



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA SEDE AZOGUES

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES CON
ÁRIDOS DE LA PROVINCIA DEL AZUAY,
SECTOR PAUTE Y SANTA ISABEL”**

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

**AUTOR: RAÚL MAURICIO LÓPEZ BURI
DIRECTOR: ING. JAIME XAVIER NIETO CÁRDENAS**

**AZOGUES - ECUADOR
2018**

CERTIFICADO DE AUTORÍA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil cuyo tema es "HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES CON ÁRIDOS DE LA PROVINCIA DEL AZUAY, SECTOR PAUTE Y SANTA ISABEL" corresponden al trabajo de investigación del autor, además certifico que he cumplido con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador.

RAÚL MAURICIO LÓPEZ BURI

ESTUDIANTE

CI: 0302308531

APROBACION DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de grado, presentado por el Sr. Raúl Mauricio López Buri, para optar por el título de INGENIERO CIVIL, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 28 días del mes de febrero del 2018.

ING. JAIME XAVIER NIETO CÁRDENAS
SUBDIRECTOR DE LA CARRERA
INGENIERIA CIVIL
CI: 0104027826

Agradecimiento

Primeramente, agradezco a Dios por haberme dado toda la fuerza para realizar el trabajo de titulación, luego a mis padres por haberme apoyado en todo momento, además quiero agradecer a quienes compartieron su tiempo y conocimientos para hacer posible la culminación de la tesis. En especial a mi director el Ing. Xavier Nieto Cárdenas, al Ing. José Luis Tepán, al Ing. Fernando Salgado, y a la Empresa UCEM C.E.M (departamento Hormigonera Equinoccial Planta Cuenca) por permitir el desarrollo de la tesis en sus instalaciones.

Mi especial agradecimiento a la Universidad Católica de Cuenca Sede Azogues y a los profesores de la facultad de "Ingeniería Civil", quienes con su apoyo permanente, científico y moral han hecho posible la culminación de mi carrera profesional.

Gracias a todos ellos.

Dedicatorias

En especial a mis padres, por su gran ejemplo de superación y valioso apoyo en todo momento desde el inicio de mis estudios, ya que ellos son el pilar fundamental en mi vida, tanto en lo personal como en lo económico. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, sin pedir nunca nada a cambio.

Para mi esposa ya que ella desde el momento en que llego a formar parte de mi vida siempre me brindo el amor y el apoyo permanente necesario para culminar mis estudios.

Para mi hijo quien desde su llegada ha complementado mi vida y es el que me ha impulsado a seguir adelante para cumplir mis metas, objetivos y a darme el último empujón para culminar con la tesis.

Dedicado además a toda mi familia.

RESUMEN

El hormigón autocompactante (HAC) es un hormigón altamente fluido, llena todos los espacios del encofrado, tiene la capacidad de pasar a través de altas cuantías de acero por el cual el hormigón convencional no puede llegar, por lo tanto, no requiere de ningún tipo de compactación, pero la mezcla debe ser sumamente cohesiva; dando así, resultados excelentes y favorables.

Existen especificaciones técnicas de la EFNARC y ACI, describiendo procedimientos similares para analizar y verificar las características que debe cumplir un hormigón autocompactante recién mezclado; además, para la dosificación de este hormigón únicamente existen tablas de proporciones de los materiales para la fabricación de HAC a las cuales se deberían ajustar.

Antes de fabricar el HAC existieron fallas en las estructuras construidas con hormigón debido a una defectuosa compactación y por una mala calidad de la mano de obra, provocando daños y baja durabilidad del concreto, por tal motivo se creó este tipo de hormigón para que garantice la auto-compactación sin la necesidad compactación mecánica y obreros.

Por el momento en la región existe un desconocimiento parcial del hormigón estudiado, pero en el mundo han existido aplicaciones del HAC presentando buenos resultados; no obstante, en el presente trabajo realizando estudios e investigaciones, se ha determinado que los materiales usados para los diseños de hormigones experimentados, están en la capacidad para confeccionar hormigones autocompactantes, pero tomando en cuenta las especificaciones dadas para estos hormigones.

Se diseñó hormigones de resistencias 210kg/cm^2 , 240 kg/cm^2 y 300 kg/cm^2 con áridos del Azuay, un cemento tipo III (distinguido por presentar resistencias altas a edades tempranas), aditivos altamente reductores de agua y a su vez agua potable; estos hormigones cumplen los ensayos que caracterizan a los hormigones autocompactantes. Los ensayos de resistencias se realizaron a partir de cilindros de hormigón a los 28 días de edad.

Al final se recopiló todos los resultados de diseños validados como de diseños rechazados, además la evaluación de los costos del hormigón autocompactante en relación al hormigón convencional y se presentó conclusiones.

CENTRO DE IDIOMAS

ABSTRACT

The self-compacting concrete (SCC) is a highly fluid concrete, it fills all spaces of the formwork, it has the capacity to pass through high amounts of steel for which conventional concrete cannot reach, therefore it does not require any type of compaction, but the mixture must be extremely cohesive in order to give excellent and favorable results.

There are technical specifications according to Experts for Specialized Construction and Concrete System (EFNARC) and American Concrete Institute (ACI), which describes similar procedures to analyze and verify the characteristics that a newly mixed self-compacting concrete must fulfill. In addition, for the dosage of this concrete there are only tables of proportions of the materials for the manufacture of SCC to which they should be adjusted.

Before manufacturing the SCC there were faults in the structures built with concrete due to a defective compaction and poor quality of the workforce, it caused damