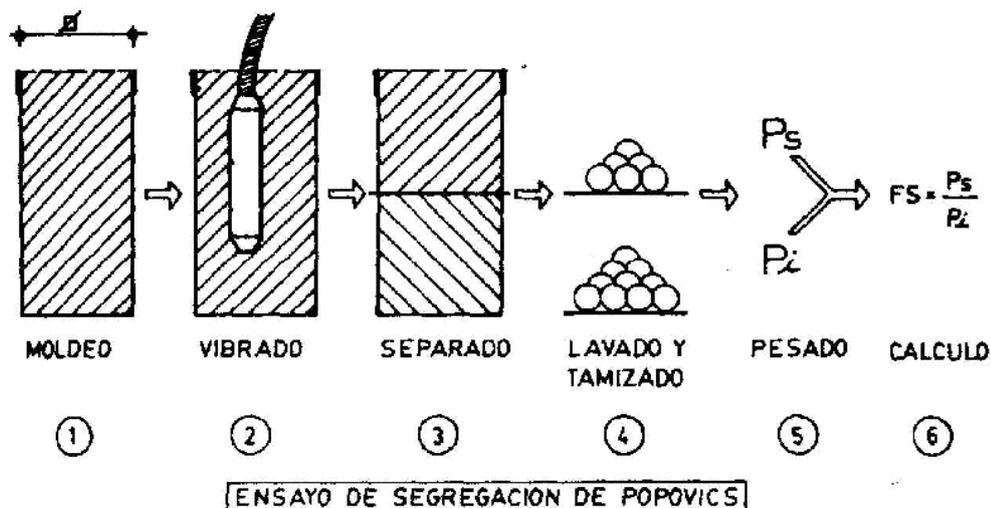
Ec.1 2 Segregación

La segregación no es importante para valores de F_s entre 1 y 1,1. A continuación se indican los factores que inciden en forma desfavorables sobre la segregación:

- Aumento del contenido de arena.
- Deficiencia del contenido de arena (baja cohesión).
- Densidad.
- La forma alargada de las partículas.
- Mayor asentamiento.
- Mayor tamaño máximo del agregado grueso.
- Mayor relación agua/cemento.

Los aditivos químicos pueden disminuir la tendencia a la segregación del hormigón. El aire intencionalmente incorporado aumenta la cohesión y permite disminuir el contenido de agua por su acción plastificante. (Ing. Carrasco, 2013)

Fig. 1. 17 Esquematación de ensayo de segregación de Popovics



Fuente: Carrasco. Ma. Fernanda. (2013). Tecnología del hormigón. Santa Fe, Colombia.

1.3.2.2 Exudación

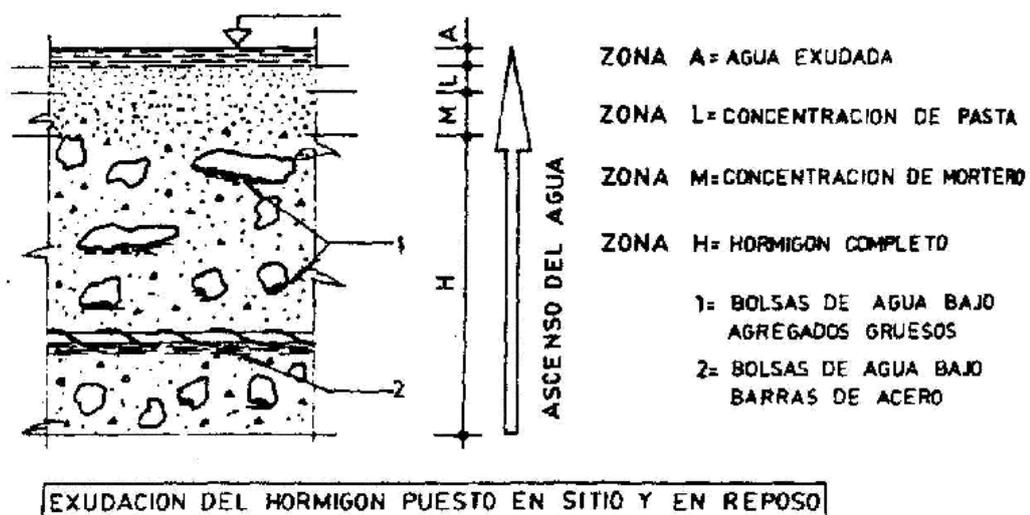
Este mecanismo es una forma especial de segregación, aunque también se lo puede considerar como un caso particular de sedimentación, donde parte del agua de mezclado tiende a fluir hacia la superficie del hormigón recién colocado, por ser el componente de menor densidad de la mezcla y a la poca capacidad de la estructura granular para retenerla.

Dado este fenómeno de la exudación la parte superior del hormigón tiene una relación a/c mayor, ya que el agua al momento de ascender a la superficie deja tras de sí estructuras capilares, orientadas en una misma dirección por lo que genera una estructura porosa que aumenta la permeabilidad, débil al desgaste que facilita el ataque de agentes agresivos como cloruros y sulfatos, y al efecto de congelación.

También este efecto se produce debajo de las partículas del agregado grueso y de las armaduras donde se acumula agua debilitando la interfaz “pasta-agregado” o “pasta-acero” el cual, disminuye la adherencia entre el hormigón y el acero.

En el caso de estructuras de poco espesor, pavimentos, losas, cuando la velocidad de evaporación es mayor que la de exudación se producen fisuras de contracción plástica. (Bascoy, 1992)

Fig. 1. 18 Efectos de la exudación (Bascoy)



Fuente: Bascoy, D. A. (1992). Tecnología del hormigón fresco. Buenos Aires, Argentina.

Existen dos tipos de exudación:

- Exudación uniforme: el fenómeno se desarrolla en toda la superficie libre del hormigón.
- Exudación canalizada: en este caso el agua arrastra las partículas finas de cemento y de agregado. Se produce un sifonaje y también, se puede producir en el caso de encofrados no estancos.

1.3.2.2.1 Ensayo de exudación

Se llena un molde normalizado con hormigón fresco, y se mide periódicamente el volumen de agua exudado o el descenso de un punto de la superficie de hormigón y se determina los siguientes parámetros:



- **Velocidad de exudación:** Se mide en centímetros de asentamiento o volumen de agua exudada por unidad de tiempo. La velocidad en la primera etapa de este proceso es constante.
- **Capacidad de exudación:** Esta dada por el porcentaje de agua de mezclado que se exuda. Un valor máximo de exudación un 10%.
- **Tiempo de exudación:** la exudación continúa hasta que la pasta de cemento ha endurecido lo suficiente, o hasta que se logra un equilibrio entre las fuerzas actuantes, y el descenso del material granular finaliza. También el efecto de fondo en recipientes poco profundos, y el efecto pared en recipientes esbeltos, pueden ser la causa de la finalización de la exudación.

Luego de producirse la mayor parte del proceso de exudación, y antes de que se produzca el fraguado del hormigón, se puede proceder a realizar un re-vibrado del material con el fin de densificarlo, eliminando capilares. Después de esta acción la exudación puede continuar, pero su efecto nocivo será menor y se verá superado por el efecto de la disminución de la relación a/c efectuada. Los factores que disminuyen la exudación son:

- Finura del cemento.
- Incorporación de puzolanas.
- Menor relación agua/cemento.
- Incorporación intencional de aire.
- Mayor porcentaje de álcalis o C_3A en el cemento.
- Empleo de cloruro de calcio.

1.3.3 TRABAJABILIDAD

Encontrar una definición de trabajabilidad, es ya una idea muy subjetiva, las diferentes definiciones que tratan de enlazar parámetros calificables según la perspectiva de cada evaluador, aunque los términos trabajabilidad y consistencia tienen cierto parecido, pero miden distintas características como por ejemplo, dos hormigones de igual consistencia, es decir igual asentamiento pueden tener distinta trabajabilidad en el caso que uno contenga canto rodado y otro piedra triturada, este último será menos trabajable porque su forma y textura originan una mayor fricción interna, que dificulta su movilidad y compactación. También esto se cumple en el caso de hormigones con y sin aire intencionalmente incorporado, las burbujas de aire incorporado disminuyen la fricción interna de la mezcla.

Dada esta comparación, el encontrar una definición adecuada para la trabajabilidad de los concretos de altas prestaciones es necesaria, la definición propuesta por Glanville, Collins y Matthews nos dice que *“la trabajabilidad se puede definir mejor como la cantidad de trabajo interno útil que se requiere para producir una compactación total”*, esta definición originada del supuesto que solo la fricción interna, es decir el esfuerzo de fluencia, es una propiedad intrínseca de la mezcla, nos brinda una aproximación cuantitativa de la trabajabilidad, sin embargo define un estado ideal de compactación total el cual nunca se logrará, sin embargo, es necesario volver a mencionar que el factor principal es el contenido de agua de la mezcla; los métodos de diseño de mezclas como el método del Comité 211 del ACI, en el cual se relaciona el slump y el tamaño máximo de los agregados con el contenido de agua necesario para la mezcla, obviando totalmente la forma y textura de los granos.

Al hablar de hormigones de altas prestaciones, con relaciones agua/cemento muy bajas, se dispone a obtener una mezcla de consistencia seca, poco trabajable, por lo que se puede generar problemas de mezclado, pero sobre todo, de compactación dentro de los moldes, lo que provoca que la resistencia del cilindro disminuya. Para mejorar esta característica, sin



afectar el resultado a obtener, se puede añadir pasta, en la misma relación de la mezcla, o emplear cualquier aditivo hiperplastificante en el agua de amasado.

Sin embargo, es muy importante mencionar que, al añadir únicamente agua a la mezcla, ayuda a mejorar la trabajabilidad, pero esto afecta directamente a la resistencia del hormigón, y se corre el riesgo de producir la segregación de los agregados en la mezcla fresca, por lo que esta solución es anti técnica y no debería considerarse su aplicación, en ninguna mezcla de hormigón.

Prácticamente, esta propiedad contribuye a evitar la segregación de los componentes del hormigón, donde un factor que influye en esto, es la finura del cemento, aunque una buena gradación de los agregados y el uso de aditivos, puede también ayudar a mejorar la cohesión.

El grado apropiado de cohesión del hormigón, es considerado cuando la mezcla no es demasiado plástica, ni demasiado viscosa, y su importancia varía con las condiciones de colocación del hormigón en obra.

La experiencia demuestra que mientras el contenido de aire no supere el 5%, la incidencia sobre la resistencia es muy pequeña comparada con los vacíos dejados por el agua.

No existe un ensayo que mida, la trabajabilidad de un hormigón. Los parámetros reológicos, viscosidad y punto de fluencia, que definen el comportamiento del estado fresco de este tipo de "fluido" no se han podido medir. Estos valores sólo se han determinado en pastas de cemento, y por ello en el hormigón se miden parámetros tecnológicos (asentamiento), que brindan información sobre alguna de las características del estado fresco.

La trabajabilidad del hormigón se relaciona directamente con el asentamiento de la mezcla, que se obtuvo mediante el ensayo del cono de Abrams.

1.3.3.1 Ensayo del cono de Abrams NTE INEN 1578:2010

Para valorar la trabajabilidad, se determina la consistencia con el ensayo de asentamiento en el cono de Abrams, es decir, mientras mayor sea el asentamiento, mayor será la trabajabilidad de la mezcla, de igual manera, cuanto menor sea el asentamiento de la mezcla, será menos dócil y trabajable.

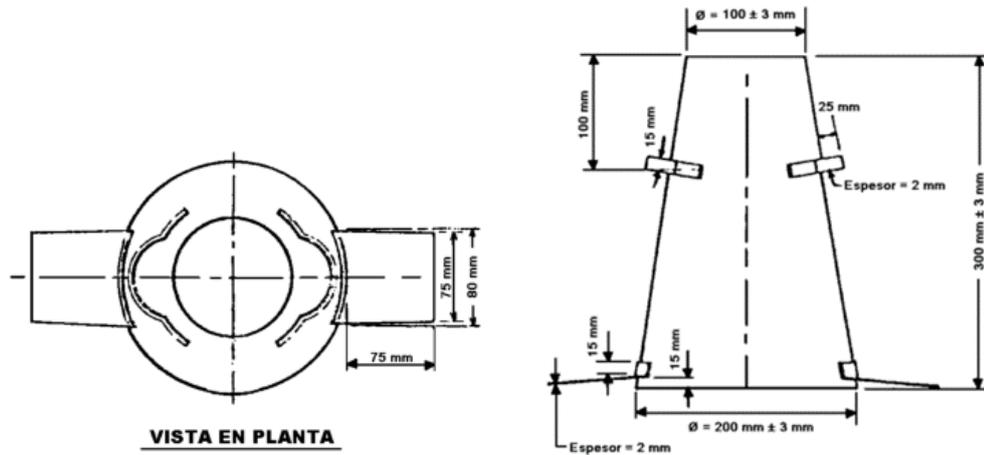
Según la normativa del ACI 211-4R-98, para hormigones de alta resistencia, el asentamiento debe ser el más bajo posible, que a su vez permita a la mezcla ser correctamente manejada y consolidada en la obra. Un asentamiento entre 2 a 4 pulgadas, proporciona la trabajabilidad requerida, para la mayoría de las aplicaciones, sin embargo, el espaciamiento del refuerzo, y detalles de las formas estructurales, deben considerarse antes del desarrollo de las mezclas de hormigón de alta resistencia.

La prueba del cono de Abrams o de slump es tal vez el ensayo que frecuentemente es más utilizado para caracterizar la consistencia de un hormigón. Muchos investigadores han tratado de realizar modelos con los cuales se puedan predecir el valor de slump, sin embargo los modelos presentados hasta el momento presentan un error promedio alto.¹⁰

El cono de ABRAMS, es un molde metálico troco cónico de 20 cm de base, 10 cm de diámetro superior y 30 cm de altura, como se indica en la siguiente figura:

¹⁰ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 1578:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento, 2010)

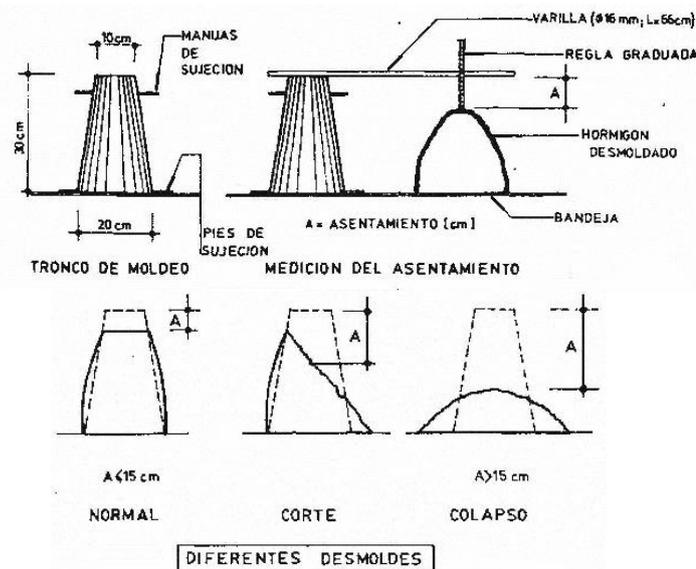
Fig. 1. 19 Cono de Abrams



Fuente: NTE INEN 1578:2010, Figura 1. Molde para el ensayo de asentamiento Pág., 2010.

El procedimiento de este ensayo, consiste en llenar el cono con hormigón, aproximadamente en 3 capas iguales en volumen, donde cada capa se compactará con una varilla de 16 mm de diámetro, 25 veces, tratando en cada golpe, que la varilla salga de la mezcla y se eleve 10 cm para poder dar el siguiente golpe, hasta llenar el molde por completo con la tercera capa. Luego, se enrasa con lo último de hormigón que llena el cono, con la copa del cono, para finalmente levantar el molde, lo más verticalmente posible, teniendo cuidado de no producir vibraciones o movimiento horizontal. El asentamiento propiamente dicho, o la disminución de altura de la mezcla fresca, medida al centro, nos determinan el asentamiento en centímetros, como se muestra en la siguiente figura 1.20.

Fig. 1. 20 Medición del asentamiento, Influencia de la temperatura y el tiempo (Bascoy)



Fuente: <http://www.e-mas.co.cl/categorias/arquitectura/Propiedadeshormigofresco.htm>



1.3.4 CONSISTENCIA

Es la menor o mayor resistencia que presenta la mezcla de hormigón fresco para deformarse, bajo la acción de su propio peso, y que por consecuencia, depende del grado de fluidez de la mezcla, que influye directamente con el agua de amasado, por lo tanto, cuando esta mezcla de hormigón fresco es plástica se está diciendo que hay una consistencia óptima.

Hablando de los factores que influyen en esta característica, se puede mencionar al agua de amasado utilizada, ya que a mayor cantidad de agua, la mezcla se vuelve más fluida. Otro factor es el grado de finura del cemento, ya que si la finura es mayor se tiene mejor consistencia. La gradación de los agregados, indica que a mejor gradación, o mayor cantidad existente de distintos diámetros de los agregados, se tiene una mezcla más plástica, y de igual manera su forma y textura, ya que superficies ásperas y angulares de los agregados, necesitarán mayor pasta agua – material cementante que pueda dar plasticidad a la mezcla.

Con la descripción anterior, se pueden determinar los estados o tipos de consistencia conocidos o establecidos:

Tabla 1. 4 Medición del asentamiento, Influencia de la temperatura y el tiempo (Bascoy)

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	TOLERANCIA	COMPACTACIÓN	ENSAYO DE EVALUACIÓN APLICABLE
	cm	cm		
Seca	0 – 2	0	Vibrado energético	Asentamiento del cono de Abrams Tiempo de remoldeo en el dispositivo VeBe
Plástica	3 – 5	±1	Vibrado normal	Asentamiento del cono de Abrams
Blanda	6 – 9	±1	Apisonado Compactación con barra	Asentamiento del cono de Abrams Extendido en la mesa de Graf
Fluida	10 – 15	±1	Compactación con barra	Asentamiento del cono de Abrams Extendido en la mesa de Graf

Fuente: (Bascoy, 1992)
Elaborado y adaptado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Para determinar los estados que se describen en la tabla 1.4, existen varios ensayos normalizados, entre los cuales se pueden mencionar:

- Ensayo de asentamiento o revenimiento: Norma ASTM – C143.
- Ensayo con la esfera de Kelly: Norma ASTM – C360.
- Ensayo de remoldeo de VEBE

1.3.4.1 Prueba de fluidez

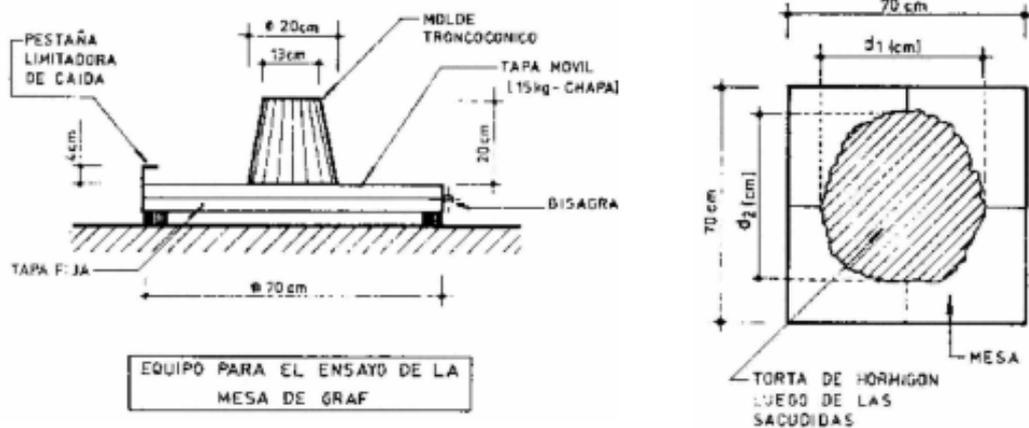
Esta prueba indica la consistencia y la tendencia a la segregación del hormigón, midiendo la dispersión de un pequeño volumen de material sujeto a un número establecido de sacudidas sobre una mesa de Graf. Dicha prueba es valiosa para estudiar la segregación, da también una buena idea de la consistencia de las mezclas rígidas, ricas y más bien cohesivas.

El aparato consta de una mesa de latón de 76 x 76 cm y montada de una manera que pueda ser sacudida por medio de caídas de 4 cm. Se llena molde troncocónico de 20 cm de altura y diámetros de 13 y 20 cm, en dos capas compactadas 10 veces con la varilla de compactación. Se retira el molde. Se levanta la mesa y se la deja caer 15 veces en 25 seg.

Se miden dos diámetros, perpendiculares, de la mezcla esparcida, tomando el valor promedio como extendido (Fig. 1.21). Este método tiene como inconveniente que mezclas

muy fluidas, con alto contenido de agua, dan una fluidez alta, aunque no resultan ser sinónimo de trabajabilidad. El material en este caso es segregable.

Fig. 1. 21 Ensayo de la mesa de Graf (Bascoy)

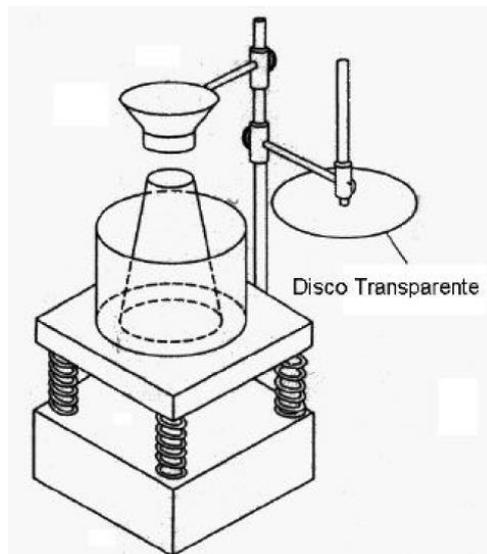


Fuente: Bascoy, D. A. (1992). Tecnología del hormigón fresco. Buenos Aires, Argentina.

1.3.4.2 Prueba VeBe

Este ensayo es afín a la prueba de remoldeo. Aquí se omite el anillo interior y la compactación se logra por medio de una mesa vibratoria. La prueba finaliza cuando la placa de vidrio superior queda totalmente mojada por el hormigón. El parámetro que se mide es el tiempo necesario para remoldear la mezcla. El campo de aplicación es el de hormigones muy secos. Este método es representativo de la forma en que el material se coloca en obra. El nombre del mismo se debe a las iniciales de su inventor, V. Bahrner, de Suecia (Fig. 1.22).

Fig. 1. 22 Ensayo de remoldeo de VeBe

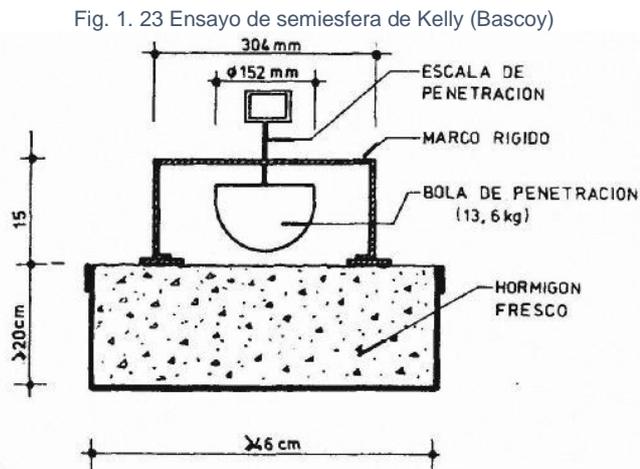


Fuente: Bascoy, D. A. (1992). Tecnología del hormigón fresco. Buenos Aires, Argentina.

1.3.4.3 Prueba de la semiesfera de Kelly

Es una prueba de penetración sencilla, fácilmente de aplicar en obra. Consiste en determinar la profundidad que un hemisferio de metal de 13,6 kg se hundirá en el hormigón bajo su peso propio. El espesor de la capa de material a ensayar debe ser mayor de 3 veces el tamaño máximo del agregado grueso o al menos 20 cm, y la menor dimensión lateral de 46 cm. La caída de la semiesfera es conveniente realizarla de manera guiada para evitar que se incline y roce el eje con el marco y modifique el resultado. La penetración resulta

aproximadamente igual a la mitad del asentamiento. En el caso de aplicar este método a hormigones livianos el peso de la semiesfera es de 9,0 kg. Este ensayo puede realizarse en una bandeja o carretilla; también, en encofrados antes de cualquier manipuleo (Fig. 1.23).



Fuente: Bascoy, D. A. (1992). Tecnología del hormigón fresco. Buenos Aires, Argentina.

1.3.5 DENSIDAD DEL HORMIGÓN FRESCO

La densidad del hormigón fresco es la relación entre la masa del hormigón y el volumen ocupado por el mismo. Este parámetro, al compararlo con la densidad del hormigón endurecido, permite determinar el porcentaje de pérdida de masa por exudación, sangrado, evaporación y filtraciones de lechadas de cemento, desde que el hormigón se encuentra en estado fresco hasta cuando se endurece. Además puede medirse con el hormigón compactado o sin compactar el cual se mide en kg/m^3 , y su importancia también se considera al tomarlo como indicativo de uniformidad del hormigón en el transcurso de una obra. Su importancia se establece, cuando es necesaria la determinación de las cargas, que actúan en el encofrado de los elementos estructurales de un proyecto, tomando en cuenta que este material será vaciado y compactado sobre este encofrado.

La densidad del hormigón fresco compactado, es una medida del grado de eficacia del método de compactación empleado, y su variación puede indicar:

- Alteración de la granulometría de los agregados.
- Diferente contenido de cemento.
- Distintas características del agua de amasado

1.3.6 FALSO FRAGUADO

El falso fraguado, es también conocido como endurecimiento prematuro, y no es más que un endurecimiento inicial del hormigón fresco, que a veces se presenta entre 1 a 5 minutos después del mezclado.

1.4 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Tal y como su nombre los describe, un hormigón de altas prestaciones en estado endurecido, se encuentra en su etapa final de fraguado. En el cual sus componentes como son: los agregados gruesos y finos, el cemento endurecido, el agua que ha reaccionado químicamente con sus componentes, la red de poros abiertos o cerrados producto de la evaporación del agua sobrante y el aire ocluido ya sea natural o provocado por un aditivo deben reflejar su alto desempeño en condiciones de uso. Entre las propiedades más



importantes de este tipo de hormigón se puede mencionar la resistencia a compresión, el módulo de elasticidad, la relación de Poisson, la resistencia a la tracción, el flujo plástico, etc.; características de suma importancia en el momento del análisis y diseño de cualquier estructura. De igual manera, el hormigón debe demostrar altas características de desempeño en durabilidad durante su vida útil de servicio.

1.4.1 DENSIDAD

La densidad del hormigón se define como el peso por unidad de volumen. Depende fundamentalmente del tipo de agregado (densidad real) y de la proporción en que participan cada uno de los diferentes materiales constituyentes del hormigón, método de compactación y aire ocluido. Al comparar el valor de densidad del hormigón fresco, con el del hormigón endurecido, permite obtener la pérdida de masa del hormigón, producido principalmente por la evaporación del agua de mezclado. La importancia de esta característica, es que su valor permite calcular las cargas que actúan permanentemente sobre una estructura, y este valor es conocido como carga muerta. Se adopta un valor estándar de 25 kN/m³ en hormigón armado y de 23 kN/m³ si es en masa. En hormigones especiales que van de 0.5 a 6 ton/m³ se adopta para hormigones ligeros entre 9 y 20 kN/m³ y en hormigones pesados se adoptan valores superiores a los 28 kN/m³.

La densidad normalmente experimenta ligeras variaciones con el tiempo, las que provienen de la evaporación del agua de amasado hacia la atmósfera y que en total puede significar una variación de hasta alrededor de un 7% de su densidad inicial.

Los hormigones livianos se obtienen por medio de la incorporación de aire, ya sea directamente en la masa del hormigón o incorporada en los áridos, utilizando áridos livianos en los cuales se utilizan principalmente cuando se desea obtener aislación térmica y acústica mayores que las del hormigón convencional.

Los hormigones pesados se obtienen mediante el uso de áridos mineralizados, cuya densidad real es mayor que la de los áridos normales y se utilizan principalmente cuando se desea obtener aislamiento contra las partículas radiactivas.

La densidad de los **Hormigones Ligeros** oscilará entre los 200 y los 1500 kg/m³.

La densidad de los **Hormigones Ordinarios**:

- Apisonados: 2000 a 2200 kg/m³
- Vibrados: 2300 a 2400 kg/m³
- Centrifugados: 2.400 a 2500 kg/m³
- Proyectados 2500 a 2600 kg/m³

En los **Hormigones Pesados** la densidad puede alcanzar los 4000 kg/m³

1.4.2 RESISTENCIA

La resistencia es una de las propiedades más importantes del hormigón, principalmente cuando se le utiliza con fines estructurales. El hormigón, en su calidad de constituyente de un elemento estructural, queda sometido a las tensiones derivadas de las solicitaciones que actúan sobre éste. Si sobrepasan su capacidad resistente se producirán fracturas, primero de origen local y posteriormente generalizadas, que podrán afectar la seguridad de la estructura.

Por este motivo, los elementos estructurales deben ser dimensionados de manera que las tensiones producidas no sobrepasen la capacidad resistente del material constituyente, lo cual muestra la importancia de conocer esa característica.



1.4.2.1 Resistencia a la compresión

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión del hormigón está establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1573:2010.

El valor de resistencia obtenido en el ensayo no es, sin embargo, absoluto, puesto que depende de las condiciones en que ha sido realizado. Entre estas condiciones, las de mayor influencia son las que se analizan a continuación.

1.4.2.2 Resistencia a tracción

La resistencia a tracción del hormigón ha sido considerablemente menos estudiada que la resistencia a compresión, en parte debido a la mayor incertidumbre que existe para su determinación.

Esta incertidumbre empieza con la forma de ejecución del ensayo, existiendo tres formas distintas para efectuarlo: por tracción directa, por flexión y por tracción indirecta, cada uno de las cuales conduce a valores sensiblemente diferentes.

El procedimiento de ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción del hormigón está establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2648:2013.

1.4.3 VARIACIONES DE VOLUMEN

El hormigón experimenta variaciones de volumen, dilataciones o contracciones, durante toda su vida útil por causas físico - químicas.

El tipo y magnitud de estas variaciones están afectados en forma importante por las condiciones ambientales existentes de humedad y temperatura y también por los componentes presentes en la atmósfera.

La variación de volumen derivada de las condiciones de humedad se denomina retracción hidráulica, y las que tienen por causa la temperatura, retracción térmica. Por su parte, de las originadas por la composición atmosférica, la más frecuente es la producida por el anhídrido carbónico y se denomina carbonatación.

1.4.3.1 Retracción hidráulica

Los parámetros preponderantes en la retracción hidráulica son:

- Composición química del cemento: Influye principalmente en la variación de volumen, dado que ésta deriva del desarrollo del proceso de fraguado. En estas condiciones, si la composición del cemento favorece un fraguado rápido de la pasta, ella también será favorable para una más alta contracción inicial, si existen condiciones ambientales no saturadas de humedad. Por las razones indicadas, un alto contenido de C_3A favorecerá una rápida y alta contracción.
- Finura del cemento: Una mayor finura del cemento favorece también una evolución rápida de sus propiedades, en particular de su fraguado.
- Dosis de cemento: Existe una relación casi directa entre la dosis de cemento y la retracción hidráulica por estas causas.



- Dosis de agua: Dado que un mayor contenido de agua en el interior del hormigón conducirá a una mayor cantidad de fisuras y poros saturados, desde donde se origina la tensión superficial.
- Porosidad de los áridos: El valor de la retracción por esta causa queda condicionado por la finura del árido, siendo mayor cuando ésta aumenta, puesto que ello implica una mayor cantidad de discontinuidades en la masa del árido.
- Humedad: Puesto que ella condiciona la velocidad de evaporación del agua interior del hormigón.

1.4.3.2 Retracción térmica

El hormigón puede experimentar variaciones de volumen causadas por la temperatura, las cuales pueden provenir tanto externamente de la temperatura ambiente como internamente de la generada durante el fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento.

Como consecuencia de lo expresado, los principales factores que condicionarán la magnitud de la retracción térmica son los siguientes:

- Variaciones derivadas de causas externas:
 - magnitud y velocidad de las variaciones de temperatura ambiental
- Variaciones por causas internas:
 - Características del cemento
 - Contenido de C_3A
 - Finura de molienda
 - en el momento de su incorporación en el hormigón

La evaluación de la retracción térmica puede efectuarse a partir del valor de las temperaturas producidas y de las características de dilatación térmica del elemento. Para paliar los efectos derivados de la retracción térmica pueden tomarse algunas medidas, como las que se describen a continuación:

Para atenuar los efectos derivados de la temperatura externa, la medida más eficaz consiste en el aumento de la aislación térmica en los paramentos que limitan con el exterior. Para los efectos térmicos generados por el proceso de hidratación de la pasta de cemento pueden tomarse diversas medidas, tales como las siguientes:

- Empleo de cementos de bajo calor de hidratación, aceptándose normalmente como tales aquellos cuyo calor de hidratación a 7 días es inferior a 70 cal/g.
- Disminución de la temperatura interna del hormigón por alguno de los siguientes sistemas:
 - Reemplazo de parte del agua de amasado por hielo durante la revoltura en la hormigonera, con lo cual se logra rebajar la temperatura inicial del hormigón colocado en obra.
 - Refrigeración del hormigón colocado, por circulación de agua fría a través de serpentines embebidos en su masa.



- Planificación de las etapas de hormigonado de la obra de manera tal que sean de espesor limitado, dejando transcurrir un lapso que permita la mayor disipación posible del calor generado en ese tiempo. El procedimiento habitual es relacionar el espesor de las etapas con el tiempo de espera, de manera de dejar transcurrir un plazo de un día por cada 0.5 mm de espesor de la etapa.

1.4.3.3 Retracción por carbonatación

El proceso de hidratación de la pasta de cemento deja una cierta proporción de cal libre, es decir, sin participar en el proceso químico de fraguado.

Esta cal libre es susceptible de combinarse con el anhídrido carbónico del aire, produciendo carbonato de calcio, combinación química que tiene un carácter contractivo, por lo cual el espesor de hormigón afectado por él disminuye su volumen inicial, generándose la denominada retracción por carbonatación.

En general, el espesor afectado es pequeño, alcanzando sólo algunos milímetros en la zona cercana a la superficie en contacto con el aire. Sin embargo, por el confinamiento que produce el hormigón interior adyacente, esa capa queda sometida a tensiones de tracción, pudiendo fisurarse.

El proceso alcanza mayor magnitud si el hormigón se presenta superficialmente seco, la humedad relativa del aire tiene un grado de humedad intermedio, alrededor de 50%, y el hormigón es poco compacto. Disminuye, en cambio, significativamente si el hormigón está saturado, pues el agua impide la difusión del anhídrido carbónico en los poros del hormigón, o la humedad ambiente es muy baja, inferior a 25%, pues el desarrollo de la carbonatación requiere de un cierto. Grado de humedad mínimo.

En consecuencia, para atenuar los efectos de la carbonatación es necesario efectuar un buen curado del hormigón.

1.4.4 PROPIEDADES ELÁSTICAS Y PLÁSTICAS

El conocimiento de las propiedades elásticas del hormigón son necesarias para establecer la relación entre tensiones y deformaciones, aspecto que adquiere gran importancia en algunos problemas de tipo estructural, particularmente cuando el cálculo de deformaciones es determinante.

1.4.4.1 Propiedades elásticas.

La relación entre tensiones y deformaciones se establece a través del módulo de elasticidad. Para los materiales totalmente elásticos, el módulo de elasticidad es constante e independiente de la tensión aplicada, acostumbrando a designársele con el nombre de módulo de Young. En otros materiales, designados inelásticos en cambio, el módulo de elasticidad depende del valor de la tensión aplicada.

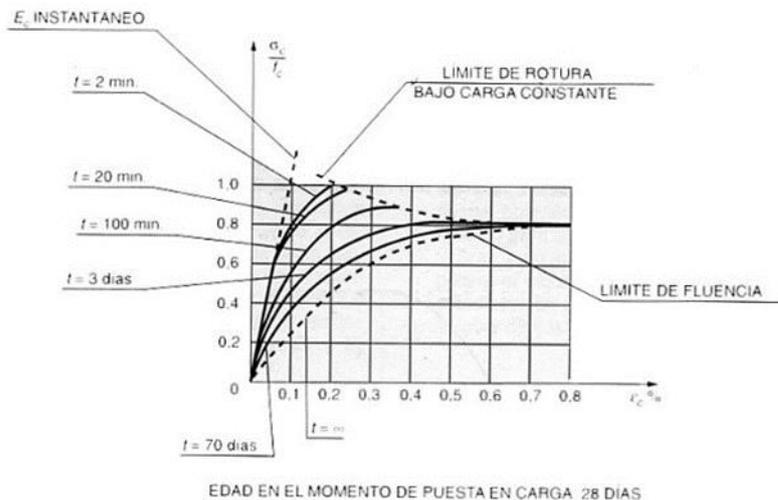
Lo más frecuente, sin embargo, es que los materiales presenten una combinación de ambos comportamientos, inicialmente elástico y posteriormente inelásticos al aumentar la tensión aplicada.

Este es el caso del hormigón, cuya curva de relación tensión deformación tiene la forma indicada en la figura 1.24, en la cual pueden observarse tres tramos característicos:

- 1) Un primer tramo recto, en que el comportamiento es elástico y que abarca no más de un 20 % del desarrollo total de la curva.

- 2) Un segundo tramo curvo, ascendente hasta el valor máximo de la curva tensión - deformación.
- 3) Un tercer tramo curvo, descendente hasta la tensión de rotura

Fig. 1. 24 Curva de relación Tensión - Deformación



Fuente: http://ocw.upm.es/expresion-grafica-en-la-ingenieria/dibujo-de-construccion/contenidos/0141_ehe.pdf

En efecto, la forma recta se mantiene en tanto el hormigón se mantenga como un material homogéneo. Esta forma se pierde al aparecer las primeras microfisuras, normalmente en el contacto mortero - árido grueso, pues, en esta situación, aun cuando el hormigón es capaz de seguir aceptando carga, su deformabilidad aumenta. Finalmente, al fracturarse el mortero del hormigón, desaparece su capacidad de tomar carga, pero continúa deformándose hasta llegar a la rotura total.

1.4.4.2 Propiedades plásticas del hormigón

A pesar del carácter frágil señalado para el hormigón para las cargas de velocidad normal de aplicación, éste presenta un comportamiento plástico cuando una determinada carga permanece aplicada un largo tiempo, produciéndose en este caso una deformación denominada fluencia del hormigón.

El conocimiento de la fluencia es necesaria para el análisis estructural en el caso del cálculo de deformaciones en elementos de hormigón armado, determinar la pérdida de la tensión aplicada en una estructura de hormigón pretensado o para el cálculo de tensiones a partir de la medición de deformaciones.

El mecanismo que genera la fluencia en el hormigón no es bien conocido, estimándose actualmente que es causado por la combinación de dos tipos de fenómenos: uno derivado de la acomodación de la estructura cristalina de la pasta de cemento, que se denomina fluencia básica, y otro proveniente de la migración interna de la humedad, que se traduce en una retracción hidráulica adicional.

Los principales factores que condicionan la fluencia del hormigón son las características del hormigón, principalmente el tipo y la dosis de cemento, la humedad ambiente, la magnitud de la tensión aplicada y la edad del hormigón en el momento de su aplicación.



1.4.5 PERMEABILIDAD DEL HORMIGÓN

El hormigón es un material permeable, es decir que, al estar sometido a presión de agua exteriormente, se produce escurrimiento a través de su masa.

El grado de permeabilidad del hormigón depende de su constitución, estando normalmente comprendido su coeficiente de permeabilidad entre 10^{-6} y 10^{-10} cm/seg.

Las medidas que pueden esbozarse para lograr un mayor grado de impermeabilidad son:

- a) La razón agua/cemento más baja posible, compatible con la obtención de una trabajabilidad adecuada para el uso en obra del hormigón.
- b) Utilizar la dosis de cemento más baja posible, compatible con la resistencia y otras condiciones que establezcan las especificaciones del proyecto.
- c) Emplear un contenido apropiado de granos finos, incluido los aportados por el cemento, para lograr un buen relleno del esqueleto de áridos del hormigón. La cantidad ideal de granos finos puede establecerse a partir de los métodos de dosificación granulométricos.

La determinación del coeficiente de permeabilidad debe efectuarse necesariamente en base a ensayos de laboratorio, entre los cuales pueden mencionarse dos tipos principales:

- a) Los de permeabilidad radial, en los que se utiliza una probeta cilíndrica con una perforación central, desde la cual se aplica agua a presión, midiéndose el agua escurrida en un cierto tiempo. Este tipo de ensayo permite determinar el coeficiente de permeabilidad por medio de las fórmulas de escurrimiento en medios permeables.
- b) Los de penetración del agua en el hormigón, en los cuales una losa de hormigón es sometida a presión de agua por un lado y se mide la penetración del agua en su masa después de un cierto tiempo. Este ensayo se utiliza generalmente en forma comparativa, aunque también permite el cálculo del coeficiente de permeabilidad en forma similar a la del ensayo radial.

1.4.6 DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

Durante toda su vida útil, el hormigón está permanentemente expuesto a las acciones provenientes de agentes externos e internos, que pueden afectar su durabilidad si no se les tiene debidamente en cuenta.

De acuerdo a su origen, estas acciones pueden ser producidas por agentes físicos o químicos.

1.5 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN EMPLEANDO PIGMENTOS

1.5.1 EFECTOS DE LOS PIGMENTOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO

Los pigmentos SikaCim Color S están compuestos por partículas de tamaños inferiores a $1 \mu m$, hasta diez veces menores que las partículas de cemento. Un material con una granulometría tan fina incide en las condiciones de fabricación del hormigón, tanto por sus dimensiones como por su forma. Estos pigmentos en polvo son producidos en base a óxidos minerales y poseen una densidad de 0.5 a 1,1 kg/lit aproximadamente, dependiendo del color,



por ejemplo, el pigmento amarillo debido a su forma acicular, es capaz de adsorber en su superficie más agua, con lo que disminuye la cantidad efectiva a efectos de fraguado.

1.5.1.1 TRABAJABILIDAD

La incorporación de pigmentos en el hormigón, generalmente se traduce en una reducción de su trabajabilidad. La ASTM C-979 recomienda que el incremento en la demanda de agua para mantener la misma trabajabilidad de la mezcla original no pigmentada no debe exceder del 10% sobre el peso de cemento.

1.5.1.2 TIEMPO DE FRAGUADO

Según WALLENDÆEL, la mayoría de los pigmentos no tienen efectos considerables sobre esta propiedad, siempre y cuando se utilicen en dosis recomendadas.

1.5.1.3 CONTENIDO DE AIRE

Los pigmentos en general no ejercen ningún efecto sobre el contenido de aire de los hormigones, a excepción del pigmento de carbón negro y otros de partículas muy finas. Cuando se emplea esta clase de pigmentos, se debe añadir cantidades adicionales de aditivos incorporadores de aire dentro de valores aceptables.

La norma ASTM C-979 especifica que los pigmentos, cualesquiera que sean los tipos, no deben alterar el contenido de aire de los hormigones en porcentajes superiores al 1%

1.5.1.4 EXUDACIÓN Y ASENTAMIENTO

Tanto la norma ASTM C979-62 como la British Standard B 1014. Especifican que los pigmentos usados en los niveles recomendados por los fabricantes, no producen efectos adversos sobre estas propiedades. CABRERA y L YNSDALE, citando a MAILVAGANAM (USA.1964), añaden que la utilización de pigmentos en cantidades superiores a las recomendadas en hormigones fabricados con cementos de bajo contenido de C₃A provoca un aumento de la exudación.

1.5.2 EFECTOS DE LOS PIGMENTOS EN LAS PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO

Las investigaciones realizadas sobre las propiedades físicas de los hormigones coloreados son bastante escasas. En la actualidad sólo se ha encontrado algunas referencias sobre los efectos de los pigmentos sobre la resistencia a compresión, flexo-tracción y la retracción que sufren los hormigones que tienen incorporados pigmentos en su formulación.

1.5.2.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXO-TRACCIÓN

Estudios realizados por MOWAT y SYMONS demostraron que la resistencia a la compresión del hormigón no sufre disminución significativa al incorporar el pigmento en las dosis recomendadas, si se mantiene la consistencia original a través de un ajuste de la relación agua/cemento. PEREZ LUZARDO y BÜCHNER coinciden en que no se presentan alteraciones importantes en la resistencia a flexo-tracción debido a la incorporación de pigmentos al hormigón, si ésta se produce en cantidades recomendadas.

BÜCHNER, sin embargo, pudo comprobar que el pigmento de óxido de hierro amarillo produce una reducción en la resistencia del hormigón, si es utilizado en cantidades superiores al 6%. Esta reducción es debida a la gran demanda de agua provocada por el pigmento



amarillo, como consecuencia de su forma acicular, que absorbe una mayor cantidad de agua, lo que conlleva a una reducción en la relación agua/cemento efectiva de la mezcla.

Estudios realizados por MOWA T y SYMONS. Incorporando pigmentos de óxido de hierro negro al hormigón demostraron un aumento en la retracción del mismo, al mantener constante la consistencia a través de ajustes en la relación agua/cemento. KROONE y BLAKEY también comprobaron un incremento en la retracción al incorporar pigmentos en el hormigón. Sin embargo, estas investigaciones concluyeron que el aumento en la retracción no es significativo, si la cantidad de pigmento empleada está dentro de los límites aceptables.

1.5.3 EFECTOS DE LOS PIGMENTOS EN RELACIÓN CON LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN

Son pocos los estudios realizados sobre la durabilidad de los hormigones pigmentados y su comportamiento en distintas condiciones ambientales. En la bibliografía estudiada los trabajos se limitaron a la y permeabilidad.

1.5.3.1 RESISTENCIA AL HIELO-DESHIELO

De acuerdo con *CABRERA* y *LYNSDALE*, Investigaciones realizadas en Alemania demostraron que los pigmentos no afectan a la resistencia del hormigón al hielo-deshielo. Tales investigaciones comprobaron que el hormigón pigmentado presentaba una resistencia superior a la exigida por la norma DIN 18501.



CAPÍTULO II METODOLOGÍA **EXPERIMENTAL**





2.1 DISEÑO EXPERIMENTAL

Desde los comienzos de la tecnología del concreto, los investigadores han dedicado un tiempo preferencial al estudio de las características granulométricas, de forma y superficie del agregado; han relacionado estas características directamente con la compacidad de los agregados. Desde D'Henry Le Chatelier (1850 – 1936) luego L.J. Vicat y Rene Féret, fueron los precursores de la búsqueda de la granulometría óptima de los agregados, en Estados Unidos, R. B. Fuller y J. Thompson proponen en 1907 una curva granulométrica continua y basan en ella un método de dosificación científica de concretos, que la bibliografía registra como Método de Fuller.

Fuller sustentaba la teoría de que usando una curva granulométrica adecuada podía mejorarse la resistencia mecánica y otras características del concreto. Simultáneamente en Alemania, el profesor O. Graf presento una curva similar, prácticamente coincidente con la de Fuller.

En 1925 en Suiza, el profesor Bolomey propuso una curva granulométrica continua, en la cual también incluía al cemento. En la misma época en Francia el profesor Caquot encontró una solución matemática para la composición granulométrica de los concretos. Por un lado determino que el volumen absoluto varía proporcionalmente al tamaño de los agregados y a la superficie de las paredes que lo contienen, este efecto fue conocido como el efecto pared.

Estos conceptos teóricos de Caquot fueron luego utilizados por Faury y Joisel para su aplicación práctica en sus métodos de dosificación de concretos por curvas de referencia.

En la actualidad las curvas de referencia han sido generalizadas y normadas, en casi todos los códigos alrededor del mundo, como la norma ASTM C-33, la norma DIN 1045, y por supuesto la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 0872:2011.¹¹

Sin embargo, el problema de encontrar la curva ideal aún persiste, recientes intentos con resultados favorables han sido presentados en Francia, Canadá y Estados Unidos; en 1999 en Francia De Larrard y Sedran presentaron la última versión de un modelo para el cálculo de la compacidad de las mezclas de agregado, en Canadá, Aïtcin presento su modelo para predecir las proporciones de agregados en función de su granulometría, factores de textura y forma; en China Q. Weizu presento otro modelo basado en el máximo paquete de densidad, esto en concordancia con lo propuesto por De Larrard y Sedran.

A continuación se presenta una revisión a las diferentes teorías y métodos propuestos a través de los años para encontrar las proporciones óptimas de los agregados.

2.2 ENSAYO DE LOS MATERIALES

2.2.1 CEMENTO

2.2.1.1 Cemento Guapán

El cemento hidráulico compuesto Portland Puzolánico tipo IP Guapán que fabrica y expende la Unión Cementera Nacional UCEM-C.E.M. Planta Industrial Guapán mantiene la certificación de conformidad con sello de calidad de acuerdo a la norma NTE INEN 490: 2011, equivalente a la norma norteamericana ASTM 595, que posee una adición de hasta un 25% de puzolana.

¹¹ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 0872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos, 2011)

La planta Industrial Guapán de la UCEM-C.E.M cuenta con una planta de hormigón con una capacidad de 60m³/hora, la cual permite abastecer la demanda de las principales ciudades y poblaciones de las provincias de Azuay, Cañar y Morona Santiago.

Fig. 2. 1 Presentación Cemento Guapán



Fuente: Vallejo E. (2015). Cemento Guapán. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.1.1.1 Propiedades físicas y mecánicas del cemento. (NTE INEN 152:2012 y NTE INEN 490:2011)

Se denomina como Cemento Portland, al “Cemento Portland Puzolánico El cemento púrtland Puzolánico debe ser un cemento hidráulico, en el cual el constituyente puzolana se encuentra hasta el 40% en masa del cemento compuesto”.¹²

El cemento es un conglomerante para la elaboración de hormigones en sus diferentes variedades, utilizado en el campo de la construcción de obras civiles sometidas a las más grandes sollicitaciones; tales como viviendas, edificios, puentes, torres, autopistas y presas.

En la actualidad, la composición química del producto contiene la siguiente dosificación en masa: 75 % de clinker, 22% de puzolana, 3% de yeso. La adición de yeso tiene como objetivo lograr condiciones de trabajabilidad y fraguado. La adición de puzolana, le confiere al producto final por un lado valores de resistencia a la compresión más elevada que el producto sin adición y por otro lado, disminución en los efectos nocivos que pudiera presentarse como efecto de la presencia de cal libre que resulte de una deficiente cocción en la etapa de clinkerización. El efecto que ocurre por la presencia de cal libre en el cemento se da generalmente cuando el porcentaje de este componente supera el 3% en masa y se presenta con evidencia de agrietamientos en paredes, pisos, como producto del proceso de expansión. Para determinar si el cemento pudiera tener problemas de expansión en uso, se realiza ensayos en autoclave a presiones y temperaturas entre 2,1 mega pascales y 216 grados centígrados respectivamente.

¹² Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490: 2011, quinta revisión, Cementos hidráulicos Compuestos.

2.2.1.1.2 Ensayo de densidad del cemento (NTE INEN 0156:09)

La densidad del cemento hidráulico se define como, la masa de un volumen unitario de los sólidos, es decir es la relación entre una masa de cemento y el volumen del líquido no reactivo que esta masa desplaza en el frasco de Le Chatelier, su valor varía entre 2.90 a 3.20 gr/cm³ para el cemento Portland, pero el cemento que posee adiciones tiene un peso específico menor y posee una finura alta ya que el contenido de clinker es menor por el cual el peso específico del cemento no indica la calidad del cemento.

La densidad absoluta del cemento se ha obtenido mediante el procedimiento de Le Chatelier que consiste en llenar el frasco de Le Chatelier con querosén libre de agua, o nafta, que tenga una densidad mayor que 0,73 g/ cm³ a 23 °C ± 2 C. hasta un punto en la parte baja del cuello entre las marcas 0 cm³ y 1 cm³. Si es necesario, se debe secar el interior del frasco sobre el nivel del líquido después de llenarlo.

Registrar la primera lectura después de sumergir el frasco en un baño de agua.

El cemento, posteriormente pesado se va introduciendo en pequeñas cantidades a la misma temperatura que el querosén, evitando salpicaduras, se controló que el cemento no se adhiera a la cara interna del frasco sobre el líquido. Después que todo el cemento ha sido introducido, se colocó el tapón en el frasco y lo hacemos girar suavemente en círculos horizontales, de manera que se quede libre de burbujas de aire en el interior del frasco. Si ha sido añadida una adecuada cantidad de cemento, el nivel del querosén estará en su posición final en algún punto de las graduaciones en la parte superior del cuello. Registrar la lectura final después de que el frasco ha sido sumergido en el baño de agua.

Fig. 2. 2 Densidad del cemento mediante el frasco de Le Chatelier



Fuente: Vallejo E. (2015). Ensayo de densidad del cemento. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.1.1.3 Ensayo de superficie específica (finura) del cemento (NTE INEN 489-2013)

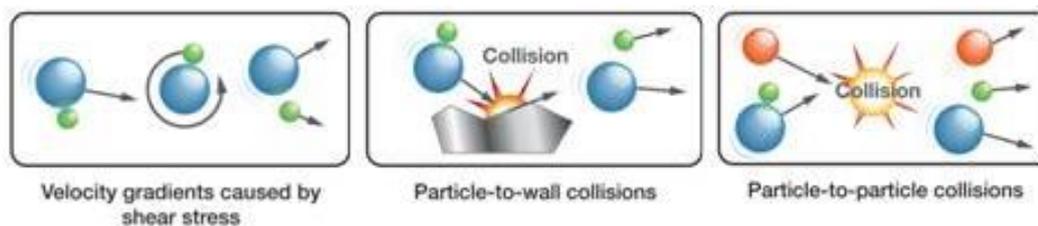
La superficie específica es una de las propiedades físicas más importantes del cemento, ya que está directamente relacionada con la velocidad de hidratación e influye claramente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante el tiempo de fraguado y primer endurecimiento.

"Se puede utilizar dispositivos mecánicos para tamizado, pero el cemento no puede ser rechazado si este cumple con el requisito de finura cuando se lo ensaya por el método manual descrito en el numeral 3.4."¹³

Para el ensayo se utilizó un dispersor de polvo seco (AERO S) y un difractor láser (Mastersizer 3000) en el cual la medición del tamaño de partícula es rápida y elimina la necesidad de dispersantes líquidos. Es el mejor método para muchos polvos secos, y es especialmente importante cuando el tamaño de partícula se ve afectado por la hidratación. El Aero S dispersa muestras secas mediante la aceleración de partículas a través de un Venturi con aire comprimido. Las partículas se pasan a través de la celda de medición del Mastersizer 3000 utilizando una fuente de vacío.

La eficiencia de dispersión se controla con tres variables: presión de aire, velocidad de alimentación de muestra y geometría del dispersor. (Malvern, 2011)

Fig. 2. 3 Mecanismos de dispersión de polvo seco



Fuente: www.malvern.com/ms3000

Fig. 1. 25 Ensayo mediante los mecanismos de dispersión de polvo seco



¹³ Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 489: 2013, segunda revisión, Cemento hidráulico. Determinación de la finura por tamizado seco.

Fuente: Vallejo E. (2015). Ensayo mediante un difractor laser. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.1.1.4 Ensayo de consistencia normal del cemento. Método de Vicat (NTE INEN 157:09)

Este método de Vicat determina la consistencia normal del cemento, y se basa en la resistencia que opone la pasta de cemento a la penetración de las agujas del aparato de Vicat en un tiempo estandarizado. Dicho valor de la consistencia se utiliza principalmente para determinar el tiempo de fraguado, la estabilidad de volumen, el calor de hidratación y la resistencia mecánica. Es un factor que no es índice de calidad del cemento. Los valores típicos de la consistencia normal, están entre 23% y 33%.

En el ensayo realizado en el laboratorio de control de calidad de la UCEM-C.E.M Planta Guapán, se procedió a amasar la pasta de cemento para formar una bola, la cual se lanza seis veces de una mano a otra, separadas una distancia aproximada de 150 mm, de manera que se genere una masa esférica, para que pueda ser fácilmente insertada en el anillo de Vicat. Una vez Insertada la masa en el anillo cónico, se coloca el anillo por su extremo más ancho sobre la placa de base, y se corta el exceso de pasta, centrando la pasta confinada en el anillo sobre la placa; bajo las agujas de vicat, se pone las agujas en contacto con la superficie de la pasta y se lo ajusta, luego de tomar una lectura inicial. Todas las operaciones después de completar el mezclado y hasta soltar las agujas, no deben exceder de 30 segundos. La pasta está en su consistencia normal cuando la varilla penetra $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ bajo la superficie original de la pasta en 30 segundos después de haber sido soltada.

Fig. 2. 4 Aparato de Vicat consistencia normal del cemento



Fuente: Vallejo E. (2015). Determinar la consistencia normal del cemento. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.1.1.5 Ensayo de resistencia cúbica de los morteros de cemento. (NTE INEN 488:09)

Para este ensayo realizado en el laboratorio de control de calidad de la UCEM-C.E.M Planta Guapán se elaboró un mortero que consiste de una parte de cemento y 2,75 partes de arena normalizada, dosificados en masa. “Los cementos portland o cementos portland con incorporado de aire son mezclados con relaciones agua cemento especificadas. El contenido de agua para otros cementos es el necesario para obtener una fluidez de 110 ± 5 en 25 caídas de la mesa de fluidez. Los cubos de ensayo de 50 mm son compactados por apisonado en dos capas. Los cubos son curados un día en sus moldes y luego desencofrados y sumergidos

en agua saturada con cal hasta ser ensayados, mediante la aplicación de una carga progresiva de compresión, para determinar su resistencia máxima admisible.”¹⁴

Fig. 2. 5 Mezcladora de Morteros



Fuente: Vallejo E. (2015). Elaboración del mortero. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 7 Mesa de sacudidas



Fuente: Vallejo E. (2015). Prueba de fluidez. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 6 Cubos de mortero



Fuente: Vallejo E. (2015). Elaboración de cubos de morteros. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 8 Cuarto Húmedo



Fuente: Vallejo E. (2015). Curado de los Cubos de mortero. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

¹⁴ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 488:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista, 2009)

Fig. 2. 9 Prensa de compresión para rotura de concreto



Fuente: Vallejo E. (2015). Determinar la resistencia a la compresión. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

La resistencia a la compresión, tal como lo describe la norma NTE INEN 488:09 y ASTM C 150, es la capacidad que tienen los cubos de mortero, de cemento estándar, de 50 mm de lado, para soportar los esfuerzos de compresión, ensayados de acuerdo a la norma ASTM C 109.

Según la norma técnica ecuatoriana (NTE INEN 490-5 Rev. Cementos Hidráulicos compuestos), para el Cemento Guapán, el mismo que es un Cemento hidráulico compuesto Portland Puzolánico tipo IP, se especifican las resistencias indicadas a continuación a continuación con sus respectivas edades:

Tabla 2. 1 Requisitos mínimos de resistencia a la compresión para morteros cementos Portland Puzolánico tipo IP.

Requisitos de Resistencia NTE INEN 490- 5Rev 2009		
EDAD		
Días	MPa	% Respecto a los 28 días
3	13,00	52,00
7	20,00	80,00
28	25,00	100,00

Fuente: Adaptado de (Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490:2011, Quinta revisión, Cementos Hidráulicos Compuestos. Requisitos, 2011)
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.1.1.6 Ensayo de tiempos de fraguado del cemento (NTE INEN 0158:09)

Es el cambio que se produce en una parte del cemento del estado plástico al estado endurecido, gracias a la cantidad de agua, al tiempo de fraguado, a la temperatura, cargas y a la resistencia mecánicas que va adquiriendo el concreto hasta llegar al rígido y dejar de ser deformable. El tiempo de fraguado se hace de acuerdo con los procedimientos descritos en la Norma NTE INEN 158 mediante la aguja de Vicat; se toman lecturas de penetración antes y después del fenómeno y hay factores que influyen en el fraguado como:

Los tiempos de fraguado indican si la pasta está desarrollando sus reacciones de hidratación de manera normal. El yeso, incluido dentro del cemento, regula el tiempo de fraguado, pero también influye la finura del cemento, la relación agua - material cementante.

- **Tiempo de fraguado inicial:** Es el tiempo transcurrido desde que se agrega el cemento al agua para formar la pasta de consistencia normal, hasta el momento que la aguja de Vicat tiene una penetración en dicha pasta de 25 mm o ligeramente menos en las condiciones normales de este ensayo.
- **Tiempo de fraguado final:** Es el tiempo transcurrido desde que se agrega el cemento al agua para formar la pasta de consistencias normal hasta el momento en la que no penetra y solamente se marque en la superficie de dicha pasta una huella de la aguja de Vicat, en las condiciones normales de este ensayo.

Fig. 2. 10 Aparato de Vicat automático



Fuente: Vallejo E. (2015). Determinar los tiempos de fraguado. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 11 Aparato de Vicat electrónico



Fuente: Vallejo E. (2015). Determinar los tiempos de fraguado. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 12 Penetración de las agujas del Aparato de Vicat



Fuente: Vallejo E. (2015). Penetración de las agujas de Vicat. [Foto]. Azogues, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.1.1.7 Ensayo de contenido de aire (NTE INEN 0195:09)

En este ensayo realizado en el laboratorio de control de calidad de la UCEM-C.E.M planta Guapán se preparó un mortero con arena normalizada y el cemento a ser ensayado, utilizando



un contenido de agua suficiente para generar el flujo requerido. Se procedió a compactar dicho mortero dentro de un recipiente de volumen conocido y se determinó su masa. Se calcula el contenido de aire a partir de la densidad medida del mortero, las densidades conocidas de los componentes y las proporciones de la mezcla.

El contenido de aire de un mortero de cemento, se debe realizar para evaluar si dicho cemento cumple con los requerimientos de incorporación de aire, establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 490-5 (Rev. Cementos Hidráulicos Compuestos Requisitos 2011).

En este caso para el cemento Guapán, que es un cemento Portland Puzolánico tipo IP, el volumen máximo de aire que puede contener es del 12%, no existe un valor límite inferior, así que cuanto menor sea esta cantidad de aire mejor será el desarrollo de resistencia a la compresión por la menor cantidad de vacíos en la mezcla.

Es importante indicar que el contenido de aire en el hormigón está influenciado por muchos otros factores, distintos del potencial del cemento para incorporar aire.

2.2.1.2 Resumen y Análisis de resultados

El cemento Guapán, proporciona características óptimas para la elaboración de mezclas de hormigón, esencialmente las de altas prestaciones. Esto se genera gracias a que posee propiedades superiores a las establecidas por la norma NTE INEN 152:2012, y puede proporcionar a la mezcla, un mayor desempeño. La resistencia mecánica del cemento endurecido es una de las propiedades más importantes y la que es más controlada para su cumplimiento bajo las especificaciones de calidad sobre todo por los constructores, razón por la cual todo el proceso de producción de cemento está direccionado a dicho cumplimiento.

De este elemento, es del que depende principalmente el hormigón, y se sabe que el cemento es el principal artífice para la unión de los agregados, tanto gruesos como finos, en un conjunto de mezcla que pueda ser capaz de resistir eficientemente los esfuerzos.

Existen varios factores que influyen directamente al desarrollo de la resistencia a la compresión del cemento tales como: composición química del clinker producido, fineza del cemento, cantidad de agua de amasado, ambiente de maduración, etc., por lo cual, en el laboratorio de control de calidad de la UCEM-C.E.M Planta Guapán, los ensayos deben llevarse a cabo bajo el cumplimiento de la normativa vigente y además de eso, generar una ventaja competitiva que va a tener el producto al alcanzar valores que sobrepasen los de la norma, éstos a fin de que el cliente tenga la seguridad, que cuando se los emplee en sus obras obtenga los mejores resultados.

Las normas de calidad vigentes considera que la adición de puzolana había aportado en mayor grado al desarrollo de las resistencia que aquellos cementos en los que la dosificación contempla únicamente clinker y yeso, por lo que es importante que en desarrollo de la operación del sistema ésta se lleve con un carácter técnico en el control de los diferentes parámetros de calidad de materias primas y de operación y que las acciones correctivas sean implementadas con la finalidad de evitar la presencia de defectos que volúmenes de fabricación, resulta un inconveniente difícil de resolver en el caso de reciclar o desechar los lotes de fabricación.

Así a continuación se resumen los resultados de los ensayos realizados sobre el cemento:



 		REGISTRO DE DATOS Y RESULTADOS DE ENSAYOS FISICOS								
		RCK-7.1-08		FECHA: 10/6/2015		NORMA INEN 490				
Muestra	Unidades	EE		FF		SM		Competencia	Máximo	Mínimo
Identificación		E225								
Fineza 325	%	3.6%								
Blaine	cm ² /g	4083								2800
Consist. Normal	%	27.2%								
Falso fraguado	%	87.1%								50.0%
Fraguado inicial	minutos	150.00								45.00
Fraguado final	minutos	230.00							420.00	
Contracción autoclave	%								0.200000%	
Expansión autoclave	%								0.800000%	
Densidad. Lechatelier	g/cm ³	2.89								
Tabla de flujo	%	107.0%							115.0%	105.0%
Contenido de aire	%	4.2%							12.0%	
Peso específico	g/cm ³	2.89								
Densidad Aparente	g/cm ³	939.00								
Cal Libre	%	0.5%								

Resistencia a la Compresión	Mínimo	EE		FF		SM		COMPETENCIA		Fecha Muestra
		Cód.	Resultado	Cód.	Resultado	Cód.	Resultado	Cód.	Resultado	
3 DIAS	13	E225	20.20							10/5/2015
7DIAS	20	E225	25.70							10/5/2015
28DIAS	25	E225	34.30							10/5/2015

BRIQUETAS No	1	2	3	4	X-Media	% Expansión
Long. Inicial						
Long. Final						
% Expansión						

TIEMPO DE FRAGUADO				OBSERVACIONES		
Cemento	Agua	T.Inicial	T.final			
EE 650 g	177.00	150.00	230.00			

FALSO FRAGUADO				% F.FR.	CaO %	SO ₃ %
Cemento	Agua	P.Inicial	P.Final			
EE 650 g	200.00	31.00	27.00	87.10%	47.45%	1.98%

ANALISTA f.  ING. EDWIN FLORES A.	JEFE DE CALIDAD f.  ING. FRANKLIN FLORES F.
---	--



2.2.1.3 Conclusiones Experimentales

El presente proceso productivo y control de calidad en el laboratorio de la UCEM-C.E.M Planta Guapán, ha permitido primeramente conocer los procedimientos, pruebas y ensayos que se realizan con la finalidad de fabricar un producto que cumpla con los requisitos de calidad contemplados en las Normas NTE INEN 152:2012 – 490:2011 y luego analizar los datos del control de calidad a diario que sobre este asunto se manejan al interior de la Planta Guapán. Esta observación, ha permitido estar en capacidad de realizar ensayos preliminares con los materiales cementantes motivo de esta investigación.

- El cemento hidráulico compuesto Portland Puzolánico tipo IP Guapán por su parte, como material aislado de la mezcla, tuvo resultados superiores a la norma NTE INEN 490:2011, en todos los ensayos, dando como resultado una óptima calidad del mismo y su aprobación en la ejecución de la investigación.
- Finalizados los ensayos físicos del cemento Portland Puzolánico tipo IP Guapán y esperando comprobar la calidad de los agregados de cuarcita, se puede dar con seguridad el siguiente paso que es el diseño de las mezclas de Hormigones de altas prestaciones.

2.2.2 AGUA (NTE INEN 2617:2012)

El agua es el componente del concreto que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes. El agua para el hormigón de altas prestaciones debe ser potable y cumplir la normativa NTE INEN 2617:2012.

Sin embargo, el agua utilizada en la fabricación del Hormigones Pigmentados deberá estar libre de partículas que puedan producir manchas o variaciones en las tonalidades del color de la superficie del hormigón, tales como partículas de hierro en suspensión. Ya que Resulta más perjudicial para un hormigón utilizar aguas no adecuadas en su curado que en su amasado.

Para la realización de nuestros ensayos de Hormigón de altas prestaciones se utilizó agua potable de la ciudad de Cuenca, la cual cumple los parámetros expuestos en la Norma Ecuatoriana NTE INEN 2617:2012 el cual presenta los siguientes parámetros:

Tabla 2. 2 Agua utilizada en las mezclas de hormigón - Guía de frecuencia de ensayos

Fuentes de agua	Densidad del agua combinada (g/cm ³)	Frecuencia de ensayos		
		Densidad. ASTM C 1 603	Tabla 1	Tabla 2
Potable	N/R ^B	N/R	N/R	N/R
No potable ^A	N/R	N/R	3 meses; anualmente después de 4 ensayos (literal a del numeral 5.1.2.1)	6 meses (literal b del numeral 5.1.2.1)
Producción de Hormigón ^A	< 1,01	Diariamente (literal a del numeral 5.1.2.2)	6 meses; anualmente después de 2 ensayos (literal b.1 del numeral 5.1.2.2)	6 meses (literal c del numeral 5.1.2.2)
	1,01 – 1,03		Mensualmente; 3 meses después de 4 ensayos (literal b.2 del numeral 5.1.2.2)	
	> 1,03		Semanalmente; mensualmente después de 8 ensayos (literal b.3 del numeral 5.1.2.2)	

^A Las frecuencias de ensayos aplican al agua de mezcla combinada cuando ésta es total o parcialmente compuesta de las fuentes listadas como se definen en el numeral 3.

^B N/R = No Requerido.

Fuente: Adaptado de (NTE INEN 2617:2012, Hormigón de cemento hidráulico. Agua para mezcla. Requisitos.)
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



2.2.3 PIGMENTOS

Los pigmentos son finas partículas de polvo proveniente de óxidos minerales, insolubles, y químicamente inertes que dotan de color al hormigón al cual se añaden. Los pigmentos utilizados para colorear el hormigón deben ser insolubles, tanto en el agua como en los agregados, también deben ser químicamente inertes con respecto al tipo de cemento, a los agregados y a los aditivos con los que se los vaya a mezclar; además deben presentar resistencia al clima (intemperie), estables a la luz y a temperaturas extremas, a más de eso deben quedar firmemente embebidos, con los finos del cemento y los agregados cuando la mezcla se endurezca. Como un complemento a las características que el pigmento debe presentar esta, su gran capacidad de tinte, brillo, luminosidad y tono de color deseado; uniformidad en el tamaño y finura de las partículas que lo componen, garantía en el suministro, fabricación reciente y bajo costo.

En algunos países, el uso del hormigón coloreado ha exigido la regulación de la calidad y composición de los pigmentos, así como también, la forma de incorporación a la mezcla.

Dentro de esta normativa destacan:

- Esta norma británica proporciona especificaciones para una variedad de pigmentos adecuados para la coloración de cemento portland y productos de cemento portland. Los pigmentos especificados también pueden ser adecuados para su uso con otros cementos hidráulicos, pero el uso de los pigmentos en estos cementos no ha sido cubiertos en esta norma británica porque la experiencia en el uso de estos cementos con pigmentos es limitado.¹⁵
- Esta especificación cubre los requisitos básicos para los pigmentos en polvo, blancos y pigmentados para ser usados como aditivos en el concreto con el propósito de producir un concreto coloreado integralmente.¹⁶
- Con el aumento de la demanda para el diseño y en consecuencia también para la coloración de productos de hormigón, el uso de pigmentos en este campo ha crecido constantemente. Con el aumento del uso de los pigmentos, óxidos de hierro especialmente sintéticos, en la coloración de materiales de construcción unidos al cemento, en particular, la cuestión también ha surgido en cuanto a si, además de los agregados habituales, los pigmentos pueden tener un efecto en las propiedades del hormigón y, si es así, ¿qué es este efecto?¹⁷
- Aditivos que aportan al hormigón, mortero o pasta propiedades especiales: Generador de gas; generador de espuma; colorante aditivo para hormigón inyectado. (ISO/DIS, 1982)
- GUÍA ACI 212, A los aditivos colorantes, indicando los adecuados según el color deseado y señalando los requisitos exigibles a estos. Las dosificaciones menores a 6% de peso en cemento no alteran las propiedades del hormigón. Hace notar, por último, las diferentes intensidades del color según la procedencia del pigmento, la dificultad de obtención de colores azules intensos y verdes y el cuidado a tener con las eflorescencias. (American Concrete Institute, 1986)

2.2.3.1 SikaCim Color S

Para investigación se consideró la utilización de 2 colores de pigmentos en polvo a base de óxidos minerales, producidos por SIKA y distribuido por Sika Ecuador.

¹⁵ (British Standards Institution, 2000)

¹⁶ (American Society for Testing Materials, 2010)

¹⁷ (German Institute for Standardization, 1992)

A continuación se muestra la hoja técnica del producto SikaCim Color S:

Fig. 2. 13 Hoja Técnica 1/2 SikaCim Color S

Construcción

Hoja Técnica
Edición Nº 1 06-2012
Identificación nº
Versión - 01
SikaCim Color S

SikaCim® Color S

Colorante en polvo para mortero y hormigón

Descripción	SikaCim Color S, es un colorante en polvo en base a óxidos minerales que al ser adicionado a morteros y hormigones se obtienen acabados de color con una estética muy agradable.
Usos	El SikaCim Color S es ideal para colorear hormigones y morteros de base cementicia en: <ul style="list-style-type: none"> ■ Pisos ■ Aceras ■ Terrazas ■ Plataformas de aterrizaje ■ Estacionamientos ■ Paneles ■ Pistas
Ventajas	El SikaCim Color S proporciona las siguientes ventajas: <ul style="list-style-type: none"> ■ No afecta los tiempos de fraguado del cemento. ■ Puede combinarse con otros aditivos de Sika como plastificantes, superplastificantes, incorporadores de aire, retardantes y acelerantes. ■ Tiene una buena resistencia a los rayos ultravioleta. ■ Tiene un largo tiempo de vida en almacenamiento (3 años). ■ El color es estable a lo largo del tiempo.
Datos Técnicos	
Densidad	De 0,5 a 1,1 kg/l aprox. dependiendo del color.
Colores	Rojo, amarillo, verde, negro y azul.
Presentación	Fundas de 1 kilo.
Modo de empleo	Preparación del producto: El SikaCim Color S viene listo para usar. Aplicación del producto: El SikaCim Color S se adiciona en la dosis recomendada a la mezcla seca de cemento y arena (antes de colocar el agua). Los SikaCim Color S, amarillo, negro y rojo pueden ser usados en aplicaciones exteriores. Los colores azul y verde son recomendados solo para ambientes interiores.
Consumo	Dependiendo de la intensidad del color que desee el consumo puede variar entre 0,5 y 3 kilos de colorante por cada saco de cemento de 50 kg.



SikaCim Color S 1/2

Fuente: <http://ecu.sika.com/es/system/search.html?q=SikaCim+Color+S+>

Fig. 2. 14 Hoja Técnica 2/2 SikaCim Color S

Construcción

Recomendaciones	La uniformidad del color depende de la dosis y de la calidad de los materiales usados en el hormigón o mortero. Es importante tener en cuenta las condiciones atmosféricas durante la aplicación, ya que la temperatura y la humedad relativa influyen en la calidad del acabado.
Seguridad	Usar, guantes, gafas de protección para su manipulación. Para mayor información consulte la Hoja de Seguridad del producto.
Almacenamiento y Transporte	Tres años en sitio fresco y bajo techo, en envase original bien cerrado. Transportar con las precauciones normales para productos químicos.
Códigos	R: 22/25 S: 02/26

La información y, en particular, las recomendaciones sobre la aplicación y uso final de los productos Sika son proporcionados de buena fe, basados en el conocimiento y experiencia actuales de Sika, respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados y manipulados, así como aplicados en condiciones normales de acuerdo a las recomendaciones de Sika. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra son tan particulares que de esta información, cualquier recomendación escrita o cualquier otro consejo no se puede deducir garantía alguna respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como responsabilidad alguna que suja de cualquier relación legal. El usuario del producto debe probar la conveniencia del mismo para un determinado propósito. Sika se reserva el derecho de cambiar las propiedades de sus productos. Se deben respetar los derechos de propiedad de terceros. Todas las órdenes de compra son aceptadas de acuerdo con nuestras actuales condiciones de venta y despacho. Los usuarios deben referirse siempre a la edición más reciente de la Hoja Técnica local, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



Sika Ecuatoriana S.A.
www.sika.com.ec
Guayaquil - km. 3 1/2 vía Durán - Tambo PBX 2812700 Fax 2801228
Quito - Panamericana Norte km. 71/2 Telefax 2800419 - 2800420
Cuenca - Av. de las Américas y 1º de Mayo Telefax 2856754



UL
UL
UL



Responsible Care®
Sustainable Development

SikaCim Color S 2/2

Fuente: <http://ecu.sika.com/es/system/search.html?q=SikaCim+Color+S+>

51



2.2.4 ÁRIDOS

Los áridos utilizados en la elaboración de los hormigones de altas prestaciones con la adición de pigmentos fue realizado a base de agregados de cuarcita, los mismos que pasaron por un proceso mecánico de trituración para la obtención de gravas y arenas las mismas que fueron utilizadas en la realización de las muestras de hormigón, además de eso cumpliendo la normativa vigente NTE INEN 694:2010, 1855-1:2001.

Los áridos utilizados fueron extraídos del sector “El Panecillo” perteneciente al cantón Logroño de la provincia de Morona Santiago.

2.2.4.1 Selección de los materiales de cuarcita

Como se refirió preliminarmente, la selección de los agregados de cuarcita, debe ser tomado muy en cuenta ya que por ser un material no convencional y, más aún que, como en este caso es necesario para la elaboración del hormigón de altas prestaciones, razón por la cual se acudió al escogitamiento de bloques de cuarcita procedentes del sector “El Panecillo”, el mismo que fue procesado y por sus propiedades el material fue apto para la investigación.

Dichos agregados de cuarcita fueron los agregados necesarios para la investigación a realizarse, teniendo en cuenta que dichos bloques pasaron por procesos de trituración primaria y secundaria, con lo cual se obtuvo el material óptimo y normalizado para la elaboración del hormigón, el mismo que por su forma y superficie puede ayudar a mejorar algunas características del hormigón.

2.2.4.1.1 Ubicación, Características de la zona y explotación del agregado del sector “El Panecillo”

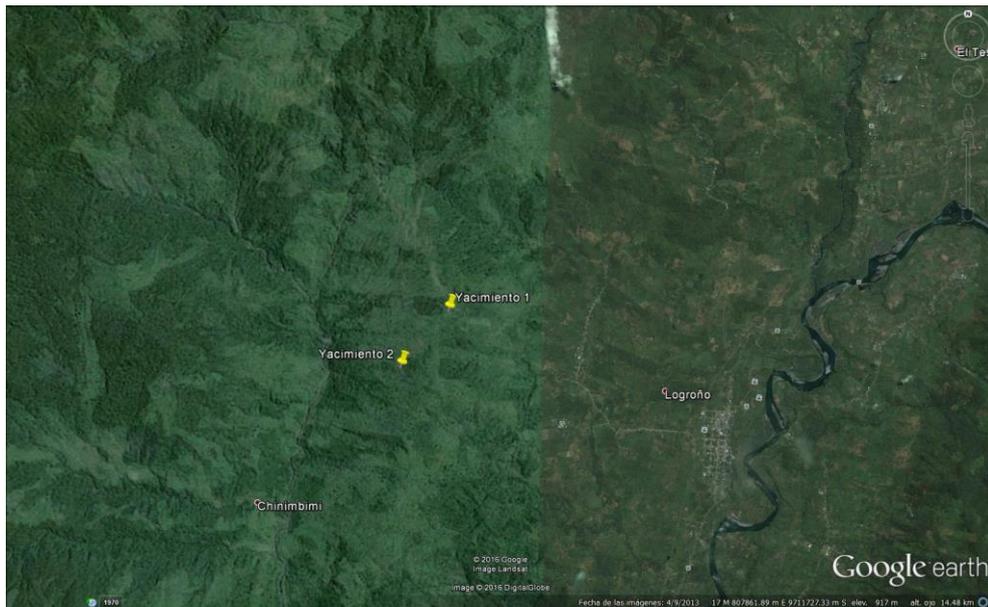
EL yacimiento se encuentra ubicado en la provincia de Morona Santiago, en el cantón Logroño, al oeste de la ciudad de Logroño, en el sector denominado “El Panecillo”, a una altitud de 1018 msnm aproximadamente. El ingreso al yacimiento se lo realiza por la vía que conduce hacia el sector de María Auxiliadora, que se ubica en la propiedad del Señor Alejandro Vallejo.

Toda la zona en sí, se caracteriza por tener un clima de clima tropical húmedo, ya que se encuentra en los flancos externos de la cordillera Oriental. Existen extensas zonas de cultivos de pastos para la producción ganadera, además de ello existen zonas que se las dedicado a la producción agrícola y al mantenimiento de los bosques, como es la reserva del Parque nacional Sangay.

Extracción y Procesamiento del Material: La cuarcita principalmente se obtiene mediante excavación superficial del suelo del sector. En este yacimiento de cuarcita se suele extraer dicho material para el mantenimiento y re-lastrado de las vías del sector es por ello que se optó por dar otra finalidad a este tipo de agregado no convencional mediante el estudio de la elaboración de hormigones de altas prestaciones, aprovechando así las propiedades físicas que presenta las cuarcitas del lugar.

Para el procesamiento del material, primeramente se recogió el material de forma uniforme y se llevó hacia una trituradora ubicada en el cantón Sucúa, el mismo que posee una trituradora primaria y secundaria. En la trituradora primaria de mandíbula se trituro todo el material recolectado y lo traslado mediante bandas transportadoras hacia una criba vibratoria el cual clasifico el material dependiendo sus dimensiones, dichos agregados que no cumplían con las dimensiones de los tamices fueron transportados hacia una trituradora secundaria el cual redujo aún más las dimensiones de las gravas y se obtuvo agregados de menores dimensiones y a más de eso se obtuvo arenas de cuarcitas.

Fig. 2. 15 Emplazamiento de los yacimientos de cuarcita



Fuente: Vallejo E. (2015). Emplazamiento de los yacimientos de cuarcita. [Google earth]. Logroño, Ecuador.
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

2.2.4.1.2 Determinación del material fino menor a 0.080 mm (NTE INEN 0697:2010)

Se hizo de acuerdo a lo establecido en la Norma Ecuatoriana NTE INEN 0697:2010. “Esta norma establece el método de ensayo para determinar mediante lavado del árido, la cantidad del material que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No. 200)”¹⁸.

Esta norma se aplicará al ensayo de áridos de densidad real de 2000 a 3000 kg/m^3 que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones. Además se aplicará a los materiales cuyo material fino no experimente alteraciones físicas o se aglomere por efecto del secado.

Se lava una muestra de árido utilizando agua potable. El agua de lavado decantada, que contiene material en suspensión y materia disuelta, se pasa a través de un tamiz de 75 μm (No. 200). Se seca el material lavado y se calcula la pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado, como un porcentaje de la masa de la muestra original y se informa como el porcentaje de material más fino que 75 μm mediante lavado.

El resultado de este método de ensayo debe reportar la cantidad total del material más fino que 75 μm por lavado, además de la que se obtiene por tamizado en seco con la misma muestra. Por lo tanto, la cantidad adicional de material más fino que 75 μm , que se obtiene en el proceso de tamizado en seco, es pequeña. Si esta diferencia es grande, se debe revisar la eficiencia de la operación de lavado, esto puede ser un indicio de la degradación de los áridos.

2.2.4.1.3 Tamizado y determinación de la granulometría (NTE INEN 0696:2011)

La distribución granulométrica de los áridos de cuarcita se realizó en el laboratorio de suelos y materiales de construcción de la Unidad Académica de Ingeniería Civil Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Cuenca por medio de un tamizado mecánico, cumpliendo la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0696:2011 (ASTM – C136). La muestra seca de los

¹⁸ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 697: Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μm (No. 200), mediante lavado., 2010)

áridos finos y gruesos se tamizo a través de una serie de tamices estándar de aberturas ordenadas en forma descendente, tomando como dato la masa retenida en cada uno de los tamices. Con dicha masa retenida se determinó los porcentajes parciales retenidos y los acumulados que pasan, con los cuales se obtiene el módulo de finura y tamaño máximo nominal de los áridos.

- **Tamaño Nominal Máximo (TNM):** Se define como “la abertura más pequeña de tamiz a través de la cual se permite que pase la totalidad del árido”¹⁹. El tamaño nominal máximo del agregado grueso influye considerablemente en el aspecto económico del hormigón, ya que conforme aumenta el tamaño máximo del agregado, disminuye la cantidad de pasta de cemento.
- **Módulo de Finura (MF):** Es un factor que se obtiene de la suma de los porcentajes retenidos acumulados en la serie de tamices estándar que cumplan con la relación 1:2 desde el tamiz #100 en adelante, hasta el tamaño máximo presente, y dividido para 100. Dicho factor determina que tan fino o grueso es el árido. Una arena con módulo de finura adecuada para producir hormigón, debe estar entre 2,3 y 3,1, donde un valor menor que 2,0 indica una arena fina, un valor de 2,5 indica una arena de finura media y un valor de más de 3,0 indica una arena gruesa.

Los resultados obtenidos se utilizarán para determinar la distribución granulométrica y además de ello nos proporcionará información necesaria para el control de la producción de varios tipos de áridos. Estos resultados también nos son útiles para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas, dado que el agregado grueso, influye directamente en el diseño de mezclas, porque de esta propiedad depende la cantidad de pasta (agua/cemento) a emplearse en una mezcla de hormigón, al igual que influye en la trabajabilidad, cohesión, segregación y características de acabado del hormigón fresco y fraguado, más aún si éstas se tratan de mezclas de altas prestaciones.

Fig. 2. 16 Áridos para granulometrías.



Fuente: Vallejo E. (2015). Áridos para Granulometrías. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

¹⁹ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso., 2011)

Fig. 2. 17 Agregado grueso



Fuente: Vallejo E. (2015). Tamizado del agregado grueso. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 19 Granulometría del agregado grueso



Fuente: Vallejo E. (2015). Clasificación del agregado grueso. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 18 Agregado fino



Fuente: Vallejo E. (2015). Tamizado del agregado fino. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 20 Granulometría del agregado fino



Fuente: Vallejo E. (2015). Clasificación por tamiz del agregado fino. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS

**PROYECTO:**

Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR:

El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO:

Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B.

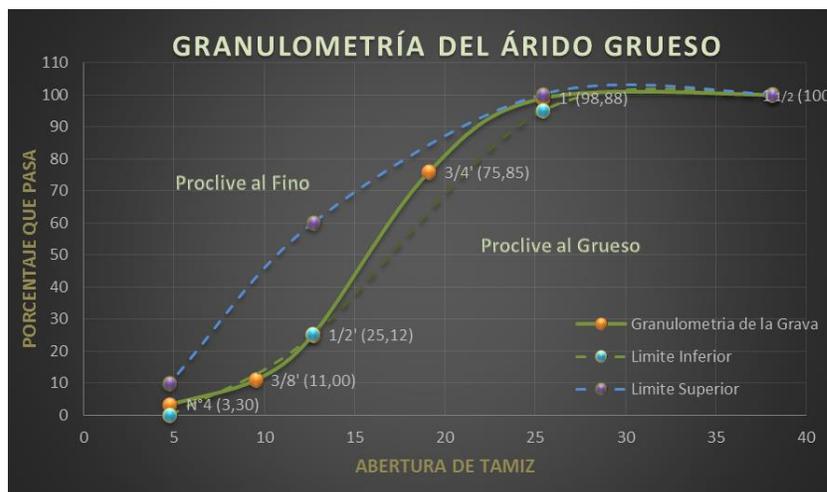
ENSAYADO: Miércoles, 24 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.**ENSAYO:**

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS GRUESOS (NTE INEN 696:2011)

TAMIZ		PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
Nº	mm.				
2	50.8				
1½	38.1				100
1	25.4	145.5	145.5	1.12	98.88
¾	19.1	2991.5	3137	24.15	75.85
½	12.7	6590.5	9727.5	74.88	25.12
⅜	9.52	1834	11561.5	89.00	11.00
Nº4	4.76	1000.5	12562	96.70	3.30
PASA EL Nº4		428.5	12990.5		

DATOS	
PESO TOTAL ANTES DEL ENSAYO (gr)	13000.00
PESO TOTAL PARA EL ENSAYO (gr)	12990.50
ERROR EN %	0.07
TAMAÑO MÁXIMO (mm)	38.10
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (mm)	25.40
MODULO GRANULOMÉTRICO	5.71



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago.

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B.

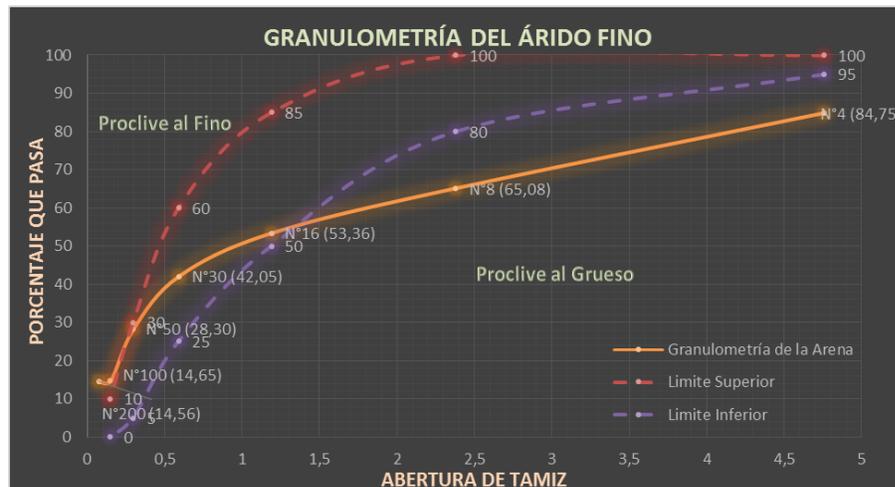
ENSAYADO: Miércoles, 24 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS FINOS (NTE INEN 696:2011)

TAMIZ	ABERTURA mm	PESO RETENIDO PARCIAL	PESO RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA
Nº 4	4.76	149.4	149.4	15.25	84.75
Nº 8	2.38	192.7	342.1	34.92	65.08
Nº 16	1.19	114.8	456.9	46.64	53.36
Nº 30	0.59	110.8	567.7	57.95	42.05
Nº 50	0.297	134.8	702.5	71.70	28.30
Nº 100	0.149	133.7	836.2	85.35	14.65
Nº 200	0.074	0.9	837.1	85.44	14.56
FONDO		76	913.1		
TOTAL		913.1			

DATOS	
PESO TOTAL ANTES DEL ENSAYO (W_H) (gr)	1000.00
PESO TOTAL PARA EL ENSAYO (W_S) (gr)	979.72
PESO DESPUÉS DE LAVADO Y SECADO (gr)	913.2
HUMEDAD MATERIAL QUE PASA Nº4 EN %	2.07
ERROR EN %	0.01
MODULO DE FINURA (mm)	3.12



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



2.2.4.1.4 Ensayo de Abrasión (NTE INEN 0860:2011)

Este ensayo indica una de las propiedades físicas más importantes e indispensables en el diseño de mezclas de hormigón, sobre todo de altas prestaciones, ya que la cuarcita tendrá que resistir la producción, colocación y compactación sin desgastarse mucho. Dicho ensayo evalúa la pérdida de masa de los agregados con graduación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión, impacto y molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo.

Este procedimiento indirectamente nos indica que tan resistente puede llegar a ser el agregado grueso y si es útil o no para este fin. Mediante este ensayo se va a conocer el valor de la degradación del agregado grueso, el mismo que se recomienda, debe tener un porcentaje de desgaste máximo del 20% para los agregados gruesos, y un coeficiente de forma como mínimo de 0.20²⁰

El método más conocido para el ensayo de abrasión, es el realizado en la Máquina de los Ángeles, que debe seguir las normas NTE-INEN 860 y 861 o ASTM C-131 y C-535.

La carga abrasiva la constituyen esferas de acero cuyo peso total dependerá de la graduación granulométrica del material según la tabla siguiente:

Tabla 2. 3 Carga abrasiva en función de granulometría del agregado

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (gr)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: Norma Técnica Ecuatorianas, NTE INEN 860, TABLA 1. Especificaciones según la Carga, Pág. 3, 2011 – 333.

Las especificaciones de la norma se resumen en los siguientes ítems:

- Diámetro de las esferas: 1 27/32”.
- Peso de las esferas: entre 390 y 445 gramos.
- Número de revoluciones: 500 Rev.
- Velocidad de giro: 30 a 33 r.p.m.

Se pesa el material retenido en el tamiz N°12 y se obtiene la pérdida máxima:

$$Pérdida\ Maxima = \frac{Peso\ inicial - Peso\ final}{Peso\ inicial} \times 100$$

Ec. 2 1 Valor de la degradación

De igual manera se obtiene el coeficiente de uniformidad de la siguiente manera:

$$Coef.\ Uniformidad = \frac{\% Pérdida\ 100\ rev}{\% Pérdida\ 500\ rev}$$

Ec. 2 2 Coeficiente de uniformidad

²⁰ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles, 2011)

Fig. 2. 21 Máquina de los ángeles



Fuente: Vallejo E. (2015). Máquina de los ángeles. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 22 Ensayo de abrasión



Fuente: Vallejo E. (2015). Ensayo de abrasión. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 23 Cuarcita retenida en el tamiz N° 12



Fuente: Vallejo E. (2015). Peso del agregado retenido en el tamiz N° 12. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Sábado, 27 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 MM MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTE INEN 0860 : 2011)

TAMAÑO DE LAS ABERTURAS DE TAMIZ QUE RETIENE		PESO POR TAMAÑOS INDICADA			
		GRADACIÓN			
Nº	mm	A	B	C	D
1	25,4	1250±25			
¾	19,1	1250±25			
½	12,7	1250±10	2500±10		
¾	9,52	1250±10	2500±10		
¼	6,3			2500±10	
Nº4	4,76			2500±10	
Nº 8	2,38				5000±10
TOTAL		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

DATOS	gr	%
MASA INICIAL	5000	0
RETENIDO EN EL TAMIZ Nº12 DESPUES DE 100 REVOLUCIONES	4436,75	
PÉRDIDA DESPUÉS DE 100 REVOLUCIONES	563,25	11,265
RETENIDO EN EL TAMIZ Nº12 DESPUES DE 500 REVOLUCIONES	3115	
PÉRDIDA DESPUÉS DE 500 REVOLUCIONES	1885	37,7
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD	0,299	0,299

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE

2.2.4.1.5 Determinación de la densidad aparente de los áridos (NTE INEN 0857:2010)

En este ensayo se determinó de la densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) correspondiente al material sólido que conforman las partículas constitutivas, sin incluir los vacíos de poros dentro de las partículas, a los cuales es accesible el agua, tanto en el agregado fino como en el grueso.

La Densidad Aparente se define, como la masa del material por unidad de volumen que ocupa, incluye los poros impermeables pero no incluye a los capilares o poros permeables.

Para este ensayo se procedió a sumergir en agua por $24 \text{ h} \pm 4 \text{ h}$, una muestra de árido con el propósito de llenar con agua sus poros, una vez saturada completamente la muestra, se la retira agua y se procesa a secar el agua superficial de las partículas y se determina su masa. Luego, se determina el volumen de la muestra y finalmente, la muestra se seca al horno y se determina su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

Fig. 2. 24 Picnómetro



Fuente: Vallejo E. (2015). Picnómetro. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Mientras que para determinar la densidad aparente suelta y compactada de los áridos finos y gruesos se realizó de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 0858:2010 y ASTM C-29. Esta norma establece los procedimientos para determinar la densidad aparente de los áridos. Además se aplicará al ensayo de los áridos de densidad real entre 2000 y 3000 kg/m^3 , que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones ya que la calidad, la resistencia, y la durabilidad del hormigón depende en gran parte de las propiedades de los agregados, éstos ocupan un gran porcentaje en el volumen del hormigón.²¹

La densidad aparente del agregado es un buen indicador de varias características importantes, tales como: porosidad y capacidad de infiltración. La densidad aparente varía con el grado de compactación, por lo que a mayor compactación, mayor peso ya que por su compactación su masa tiene menor cantidad de vacíos.

²¹ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso., 2010)

Este ensayo se realiza con diferentes porcentajes de agregados para determina la densidad máxima y optima de la mezcla.

- ***Densidad Aparente Máxima:*** Es la mezcla de los agregados tanto gruesos como finos, que generan menor cantidad de vacíos y por lo tanto mayor masa.
- ***Densidad Aparente Óptima:*** La densidad aparente óptima, consiste en determinar, la densidad aparente máxima y disminuir el 4% del agregado fino y aumentar el 4% al agregado grueso. Con esto se permite que haya cantidad de vacíos que van a ser ocupados por la pasta de cemento y así darle a la mezcla trabajabilidad.

Fig. 2. 25 Recipiente para determinar el peso volumétrico



Fuente: Vallejo E. (2015). Recipientes para peso Volumétrico Suelto y Varillado. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 27 Compactación del agregado grueso (varillado)



Fuente: Vallejo E. (2015). Compactación del agregado grueso. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 26 Peso volumétrico varillado



Fuente: Vallejo E. (2015). Varillado de la grava. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 28 Determinación del peso volumétrico



Fuente: Vallejo E. (2015). Peso volumétrico. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 26 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO SECO, PESO ESPECÍFICO APARENTE, PESOS ESPECÍFICO SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO GRUESO (MÉTODO DEL PICNÓMETRO - NTE INEN 857:2010)

MÉTODO DEL PICNÓMETRO		
Material Pasante en el Tamiz N° 4		
PESO DEL MATERIAL SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO (gr)	A	1317.50
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA + MUESTRA (gr)	B	6481.50
PESO DEL PICNÓMETRO + AGUA (gr)	C	5680.00
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	D	1303.00

PESO ESPECÍFICO SECO	$\frac{D}{A - (B - C)} = \frac{1303}{1317.5 - (6481.5 - 5680)} = 2.53 \text{ gr/cm}^3$
-----------------------------	--

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	$\frac{A}{A - (B - C)} = \frac{1317.5}{1317.5 - (6481.5 - 5680)} = 2.55 \text{ gr/cm}^3$
---	--

PESO ESPECÍFICO APARENTE	$\frac{D}{D - (B - C)} = \frac{1303}{1303 - (6481.5 - 5680)} = 2.60 \text{ gr/cm}^3$
---------------------------------	--

% DE ABSORCIÓN	$\frac{100(A - D)}{D} = \frac{100(1317.5 - 1303)}{1303.00} = 1.11 \%$
-----------------------	---

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 26 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: **DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO SUELTO Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL ÁRIDO GRUESO (NTE INEN 858:2010)**

DATOS	ENSAYOS					
	1	2	3	4	5	6
PESO DEL CILINDRO (gr)	5784	5784	5784	5784	5784	5784
VOLUMEN DEL CILINDRO (cm ³)	9300.5	9300.5	9300.5	9300.5	9300.5	9300.5
PESO DEL CILINDRO + MATERIAL (gr)	18511	18105.5	18752	18185.5	18423.5	18572.5
PESO DEL MATERIAL (gr)	12727	12321.5	12968	12401.5	12639.5	12788.5
PESO VOLUMÉTRICO (gr/cm ³)	1.37	1.32	1.39	1.33	1.36	1.38
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm ³)	1.359					
PESO ESPECÍFICO SECO (gr/cm ³)	2.525					
ABSORCIÓN (%)	1.113					
PESO VOLUMÉTRICO EN CONDICIONES SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr/cm ³)	1.374					
CONTENIDO DE VACÍOS (%)	46.175					

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 26 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL ÁRIDO GRUESO (NTE INEN 858:2010)

DATOS	ENSAYOS			
	1	2	3	4
PESO DEL CILINDRO (gr)	5784	5784	5784	5784
VOLUMEN DEL CILINDRO (cm ³)	9300.5	9300.5	9300.5	9300.5
PESO DEL CILINDRO + MATERIAL (gr)	19268.5	19315.5	19469	19398
PESO DEL MATERIAL (gr)	13484.5	13531.5	13685	13614
PESO VOLUMÉTRICO (gr/cm ³)	1.45	1.45	1.47	1.46
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm ³)	1.460			
PESO ESPECÍFICO SECO (gr/cm ³)	2.525			
ABSORCIÓN (%)	1.113			
PESO VOLUMÉTRICO EN CONDICIONES SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr/cm ³)	1.476			
CONTENIDO DE VACÍOS (%)	42.183			

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE

2.2.4.1.6 Determinación de las densidades real, neta y de la Absorción del agua (NTE INEN 0856:2010)

Este ensayo cumple la normativa vigente en el cual establece los procedimientos para determinar las densidades real, neta y de la absorción de agua de los áridos finos. Además se aplicará al ensayo de los áridos de densidad real entre 2000 y 3000 kg/m³, que se emplean en la elaboración de morteros y hormigones.

Se sumerge en agua por 24 h \pm 4 h, una muestra de árido, hasta conseguir una masa constante, con el propósito de llenar con agua sus poros. Se retira la muestra del agua, se seca el agua superficial de las partículas y se determina su masa. Luego, se coloca la muestra en un recipiente graduado y se determina el volumen de la muestra por el método, finalmente, la muestra se seca al horno y se determina nuevamente su masa. Utilizando los valores de masa obtenidos y mediante las fórmulas de este método de ensayo, es posible calcular la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.²²

Para determinar el peso volumétrico del agregado fino se procede a poner en condiciones saturada superficialmente seca mediante la prueba del cono truncado, luego de se procede a llenar el molde cilíndrico con la arena en condiciones saturada superficialmente seca y se lo pesa.

Fig. 2. 29 Agregado fino superficialmente seco



Fuente: Vallejo E. (2015). Agregado superficialmente seco. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 30 Determinación del peso volumétrico del agregado fino



Fuente: Vallejo E. (2015). Peso volumétrico del agregado fino. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

²² Normalización, I. E. (2010). NTE INEN 858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito-Ecuador: INEN.



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Jueves, 25 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO Y EL PORCENTAJE DE VACÍOS DEL ÁRIDO FINO (NTE INEN 858:2010)

DATOS	ENSAYOS			
	1	2	3	4
PESO DEL CILINDRO (gr)	4849.5	4849.5	4849.5	4849.5
VOLUMEN DEL CILINDRO (cm ³)	2968	2968	2968	2968
PESO DEL CILINDRO + MATERIAL (gr)	9388.5	9484	9286	9410.5
PESO DEL MATERIAL (gr)	4539	4634.5	4436.5	4561
PESO VOLUMÉTRICO (gr/cm ³)	1.53	1.56	1.49	1.54
PESO VOLUMÉTRICO PROMEDIO (gr/cm ³)	1.531			
PESO ESPECÍFICO SECO (gr/cm ³)	2.627			
ABSORCIÓN (%)	0.185			
PESO VOLUMÉTRICO EN CONDICIONES SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA (gr/cm ³)	1.533			
CONTENIDO DE VACÍOS (%)	41.730			

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE

Para el método gravimétrico se procede a llenar parcialmente el picnómetro con agua. Introduciendo en el picnómetro 500 g \pm 10 g de árido fino saturado superficialmente seco y se lo llena con agua hasta aproximadamente el 90% de su capacidad. Agitando el picnómetro para eliminar las burbujas visibles de aire, una vez eliminadas todas las burbujas de aire, se lo ajusta a la temperatura del picnómetro y su contenido a 23,0 °C \pm 2,0 °C, se lleva el nivel de agua en el picnómetro hasta la marca de calibración.

Luego de determinar la masa total del picnómetro, muestra y agua, Se retira el árido fino del picnómetro y se lo deja secar en el horno a una temperatura de 110 °C \pm 5 °C, hasta conseguir una masa constante y enfriarlo a temperatura ambiente por 1 h \pm ½ h, Luego de ello se procede a determinar la masa, Para determinar la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración, con agua a 23,0 °C \pm 2,0 °C.²³

Fig. 2. 31 Procedimiento de secado mediante estufa



Fuente: Vallejo E. (2015). Proceso de secado. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 33 Prueba del cono truncado



Fuente: Vallejo E. (2015). Prueba del cono truncado. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 32 Arena en condiciones superficialmente seca



Fuente: Vallejo E. (2015). Agregado en condición Saturada superficialmente seca. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 2. 34 Picnómetro, muestra y agua



Fuente: Vallejo E. (2015). Picnómetro. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

²³ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino, 2010)



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Jueves, 2 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO SECO, PESO ESPECÍFICO APARENTE, PESOS ESPECÍFICO SUPERFICIALMENTE SECO Y SATURADO Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO (NTE INEN 856:2010)

Material Pasante en el Tamiz N° 4		
PESO DEL MATERIAL SUPERFICIE SATURADA SECA. (SSS) (gr)	A	200.00
PESO DEL MATRAZ+ AGUA +MUESTRA (gr)	B	784.30
PESO DEL MATRAZ+ AGUA (gr)	C	660.30
PESO DEL MATERIAL SECO (gr)	D	199.63

PESO ESPECÍFICO SECO	D	=	$\frac{199.63}{200-(784.30-660.30)}$	=	2.627	gr/cm ³
	A- (B - C)					

PESO ESPECÍFICO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	A	=	$\frac{200.00}{200-(784.30-660.30)}$	=	2.632	gr/cm ³
	A- (B - C)					

PESO ESPECÍFICO APARENTE	D	=	$\frac{199.63}{265.78-(784.30-660.30)}$	=	2.640	gr/cm ³
	D- (B - C)					

% DE ABSORCIÓN	100(A - D)	=	$\frac{100(200-199.63)}{199.63}$	=	0.185	%
	D					

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE

2.2.4.1.7 Determinación del contenido total de Humedad (NTE INEN 0862:2011)

El contenido de humedad de los agregados de cuarcita en estado natural es secada en horno hasta eliminar la humedad tanto superficial como aquella ubicada entre los poros del árido. La cantidad de agua evaporada expresada en porcentaje respecto de la masa seca es la humedad de árido²⁴. Dicho ensayo se lo debe realizar previo a la elaboración de cada una de las mezclas de hormigón, para realizar las correcciones por humedad de las mezclas, y determinar la cantidad de agua que tienen. De esta manera se puede controlar que los agregados no le quiten o aporten agua a la mezcla.

Los agregados se los puede obtener en 4 diferentes estados; totalmente seco, parcialmente seco, saturado superficialmente seco (SSS), y totalmente húmedo.

Fig. 2. 35 Grados de Humedad Posibles en una Partícula de Agregado.



Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2010/12/relaciones-volumetricas-y-gravimetricas.html#more>

Ecuación para calcular el contenido total de humedad de la siguiente manera:

$$P = \frac{(W - D)}{D} \times 100$$

Ec. 2 3 Contenido total de humedad

Dónde: P = contenido total de humedad evaporable de la muestra, porcentaje

W = masa de la muestra original, gr

D = masa de la muestra seca, gr

²⁴ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad, 2011)



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Miércoles, 24 de junio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO. (NTE INEN 862:2011)

ENSAYO HUMEDAD NATURAL			
TARRO N°	R-01	R-02	R-03
PESO DEL TARRO	52.9	53	43.2
M HÚMEDA + TARRO	254.3	234.6	211.9
M SECA + TARRO	250.2	231	208.4
% HUMEDAD	2.08	2.02	2.12
Humedad Promedio			2.07

ENSAYO HUMEDAD		
MATERIAL	GRAVA	ARENA
RECIPIENTE N°	G-01	A-01
PESO DEL RECIPIENTE	150.9	54.3
MUESTRA HÚMEDA + RECIPIENTE	1109.1	282.9
MUESTRA SECA + RECIPIENTE	1106.3	279.5
Humedad (%)	0.29	1.51

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



2.2.4.2 Resumen y Análisis de Resultados

Agregado Grueso de cuarcita: En nuestro agregado grueso de cuarcita triturada, se puede apreciar que posee una tendencia hacia el agregado fino, por lo que no existe una cantidad considerable de agregados gruesos, por ende, se sabe que el agregado fino puede ayudar, tanto en la trabajabilidad, como en la compactación de la mezcla, razón por la cual es necesario realizar un ajuste, a tal punto que permita que la curva granulométrica se encuentre totalmente dentro de los límites que establece la norma NTE INEN 872 (ASTM C33), cuidando cada detalle del método del ACI 211-4R-98, para diseñar las mezclas.

El ajuste de la curva granulométrica, se realiza mediante un proceso inverso a la obtención de la curva granulométrica, partimos de la curva granulométrica del agregado grueso de cuarcita, para obtener los pesos retenidos de cada tamiz

Agregado Fino de cuarcita: Nuestro agregado fino de cuarcita, se puede evidenciar, que la curva granulométrica del agregado fino, se encuentra fuera de los límites, con una gran tendencia hacia los gruesos, pero para lo cual es suficiente con tamizar el material, por el tamiz N°8 (2.38 mm) y todo lo que retenga éste, será eliminado del agregado fino, ya que del agregado grueso se obtendrá la cantidad necesaria de material mayor al tamiz N°8. Se puede observar que el material que proviene del agregado fino es de forma redondeada y cristalina, mientras que el agregado grueso es anguloso y presenta mayor consistencia y por ende una ligera mejora a la mezcla de hormigón de alta resistencia que se necesita elaborar.

Así, también se garantiza que la mezcla se controla adecuadamente bajo condiciones de laboratorio y permite que la investigación sea adecuadamente llevada y refleje datos reales, de los materiales utilizados.

Tabla 2. 4 Resumen de las propiedades de los agregados

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS			
Origen:	Yacimiento "El Panecillo"		
Tratamiento Preliminar:	Material lavado y seleccionado		
Material de ensayo	U	Cuarcita	
Descripción		Fino	Grueso
Tamaño nominal máximo TNM²⁵	Pulg.		1 1/2
Módulo de finura	Pulg.	3.12	5.71
Porcentaje de abrasión a las 500rev	%		37.7
Coefficiente de uniformidad	gr/cm ³		0.299
Peso específico	gr/cm ³	2.627	2.525
Densidad aparente	gr/cm ³	2.640	2.600
Densidad aparente compactada	gr/cm ³		1.460
Densidad aparente Suelta	gr/cm ³	1.531	1.359
Densidad Óptima	gr/cm ³	2.632	2.55
Capacidad de Absorción	%	0.185	1.113
Contenido de Humedad²⁶	%	1.51	0.29

Fuente: Vallejo E. (2015). Archivo del autor

²⁵ El tamaño nominal máximo del agregado de cuarcita, es de 1 1/2" por lo que, como se dijo anteriormente se hizo un ajuste de la granulometría con el fin de tener agregado más fino y totalmente dentro de los límites.

²⁶ El contenido de humedad corresponde a los ensayos realizados para las mezclas de prueba, las mismas que se volvió a recalcular por motivo de almacenamiento de los materiales y ajuste más preciso para las mezclas definitivas.



2.2.4.3 Conclusiones Experimentales

Con el fin de lograr un concreto de calidad se hizo indispensable conocer en detalle las características de su agregado, ya que tanto la resistencia como la durabilidad del hormigón dependen de las propiedades físicas y químicas de los agregados, aunque en esta investigación no se realizó ningún análisis mineralógico.

Entre las propiedades físicas importantes de los agregados son: la forma y textura de las partículas, absorción, densidad, adherencia, etc. Teniendo en cuenta dichas propiedades se determinó que la **Cuarcita** posee una capacidad de absorción del agregado fino (arena): 0.185%; Capacidad de absorción del agregado grueso (grava): 1.11%.

Por los resultados conseguidos en los ensayos realizados a los agregados de cuarcita, se concluye que éstos, de manera general son de buena calidad para utilizarse en el diseño de mezclas de hormigones de altas prestaciones. A pesar que los agregados son componentes dinámicos dentro de la mezcla de hormigón, puede existir variación en sus características durante los procesos de explotación, manejo y transporte, ya que conforma la mayor parte del volumen de material, los he considerado componentes críticos en el hormigón para su posterior análisis en el hormigón endurecido.

La calidad de los agregados, no indica que su variedad de tamaños haya sido la adecuada, por lo cual, su cuidadosa selección, los asegura para la aplicación del método de diseño de mezclas de hormigón de alta resistencia, según la norma ACI 211-4R-98. Con lo cual es muy importante proceder a un lavado de los agregados, con el fin de eliminar cualquier tipo de materia orgánica o arcilla, que pueda afectar la resistencia final de la mezcla.

Basado en recomendaciones de Aitcin (1991), se examinó como característica influyente para la elaboración de un hormigón de altas prestaciones, la resistencia a la compresión simple de la roca a analizar, ya que según él, la falla en un concreto de relación a/c menor que 0.5 se presenta principalmente en los agregados. Así entonces se obtuvo que la resistencia a la compresión de la **Cuarcita ($f'_c=577.53 \text{ Kg/cm}^2$)**



CAPÍTULO III: FABRICACIÓN DE LAS MUESTRAS DEL HORMIGÓN SIN PIGMENTOS





3.1 ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA ESPECIFICADA DEL HORMIGÓN ($f'_c = 500 \text{ kg/cm}^2$)

El ACI Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318) describe los requisitos de resistencia del concreto. Normalmente el concreto ha sido preparado de tal manera que la resistencia promedio de los ensayos en compresión exceda a la resistencia especificada f'_c en una cantidad alta para minimizar resultados de ensayos por debajo del valor de la resistencia especificada.

Es por ello que los concretos de altas prestaciones continúan ganando considerable resistencia bajo los requerimientos de diseño con el pasar del tiempo. Conforme va aumentando el valor de la resistencia del concreto, las propiedades del agregado asumen una gran importancia. La resistencia propia, la adecuada textura para una alta resistencia, la forma y granulometría para generar una trabajabilidad adecuada con un contenido mínimo de agua, son de vital importancia. Cabe recordar que la resistencia de los agregados limita la del concreto, por ende, las mezclas con contenido elevado de material cementante y baja relación agua/cemento no necesariamente producen concretos de alta resistencia.

El ACI 318S-08 permite diseños de mezcla a ser proporcionados basándose en dosificaciones de mezclas de pruebas en el laboratorio. Quedando establecido el primer paso para poder diseñar y dosificar una mezcla de hormigón de altas prestaciones, es la resistencia de diseño, el cual va a ser el objeto de esta investigación, la misma que tendrá una resistencia de diseño de 500 Kg/cm^2 .

3.2 ANÁLISIS Y CÁLCULO DE LA RESISTENCIA REQUERIDA SEGÚN EL ACI 318-08

La Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1855-2, menciona que la “Resistencia que debe utilizarse para el diseño de la mezcla en el laboratorio. Para que la mezcla empleada en obra satisfaga los requisitos de la resistencia especificada (f'_c y M_R), la resistencia requerida (f'_{cr} , M_{Rr}), debe ser mayor a la especificada.”²⁷

“La evaluación de los resultados de pruebas de resistencia del hormigón tiene en cuenta que la producción está sometida a variaciones en los componentes, medición, pruebas y resultados de los ensayos.

A causa de esta variabilidad existente, se debe dosificar el hormigón de manera que se obtenga una resistencia promedio f'_{cr} muy por encima de la especificada f'_c . Esta resistencia promedio deberá calcularse con base en el análisis estadístico de la experiencia previa en la producción de hormigón o considerando un sobre diseño cuando no se cuenta con estos registros estadísticos.”²⁸

En la presente investigación, la resistencia especificada (de diseño) para la dosificación del hormigón es de $f'_c = 500 \text{ kg/cm}^2$. El ACI 318S-08 sugiere utilizar una ecuación para calcular la resistencia media requerida, cuando no se cuenta con registros estadísticos disponibles para establecer la desviación estándar de la muestra, como se muestra en la siguiente tabla.

²⁷ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 1855-2: Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos, 2002)

²⁸ NEC, N. E. (2014). Estructuras de Hormigón Armado. Quito - Ecuador: MIDUVI.



Tabla 3. 1 Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión, MPa.	Resistencia promedio requerida a la compresión, MPa.
$f'c = 20$	$f'cr = f'c + 7.0$
$20 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8.5$
$f'c > 35$	$f'cr = 1.10f'c + 5.0$

Fuente: ACI 318S-08, capítulo 5, pág. 72

3.3 DISEÑO DE DOSIFICACIÓN PARA MEZCLAS DE PRUEBA EN FUNCIÓN DE LA RESISTENCIA REQUERIDA

El método propuesto por el comité 211.4R-98 del ACI abarca el rango de resistencia entre 45MPa ($\approx 450 \text{ kg/cm}^2$) y 84MPa ($\approx 840 \text{ kg/cm}^2$), el cual nos proporciona una guía de aplicación general para la producción de hormigón de alta resistencia mediante la determinación de cantidades de los materiales.

El procedimiento consiste en una serie de pasos, con los cuales se debe cumplir los requerimientos de resistencia y trabajabilidad deseados, el método recomienda elaborar varias pruebas en laboratorio y en el campo hasta encontrar la mezcla deseada.

3.4 CÁLCULOS DE RESISTENCIAS REQUERIDAS DE DOSIFICACIÓN

Según el numeral 3.2, el comité 211.4R-98 del ACI nos sugiere una tabla en el cual, cuando no se tiene el análisis estadístico (desviación estándar), se debe utilizar la ecuación de la Tabla 3.1 para calcular la resistencia promedio requerida.

$$f'c = \frac{f'c + 98}{0.9} \left(\text{Kg/cm}^2 \right) \approx \frac{f'c + 1400}{0.9} \text{ (psi)}$$

Ec. 3. 1 Ecuación de la Resistencia requerida ACI 211-4R-98

Donde;

$f'cr$: Resistencia promedio requerida

$f'c$: Resistencia especificada

$f'c = 50 \text{ MPa} = 7252 \text{ psi}$

$$f'c = \frac{500 + 98}{0.9} = 664.44 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$$

Este valor es inicial, luego se lo reajustará con la tabla 3.6.

3.4.1 MÉTODO DEL VOLUMEN ABSOLUTO (EN CONCORDANCIA CON COMITÉS ACI 211-4R98 Y ACI 363-2R-98)

Este método es de gran ayuda, ya que mediante un procedimiento cuidadoso permite determinar de forma precisa las proporciones de árido fino para el hormigón, el cual se fundamenta en el uso de los volúmenes de los materiales a usarse, para la dosificación de hormigones de altas prestaciones mediante la adición de aditivos químicos y minerales.



Consiste en determinar las proporciones de la mezcla de hormigón mediante el uso de tablas elaboradas con la experiencia en el laboratorio para producir hormigón de determinadas características.

Mediante este método, nos permite realizar una aproximación de cálculo en la dosificación, y mediante dosificaciones de pruebas elaborar un hormigón de altas prestaciones, con condiciones impuestas. Los agregados y demás componentes del hormigón aplicados en este método deben cumplir con especificaciones ASTM (American Society for Testing and Materials).

A continuación se mencionan los pasos a seguir para la elaboración el diseño de dosificaciones según la guía ACI 211.4R98 y ACI363-2R-98

1) **Información de materiales**

Para elaborar las mezclas dosificadas de los hormigones de altas prestaciones, se debe tener un control riguroso del análisis de las propiedades físicas y mecánicas de los componentes del hormigón.

El cual, dichas propiedades tanto de los agregados de la cuarcita y del cemento Guapán producido por la Unión Cementera Nacional UCEM - CEM Planta Guapán fueron analizados en los capítulos anteriores.

2) **Selección del asentamiento o slump**

A pesar que un hormigón de altas prestaciones es elaborado exitosamente con la adición de un hiperplastificante sin una medida inicial del slump o asentamiento, es recomendado un slump de 1 a 2” antes de adicionar el hiperplastificante. Esto nos asegurará una optimización de la cantidad de agua de mezclado y nos permitirá que el hiperplastificante sea efectivo.

Para hormigones elaborados sin hiperplastificante se recomienda un slump entre 2 a 4”, dependiendo las sollicitaciones al cual va a ser expuesto. Para hormigones con menos de 2” de slump son difíciles de consolidar dado el alto contenido de agregado grueso y materiales cementantes.

Los valores recomendados para el slump se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2 Slump recomendado para concretos de Alta Resistencia con y sin superplastificante

Hormigón elaborado con HRWR*		
<i>Asentamiento antes de añadir HRWR</i>	1”	2”
	2,5 cm	5 cm
Hormigón elaborado sin HRWR		
Asentamiento	2”	4”
	5 cm	10 cm
*Ajustar el asentamiento, al que se desea en el campo a través de la adición de HRWR		

Fuente: ACI 211.4R-93 “Guía para la selección de las proporciones de hormigón de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes.”



3) Selección del tamaño máximo del agregado grueso.

El tamaño máximo del agregado grueso está en función de la resistencia promedio requerida como se puede apreciar en la tabla 3.3, si ésta es menor a 630 Kg/cm² el tamaño máximo del agregado se utiliza de ¾" a 1" y si es mayor a 630 Kg/cm² se utiliza de 3/8" a ½"

En base a los requisitos de resistencia, los tamaños máximos recomendados para los agregados gruesos se dan en la tabla 3.3

Tabla 3. 3 Tamaño máximo del agregado

Resistencia Requerida del hormigón,			Tamaño máximo sugerido de agregado grueso		
<	62,1	MPa	¾"	a	1"
	9000	Psi			
	630	Kg/cm ²	1.9 cm		2.5 cm
>	62,1	MPa	3/8"	a	½"*
	9000	Psi			
	630	Kg/cm ²	0.95 cm		1.27* cm

** Al usar HRWR y áridos de granulometría gruesa seleccionada, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 650 a 850 kg/cm², pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el recomendado, pero no mayor a 1".*

Fuente: ACI 211.4R-98 "Guía para la selección de las proporciones de hormigón de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes."

Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

4) Selección del contenido óptimo del agregado grueso.

El contenido óptimo del agregado grueso depende de la resistencia característica y su tamaño máximo. El contenido óptimo recomendado del agregado grueso, expresado como una fracción del peso volumétrico compactado, se indica en la tabla 3.4. Como una fracción del tamaño máximo nominal.

Tabla 3. 4 Volumen de Agregado Grueso por unidad de volumen de hormigón (Ag. Fino con módulo de finura de 2.5 - 3.2)

Contenido óptimo total de agregado grueso de tamaño máximo nominal para ser utilizado con arena con módulo de finura de 2,5 a 3,2								
Tamaño máximo nominal	in	cm	in	cm	in	cm	in	cm
		3/8"	0.95	½"	1.25	¾"	1.9	1"
Volumen fraccional* de áridos gruesos secados al horno	0.65		0.68		0.72		0.75	

** Los volúmenes se basan en agregados en condición de secado en horno, como se describe en la norma ASTM C 29 para el peso unitario de los agregados.*

Fuente: ACI 211.4R-98 "Guía para la selección de las proporciones de hormigón de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes."

Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

El peso seco del agregado grueso por m³ de hormigón puede ser calculado usando la siguiente ecuación:



$$\text{Peso seco del Agregado grueso} = \% Psag \times P.U.C$$

Ec. 3. 2 Peso del Agregado Grueso

Donde:

%Psag: Porcentaje de volumen

P.U.C: Peso volumetrico compactado (Ag. Grueso)

Al preparar mezclas de hormigón de resistencia normal, el contenido óptimo del agregado grueso viene dado como una función del tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Dichas mezclas de hormigón de altas prestaciones, poseen un alto contenido de material cementante, y por lo consiguiente no dependen del agregado fino para lograr la compactación de la mezcla.

Los valores presentados en la tabla 3.4. Son recomendados para arenas que tienen un módulo de finura entre 2.5 a 3.2.

5) Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire.

La cantidad de agua de mezclado por unidad de volumen de hormigón requerido para producir un asentamiento o slump dado, depende en gran parte del tamaño máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de aditivo plastificante o hiperplastificante usados.

Si se usa un hiperplastificante (HRWR), el contenido de agua en este aditivo es tomado en cuenta para el cálculo de la relación agua/cemento: La tabla 3.5 nos da una primera estimación del agua de mezclado requerida para hormigones de altas prestaciones, elaborados con agregados de tamaño máximo comprendidos entre 3/8" y 1".

Esta cantidad de agua de mezclado es estimada sin la adición de aditivos, en la misma tabla 3.5 también se da los valores estimado de aire atrapado. El contenido de aire atrapado además de los factores antes mencionados también depende del uso o no del aditivo.

Tabla 3. 5 Requerimiento aproximado de agua de mezclado y contenido de aire del hormigón basado en el uso de una arena con 35% de vacíos

Asentamiento					Agua de mezclado (lb/yd ³) – (kg/m ³)							
					Tamaño máximo de agregado grueso							
in	cm		in	cm	3/8"	0.95	1/2"	1.25	3/4"	1.9	1"	2.5
1	2.5	a	2	5	310	183	295	174	285	168	280	165
2	5	a	3	7.5	320	189	310	183	295	174	290	171
3	7.5	a	4	10	330	195	320	189	305	180	300	177
Contenido de aire atrapado*			Sin HRWR		3		2.5		2		1.5	
			Con HRWR		2.5		2		1.5		1	

* Los valores dados deben ser ajustados para arena con huecos distintos de 35% usando la Ec. 4.3.3

Fuente: ACI 211.4R-98 "Guía para la selección de las proporciones de hormigón de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes."

Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



Mezclas fabricadas usando Hiperplastificantes (HRWR)

Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para agregados gruesos, angulares, limpios y bien gradados que cumplan norma ASTM C33. Debido a que la forma de las partículas y la textura de la superficie de un agregado no pueden influir significativamente en su contenido de vacíos, los requisitos de agua de mezclado pueden ser diferentes de los valores dados.

Los valores expuestos en la tabla 3.5 son aplicables cuando el agregado fino usado tiene un contenido de vacíos igual a 35%, el contenido de vacíos del agregado fino puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de vacíos (\%)} = \left(1 - \frac{P.U.C}{\text{Peso específico}}\right) \times 100$$

Ec. 3. 3 Contenido de Vacíos

Donde:

P.U.C: Peso unitario seco compactado

Cuando el contenido de vacíos del agregado fino no es 35%, es necesario un ajuste a la cantidad de agua de mezclado, este ajuste puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ajuste del agua de mezclado (lb/yd}^3\text{)} = 8(V - 35)$$

$$\text{Ajuste del agua de mezclado (kg/m}^3\text{)} = 4.72(V - 35)$$

Ec. 3. 4. Ajuste de agua de mezclado

Donde:

Usando la ecuación 3.4 se obtiene un ajuste de 8 lb/yd³ o 4.72 kg/m³ de hormigón por cada punto porcentual del contenido de vacíos de la arena.

6) Selección de la relación agua/cemento

En las mezclas de hormigón de altas prestaciones, pueden usarse otras adiciones tales como cenizas volantes. En esta investigación se utilizó materiales tales como pigmentos. La relación $a/(c + p)$ se calcula dividiendo la masa del agua de mezclado entre la masa combinada del cemento y el pigmento.

En las tablas 3.6 y 3.7, las relaciones máximas recomendadas $a/(c + p)$ se dan como una función del tamaño máximo agregado grueso para lograr diferentes resistencias a compresión a los 28 días o 56 días. El uso de un aditivo hiperplastificante (HRWR) generalmente incrementa la resistencia a compresión del concreto.

En la tabla 3.6 permite seleccionar relaciones a/c sin aditivo hiperplastificante ni pigmento, el cual se va a utilizar en la investigación del hormigón patrón, y la tabla 3.7 permite seleccionar relaciones $a/(c + p)$ con aditivo superplastificante y adición de pigmento, esta tabla se la utilizara en la investigación cuando se obtiene los resultados de la mezcla patrón del hormigón para elaborar el hormigón pigmentado.



Tabla 3. 6 Relación Agua/cemento para hormigones sin hiperplastificante

Resistencia promedio f'_{cr} *		Edad	Relación a/c para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados							
psi	Kg/cm ²		3/8"		½"		¾"		1"	
		días	in	cm	in	cm	in	cm	in	cm
7000	500	28	0.42	0.41	0.41	0.40	0.40	0.39	0.39	0.38
		56	0.46	0.44	0.45	0.43	0.44	0.42	0.43	0.42
8000	550	28	0.35	0.36	0.34	0.35	0.33	0.34	0.33	0.34
		56	0.38	0.39	0.37	0.38	0.36	0.37	0.35	0.36
9000	600	28	0.30	0.32	0.29	0.31	0.29	0.31	0.28	0.30
		56	0.33	0.35	0.32	0.34	0.31	0.33	0.30	0.32
10000	650	28	0.26	0.29	0.26	0.28	0.25	0.28	0.25	0.27
		56	0.29	0.32	0.28	0.31	0.27	0.30	0.26	0.29
	700	28		0.26		0.26		0.25		0.25
		56		0.29		0.28		0.27		0.26

* $f'_{cr} = f'_{c} + 1400$ (psi)
 *La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0.9 (kg/cm²)

Fuente: ACI 211.4R-98 "Guía para la selección de las proporciones de hormigón de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes."

Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Tabla 3. 7 Relación Agua/cemento para hormigones con hiperplastificante

Resistencia promedio f'_{cr} *		Edad	Relación a/c para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados							
psi	Kg/cm ²		3/8"		½"		¾"		1"	
		días	in	cm	in	cm	in	cm	in	cm
7000	500	28	0.50	0.49	0.48	0.47	0.45	0.45	0.43	0.42
		56	0.55	0.54	0.52	0.51	0.48	0.47	0.46	0.45
8000	550	28	0.44	0.44	0.42	0.42	0.40	0.40	0.38	0.39
		56	0.48	0.49	0.45	0.46	0.42	0.43	0.40	0.41
9000	600	28	0.38	0.40	0.36	0.38	0.35	0.36	0.34	0.35
		56	0.42	0.44	0.39	0.41	0.37	0.39	0.36	0.37
10000	650	28	0.32	0.36	0.32	0.35	0.31	0.33	0.30	0.32
		56	0.37	0.40	0.35	0.38	0.33	0.36	0.32	0.34
11000	700	28	0.30	0.33	0.29	0.32	0.27	0.31	0.27	0.30
		56	0.33	0.37	0.31	0.35	0.29	0.33	0.29	0.32
12000	750	28	0.27	0.31	0.26	0.30	0.25	0.28	0.25	0.28
		56	0.30	0.34	0.28	0.32	0.27	0.30	0.26	0.30
	800	28		0.29		0.28		0.26		0.26
		56		0.32		0.30		0.28		0.28
	850	28		0.27		0.26		0.25		0.25
		56		0.30		0.28		0.27		0.26

* $f'_{cr} = f'_{c} + 1400$ (psi)
 *La resistencia promedio deberá ser reajustada para usar esta tabla con un valor de 0.9 (kg/cm²)

Fuente: ACI 211.4R-98 "Guía para la selección de las proporciones de hormigón de alta resistencia con cemento portland y cenizas volantes."

Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



7) Cálculo del contenido de cemento.

El peso del cemento requerido por m³ de hormigón, puede ser establecido por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c seleccionada. Sin embargo si las especificaciones incluyen un límite mínimo en la cantidad de cemento por yd³ o m³ de hormigón, este debe ser cumplido. Por lo tanto, la mezcla debe ser proporcionada de modo que contenga la cantidad más grande de cemento requerido.

Cuando el contenido de cemento resultante excede las 1000 lb (455 kg), puede diseñarse en forma práctica una mezcla usando cemento con métodos alternos de proporción.

$$\text{Contenido de material cementicio} = \frac{\text{Agua de mezclado final}}{\text{Relación a/c}}$$

Ec. 3. 5 Calculo de la cantidad de cemento

8) Proporcionamiento de la mezcla de prueba solo con cemento portland como material cementicio.

Para determinar las proporciones óptimas de la mezcla de hormigón de altas prestaciones primero se debe realizar varias mezclas de prueba con diferentes contenidos de pigmentos, pero antes se debe realizar una mezcla patrón resultado de varias mezclas de prueba sin ningún tipo de aditivo mineral, generalmente una mezcla de prueba debe hacerse con cemento Portland como el único material cementante, a diferentes relaciones agua/cemento, cada mezcla se la realiza con correcciones por humedad, con dosificaciones al peso para tener una mejor precisión en la investigación.

Los siguientes pasos deben ser seguidos para completar la mezcla:

1. Contenido de cemento.- Para las mezclas de prueba antes de obtener la muestra patrón, no ha de usarse ningún otro material cementante, la masa de cemento es igual a la masa del material cementante calculada en el paso 7.
2. Contenido de arena.- Después de determinar los pesos por cada yd³ o m³ de agregado grueso, agua, cemento y el porcentaje de contenido de aire; el contenido de arena puede calcularse para producir 1 yd³ = 27 ft³ o 1m³ usando el método del volumen absoluto.

9) Proporcionamiento de mezclas usando pigmentos

El uso de pigmentos en la producción de hormigones de altas prestaciones, puede dar como resultado una mayor demanda de agua, y aumento del costo. Sin embargo, debido a las variaciones en las propiedades químicas de los pigmentos, pueden ser afectadas las características de ganancia de resistencia del concreto. Por lo tanto, se recomienda que al menos se use dos contenidos diferentes de pigmentos para las mezclas de prueba con pigmentos.

La relación a/c influye directamente en el tono e intensidad de coloración, aumentando la luminosidad conforme lo hace la cantidad de agua. Es indudable que, al tratarse de hormigones de altas prestaciones, en los cuales una mayor proporción de agua influye negativamente en la resistencia del hormigón, el equilibrio entre resistencia y luminosidad en el color del hormigón, se debe a consecuencia de un muy acertado valor a/c.



Algunos investigadores sugieren, que el tiempo de amasado no se prolongue inútilmente, puesto que conduciría a calentar el hormigón por una aceleración de la hidratación, así como a la rotura de los áridos.

Los siguientes pasos deben ser completados para cada mezcla de prueba con pigmentos que ha de ser realizada. A continuación se describen 5 pasos para escoger el tipo de pigmento, el contenido de pigmento, la masa y volumen de pigmento para adicionar al cemento, y finalmente calcular el contenido de arena.

La norma es específica y clara en la descripción de estos pasos, pero al no ser motivo de investigación del presente tema, se resume esta idea con el uso de diferentes porcentajes de pigmentos, sin ser reemplazante de ningún material de la mezcla, únicamente complemento del hormigón a diseñarse, con el objetivo de mejorar la muestra patrón fabricada sin aditivos ni pigmentos.

10) Mezclas de prueba

Como se menciona en el numeral anterior, se usarán diferentes porcentajes de pigmentos, en función del peso del cemento, es así que se estima trabajar con porcentajes de 4% y 6%.

Por lo tanto cada una de las mezclas de prueba con pigmentos debe elaborarse permitiendo que se determine las características de trabajabilidad y resistencia de las mezclas que están presentadas en los numerales del 1 al 8.

Los pesos del agregado fino, agregado grueso y agua, deben ser reajustados para corregir la dosificación por humedad de los agregados. Cada ensayo debe lograr una mezcla uniforme de tamaño suficiente para fabricar el número requerido de especímenes para la prueba de resistencia.

11) Ajustes de las proporciones de las mezclas de prueba

De no obtener las propiedades proyectadas del hormigón fresco, las proporciones de la mezcla patrón deberá ajustarse de acuerdo a las siguientes medidas presentadas a continuación para conseguir la trabajabilidad deseada.

1. Asentamiento inicial.- Si el asentamiento inicial de la mezcla no está dentro de lo estimado en el diseño, el agua de mezclado debe ser reajustada. Dicho reajuste de la masa del cemento debe ir de acuerdo a la relación agua – cemento. Luego debe ajustarse el contenido de arena para asegurar el rendimiento apropiado del hormigón.
2. Volumen de HRWR para dosificación.- Cuando se utiliza un HRWR, debe ensayarse con distintas dosificaciones de acuerdo al peso del cemento para determinar el efecto en la resistencia y trabajabilidad de la mezcla de hormigón.

En mezclas de hormigones de altas prestaciones, se puede permitir dosificaciones más altas que las recomendadas por el fabricante del aditivo, sin tener segregación.

3. Contenido de agregado grueso.- Una vez ajustado el asentamiento de diseño del hormigón, debe determinarse si la mezcla es poco trabajable y áspera. De ser necesario puede reducirse el contenido de agregado grueso y consecuentemente el contenido de arena debe ser ajustado para conservar la efectividad de la mezcla. Esto puede incrementar la demanda de agua de la mezcla, aumentando el contenido de cemento para mantener una relación agua cemento ya calculada.



4. Contenido de aire.- Si el contenido de aire, difiere significativamente de la proporción de diseño calculada, debe reducirse la dosificación, o el contenido de arena debe ser ajustado.
5. Relación agua - cemento $w/(c + p)$.- Si no se logra la resistencia requerida a compresión del hormigón usando la relación agua cemento recomendada en la tabla 3.6 y 3.7, deben ensayarse mezclas de prueba adicionales con una relación agua – cemento más baja. Si esto no da resultados de resistencias a compresión más altas, deben revisarse la conveniencia de los materiales usados.

12) Selección de las proporciones óptimas de la mezcla

Luego de proceder con el reajuste de las proporciones de la mezcla de patrón para producir propiedades de trabajabilidad y resistencias deseadas, se debe elaborar especímenes prueba con pigmentos hechas bajo las condiciones esperadas en la obra de acuerdo al procedimiento recomendado por el ACI 211-4R98.

De una forma práctica se ha evaluado los procedimientos de producción y control de calidad en cuanto al diseño de las mezclas de hormigones de altas prestaciones que va a emplearse en el trabajo real.

Los resultados de las pruebas de resistencia deben permitir la selección de proporciones aceptables para el trabajo, cuidando mucho la resistencia y el costo.

3.4.2 CÁLCULO DEL CONTENIDO DEL CEMENTO Y ADITIVO

Cantidad de cemento (kg / m³ concreto)

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

Si se va a emplear aditivo, se determina la cantidad así: (teniendo en cuenta las recomendaciones del fabricante, por lo general, la cantidad de aditivo se da como un % de la masa del cemento).

Cantidad de Aditivo

$$Ad. (kg / m^3 concreto) = \% escogido * c$$

Ec. 3. 6 Calculo del contenido de aditivo

3.4.3 CORRECCIONES DE LA DOSIFICACIÓN POR HUMEDAD

Dada la porosidad de los agregados, estos absorben agua que no alcanza a reaccionar con el cemento y que por ende no hace parte de la cantidad que se especifica en cada una de las dosificaciones obtenidas en los numerales anteriores. Es por ello que es necesario, a la hora de preparar cualquier mezcla de hormigones de altas prestaciones, corregir las cantidades a medir según sea la cantidad de agua que posean los agregados y el grado de porosidad de dichos agregados. El no tener en cuenta esta característica física del agregado puede ocasionar variaciones en la relación a/c y por ende afectar a la trabajabilidad de la mezcla.

Las correcciones por humedad, aunque no hacen parte directa del método ACI 211, se exponen en este trabajo dada su importancia a la hora de elaborar las mezclas para realizar los ensayos de resistencia a la compresión.



Dada la siguiente dosificación en masa:

La corrección por humedad consiste en calcular nuevas cantidades de agua de mezclado, agregado fino y agregado grueso según la humedad que posean estos últimos, evaluada según la NTE INEN 862:2011, al momento de realizar la prueba, así:

- Cantidad de agua por metro cúbico de hormigón corregida por humedad (W_h)

$$W_h = W + F \cdot \left(\frac{h_{af} - h_f}{100} \right) + G \cdot \left(\frac{h_{ag} - h_g}{100} \right)$$

Ec. 3. 7 Corrección del agua de mezclado

Donde:

W_h → Contenido de Agua de mezclado corregido

W → Contenido de Agua de mezclado

F → Contenido de Agregados finos

h_{af} → Humedad del agregado fino

h_f → Humedad del agregado fino

F_h → Contenido de Agregados finos corregidos

h_{ag} → Humedad del agregado grueso

h_g → Humedad del agregado grueso

- Cantidad de finos por metro cúbico de hormigón corregido por humedad (F_h)

$$F_h = F \cdot \left(1 + \frac{h_f}{100} \right)$$

Ec. 3. 8 Corrección por humedad del agregado fino

Donde:

F → Contenido de Agregados finos

F_h → Contenido de Agregados finos corregidos

h_f → Humedad del agregado fino

- Cantidad de gruesos por metro cúbico de hormigón corregidos por humedad (G_h)

$$G_h = G \cdot \left(1 + \frac{h_g}{100} \right)$$

Ec. 3. 9 Corrección por humedad del agregado grueso

Donde:

G → Contenido de Agregado grueso

G_h → Contenido de Agregados gruesos corregidos

h_g → Humedad del agregado grueso

Los valores W_h , F_h y G_h son los valores que se deben medir a la hora de elaborar las mezclas.

3.5 MEZCLAS DE PRUEBA

Las mezclas de prueba a realizarse en la presente investigación, partirán de la elaboración de una mezcla patrón que no contendrá aditivos ni pigmentos, para que a partir de este punto, se pueda establecer los beneficios que prestan agregar estos componentes a la mezcla de hormigón, luego se elaborara con la muestra patrón adicionada el aditivo Sika ViscoCrete 2100y para finalizar se elaborara las muestras pigmentadas.

Por lo cual las mezclas de prueba se diseñarán para 2 tipos de dosificación de pigmentos de SikaCim Color S diferente y se mantendrá constante la cantidad de aditivo Sika ViscoCrete 2100 a usarse, ya que el estudio principalmente se basa en las propiedades que puede prestar los pigmentos a la mezcla.

Las dosificaciones de pigmentos serán del 4% en primer lugar, para identificar el beneficio del pigmento en pequeñas cantidades, y finalmente una adición del 6% de pigmentos como dato superior a una cantidad que recomienda el productor del pigmento a usar en la mezcla de hormigón.

3.5.1 MEZCLA DE HORMIGÓN PATRÓN

Esta mezcla de hormigón es una prueba de los componentes básicos a utilizarse en el hormigón, cuyos componentes son: agregado fino y grueso de cuarcita, cemento Guapán y agua. Obviamente esta mezcla se diseñará como una mezcla de hormigón de altas prestaciones, con el valor calculado de la resistencia a la compresión promedio requerida, se buscara naturalmente llegar a ese valor de resistencia, pero de antemano se sabe que sin la ayuda de aditivos híperfluidificantes, no es posible llegar a la resistencia calculada.

Sí se sigue el procedimiento sugerido por el ACI 211-4R-98, para el diseño de mezclas de hormigón de altas prestaciones, este reflejará las propiedades de los materiales de cuarcita usados y dará un punto de partida para poder demostrar la eficacia de la investigación, al añadir aditivos y pigmentos. Y así finalmente diseñar la mezcla definitiva que compruebe la validez del desarrollo de la investigación.

La resistencia especificada $f'c$ de 500 Kg/cm^2 , será el punto de partida para el diseño de la mezcla patrón, donde la resistencia requerida $f'cr$ es de 598.43 Kg/cm^2 y se diseñará la mezcla para este valor, teniendo como resultado una relación agua – cemento que será motivo de variación para poder demostrar la influencia de la relación en la mezcla de hormigón.

A continuación se describen los datos y procesos de cálculo que se emplearon para dosificar las mezclas patrón de hormigón.

Fig. 3. 1 Muestras Cilíndricas de Hormigón



Fuente: Vallejo E. (2015). Hormigón fresco. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor



DISEÑO DE HORMIGONES (COMITÉS ACI 211-4R98 - ACI 363-2R-98)

MEZCLA PATRÓN #1 DEL HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Origen:	Yacimiento "El Panecillo"		
Material de ensayo	Cuarcita		
Descripción	U	Fino	Grueso
Tamaño nominal máximo TNM	Pulg.		1/2"
Módulo de finura	Pulg.	3,12	5,71
Coefficiente de uniformidad	gr/cm ³		0,299
Peso específico	gr/cm ³	2,627	2,525
Densidad aparente	gr/cm ³	2,640	2,600
Densidad aparente compactada	gr/cm ³		1,460
Densidad aparente Suelta	gr/cm ³	1,531	1,359
Densidad Óptima	gr/cm ³	2,632	2,550
Capacidad de Absorción	%	0,185	1,113
Contenido de Humedad	%	1,510	0,290
Densidad del Agua	gr/cm ³	0,998	
Densidad del Cemento	gr/cm ³	2,89	

1. ASENTAMIENTO

Hormigón elaborado con HRWR*		
Asentamiento antes de añadir HRWR	1"	2"
Hormigón elaborado sin HRWR		
Asentamiento	2"	4"

*Ajustar el asentamiento, al que se desea en el campo a través de la adición de HRWR

ASENTAMIENTO ASUMIDO: 2"

2. RESISTENCIA REQUERIDA

$$f'c = \frac{500}{7111,67} \text{ Kg/cm}^2 = 7111,67 \text{ psi}$$

$$f'cr = \frac{f'c + 1400}{0,9}$$

$$f'cr = \frac{9457,41}{664,92} \text{ psi} = 664,92 \text{ Kg/cm}^2$$

3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Resistencia Requerida del hormigón,	Tamaño máximo sugerido de agregado grueso		
< 9000 Psi	3/4"	a	1"
> 9000 Psi	3/8"	a	1/2"*

* Al usar HRWR y áridos de granulometría gruesa seleccionada, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 430 a 850 kg/cm², pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el

T.N.M ASUMIDO: 1/2"

4. VOLUMEN RECOMENDADO DEL AGREGADO GRUESO

Contenido óptimo total de agregado grueso de tamaño máximo nominal para ser utilizado con arena con módulo de finura de 2,5 a 3,2

Tamaño máximo nominal	in 3/8"	in 1/2"	in 3/4"	in 1"
Volumen fraccional* de áridos gruesos secados al horno	0.65	0.68	0.72	0.75

* Los volúmenes se basan en agregados en condición de secado en horno, como se describe en la norma ASTM C 29 para el peso unitario de los agregados

FACTOR DE ÁRIDO GRUESO :	0,68	yd ³
	0,52	m ³
	519897,30	cm ³

5. PESO DEL ÁRIDO GRUESO

Densidad aparente compactada =	1,46	gr/cm ³
	91,14	yd/ft ³
FACTOR DE CONVERSIÓN=	35,31	ft ³
	1,00	m ³

$$\text{Peso del agregado grueso} = (\text{Factor arido grueso} \times \delta_{Ap,Comp}) \times \text{Factor de conversion}$$

PESO DEL ÁRIDO GRUESO :	2188,75	Lb
	992,80	Kg

6. PORCENTAJE DE VACÍOS DEL ÁRIDO FINO

Densidad Aparente Compactada	1,531	gr/cm ³
Densidad SSS	2,640	gr/cm ³
% de Vacíos	41,72	Necesita reajuste

7. MEZCLA DE AGUA

Corrección de agua si por cada punto porcentual de vacíos que aumente toca multiplicar por 8 según la siguiente ecuación.

$$\text{Ajuste del agua de mezclado (lb/yd}^3\text{)} = 8(V - 35)$$

MEZCLA DE AGUA DE AJUSTE	53,79	lb/yd ³
	31,91	Kg/m ³

Asentamiento			Agua de mezclado (lb/yd ³)			
			Tamaño máximo de agregado grueso			
in	a	in	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1	a	2	310	295	285	280
2	a	3	320	310	295	290
3	a	4	330	320	305	300
Contenido de aire atrapado*		Sin HRWR	3	2.5	2	1.5
		Con HRWR	2.5	2	1.5	1

* Los valores dados deben ser ajustados para arena con huecos distintos de 35% usando la Ec. Ajuste del agua de mezclado

CANTIDAD DE AGUA =	295	lb/yd ³
	175,02	Kg/m ³

AGUA DE AJUSTE	53,79	lb/yd ³
	31,91	Kg/m ³

CANTIDAD DE AGUA TOTAL	348,79	lb/yd ³
	206,93	Kg/m ³

8. RELACIÓN AGUA/CEMENTO

Relación Agua/cemento para hormigones sin hiperplastificante						
Resistencia promedio f'cr*			Relación a/cm para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
psi	kg/cm ²	Edad	3/8"	1/2"	3/4"	1"
		días	in	in	in	in
7000	500	28	0.42	0.41	0.40	0.39
		56	0.46	0.45	0.44	0.43
8000	550	28	0.35	0.34	0.33	0.33
		56	0.38	0.37	0.36	0.35
9000	600	28	0.30	0.29	0.29	0.28
		56	0.33	0.32	0.31	0.30
10000	650	28	0.26	0.26	0.25	0.25
		56	0.29	0.28	0.27	0.26

* $f'_{cr} = f'_c + 1400$ (psi)

INTERPOLACIÓN DE LA RELACIÓN a/c

f_{cr}	T.N.M
8000	0,34
8511,67	a/c = 0,31
9000	0,29

9. CANTIDAD DE CEMENTO REQUERIDO

CEMENTO =	1109,33	lb
	503,18	Kg

10. VOLUMEN REAL

	ft ³	m ³
AGUA	5,60	0,16
CEMENTO	6,15	0,17
GRAVA	13,75	0,39
AIRE	0,78	0,02
VOLUMEN TOTAL	26,27	0,74
ARENA	9,04	0,26

11. PESO REAL

	Lb	Kg
AGUA	348,79	158,21
ARENA	1485,62	673,87
CEMENTO	1109,33	503,18
GRAVA	2188,75	992,80
TOTAL	5132,49	2328,06

12. DOSIFICACIÓN

AGUA	0,31
ARENA	1,34
CEMENTO	1,00
GRAVA	1,97

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

	Lb	Kg
ARENA	1508,05	684,04
GRAVA	2195,10	995,68

Agua de mezclado corregida =	350,46	lb
	158,97	kg

	Lb	Kg	Dosificación
AGUA	350,46	158,97	0,32
ARENA	1508,05	684,04	1,36
CEMENTO	1109,33	503,18	1,00
GRAVA	2195,10	995,68	1,98
TOTAL	5162,94	2341,87	

CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRÓN

# DE CILINDROS DE PRUEBA	9
Diámetro (m)	0,155
Altura (m)	0,310
Volumen (m ³)	0,006
Volumen para 9 cilindros (m ³)	0,053

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,46	158,97	18,45	8,37
ARENA	1508,05	684,04	79,39	36,01
CEMENTO	1109,33	503,18	58,40	26,49
GRAVA	2195,10	995,68	115,56	52,42
TOTAL	5162,94	2341,87	271,80	123,29

DISEÑO DE HORMIGONES (COMITÉS ACI 211-4R98 - ACI 363-2R-98)

MEZCLA PATRÓN #2 DEL HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES

PESO DEL ÁRIDO GRUESO :	2188,75	Lb
	992,80	Kg

CANTIDAD DE AGUA TOTAL	348,79	lb/yd ³
	206,93	Kg/m ³

RELACIÓN a/c

a/c =	0,30
-------	------

9. CANTIDAD DE CEMENTO REQUERIDO

CEMENTO =	1162,64	lb
	527,36	Kg

10. VOLUMEN REAL

	ft ³	m ³
AGUA	5,60	0,16
CEMENTO	6,44	0,18
GRAVA	13,75	0,39
AIRE	0,71	0,02
VOLUMEN TOTAL	26,50	0,75
ARENA	8,82	0,25

11. PESO REAL

	Lb	Kg
AGUA	348,79	158,21
ARENA	1448,68	657,11
CEMENTO	1162,64	527,36
GRAVA	2188,75	992,80
TOTAL	5148,86	2335,48

12. DOSIFICACIÓN

AGUA	0,30
ARENA	1,25
CEMENTO	1,00
GRAVA	1,88

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

	Lb	Kg
ARENA	1470,55	667,03
GRAVA	2195,10	995,68

Agua de mezclado corregida =	349,97	lb
	158,75	kg

	Lb	Kg	Dosificación
AGUA	349,97	158,75	0,30
ARENA	1470,55	667,03	1,26
CEMENTO	1162,64	527,36	1,00
GRAVA	2195,10	995,68	1,89
TOTAL	5178,26	2348,82	



CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRÓN				
# DE CILINDROS DE PRUEBA	9			
Diámetro (m)	0,155			
Altura (m)	0,310			
Volumen (m ³)	0,006			
Volumen para 9 cilindros (m ³)	0,053			
	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	349,97	158,75	18,42	8,36
ARENA	1470,55	667,03	77,42	35,12
CEMENTO	1162,64	527,36	61,21	27,76
GRAVA	2195,10	995,68	115,56	52,42
TOTAL	5178,26	2348,82	272,61	123,65

DISEÑO DE HORMIGONES (COMITÉS ACI 211-4R98 - ACI 363-2R-98)

MEZCLA PATRÓN #3 DEL HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES

PESO DEL ÁRIDO GRUESO :	2188,75	Lb
	992,80	Kg

CANTIDAD DE AGUA TOTAL	348,79	lb/yd ³
	206,93	Kg/m ³

RELACIÓN a/c

a/c =	0,32
-------	------

9. CANTIDAD DE CEMENTO REQUERIDO

CEMENTO =	1089,97	lb
	494,40	Kg

10. VOLUMEN REAL

	ft ³	m ³
AGUA	5,60	0,16
CEMENTO	6,04	0,17
GRAVA	13,75	0,39
AIRE	0,71	0,02
VOLUMEN TOTAL	26,10	0,74
ARENA	9,22	0,26

11. PESO REAL

	Lb	Kg
AGUA	348,79	158,21
ARENA	1514,85	687,13
CEMENTO	1089,97	494,40
GRAVA	2188,75	992,80
TOTAL	5142,37	2332,54

12. DOSIFICACIÓN

AGUA	0,32
ARENA	1,39
CEMENTO	1,00
GRAVA	2,01

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

	Lb	Kg
ARENA	1537,73	697,50
GRAVA	2195,10	995,68

Agua de mezclado corregida =	350,85	lb
	159,14	kg

	Lb	Kg	Dosificación
AGUA	350,85	159,14	0,32
ARENA	1537,73	697,50	1,41
CEMENTO	1089,97	494,40	1,00
GRAVA	2195,10	995,68	2,01
TOTAL	5173,65	2346,73	

CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRÓN				
# DE CILINDROS DE PRUEBA	9			
Diámetro (m)	0,155			
Altura (m)	0,310			
Volumen (m ³)	0,006			
Volumen para 9 cilindros (m ³)	0,053			
	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,85	159,14	18,47	8,38
ARENA	1537,73	697,50	80,95	36,72
CEMENTO	1089,97	494,40	57,38	26,03
GRAVA	2195,10	995,68	115,56	52,42
TOTAL	5173,65	2346,73	272,37	123,54

3.5.2 MEZCLA DE HORMIGÓN CONVENCIONAL MÁS ADICIÓN DE SIKA VISCOCRETE 2100.

Una vez encontrada la dosificación de los materiales, y lo que es más importante, la relación agua - cemento (a/c), que en este tipo de mezclas de hormigones de alta prestaciones, es uno de los factores más importantes, se puede empezar a realizar mezclas de prueba, que nos indiquen el beneficio que prestan, el incluir en la mezcla los aditivos híperplastificantes.

Es por eso que la dosificación del aditivo híperplastificante, se realizará en base a recomendaciones y especificaciones que preste la casa fabricante del mismo, que en este caso se trata del aditivo de la casa comercial SIKA, el aditivo VISCOCRETE 2100, que se usará una sola dosificación, que sea la adecuada para poder conseguir el asentamiento y consistencia deseados, para todas las mezclas de prueba siguientes y por consiguiente las mezclas definitivas.

En resumen, se diseña la siguiente mezcla igual al caso anterior, con los mismos materiales y sus propiedades y se estudia, en estas mezclas el beneficio que aporta las fibras y los aditivos a la mezcla para poder concluir que mezcla puede ser la definitiva.

Fig. 3. 2 Probetas cilíndricas de Hormigón



Fuente: Vallejo E. (2015). Hormigón fresco. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor

DISEÑO DE HORMIGONES (COMITÉS ACI 211-4R98 - ACI 363-2R-98)

PROPORCIÓN DE MEZCLA USANDO CEMENTO Y ADITIVO VISCOCRETE 2100

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Origen:	Yacimiento "El Panecillo"		
Material de ensayo	Cuarcita		
Descripción	U	Fino	Grueso
Tamaño nominal máximo TNM	Pulg.		1/2"
Módulo de finura	Pulg.	3,12	5,71
Coefficiente de uniformidad	gr/cm ³		0,299
Peso específico	gr/cm ³	2,627	2,525
Densidad aparente	gr/cm ³	2,640	2,600
Densidad aparente compactada	gr/cm ³		1,460
Densidad aparente Suelta	gr/cm ³	1,531	1,359
Densidad Óptima	gr/cm ³	2,632	2,550
Capacidad de Absorción	%	0,185	1,113
Contenido de Humedad	%	1,510	0,290
Densidad del Agua	gr/cm ³	0,998	
Densidad del Cemento	gr/cm ³	2,89	
Densidad del Hiperplastificante SIKA	gr/cm ³	1,1	

1. ASENTAMIENTO

Hormigón elaborado con HRWR*

Asentamiento antes de añadir HRWR	1"	2"
-----------------------------------	----	----

Hormigón elaborado sin HRWR

Asentamiento	2"	4"
--------------	----	----

*Ajustar el asentamiento, al que se desea en el campo a través de la adición de HRWR

ASENTAMIENTO ASUMIDO: 2"

2. RESISTENCIA REQUERIDA

$$f'c = \frac{500}{7111,67} \text{ Kg/cm}^2 = \frac{500}{500} \text{ psi}$$

$$f'cr = \frac{f'c + 1400}{0,9}$$

$$f'cr = \frac{9457,41}{1,4} \text{ psi} = \frac{664,92}{1,4} \text{ Kg/cm}^2$$

3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL

Resistencia Requerida del hormigón,			Tamaño máximo sugerido de agregado grueso		
<	9000	Psi	3/4"	a	1"
>	9000	Psi	3/8"	a	1/2"*

* Al usar HRWR y áridos de granulometría gruesa seleccionada, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 650 a 850 kg/cm², pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el

T.N.M ASUMIDO : 1/2"

4. VOLUMEN RECOMENDADO DEL AGREGADO GRUESO

Contenido óptimo total de agregado grueso de tamaño máximo nominal para ser utilizado con arena con módulo de finura de 2,5 a 3,2

Tamaño máximo nominal	in	in	in	in
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Volumen fraccional* de áridos gruesos secados al horno	0.65	0.68	0.72	0.75

* Los volúmenes se basan en agregados en condición de secado en horno, como se describe en la norma ASTM C 29 para el peso unitario de los agregados

FACTOR DE ÁRIDO GRUESO :	0,68	yd ³
	0,52	m ³
	519897,30	cm ³

5. PESO DEL ÁRIDO GRUESO

Densidad aparente compactada =	1,46	gr/cm ³
	91,14	yd/ft ³

FACTOR DE CONVERSIÓN=	35,31	ft ³
	1,00	m ³

$Peso\ del\ agregado\ grueso = (Factor\ arido\ grueso \times \delta_{Ap.Comp}) \times Factor\ de\ conversion$

PESO DEL ÁRIDO GRUESO :	2188,75	Lb
	992,80	Kg

6. PORCENTAJE DE VACÍOS DEL ÁRIDO FINO

Densidad Aparente Compactada	1,531	gr/cm ³
Densidad SSS	2,640	gr/cm ³

% de Vacíos	41,72	Necesita reajuste
-------------	-------	-------------------

7. MEZCLA DE AGUA

Corrección de agua si por cada punto porcentual de vacíos que aumente toca multiplicar por 8 según la siguiente ecuación.

$$Ajuste\ del\ agua\ de\ mezclado\ (lb/yd^3) = 8(V - 35)$$

MEZCLA DE AGUA DE AJUSTE	53,79	lb/yd ³
	31,91	Kg/m ³

Asentamiento			Agua de mezclado (lb/yd ³)			
			Tamaño máximo de agregado grueso			
in		in	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1	a	2	310	295	285	280
2	a	3	320	310	295	290
3	a	4	330	320	305	300
Contenido de aire atrapado*		Sin HRWR	3	2.5	2	1.5
		Con HRWR	2.5	2	1.5	1

* Los valores dados deben ser ajustados para arena con huecos distintos de 35% usando la Ec. Ajuste del agua de mezclado

CANTIDAD DE AGUA =	295	lb/yd ³
	175,02	Kg/m ³

AGUA DE AJUSTE	53,79	lb/yd ³
	31,91	Kg/m ³

CANTIDAD DE AGUA TOTAL	348,79	lb/yd ³
	206,93	Kg/m ³

RELACIÓN a/c	
a/c =	0,31

9. CANTIDAD DE CEMENTO REQUERIDO

CEMENTO =	1109,33	lb
	503,18	Kg

ADITIVO Sika ViscoCrete 2100	0,6%	6,656	lb
		3,019	Kg

10. VOLUMEN REAL

	ft ³	m ³
AGUA	5,60	0,16
CEMENTO	6,15	0,17
GRAVA	13,75	0,39
ADITIVO	0,10	0,002745
AIRE	0,71	0,02
VOLUMEN TOTAL	26,30	0,74
ARENA	9,02	0,26

11. PESO REAL

	Lb	Kg
AGUA	348,79	158,21
ARENA	1481,30	671,91
CEMENTO	1109,33	503,18
GRAVA	2188,75	992,80
ADITIVO	6,66	3,02
TOTAL	5128,17	2326,10

12. DOSIFICACIÓN

AGUA	0,31
ARENA	1,34
CEMENTO	1,00
GRAVA	1,97
ADITIVO	0,6%

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

	Lb	Kg
ARENA	1503,67	682,05
GRAVA	2195,10	995,68

Agua de mezclado corregida =	350,41	lb
	158,94	kg

	Lb	Kg	Dosificación
AGUA	350,41	158,94	0,32
ARENA	1503,67	682,05	1,36
CEMENTO	1109,33	503,18	1,00
GRAVA	2188,75	995,68	1,98
ADITIVO	6,66	3,02	0,6%
TOTAL	5158,81	2342,87	

CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRÓN

# DE CILINDROS DE PRUEBA	9
Diámetro (m)	0,155
Altura (m)	0,310
Volumen (m ³)	0,006
Volumen para 9 cilindros (m³)	0,053

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,41	158,94	18,45	8,37
ARENA	1503,67	682,05	79,16	35,91
CEMENTO	1109,33	503,18	58,40	26,49
GRAVA	2188,75	995,68	115,23	52,42
ADITIVO	6,66	3,02	0,35	0,16
TOTAL	5158,81	2342,87	271,59	123,34



3.6 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad se basa principalmente en medir y analizar el comportamiento del hormigón fresco para la elaboración de los cilindros de ensayo, en el cual dichas propiedades a analizarse son: trabajabilidad, segregación, consistencia, homogeneidad, cohesión y compactación.

La trabajabilidad de la mezcla, inicialmente fue muy mala, casi nula pero gracias a la adición total del agua de corrección, se pudo obtener los asentamientos deseados, cuidando mucho la trabajabilidad de la mezcla.

La segregación del material era nula, ya que la formación de la mezcla con agregado grueso anguloso de cuarcita y arena de cuarcita, hizo que se mezclen adecuadamente los materiales y no haya segregación mayormente notable.

La consistencia obtenida en la mezcla fresca, se encontraba dentro de los parámetros considerados, ya que esta propiedad hace referencia directamente al asentamiento dicho esto, se pudo comprobar que las mezclas registraron asentamientos entre 2 y 3 pulgadas, es decir entre 5 y 7,5 cm, cuidando lo más adecuadamente posible lo estipulado en el cálculo.

La homogeneidad de la mezcla fue muy buena, se observó que los materiales se encontraban adecuadamente distribuidos, pero cabe mencionar que inicialmente en el proceso del mezclado no fue así, ya que el agregado fino hizo que se formen esferas secas de mezcla el cual fue corregido con el agua de mezclado, teniendo como resultado una mezcla homogénea.

La cohesión, por tener una consistencia plástica fue un punto particularmente desventajoso al tener que extraer el hormigón de la concretera, para poder verter en los moldes cilíndricos,

Al compactar la mezcla se pudo observar que la cohesión presentaba una ligera dificultad al realizar esta acción, principalmente en las mezclas patrón.

3.7 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

Para obtener resultados excelentes, se optó por realizar ensayos de calidad en los cuales fue necesario una selección de los agregados, principalmente gruesos, tanto como un control de calidad de los materiales a usarse en la mezcla de hormigón de altas prestaciones, por lo que los agregados triturados provenientes del yacimiento de cuarcita, presento materiales de mayor tamaño nominal que el máximo necesario calculado con el método del ACI 211-4R-98, como se pudo observar en los ensayos de granulometría.

Los tamaños mayores a $\frac{3}{4}$ de pulgada o lo que retenía el tamiz de $\frac{3}{4}$, era simplemente desechado, para que a partir de lo que retenía el tamiz de $\frac{1}{2}$ pulgada, sean utilizados en la mezcla, siguiendo el mismo proceso para los agregados retenidos en los tamices de $\frac{3}{8}$, N°4 y N°8, para que de igual manera, el material que pasaba el tamiz N°8, era desechado ya que éste material era considerado tanto arcilla y otro material orgánico, innecesario para las mezclas de hormigón de alta resistencia.

Por otra parte el agregado fino, no necesitó de mayor trabajo, solo el de la exclusión de todo material que retenga el tamiz N°8, el resto de la arena era utilizado en la mezcla.



3.8 LIMPIEZA (POR LAVADO)

A simple vista se pudo observar que el material luego del proceso de trituración, presentaba un contenido de materia orgánica y arcilla completamente baja, aunque este tipo de materiales afectan a las mezclas de hormigón, y más aun a las de altas prestaciones, se pudo obtener el contenido de materia orgánica baja gracias al lavado que se llevó a cabo, previo al proceso de trituración.

La combinación del tamizado y lavado de los agregados, garantizó tener un material de alta calidad y estrictamente seleccionado para el uso en la mezcla de hormigón, tratando en lo posible de acercarse a lo indicado por la norma ACI 211 4R-98, para el diseño de hormigones de alta resistencia.

3.9 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA POSIBILIDAD DE USO DE ADITIVOS

Mediante los resultados obtenidos en la elaboración de las mezclas patrón, hizo denotar la necesidad imperativa del uso de aditivos hiperfluidificantes, ya que las mezclas resultaron con una relación agua/cemento (w/c) relativamente baja, lo que indicó el uso mínimo de agua en la mezcla.

En primer lugar existió problemas en el mezclado, ya que la reducción de agua de la mezcla hacía que se formen esferas de material y a la vez otra porción de material se pegaba en las paredes de la concretera, sin permitir que se mezcle todo adecuadamente, por lo que fue necesaria la intervención manual para disolver estas esferas en la mayoría posible, y el uso de herramientas para quitar el material concentrado en las paredes de la concretera.

Luego del proceso de amasado de la mezcla hubo otro inconveniente, como lo es, con el compactado y consistencia, llegando a afectar hasta la segregación de la mezcla, por lo que, en la compactación de los cilindros ya era difícil realizarlo.

De ahí que fue necesario el uso de aditivo químico, primordialmente los hiperfluidificantes que pueden hacer, con pequeñas cantidades, grandes cambios de consistencia a la mezcla y por ese mismo motivo hay que tener mucho cuidado con la dosificación de este elemento.

La adición del aditivo mostró mejoras muy notables, desde impedir que se formen esferas de material en la mezcladora de hormigón, hasta mejoramiento en la consistencia permitiendo llegar al asentamiento deseado, y por consiguiente mejorar la compactación de la mezcla de hormigón en los cilindros metálicos de molde.

3.10 ENSAYOS A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS A EDADES DE 3, 7 Y 28 DÍAS

En el presente ítem se muestran los resultados de resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días de edad, de las 3 mezclas realizadas, de las cuales 3 corresponden a la mezcla patrón y sus variaciones respectivas (± 0.01 de relación agua/cemento). Para estos ensayos es necesario seguir lo estipulado en la norma NTE INEN 1573:2010

Los ensayos de compresión curados en húmedo se deben realizar tan pronto como sea posible, luego de extraerlos del almacenamiento húmedo. Los especímenes se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el periodo comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo, además deben llevarse hasta la falla dentro de la tolerancia admisible de tiempo que se indica en la siguiente tabla:

Tabla 3. 8 Tolerancia de tiempo para los ensayos de especímenes

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 horas	+ 0,5h o 2,1%
3 días	2 horas o 2,8%
7 días	6 horas o 3,6%
28 días	20 horas o 3,0%
90 días	2 días o 2,2%

Fuente: NTE INEN 1573, Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón, 2010, Pág.6

Fig. 3. 3 Ensayo de Compresión



Fuente: Vallejo E. (2015). Ensayo de Compresión [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 3. 4 Prensa para Rotura de Concreto



Fuente: Vallejo E. (2015). Ensayo de Compresión. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona

Fig. 3. 5 Rotura de la probeta de concreto



Fuente: Vallejo E. (2015). Rotura de probeta de concreto. [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor
Elaborado por: Edgar Alejandro Vallejo Barahona



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 27 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN

Dosificación para 9 cilindros con relación a/c = 0.31

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,46	158,97	18,45	8,37
ARENA	1508,05	684,04	79,39	36,01
CEMENTO	1109,33	503,18	58,40	26,49
GRAVA	2195,10	995,68	115,56	52,42
TOTAL	5162,94	2341,87	271,80	123,29

Aditivo

Marca	%	Densidad (gr/cm ³)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)
Asentamiento			4.5 cm	
Consistencia			Plástica	
Segregación			No	

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 3 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Días	Kg/cm ²	Mpa
1	15,25	15,37	29,88	29,92	24-jul-15	27-jul-15	3	12720,0	360,452	185,42	198,233	19,440	33,13
	15,48		29,95										
2	15,32	15,44	30	30,01	24-jul-15	27-jul-15	3	12771,5	363,712	187,11	198,212	19,438	33,12
	15,55		30,2										
PROMEDIO											198,223	19,439	33,124

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 31 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)					500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)					598,43	Kg/cm ²
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
3	15,50	15,27	29,95	30,29	24-jul-15	31-jul-15	7	12849,0	429,372	183,07	232,638	22,814	38,87
	15,46		30,02										
4	15,24	15,27	30,6	30,29	24-jul-15	31-jul-15	7	12210,5	467,124	183,07	267,584	26,241	44,71
	14,87		30,58										
PROMEDIO											250,111	24,528	41,795

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 21 de Agosto de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)					500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)					598,43	Kg/cm ²
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
3	15,60	15,50	30,10	30,05	24-jul-15	21-ago-15	28	13036,0	772,127	188,69	417,268	40,920	69,73
	15,4		29,99										
4	14,95	14,88	30,00	29,98	24-jul-15	21-ago-15	28	11942,5	779,272	173,78	457,261	44,842	76,41
	14,8		29,96										
PROMEDIO											437,265	42,881	73,069

ING. LUIS MARIO ALMACHE
 JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
 LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
 ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 27 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN

Dosificación para 9 cilindros con relación a/c = 0.30

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	349,97	158,75	18,42	8,36
ARENA	1470,55	667,03	77,42	35,12
CEMENTO	1162,64	527,36	61,21	27,76
GRAVA	2195,10	995,68	115,56	52,42
TOTAL	5178,26	2348,82	272,61	123,65

Aditivo

Marca	%	Densidad (gr/cm ³)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)
Asentamiento			3.0 cm	
Consistencia			Plástica	
Segregación			No	

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 3 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.30													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
1	15,45	15,37	29,86	29,89	24-jul-15	27-jul-15	3	12570,5	449,876	185,54	247,251	24,247	41,32
	15,29		29,91										
2	15,51	15,51	31,1	31,10	24-jul-15	27-jul-15	3	13424,5	462,782	188,81	249,932	24,510	41,76
	15,5		31,1										
PROMEDIO											248,592	24,379	41,541

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 31 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.30													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
3	15,54	15,52	31,06	31,06	24-jul-15	31-jul-15	7	13465,5	430,893	189,18	232,261	22,777	38,81
	15,5		31,05										
4	15,52	15,54	31,04	31,06	24-jul-15	31-jul-15	7	13512,0	449,663	189,67	241,754	23,708	40,40
	15,56		31,08										
PROMEDIO											237,008	23,243	39,605

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 21 de Agosto de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.30													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
5	15,61	15,57	31,02	30,99	24-jul-15	21-ago-15	28	13539,0	882,580	190,40	472,679	46,354	78,99
	15,53		30,96										
6	15,55	15,58	31,08	31,05	24-jul-15	21-ago-15	28	13497,5	785,752	190,52	420,551	41,242	70,28
	15,6		31,01										
PROMEDIO											446,615	43,798	74,631

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Lunes, 27 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

Dosificación para 9 cilindros con relación a/c = 0.32

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,85	159,14	18,47	8,38
ARENA	1537,73	697,50	80,95	36,72
CEMENTO	1089,97	494,40	57,38	26,03
GRAVA	2195,10	995,68	115,56	52,42
TOTAL	5173,65	2346,73	272,37	123,54

Aditivo

Marca	%	Densidad (gr/cm ³)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)
Asentamiento			6 cm	
Consistencia			Blanda	
Segregación			No	

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I.)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 3 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.32													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
1	15,56	15,52	31,06	31,06	24-jul-15	27-jul-15	3	13459,5	375,291	189,12	201,251	19,736	33,63
	15,49		31,05										
2	15,5	15,52	31,04	31,06	24-jul-15	27-jul-15	3	13446,0	346,710	189,12	186,883	18,327	31,23
	15,52		31,08										
PROMEDIO											194,067	19,032	32,429

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 31 de julio de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.32													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo	Días				Kg/cm ²	Mpa	%
3	15,56	15,58	31,05	31,08	24-jul-15	31-jul-15	7	13479,0	396,881	190,71	210,928	20,685	35,25
	15,7		31,1										
4	15,56	15,58	31,05	31,08	24-jul-15	31-jul-15	7	13509,5	430,585	190,71	231,649	22,717	38,71
	15,51		31,1										
PROMEDIO											221,289	21,701	36,978

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 21 de Agosto de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: **DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010**

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.32													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo	Días				Kg/cm ²	Mpa	%
5	15,53	15,52	31,05	31,08	24-jul-15	21-ago-15	28	13513,5	706,411	189,12	381,262	37,389	63,71
	15,52		31,1										
6	15,49	15,52	31,05	31,08	24-jul-15	21-ago-15	28	13459,0	784,101	189,12	423,192	41,501	70,72
	15,53		31,1										
PROMEDIO											402,227	39,445	67,214

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Lunes, 31 de Agosto de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

Dosificación para 9 cilindros con hiperplastificante SIKA VISCOCRETE 2100

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,41	158,94	18,45	8,37
ARENA	1503,67	682,05	79,16	35,91
CEMENTO	1109,33	503,18	58,40	26,49
GRAVA	2188,75	995,68	115,23	52,42
ADITIVO	6,656	3,019	0,350	0,159
TOTAL	5158,81	2342,87	271,59	123,34

Aditivo

Marca	%	Densidad (gr/cm ³)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)
SIKA VISCOCRETE 2100	0.6%	1.1	0.16	144,49
Asentamiento		7 cm		
Consistencia		Blanda		
Segregación		No		

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 3 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD (Días)	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
1	15,56	15,52	31,06	31,06	28-ago-15	31-ago-15	3	13459,5	418,654	189,12	224,505	22,016	37,52
	15,49		31,05										
2	15,5	15,52	31,04	31,06	28-ago-15	31-ago-15	3	13446,0	434,261	189,12	234,076	22,955	39,12
	15,52		31,08										
PROMEDIO											229,290	22,486	38,315

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 04 de Sept de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: **DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010**

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)															
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500		Kg/cm ²		RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43		Kg/cm ²	
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD															
Relación agua - cemento 0.31															
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA				
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%		
3	15,56	15,58	31,05	31,08	28-ago-15	04-sep-15	7	13479,0	657,241	190,71	349,298	34,254	58,37		
	15,7		31,1												
4	15,56	15,58	31,05	31,08	28-ago-15	04-sep-15	7	13509,5	698,627	190,71	375,848	36,858	62,81		
	15,51		31,1												
PROMEDIO											362,573	35,556	60,587		

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Viernes, 25 de Sept de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
5	15,53	15,52	31,05	31,08	28-ago-15	25-sep-15	28	13513,5	1098,450	189,12	591,707	58,027	98,88
	15,52		31,1										
6	15,49	15,52	31,05	31,08	28-ago-15	25-sep-15	28	13459,0	1024,514	189,12	551,879	54,121	92,22
	15,53		31,1										
PROMEDIO											571,793	56,074	95,549

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



3.11 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se partió por realizar la mezcla patrón que indica el procedimiento del ACI 211 4R-98, donde la primera interrogante se impuso frente al uso de la Tabla 3.6 y 3.7 que muestran la relación agua – cemento, que según el procedimiento citado, se puede obtener una misma resistencia con mezclas que se diseñan con HRWR29. La relación agua – cemento se puede aumentar con respecto a mezclas que se diseñan sin HRWR, pero que, por experiencias de laboratorio, se implementó el uso directo de la tabla 3.6 que se refiere al diseño de la mezcla de hormigón sin HRWR, teniendo resultados muy cercanos a lo requerido y alcanzar el objetivo de la resistencia.

Luego se presentó el análisis del tamaño nominal máximo del agregado grueso más conveniente para el diseño de la mezcla, y teniendo en cuenta el material del que se dispone almacenado, se decidió usar el material con $TNM = \frac{1}{2}$ ", con mira a obtener las mejores condiciones de resistencia, trabajabilidad y compactación.

Hasta este numeral, fue diseñado la mezcla patrón, dando muy buenos resultados, aunque no fueron definitivos pero se encontraban muy cerca, y es por eso que partiendo del estudio de la relación agua – cemento del diseño de la mezcla, se implementó el variar este parámetro, para observar el comportamiento, tanto de la mezcla fresca, como principalmente de la resistencia a obtenerse, donde claramente se observa que al bajar la relación agua – cemento en la mezcla, se obtiene ganancia de resistencia, que aun así no fue suficiente para llegar al límite establecido como resistencia requerida.

La mezcla patrón con una relación $a/c = 0.32$ en cambio ganó mucha trabajabilidad y compacidad, pero esto se vio directamente afectado en la resistencia final, ya que, ésta disminuyó su resistencia al añadir más agua a la mezcla con lo cual provocó la disminución de dicha resistencia.

Esto no detiene la investigación, ya que el propósito del uso de los aditivos, ayudan a mejorar la mezcla, y es así que se implementa el uso del aditivo, donde su dosificación es el primer punto a considerar para las mezclas de prueba, en el cual se considera un porcentaje de aditivo constante, siendo el aditivo SIKA VISCOCRETE 2100 el que se ha considerado para el diseño del hormigón de altas prestaciones y que recomiendo el uso de este producto en función del peso del cemento a usar en la mezcla.

De igual manera, por experiencias de laboratorio, se determinó que el uso de aditivo era del 0,6% del peso de cemento, ya que por medio de esta dosificación se obtuvo la trabajabilidad y consistencia deseada.

3.12 SELECCIÓN DE LOS MEJORES RESULTADOS Y/O NUEVAS MEZCLAS DE PRUEBA

Experimentalmente la mezcla patrón con una relación $a/c = 0.31$ es la mezcla que demuestra los mejores resultados a manera general, ya que aunque la mezcla patrón cuya relación $a/c = 0.30$ provea de mayor resistencia final de los cilindros ensayados, no presenta trabajabilidad y su consistencia es algo dura, resultando en un esfuerzo mayor, tanto en el vertido y compactado del material por capas en los moldes metálicos.

Es por eso que la mezcla cuya relación $a/c = 0.31$ a parte de mostrar resistencias superiores a la resistencia de diseño, también presenta una trabajabilidad muy aceptable y una

²⁹ aditivos híper fluidificantes, reductores de agua de alto rango



consistencia más suave, capaz de facilitar el vertido del hormigón en los moldes metálicos y por consiguiente su compactación.

3.13 CONCLUSIONES PRELIMINARES

- En el proceso de mezclado de las mezclas patrón fueron complicadas, ya que sin la adición del aditivo, hacía que se formen esferas de material, agrupando y segregando la mezcla, por lo que la intervención de la mano para disolver estas esferas, fue necesaria y así cumplir con la homogeneidad.
- La compactación también fue forzosa por la baja relación agua-cemento, resultando en cilindros con muchas porosidades, afectando a simple vista el ensayo de compresión.
- La fabricación de 9 cilindros (2 a los 3 días, 2 a los 7 días y 2 a los 28 días), fue por la necesidad de dejar testigos, si algunos cilindros, al ser ensayados, se encuentren muy lejos del resultado esperado, y no puedan estar dentro del promedio realizado y haya que sustituirlos.
- El uso del aditivo en la mezcla de hormigón fue beneficiosa, ya que la acción hiperplastificante del Sika ViscoCrete 2100 permitió obtener altos asentamientos, hormigones fluidos con alta trabajabilidad que facilitan la colocación, evitando de esta manera la segregación.
- Las bajas relaciones agua - cemento de las mezclas producen hormigones más durables, más densos y menos permeables.
- La alta plasticidad de las mezclas permite reducir los defectos de la superficie del hormigón y mejora la apariencia estética.

3.14 CURVAS TIEMPO VS RESISTENCIA

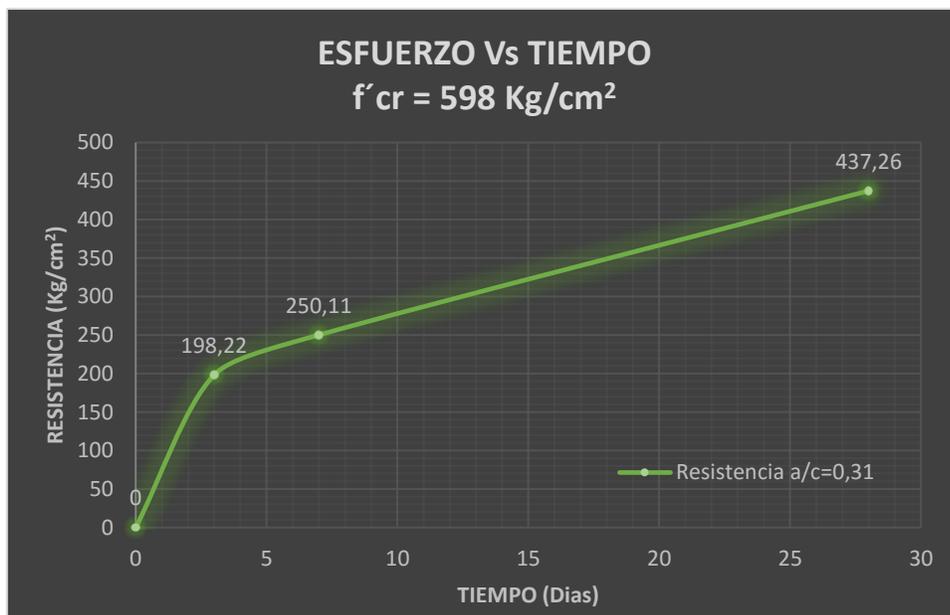
A continuación se exponen los gráficos de las curvas tiempo - resistencia de los ensayos de los cilindros de hormigón de altas prestaciones, tanto de las mezclas patrón, como de las mezclas de prueba:



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.
SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago
REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.
ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

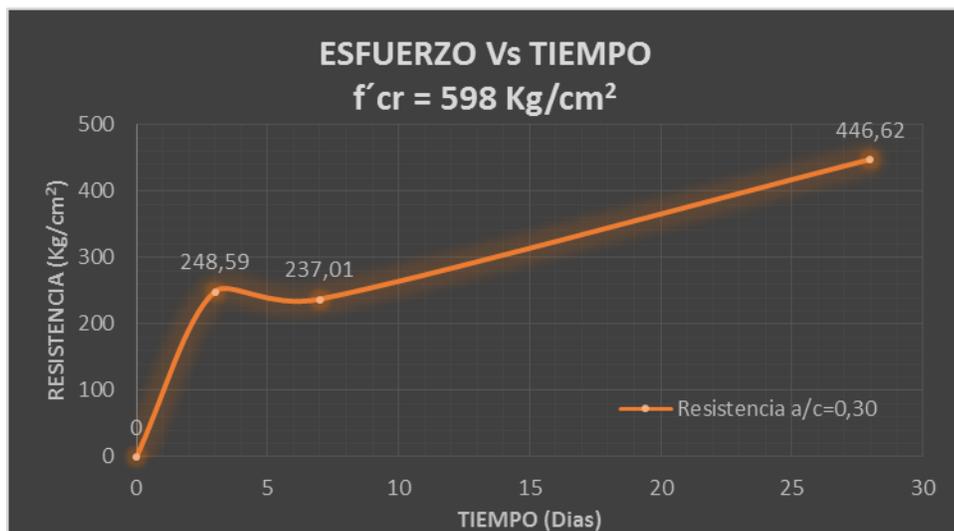
SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.
SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago
REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.
ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.
SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago
REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.
ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANT



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

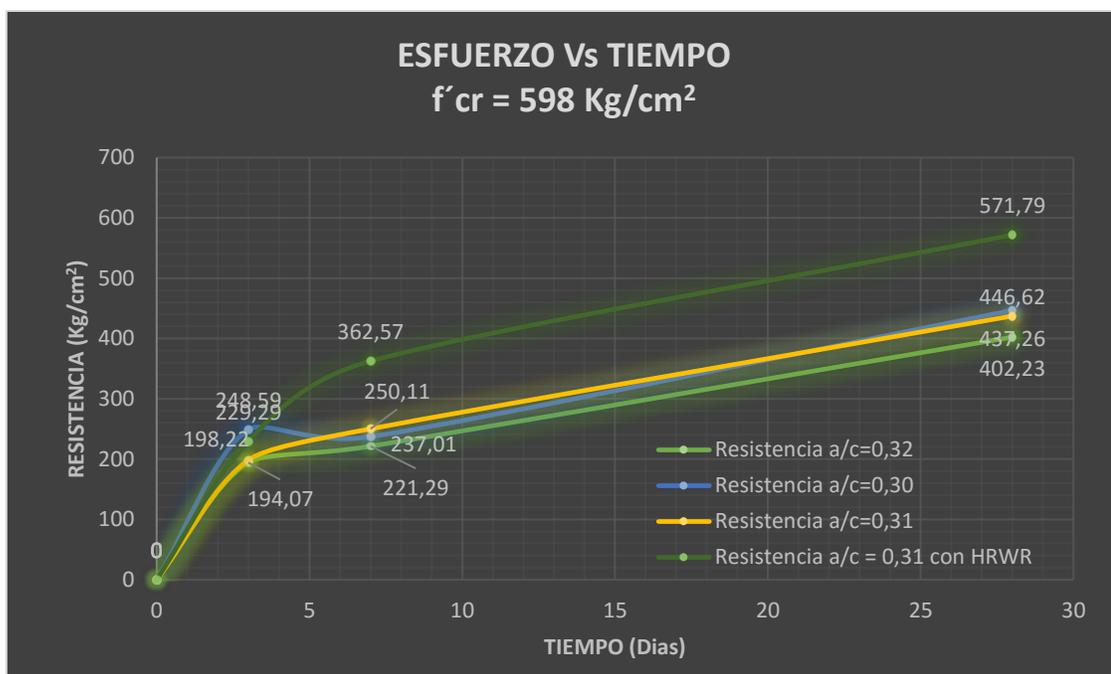
SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.
SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago
REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.
ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



3.15 VALIDACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Las mezclas de hormigón de altas prestaciones cumplieron un proceso de análisis, estudio, dosificación y experimentación siguiendo los procesos estandarizados por las normas técnicas, tanto nacionales (NTE INEN y NEC 2014), así como las normativas internacionales, como la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) y los reglamentos producidos por los comités del Instituto Americano del Concreto ACI: 211 , 214, 301, 318 y 363, sobre todo en este caso de no existir las especificaciones requeridas en las normas nacionales.

Como consecuencia, se pueden validar los resultados obtenidos en los ensayos, que serán factibles de verificación en cualquier momento, con la condición de reproducir las condiciones preliminares en laboratorio, tal como se describe a lo largo de la investigación.



CAPÍTULO IV RESULTADO DE LOS ENSAYOS DE LOS HORMIGONES CON PIGMENTOS



4.1 DOSIFICACIÓN CON PORCENTAJE ÓPTIMO DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO

4.1.1 DOSIFICACIÓN CON 4% Y 6% DE PIGMENTO POR CANTIDAD DE CEMENTO.

En el diseño y luego en el mezclado de nuestro hormigón de altas prestaciones, la cantidad de pigmento fue agregada a la mezcla con los materiales en seco, es decir, primero fue agregado la grava junto con el pigmento, después de mezclarse un momento, se le agrega la arena; después el cemento, mostrando inmediatamente un cambio radical en el color. Luego se le agregó el agua necesaria para la dosificación, hasta cumplir con el asentamiento correspondiente.

El diseño del hormigón de altas prestaciones pigmentado se lo presentara a continuación ya que, en la dosificación de los materiales, se ajustara de acuerdo a la cantidad de cemento, es decir, los kilos de cemento, aditivo, grava y agua no varían, ya que lo que varía es la cantidad de pigmento y arena, ya que el porcentaje de pigmento depende directamente de la cantidad de cemento.

Cuando el hormigón se encuentra listo, es vaciado a sus respectivos moldes, previamente impregnados con el desmoldante, luego es varillado conforme dictamina la norma y posteriormente se enrasa.

Fig. 4. 1 Pigmento Azul SIKACIM Color S



Fuente: Vallejo E. (2015). Pigmento SikaCim Color S [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor

Fig. 4. 2 Mezcla de consistencia Blanda



Fuente: Vallejo E. (2015). Ensayo de Consistencia [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor

Fig. 4. 3 Mezclado en Concretera



Fuente: Vallejo E. (2015). Mezclado del Hormigón [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor

Fig. 4. 4 Colocación en cilindros y viguetas



Fuente: Vallejo E. (2015). Elaboración de cilindros y vigas [Foto]. Cuenca, Ecuador. Archivo del autor

DISEÑO DE HORMIGONES (COMITÉS ACI 211-4R98 - ACI 363-2R-98)			
PROPORCIÓN DE MEZCLA USANDO CEMENTO Y PIGMENTO AL 4%			
PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS			
Origen:	Yacimiento "El Panecillo"		
Material de ensayo	Cuarcita		
Descripción	U	Fino	Grueso
Tamaño nominal máximo TNM	Pulg.		1/2"
Módulo de finura	Pulg.	3,12	5,71
Coefficiente de uniformidad	gr/cm ³		0,299
Peso específico	gr/cm ³	2,627	2,525
Densidad aparente	gr/cm ³	2,640	2,600
Densidad aparente compactada	gr/cm ³		1,460
Densidad aparente Suelta	gr/cm ³	1,531	1,359
Densidad Óptima	gr/cm ³	2,632	2,550
Capacidad de Absorción	%	0,185	1,113
Contenido de Humedad	%	1,510	0,290
Densidad del Agua	gr/cm ³	0,998	
Densidad del Cemento	gr/cm ³	2,89	
Densidad del pigmento	gr/cm ³	1,1	
Densidad del Hiperplastificante SIKA	gr/cm ³	1,1	

1. ASENTAMIENTO		
Hormigón elaborado con HRWR*		
Asentamiento antes de añadir HRWR	1"	2"
Hormigón elaborado sin HRWR		
Asentamiento	2"	4"

*Ajustar el asentamiento, al que se desea en el campo a través de la adición de HRWR

ASENTAMIENTO ASUMIDO: 2"

2. RESISTENCIA REQUERIDA		
$f'c =$	500	Kg/cm ²
	7111,67	psi
$f'cr = \frac{f'c + 1400}{0,9}$		
$f'cr =$	9457,41	psi
	664,92	Kg/cm ²

3. TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL					
Resistencia Requerida del hormigón,			Tamaño máximo sugerido de agregado grueso		
<	9000	Psi	3/4"	a	1"
>	9000	Psi	3/8"	a	1/2"*

* Al usar HRWR y áridos de granulometría gruesa seleccionada, las resistencias a compresión del concreto en el rango de 430 a 850 kg/cm², pueden obtenerse usando agregados gruesos de tamaño máximo nominal mayor que el

T.N.M ASUMIDO : 1/2"

4. VOLUMEN RECOMENDADO DEL AGREGADO GRUESO				
Contenido óptimo total de agregado grueso de tamaño máximo nominal para ser utilizado con arena con módulo de finura de 2,5 a 3,2				
Tamaño máximo nominal	in	in	in	in
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Volumen fraccional* de áridos gruesos secados al horno	0.65	0.68	0.72	0.75

* Los volúmenes se basan en agregados en condición de secado en horno, como se describe en la norma ASTM C 29 para el peso unitario de los agregados

FACTOR DE ÁRIDO GRUESO :	0,68	yd ³
	0,52	m ³
	519897,30	cm ³

5. PESO DEL ÁRIDO GRUESO

Densidad aparente compactada =	1,46	gr/cm ³
	91,14	yd/ft ³

FACTOR DE CONVERSIÓN=	35,31	ft ³
	1,00	m ³

$$\text{Peso del agregado grueso} = (\text{Factor arido grueso} \times \delta_{Ap,Comp}) \times \text{Factor de conversion}$$

PESO DEL ÁRIDO GRUESO :	2188,75	Lb
	992,80	Kg

6. PORCENTAJE DE VACÍOS DEL ÁRIDO FINO

Densidad Aparente Compactada	1,531	gr/cm ³
Densidad SSS	2,640	gr/cm ³

% de Vacíos	41,72	Necesita reajuste
-------------	-------	-------------------

7. MEZCLA DE AGUA

Corrección de agua si por cada punto porcentual de vacíos que aumente toca multiplicar por 8 según la siguiente ecuación.

$$\text{Ajuste del agua de mezclado (lb/yd}^3\text{)} = 8(V - 35)$$

MEZCLA DE AGUA DE AJUSTE	53,79	lb/yd ³
	31,91	Kg/m ³

Asentamiento			Agua de mezclado (lb/yd ³)			
			Tamaño máximo de agregado grueso			
in	a	in	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1	a	2	310	295	285	280
2	a	3	320	310	295	290
3	a	4	330	320	305	300
Contenido de aire atrapado*		Sin HRWR	3	2.5	2	1.5
		Con HRWR	2.5	2	1.5	1

* Los valores dados deben ser ajustados para arena con huecos distintos de 35% usando la Ec. Ajuste del agua de mezclado

CANTIDAD DE AGUA =	295	lb/yd ³
	175,02	Kg/m ³

AGUA DE AJUSTE	53,79	lb/yd ³
	31,91	Kg/m ³

CANTIDAD DE AGUA TOTAL	348,79	lb/yd ³
	206,93	Kg/m ³

RELACIÓN a/c	
8511,67	a/c = 0,31

9. CANTIDAD DE CEMENTO REQUERIDO

CEMENTO =	1109,33	lb	
	503,18	Kg	
PIGMENTO AL	4%	44,373	lb
		20,127	Kg
ADITIVO Sika ViscoCrete 2100	0,6%	6,656	lb
		3,019	Kg

10. VOLUMEN REAL

	ft ³	m ³
AGUA	5,60	0,16
CEMENTO	6,15	0,17
GRAVA	13,75	0,39
PIGMENTO	0,65	0,02
ADITIVO	0,10	0,0027
AIRE	0,71	0,02
VOLUMEN TOTAL	26,95	0,76
ARENA	8,37	0,24

11. PESO REAL

	Lb	Kg
AGUA	348,79	158,21
ARENA	1375,13	623,75
CEMENTO	1109,33	503,18
GRAVA	2188,75	992,80
PIGMENTO	44,373	20,127
ADITIVO	6,656	3,019
TOTAL	5022,00	2277,94

12. DOSIFICACIÓN

AGUA	0,31
ARENA	1,24
CEMENTO	1,00
GRAVA	1,97
PIGMENTO	0,04
ADITIVO	0,6%

CORRECCIÓN POR HUMEDAD

	Lb	Kg
ARENA	1395,89	633,17
GRAVA	2195,10	995,68

Agua de mezclado corregida =	349,00	lb
	158,30	kg

	Lb	Kg	Dosificación
AGUA	349,00	158,30	0,31
ARENA	1395,89	633,17	1,26
CEMENTO	1109,33	503,18	1,00
GRAVA	2188,75	995,68	1,98
PIGMENTO	44,373	20,127	4%
ADITIVO	6,656	3,019	0,6%
TOTAL	5094,00	2313,48	



CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRÓN				
# DE CILINDROS DE PRUEBA	9			
Diámetro (m)	0,155			
Altura (m)	0,310			
Volumen (m ³)	0,006			
Volumen para 9 cilindros (m ³)	0,053			
	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	349,00	158,30	18,37	8,33
ARENA	1395,89	633,17	73,49	33,33
CEMENTO	1109,33	503,18	58,40	26,49
GRAVA	2188,75	995,68	115,23	52,42
PIGMENTO	44,373	20,127	2,336	1,060
ADITIVO	6,656	3,019	0,350	0,159
TOTAL	5094,00	2313,48	268,17	121,79

DISEÑO DE HORMIGONES (COMITÉS ACI 211-4R98 - ACI 363-2R-98)

PROPORCIÓN DE MEZCLA USANDO CEMENTO Y PIGMENTO AL 6%

PESO DEL ÁRIDO GRUESO :	2188,75	Lb
	992,80	Kg

CANTIDAD DE AGUA TOTAL	348,79	lb/yd ³
	206,93	Kg/m ³

RELACIÓN a/c

a/c = 0,31

9. CANTIDAD DE CEMENTO REQUERIDO

CEMENTO =	1109,33	lb
	503,18	Kg

PIGMENTO AL	6%	66,55982316	lb
		30,19100331	Kg

ADITIVO Sika ViscoCrete 2100	0,6%	6,656	lb
		3,019	Kg

10. VOLUMEN REAL

	ft ³	m ³
AGUA	5,60	0,16
CEMENTO	6,15	0,17
GRAVA	13,75	0,39
PIGMENTO	0,97	0,03
ADITIVO	0,10	0,002745
AIRE	0,71	0,02
VOLUMEN TOTAL	27,27	0,77
ARENA	8,05	0,23

11. PESO REAL

	Lb	Kg
AGUA	348,79	158,21
ARENA	1322,04	599,67
CEMENTO	1109,33	503,18
GRAVA	2188,75	992,80
PIGMENTO	66,560	30,191
ADITIVO	6,656	3,019
TOTAL	4968,91	2253,86

12. DOSIFICACION

AGUA	0,31
ARENA	1,19
CEMENTO	1,00
GRAVA	1,97
PIGMENTO	0,06
ADITIVO	0,6%

CORRECCION POR HUMEDAD

HUMEDAD ARENA	1,32
HUMEDAD GRAVA	0,12

	Lb	Kg
ARENA	1339,49	607,58
GRAVA	2191,44	994,02

Agua de mezclado corregida =	342,13	lb
	155,19	kg

	Lb	Kg	Dosificacion
AGUA	342,13	155,19	0,31
ARENA	1339,49	607,58	1,21
CEMENTO	1109,33	503,18	1,00
GRAVA	2191,44	994,02	1,98
PIGMENTO	66,560	30,191	6%
ADITIVO	6,656	3,019	0,6%
TOTAL	5055,61	2293,18	

CANTIDADES PARA LA MEZCLA PATRON

# DE CILINDROS DE PRUEBA	9
Diametro (m)	0,155
Altura (m)	0,310
Volumen (m ³)	0,006
Volumen para 9 cilindros (m ³)	0,053

	Dosificacion para 1m ³		Dosificacion para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	342,13	155,19	18,01	8,17
ARENA	1339,49	607,58	70,52	31,99
CEMENTO	1109,33	503,18	58,40	26,49
GRAVA	2191,44	994,02	115,37	52,33
PIGMENTO	66,560	30,191	3,504	1,589
ADITIVO	6,656	3,019	0,350	0,159
TOTAL	5055,61	2293,18	266,15	120,72

Después de haber transcurridos los 3, 7 y 28 días desde su fabricación, estas probetas cilíndricas se proceden a realizar los ensayos a compresión de las muestras.

En el presente ítem se muestran los resultados de resistencia a la compresión a los 3, 7 y 28 días de edad, de las mezclas realizadas, de las cuales corresponden a las mezclas con pigmentos al 4 y 6%. Para estos ensayos es necesario seguir lo estipulado en la norma NTE INEN 1573:2010

Los ensayos de compresión curados en húmedo se deben realizar tan pronto como sea posible, luego de extraerlos del almacenamiento húmedo. Los especímenes se deben mantener húmedos utilizando cualquier método conveniente durante el periodo comprendido entre la remoción del almacenamiento húmedo y el ensayo, además deben llevarse hasta la falla dentro de la tolerancia admisible de tiempo que se indica en la tabla 3.8

El procedimiento para el cálculo de las resistencias se efectúa de igual manera que en la etapa anterior, además se expondrá los gráficos de las curvas tiempo - resistencia de los ensayos de los cilindros de hormigón de altas prestaciones con adición de pigmentos:



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Sábado, 12 de Diciembre de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

Dosificación para 9 cilindros con Pigmento al 4%

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	353,436	160,316	18,607	8,440
ARENA	1395,892	633,165	73,487	33,333
CEMENTO	1109,330	503,183	58,401	26,490
GRAVA	2188,749	995,678	115,227	52,418
PIGMENTO	44,373	20,127	2,336	1,060
ADITIVO	6,656	3,019	0,350	0,159
TOTAL	5098,437	2315,489	268,407	121,899

Aditivo

Marca	%	Densidad (gr/cm ³)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)
SIKA VISCOCRETE 2100	0.6%	1.1	0.16	144,49

Asentamiento	6 cm
Consistencia	Blanda
Segregación	No

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 3 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Días	Kg/cm ²	Mpa
1	15,51	15,53	31,27	31,18	09-dic-15	12-dic-15	3	12879	529,338	189,30	285,143	27,963	47,65
	15,54		31,23										
2	15,50	15,53	31,04	31,17	09-dic-15	12-dic-15	3	12750	386,605	189,30	208,257	20,423	34,80
	15,55		31,17										
PROMEDIO											246,700	24,193	41,225

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Miércoles, 16 de Diciembre de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
3	15,61	15,57	31,10	31,09	09-dic-15	16-dic-15	7	12538,5	606,786	190,34	324,351	31,808	54,20
	15,56		31,16										
4	15,57	15,57	31,00	31,09	09-dic-15	16-dic-15	7	12705,0	679,865	190,34	365,048	35,799	61,00
	15,53		31,09										
PROMEDIO											344,700	33,804	57,601

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.
SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago
MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015
SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Miércoles, 06 de Enero de 2015
REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.
ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I.)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
5	15,55	15,55	31,00	31,08	09-dic-15	06-ene-16	28	12608,5	943,969	189,85	508,492	49,866	84,97
	15,50		31,10										
6	15,64	15,55	31,05	31,08	09-dic-15	06-ene-16	28	12917,0	1038,080	189,85	555,959	54,521	92,90
	15,50		31,17										
PROMEDIO											532,226	52,194	88,937

ING. LUIS MARIO ALMACHE
 JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
 LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
 ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Sábado, 12 de Diciembre de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

Dosificación para 9 cilindros con Pigmento al 6%

	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 9 cilindros	
	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	354,951	161,003	18,686	8,476
ARENA	1342,004	608,722	70,650	32,046
CEMENTO	1109,330	503,183	58,401	26,490
GRAVA	2195,097	995,678	115,561	52,418
PIGMENTO	66,560	30,191	3,504	1,589
ADITIVO	6,656	3,019	0,350	0,159
TOTAL	5074,598	2301,797	267,152	121,178

Aditivo

Marca	%	Densidad (gr/cm ³)	Peso (Kg)	Volumen (cm ³)
SIKA VISCOCRETE 2100	0.6%	1.1	0.16	144,49

Asentamiento	7 cm
Consistencia	Blanda
Segregación	No

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 3 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Días	Kg/cm ²	Mpa
3	15,54	15,55	31,06	31,06	09-dic-15	12-dic-15	3	13465,5	718,761	189,79	388,430	38,092	64,91
	15,56		31,05										
4	15,52	15,55	31,04	31,06	09-dic-15	12-dic-15	3	13512,0	449,663	189,79	241,754	23,708	40,40
	15,56		31,08										
PROMEDIO											315,092	30,900	52,653

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Miércoles, 16 de Diciembre de 2015

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.31													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
3	15,75	15,53	30,67	30,95	09-dic-15	16-dic-15	7	13669,0	733,118	189,30	394,916	38,728	65,99
	15,3		30,94										
4	15,61	15,58	31,29	30,95	09-dic-15	16-dic-15	7	14094,5	863,348	190,64	461,789	45,286	77,17
	15,55		30,9										
PROMEDIO											428,352	42,007	71,579

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago

MATERIAL DEPOSITADO EN LABORATORIO: Jueves, 18 de junio de 2015

SOLICITADO POR: Alejandro Vallejo B. **ENSAYADO:** Miércoles, 06 de Enero de 2016

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010

MÉTODO DEL AMERICAN INSTITUTE CONCRETE (A.C.I)													
RESISTENCIA EFECTIVA (f'c)				500	Kg/cm ²	RESISTENCIA REQUERIDA (f'cr)				598,43	Kg/cm ²		
ENSAYO DE COMPRESIÓN DE CILINDROS PATRÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD													
Relación agua - cemento 0.30													
Cilindro N°	Diámetro (cm)		Altura (cm)		FECHA		EDAD Días	PESO (gr)	CARGA (kN)	ÁREA (cm ²)	RESISTENCIA		
					Elaborado	Ensayo					Kg/cm ²	Mpa	%
5	15,57	15,56	31,02	30,99	09-dic-15	06-ene-16	28	13539,0	1012,018	190,22	543,397	53,289	90,80
	15,53		30,96										
6	15,55	15,56	31,08	31,05	09-dic-15	06-ene-16	28	14094,0	1073,635	190,22	574,263	56,316	95,96
	15,6		31,01										
PROMEDIO											558,830	54,803	93,383

ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS



PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.
SECTOR: El Panecillo - Logroño - Morona Santiago
REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.
ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN DE LOS CILINDROS DE HORMIGÓN NTE INEN 1573:2010



ING. LUIS MARIO ALMACHE
JEFE DE LABORATORIO

SR. ATANASIO JARA
LABORATORISTA

SR. EDGAR VALLEJO
ESTUDIANTE

4.1.2 COMPARACIÓN ENTRE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Se concluyó que la diferencia entre la resistencia a la compresión del hormigón patrón con HRWR v/s hormigón con pigmento SikaCim Color S al 4% varía en un 2,27%, es decir, que la resistencia del hormigón con pigmento está un 2,27% por debajo del hormigón patrón, mientras que, el hormigón con pigmento SikaCim Color S al 6% varía en un 6,92%.

Al apreciar los resultados, se puede decir que en general las resistencias a la compresión disminuyeron, sobre el hormigón patrón. Si bien existe diferencias entre los resultados a compresión, estos no son significativos, ya que a la hora de utilizarlos, lo recomendado dependiendo del uso que se le quiera dar al hormigón, es bajar la relación agua/cemento, ya que la diferencia de los resultados a compresión es poca.

Se puede agregar también que en general el cono de Abraham cumplió con lo establecido de acuerdo a la dosificación, que correspondía a un cono entre 6 a 9 cm. De esta manera, la medida del asentamiento nos permite determinar principalmente la fluidez y la forma de derrumbamiento para apreciar la consistencia del hormigón.

4.1.3 RESUMEN DE LOS RESULTADOS CON EL PORCENTAJE ÓPTIMO DE PIGMENTO

Dosificaciones

Tabla 4. 1 Resumen de dosificaciones con porcentajes de pigmento

	MUESTRA CON HRWR		PIGMENTO AL 4%		PIGMENTO AL 6%	
	Dosificación para 1m ³		Dosificación para 1m ³		Dosificación para 1m ³	
	Lb	Kg	Lb	Kg	Lb	Kg
AGUA	350,41	158,94	353,436	160,316	354,951	161,003
ARENA	1503,67	682,05	1395,892	633,165	1342,004	608,722
CEMENTO	1109,33	503,18	1109,330	503,183	1109,330	503,183
GRAVA	2188,75	995,68	2188,749	995,678	2195,097	995,678
PIGMENTO	-	-	44,373	20,127	66,560	30,191
ADITIVO	6,656	3,019	6,656	3,019	6,656	3,019
TOTAL	5158,81	2342,87	5098,437	2315,489	5074,598	2301,797

Fuente: Vallejo E. (2015). Archivo del autor

Resistencias

Tabla 4. 2 Resumen de resistencias a compresión con porcentajes de pigmento

Tiempo (Días)	Muestra con HRWR (Kg/cm ²)	Pigmento al 4% (Kg/cm ²)	Pigmento al 6% (Kg/cm ²)
0	0	0	0
3	229,29	315,092	246,700
7	362,57	428,352	344,700
28	571,79	558,830	532,226

Fuente: Vallejo E. (2015). Archivo del autor

Se puede apreciar en las tablas anteriores un resumen de las dosificaciones al igual que las resistencias a compresión obtenidas, con respecto a los resultados se puede ver, que al aumentar la cantidad de pigmento, disminuye su resistencia a la compresión, aumenta también el agua en el amasado y el asentamiento del cono cumple en ambos casos con lo establecido en la dosificación. Con lo cual se puede ver que el porcentaje óptimo en nuestro ensayo, nos da mediante un porcentaje igual al 4% de pigmento mediante el cual se obtuvo una resistencia mayor a la de diseño, es decir 558,83 Kg/cm².



CAPÍTULO V: APLICACIÓN DEL USO DEL HORMIGÓN CON PIGMENTO Y ANÁLISIS DE COSTOS





5.1 GENERALIDADES DE LA FABRICACIÓN DE ADOQUINES

Los adoquines es un tipo de pavimento articulado. En el que su campo de aplicación es muy diverso y variado, desde un acceso vehicular hasta enlaces de carreteras, losas de estacionamiento de aviones, glorietas viales, etc.

Las características más relevantes a considerar son:

- **Formas y tamaños.**- Actualmente los adoquines de hormigón prefabricado como elemento moldeado suele ser de diversas formas y tamaños. El típico adoquín rectangular está, cada vez más, siendo reemplazado por otros que incluso pueden tener bordes curvos o ensambles. El cual nos permite además de diseñar adoquines con resaltes que facilitan una correcta colocación y mejoran el comportamiento general del pavimento articulado.

Su forma y espesores (6 – 8 - 10 cm), tienen relación directa con la resistencia de los pavimentos.

- **texturas y acabados.**- Las superficies de los adoquines serán de color uniforme, parejas, es decir sin fisuras, huecos, hormigueros, descascaramientos o materiales extraños (madera, semillas, piedras grandes, etc.). El color y tipo (rugosidad) de la superficie se acordará entre el productor y el comprador porque no existe una forma práctica para medirlos.
- **durabilidad.**- Los adoquines de hormigón que forma la superficie del pavimento articulado, serán de buena calidad para que soporten el tránsito de las personas, animales y vehículos, al menos durante 40 años; y tendrán una buena apariencia por ser la parte visible del pavimento.
- **Tolerancia dimensional.**- Las medidas de largo y ancho de los adoquines no deben variar en más de 2 mm con respecto a las medidas nominales fijadas por el fabricante. El espesor debe estar comprendido dentro de -2 mm y + 5 mm del espesor nominal.
- **Resistencia a la compresión.**- Se definen dos niveles de resistencias características a la compresión: 350 y 450 kg/cm². La selección de resistencia se hará conforme al diseño del pavimento.
- **Resistencia a la rotura por tracción indirecta.**- La resistencia característica a la tracción indirecta (T) debe ser superior o igual a 3,6 MPa.

Ningún valor individual debe ser inferior a 2,9 MPa ni tener una carga de tracción indirecta por unidad de longitud (F) inferior a 250 N/mm.³⁰

- **Absorción.**- Los adoquines deben cumplir con un índice de absorción inferior o igual a 6 %.
- **Resistencia al Desgaste.**- El requisito para la resistencia al desgaste por abrasión es que la longitud de cuerda de la huella creada por la rueda ancha sea menor o igual a 25 mm.

³⁰ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 3040:2016-04 Adoquines, terminología, clasificación, requisitos, métodos de ensayo, 2016)



5.1.1 Ensayo de Compresión

Para llevar a cabo este ensayo se requiere de una prensa hidráulica cuya capacidad de carga sea compatible con la resistencia de estos elementos, La carga debe ser aplicada a una velocidad de esfuerzo sobre el espécimen de $0,25 \pm 0,05$ MPa/s. Las muestras a ensayar se deben encontrar en estado de humedad en equilibrio con el ambiente, recomendándose un periodo de almacenamiento de no más de 4 días en laboratorio, con circulación natural de aire alrededor de las probetas.

Previo a la realización de dicho ensayo es necesario determinar el área total y el área neta de cada adoquín. Se define como área neta aquella que queda comprendida entre los chaflanes. La probeta se ubica en la máquina de manera que su cara de desgaste quede en un plano horizontal y que sus ejes principales coincidan con las placas de la prensa.

La carga se aplica sin impactos y de manera uniforme hasta el límite en que la carga no pueda ser sostenida. La máxima lectura se anota en el registro. La resistencia a la compresión de cada unidad se calcula dividiendo la carga máxima anotada por el área neta del adoquín.

5.1.2 Cálculo de la resistencia característica

La resistencia unitaria se denomina "resistencia característica", y corresponde a todo el hormigón del mismo tipo que se emplea en la obra.

Para calcular las dosificaciones adecuadas a la resistencia mecánica, y de acuerdo a las condiciones de servicio previstas en los cálculos; en función de las propiedades de los materiales, previamente se efectúan muestras de mezclas de hormigón en base a dosificaciones teóricas, ensayadas en probetas separadas con esas mezclas para verificar si la resistencia obtenida con la dosificación teórica está en coincidencia con la obtenida por cálculo.

5.1.2.1. Determinación de la absorción

“Se sumergen las probetas en agua potable a una temperatura de (20 ± 5) °C utilizando el recipiente hasta que se alcance la masa constante M_1 . Se separan las probetas unas de las otras al menos 15 mm y asegurando que exista un mínimo de 20 mm de agua sobre ellas. El periodo mínimo de inmersión debe ser de 3 días y la masa constante se dará por alcance cuando dos probetas pesadas realizadas en un intervalo de 24 h muestren una diferencia en la masa de la probeta inferior al 0,1 %.

Antes de cada pesada, se limpia la probeta con el trapo que previamente debe ser humedecido y escurrido para eliminar cualquier exceso de agua. El secado es correcto cuando la superficie del hormigón esté mate.

Se coloca cada probeta en la estufa, de tal forma que la distancia entre cada probeta sea de al menos 15 mm. Se seca la probeta a una temperatura de (105 ± 5) °C hasta que alcance la masa constante M_2 . El periodo mínimo de secado debe ser de 3 días y la masa constante se considerará alcanzada cuando dos probetas pesadas realizadas en un intervalo de 24 h muestren una diferencia en la masa de la probeta inferior al 0,1 %. Se deja que las probetas se enfríen a temperatura ambiente antes de ser pesadas.”³¹

³¹ (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 3040:2016-04 Adoquines, terminología, clasificación, requisitos, métodos de ensayo, 2016)



Se calcula el índice de absorción de agua W_a de cada probeta como un porcentaje de su masa empleando la siguiente ecuación:

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100\%$$

Ec. 5. 1 Determinación de la absorción

Donde

M_1 es la masa de la probeta saturada de agua, expresada en gramos;

M_2 es la masa final de la probeta seca, expresada en gramos.

5.1.2.2. Determinación de la resistencia al desgaste

“Se llena la tolva de almacenamiento con material abrasivo seco, con un contenido en humedad que no exceda el 1,0 %. Se aparta el carro porta probetas de la rueda ancha de abrasión. Se sitúa la probeta sobre el mismo para que la huella producida esté al menos a 15 mm de cualquier borde de la probeta y se fija la probeta sobre un soporte para permitir que el flujo de abrasivo pase bajo la misma.

Se sitúa el colector del abrasivo bajo la rueda de abrasión.

Se pone la probeta en contacto con la rueda de abrasión, se abre la válvula de control y al mismo tiempo se arranca el motor de forma que la rueda de abrasión alcance 75 revoluciones en (60 ± 3) s.

Se verifica visualmente la regularidad del flujo del material abrasivo durante el ensayo. Después de las 75 revoluciones de la rueda se detiene el flujo del abrasivo y la rueda. Se deben llevar a cabo dos ensayos sobre cada probeta.”³²

5.2 FABRICACIÓN DE ADOQUINES

Para la fabricación de adoquines de altas prestaciones se contó con materiales tales como: arena, grava, agua, aditivo, cemento y pigmento.

Los adoquines pueden ser mono-capa, con un solo tipo de hormigón, o doble-capa, con diferentes tipos de hormigón en su capa superficial y de apoyo.

Cuando los adoquines son fabricados de doble capa, éstos, deben tener un espesor mínimo de 4 mm sobre el área de soporte. Además de ello, se debe ignorar las partículas aisladas de áridos de su estructura principal que puedan quedar introducidas en la parte interior de la capa superficial. La capa superficial debe considerarse como parte integrante del adoquín.

Los adoquines pueden ser fabricados con perfiles funcionales o decorativos, pero estos no deben ser incluidos en las dimensiones nominales del adoquín.

La superficie de los adoquines puede ser texturizada, ser sometida a un tratamiento secundario o ser tratada químicamente; estos acabados o tratamientos deben ser declarados y descritos por el fabricante.

³² (Instituto Ecuatoriano de Normalización, NTE INEN 3040:2016-04 Adoquines, terminología, clasificación, requisitos, métodos de ensayo, 2016)

La mezcla es realizada según lo especifica el especialista y cumpliendo con las normas adecuadas de construcción.

La capa superior se realiza previamente a un diseño de morteros de altas prestaciones, mientras que, la capa inferior se realiza bajo lo estipulado en el diseño del hormigón patrón con HRWR.

5.2.1 Diagramas de adoquines para pavimentos de color que se ofrecen en el mercado

Fig. 5. 1 Adoquín Fantasía



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 3 Adoquín Raqueta



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

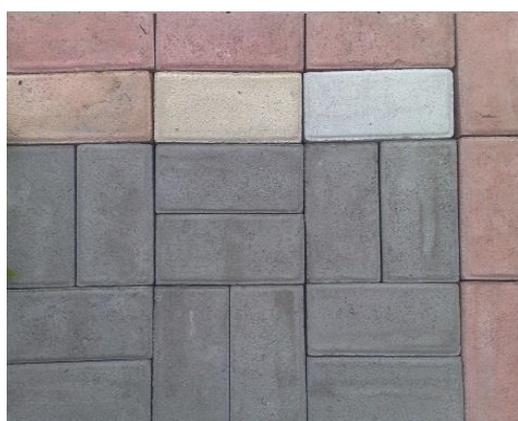
Fig. 5. 2 Adoquín Colonial



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 4 Adoquín Holandés



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 5 Adoquín Tulipán



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 8 Adoquín Trébol



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 6 Adoquín Sixtino Grande



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 9 Adoquín Flecha



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 7 Adoquín Sixtino Pequeño



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 10 Adoquín Sevilla



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 11 Adoquín Ecológico



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 12 Adoquín Hexagonal



Fuente:

http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 13 Adoquín Gótico



Fuente: http://tuboblock.tagaropulus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=35&Itemid=64

Fig. 5. 14 Adoquines de la fábrica d´Concreto

ADOQUINES 6 CM

ADOQUIN **ANDALUZ**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	20 CM
ESPEJOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	25
PESO APROX. POR UNIDAD	5,2 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	● ● ● ● ●

ADOQUIN **ANDALUZ RANURADO**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	20 CM
ESPEJOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	25
PESO APROX. POR UNIDAD	5,2 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	● ● ● ● ●

ADOQUIN **CENTAURO**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	19,14 CM
ANCHO	17,79 CM
ESPEJOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	50
PESO APROX. POR UNIDAD	2,8 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	● ● ● ● ●

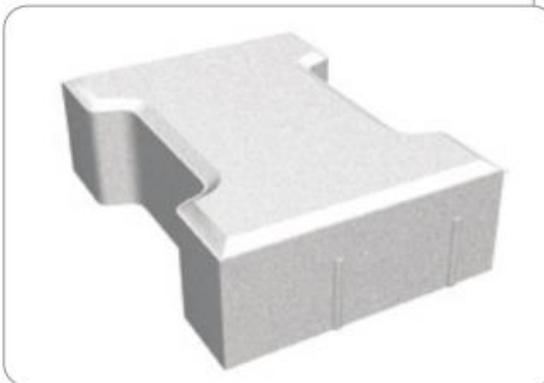
▫ ADOQUIN **CONTINENTAL**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	22,7 CM
ANCHO	13,7 CM
ESPESOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	40
PESO APROX. POR UNIDAD	3,4 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

▫ ADOQUIN **INGLES**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	19,37 CM
ANCHO	14,29 CM
ESPESOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	35
PESO APROX. POR UNIDAD	3,2 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

▫ ADOQUIN **TRADICION**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	10 CM
ESPESOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	50
PESO APROX. POR UNIDAD	2,6 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

▫ ADOQUIN **TRADICION RANURADO**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	10 CM
ESPEJOR	6 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	50
PESO APROX. POR UNIDAD	2,6 KG
COLORES <small>(Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)</small>	

▫ ADOQUINES 8 CM

▫ ADOQUIN **ANDALUZ**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	20 CM
ESPEJOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	25
PESO APROX. POR UNIDAD	6,9 KG
COLORES <small>(Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)</small>	

▫ ADOQUIN **ANDALUZ RANURADO**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	20 CM
ESPEJOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	25
PESO APROX. POR UNIDAD	6,9 KG
COLORES <small>(Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)</small>	

▫ ADOQUIN **AZTECA**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	23,5 CM
ANCHO	21,59 CM
ESPEJOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	22
PESO APROX. POR UNIDAD	7,8 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

▫ ADOQUIN **INGLES**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	19,37 CM
ANCHO	14,29 CM
ESPEJOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	35
PESO APROX. POR UNIDAD	4,3 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

▫ ADOQUIN **RAYO**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	24,19 CM
ANCHO	13,07 CM
ESPEJOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	40
PESO APROX. POR UNIDAD	4,5 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

• ADOQUIN **TRADICION**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	20 CM
ANCHO	10 CM
ESPESOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	50
PESO APROX. POR UNIDAD	3,5 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

• ADOQUIN **TRADICION RANURADO**



ESPECIFICACIONES TECNICAS

LARGO	19,8 CM
ANCHO	9,8 CM
ESPESOR	8 CM
RESISTENCIA PROMEDIO	400 KG/CM2
UNIDADES X M ²	50
PESO APROX. POR UNIDAD	3,5 KG
COLORES (Cualquier otra tonalidad de color, lo fabricamos bajo pedido)	

Fuente: http://d-concreto.com/catalogo_d-concreto.pdf

5.3 MÁS APLICACIONES DEL USO DEL HORMIGÓN COLOREADO, DE USO ESTÉTICO, EN EL MUNDO.

Fig. 5. 15 Plaza Marco Zero. Brasil



Fuente: http://cdn1.buuteeq.com/upload/2050516/praca-do-marco-zero.jpg.1920x810_default.jpeg

Fig. 5. 16 Monumento Encuadre Manchego. España



Fuente: <http://www.argosdc.com/espanol/web/obrasingulares/encuadremancheo.asp>

Fig. 5. 17 Pago de Carraovejas Finca y Bodega. España



Fuente: <http://www.resinatuormigonimpreso.com/blog/wp-content/uploads/2015/03/foto-muro-coloreado.jpg>

Fig. 5. 18 Vía Tirreno Remodelación. Italia



Fuente: <http://www.archea.it/en/via-tirreno-redevelopment/>

Fig. 5. 19 Plaza Ca La Cordia. España



Fuente: http://www.serraciments.com/obras/plaza-ca-la-cordia_18.html

Fig. 5. 20 Plaza de la Paz. España



Fuente: http://www.serraciments.com/obras/plaza-de-la-paz_17.html

Fig. 5. 21 Zona residencial. Colombia



Fuente: <http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-de-color-instructivo-de-colocacion/>

Fig. 5. 22 Malecón - Puerto de La Libertad. El Salvador



Fuente:

http://www.holcim.com.sv/fileadmin/templates/SV/images/ES/Fotos_Obras/Malecon_1.jpg

5.4 VALORES Y COSTOS

5.4.1 DOSIFICACIÓN PARA UN m³

Según la dosificación que se diseñó en el laboratorio de Suelos y Materiales de Construcción de la Unidad Academia de Ingeniería Civil, Arquitectura y Diseño de la Universidad Católica de Cuenca y según los cálculos realizados de la corrección del porcentaje de absorción de los áridos y la corrección del porcentaje de humedad, para un m³ de hormigón cuya resistencia de diseño es de 500 kg/cm² con un asentamiento del cono entre 6 – 9 cm y una relación agua / cemento de 0,31; nos da la siguiente tabla de resultados:

Tabla 5. 1 Dosificación óptima

PIGMENTO AL 4%	Dosificación para 1m ³	
	Lb	Kg
AGUA	353,436	160,316
ARENA	1395,892	633,165
CEMENTO	1109,330	503,183
GRAVA	2188,749	995,678
PIGMENTO	44,373	20,127
ADITIVO	6,656	3,019
TOTAL	5098,437	2315,489

Fuente: Vallejo E. (2016). Archivo del autor



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS

PROYECTO: Tesis: Diseño de hormigones de altas prestaciones con agregados de cuarcitas para su aplicación en el ámbito vial, estructural y arquitectónico con adición de pigmentos.

SECTOR: Logroño - Morona Santiago

REALIZADO POR: Alejandro Vallejo B.

RUBRO: HORMIGÓN DE ALTAS PRESTACIONES $f'c=500 \text{ kg/cm}^2$

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS

RUBRO	Hormigón Pigmentado de Altas Prestaciones $f'c=500 \text{ kg/cm}^2$	CÓDIGO	001
AGREGADOS	Cuarcita del sector "El Panecillo"	UNIDAD	m^3

EQUIPOS				
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	COSTO/HORA	RENDIMIENTO/HORA	COSTO
Concreteira para un saco de cemento	1	2,5	1,5	3,75
Vibrador de hormigón	1	1,8	0,85	1,53
Herramienta menor (5.00% M.O.)				1,233
SUBTOTAL (M)				6,513

MANO DE OBRA

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO/HORA	RENDIMIENTO (hr/ m^3)	COSTO
Albañil	1	3,12	3,12	2,00	6,24
Peón	3	3,07	9,21	2,00	18,42
SUBTOTAL (N)					24,66

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
AGUA	m^3	0,160	0,20	0,03
ARENA	m^3	0,174	22,00	3,83
CEMENTO	saco	10,064	8,40	84,53
GRAVA	m^3	0,018	17,40	0,32
PIGMENTO	kg	20,127	5,00	100,64
ADITIVO	litro	2,745	5	13,72
SUBTOTAL (O)				203,08

TRANSPORTE

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
SUBTOTAL (P)				

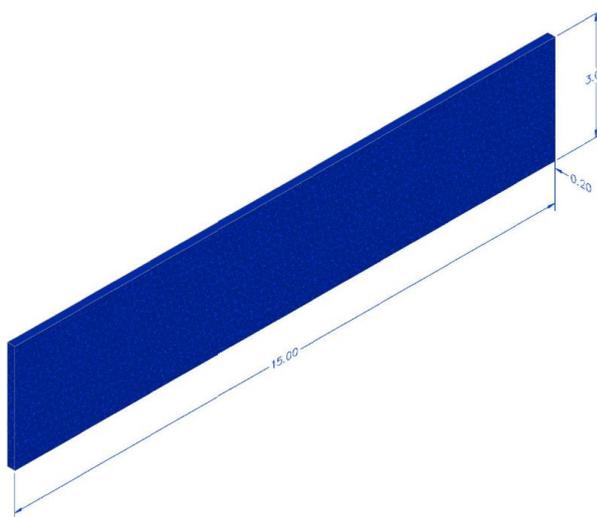
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	234,249
INDIRECTO (20%)	281,098
COSTO TOTAL DEL RUBRO	281,098
VALOR OFERTADO	281,10

5.4.2 COMPARACIÓN DE COSTOS ENTRE UNA OBRA DE HORMIGÓN PINTADO Y UNA OBRA DE HORMIGÓN CON PIGMENTO

La idea de realizar este análisis comparativo, es ver de alguna forma la diferencia económica entre un muro de hormigón pintado y un muro de hormigón con pigmento de color.

Para este caso se utilizara como ejemplo un muro de hormigón de 15x 3x 0.2 m., con dos manos de pintura por ambas caras.

Fig. 5. 23 Muro de hormigón



Fuente: Vallejo E. (2016). Archivo del autor

Análisis de costo del muro de hormigón común con pintura esmalte

$$\text{Tabla del muro} : \rightarrow 15 \times 3 = 45 \text{ m}^2$$

$$\text{Canto del muro} : \rightarrow 15 \times 0.20 = 3 \text{ m}^2$$

$$\text{Testa del muro} : \rightarrow 3 \times 0.20 = 1.2 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total del muro} : \rightarrow 49.2 \text{ m}^2$$

- *Por 2 manos de pintura:* $\rightarrow 98.4 \text{ m}^2$
- *Volumen de Hormigon:* $\rightarrow 15 \times 3 \times 0.20 = 9 \text{ m}^3$

Tabla 5. 2 Resumen comparativo de costos

Ítem	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Pintura	m ²	98.4	9.61 ³¹	945.62
Hormigón	m ³	9	126.91 ³³	1142.19
			Total	2087.81

Fuente: Vallejo E. (2016). Archivo del autor



5.4.3 ANÁLISIS DE COSTOS DEL MURO DE HORMIGÓN CON PIGMENTO DE COLOR

Para los 9 m³ de hormigón de altas prestaciones con adición de pigmentos SikaCim Color S, mostraremos un ejemplo con un tipo de color al 4% de pigmento

Según el análisis de precios unitarios, para un hormigón de altas prestaciones con adición de pigmentos, nos arrojó como resultado que el costo para un m³ es igual a 281.10 \$/ m³.

Por lo tanto el costo del muro es de $281.10 \text{ \$/m}^3 \times 9 \text{ m}^3 = 2529.90 \text{ \$}$

A simple vista se puede observar que la adición del pigmento al hormigón de altas prestaciones, encarece su costo, en el caso de usar un 4% de pigmento por cantidad de cemento, el costo aumenta en un 17.47%, por sobre el hormigón convencional simplemente pintado. La gran ventaja del método de colorear el hormigón es su larga duración, y permanencia del color en el tiempo.



CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





CONCLUSIONES:

1. El estudio demuestra, que los hormigones de altas prestaciones con adición de pigmentos, fabricados con materiales no convencionales como la cuarcita, presentan un comportamiento similar a otros hormigones ensayados en otras provincias y países, es decir, no disminuyen significativamente la resistencia a compresión. Con lo cual se asevera, que los hormigones de altas prestaciones realizados, no presentan grandes variaciones de las cuales se pueda desprender un riesgo por su utilización, ya que dichos resultados revelan una baja incidencia de la adición de pigmento en la resistencia, ajustándose dichos valores a los márgenes establecidos por las normas.
2. Conforme aumenta el tamaño máximo del agregado de cuarcita, disminuye la cantidad de cemento. Debido a que la relación agua/cemento puede ser disminuida, para una trabajabilidad y contenido de cemento dada, la resistencia de dicho hormigón aumenta conforme aumenta el tamaño del agregado. Sin embargo con agregados de mayor tamaño, la reducción del área superficial total del agregado y el aumento de los esfuerzos internos tienden a disminuir la resistencia. Este efecto es apreciado únicamente en mezclas con bajas relaciones agua/cemento.
3. En esta investigación se comprobó que las propiedades del hormigón fresco como endurecido, mejoran notablemente con el uso del aditivo químico Sika ViscoCrete 2100, ya que éste ayuda en la trabajabilidad, consistencia, evita la segregación de los agregados, y colabora en el aumento de la resistencia a la compresión.
4. Para la elaboración de dichas mezclas, se siguió el siguiente proceso de colocación de los materiales en la concreteira:
 - Con la concreteira apagada, se colocó el agregado grueso, la arena y el pigmento, para luego encender dicha concreteira y proceder a mezclar por aproximadamente 2 minutos.
 - Luego se colocó la mitad del agua para el amasado, con el fin de hidratar adecuadamente las partículas de arena, grava y pigmentos.
 - Luego se colocó, el cemento y se dejó mezclar por otros 2 minutos más.
 - Finalmente se colocó el agua sobrante además de ello se procedió a colocar la cantidad de aditivo conjuntamente con el agua de corrección, para que esta mezcla de agua y aditivo pueda mezclarse de una mejor manera en la mezcla de hormigón.
5. Cuando se aumentó de la cantidad de pigmento en el hormigón, se pudo apreciar que la cantidad de agua que absorbió la masa fue mayor, pero ante esto el pigmento no afectó los tiempos de fraguado.
6. Una de las principales ventajas del uso de pigmentos en este hormigón es, la coloración estable a lo largo del tiempo gracias a su gran resistencia a los rayos ultravioleta.
7. Las estructuras con hormigones pigmentados no requieren terminaciones a base de pinturas, ni morteros pigmentados.
8. En el presente trabajo investigativo, se expusieron los resultados de las pruebas y ensayos de los materiales y mezclas que resultaron de aplicar correctamente, tanto el método de diseño, como su selección adecuada de, lo cual indica que no se exponen



las pruebas de mezclas que resultaron defectuosas por varios motivos, lo que en ciertos puntos se explica como “experiencias de laboratorio”.

9. Se concluye que la aplicación y secado del Capping de azufre en los cilindros de hormigón es de gran importancia, ya que si la resistencia de éste es menor a la resistencia del cilindro, la resistencia arrojada por la prensa hidráulica de ensayo no representaría el resultado de la resistencia de la probeta, y la falla del cilindro sería por falla del mortero de azufre.

RECOMENDACIONES:

1. Tener cuidado en el análisis de las propiedades físicas de los agregados al aplicar las normativas para la elaboración de los ensayos, con la finalidad de utilizar valores lo más representativos a la realidad de los materiales empleados en la investigación.
2. Seguir las recomendaciones expuestas por los fabricantes de los materiales cementantes, pigmentos y aditivos, ya que nos proporcionan información valiosa que ayuda de base para la realización la investigación.
3. Considerar que los agregados de menor tamaño contribuyen a producir hormigones de altas prestaciones, debido a una menor concentración alrededor de las partículas de esfuerzos, originados por diferencias entre los módulos de elasticidad de la pasa de cemento y el agregado.
4. Las arenas con módulo de fineza igual o mayor de 3.0 nos dan una mejor trabajabilidad y una buena resistencia a la compresión.
5. Se recomienda la utilización de la guía expuesta por el ACI 211.4r-98 para realizar el diseño de hormigones de altas prestaciones, en la misma se deberá tener un estricto control y seguimiento de los procesos realizados, además de ello tener cuidado en el uso de las unidades.
6. Al utilizar la cantidad correcta del aditivo hiperplastificante Sika ViscoCrete 2100, se logrará obtener trabajabilidad y consistencia deseada, ya que una mala dosificación de dicho hiperplastificante nos ocasionara una segregación del material, con lo cual, haría a la mezcla inútil y no se obtendrían los resultados esperados.
7. Antes de la elaboración de las mezclas de hormigón se debe inspeccionar y comprobar el funcionamiento y el estado de los equipos que se van a utilizar para evitar errores en los resultados de los ensayos.
8. Hay que tener muy en cuenta la calidad del pigmento, ya que esta afecta directamente sobre la calidad del hormigón y la duración del color. Por lo tanto es preferible usar aquellos pigmentos de buena calidad y que sean certificados por el fabricante.
9. Seguir incursionando e innovando mediante este tipo de investigaciones, que fortalecen no solamente los diseños estructurales, viales y arquitectónicos, sino que incentivan el uso de estos hormigones pigmentados de altas prestaciones, para el uso en nuestro medio.



BIBLIOGRAFÍA





- American Concrete Institute, A. (1986). *212.1R:1986 Admixtures For Concrete, And Guide For Use Of Admixtures In Concrete*. Michigan, Estados Unidos: American Concrete Institute.
- American Society for Testing Materials, A. (2010). *C979/C979M-10 Standard Specification for Pigments for Integrally Colored Concrete*. Pensilvania, Estados Unidos: ASTM International.
- Andrea Blanco, E. (2014). *Curso: Tecnología Mineralurgia*. Santander, España: Universidad de Cantabria.
- Bascoy, D. (1992). *Tecnología del Hormigón fresco*. Buenos Aires, Argentina: Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón.
- British Standards Institution, B. (2000). *Specification for pigments for Portland cement and Portland cement products*. Londres, Inglaterra: BSI.
- Carvalho, F. (2002). *ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN COLOREADO*. Sobral, Brasil: IEMAC.
- construcción, d. S. (s.f.). *Catálogos de productos*. Calacali, Quito.
- Dr. Goso Aguilar, C. (2011). *CURSO : GEOLOGÍA GENERAL I PETROLOGÍA METAMÓRFICA*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la república.
- ECUATORIANA, S. (2014). *Sika ViscoCrete 2100*. Guayaquil, Ecuador: Sika.
- ECUATORIANA, S. (2014). *SikaCim Color S Colorante en polvo para mortero y hormigón*. Guayaquil, Ecuador: Sika.
- Errol G., K. (1990). *Introducción al Procesamiento de Minerales*. Mexico: LIMUSA.
- Facultad de Ciencias Exactas Ingeniería y Agrimensura, F. (2011). *HORMIGÓN DE ALTO DESEMPEÑO PARA ESTRUCTURAS*. Rosario, Argentina. Obtenido de http://www.actualizarmiweb.com/sites/icpa/publico/files/hormigon_a_d.pdf
- German Institute for Standardization, D. (1992). *DIN 53:237 Pigments for colouring cement-based and lime-based building materials (Pigments: Quality)*. Alemania.
- HEIDELBERG CEMENT GROUP, H. (2010). *H-Color*. España: Hanson.
- Ing. Carrasco, M. F. (2013). *Tecnología del hormigón*. Santa Fe, Colombia: Universidad Técnica Nacional.
- Ing. Cepeda, L. (1985). *Apuntes de Petrología metamórfica*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de Mexico.
- Ing. Rivera, G. (2010). *Concreto Simple*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Ing. Rivera, G. (2010). *Concreto Simple*. Cauca, Colombia: Universidad del Cauca.
- Institute, A. C. (2008). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario*. Farmington Hills, MIAMI, EEUU: ACI.
- Instituto del Cemento y del Hormigón de Chile, I. (2013). *Manual de Diseño de Pavimentos de Adoquines de Hormigón*. Santiago, Chile: Gráfica LOM.



- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (1975). *Guía de práctica: Laboratorista de hormigones. bases para inspección y control de calidad*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (1996). *GPE INEN 44:1996 Guía de practica de adoquines de hormigón para transito pesado*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (1996). *GPE INEN 45:1996 Guía de practica de adoquines de hormigón para transito ligero*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2002). *NTE INEN 1855-2: Hormigones. Hormigón preparado en obra. Requisitos*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2009). *NTE INEN 156:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la densidad*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2009). *NTE INEN 158:2009 Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2009). *NTE INEN 195:2009 Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2009). *NTE INEN 488:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50mm de arista*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 1573:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de hormigón de cemento hidráulico*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 1578:2010 Hormigón de cemento hidráulico. Determinación del asentamiento*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 2528:2010 Cámaras de curado, gabinetes húmedos, tanques para almacenamiento en agua y cuartos para elaborar mezclas, utilizados en ensayos de cemento hidráulico y hormigón. Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 697: Áridos. Determinación del material más fino que pasa el tamiz con aberturas de 75 μ m (No. 200), mediante lavado*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 856: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 857: Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido grueso*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 857:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad Específica) y absorcion del árido grueso*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 858: Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito-Ecuador: INEN.



- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 858:2010 Áridos. Determinación de la masa unitaria (Peso Volumétrico) y el porcentaje de vacíos*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 859:2010 Áridos para hormigón. Determinación de la humedad superficial en el árido fino*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2011). *NTE INEN 0872:2011 Áridos para hormigón. Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2011). *NTE INEN 696: Áridos. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2011). *NTE INEN 860: Áridos. Determinación del valor de la degradación del árido grueso de partículas menores a 37,5 mm mediante el uso de la máquina de los Ángeles*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2011). *NTE INEN 862: Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2011). *NTE INEN 862:2011 Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2012). *NTE INEN 152:2012 Cemento Portland. Requisitos*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2012). *NTE INEN 2649:2012 Hormigón de cemento hidráulico. Refrentado de especímenes cilíndricos para la determinación de la resistencia a compresión*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2013). *NTE INEN 489:2013 Cemento hidráulico. Determinación de la finura por tamizado seco*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2016). *NTE INEN 3040:2016-04 Adoquines, terminología, clasificación, requisitos, métodos de ensayo*. Quito - Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto, I. (2009). *Control de calidad en el hormigón: Control por resistencia Parte I*. Quito, Ecuador: INECYC.
- Instituto Ecuatoriano del Cemento y del Concreto, I. (2009). *Control de calidad en el hormigón: Control por resistencia Parte II*. Quito, Ecuador: INECYC.
- Instituto Ecuatoriano del cemento y del hormigón, I. (2011). *Hormigón de alto desempeño*. Quito, Ecuador: Imprenta Noción.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2009). *NTE INEN 157:2009 Cemento hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat*. Quito, Ecuador: INEN.
- Instituto Ecuatoriano de Normalización, I. (2010). *NTE INEN 856:2010 Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (Gravedad Específica) y absorción del árido fino*. Quito, Ecuador: INEN.
- ISO/DIS. (1982). *Projet de Norme Internationale*.
- Kosmatka S. H., K. B. (2004). *Diseño y control de mezclas de hormigón*. Illinois, EEUU: Portland Cement Association.



López, I. E. (2002). *Concretos de alta resistencia*. Lima, Perú: Instituto de la Construcción y Gerencia ICG.

Malvern, I. (2011). *Mastersizer 3000: Tamaño de partícula inteligente*. Worcestershire, Reino Unido: Spectris.

Martínez Ponce, D. (2008). *Hormigones de altas prestaciones*. Murcia, España.

MSc. Ing. Portugal Barriga, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto desempeño*. Arequipa, Perú: Lafayette.

Neville A.M., B. J. (2010). *Tecnología del concreto*. Inglaterra: PEARSON.

Norma Ecuatoriana de la Construcción, N. (2014). *Estructuras de Hormigón Armado*. Quito - Ecuador: MIDUVI.

The Chemical Company, B. (2011). *Hormigón de altas prestaciones*. Barcelona, España: BASF.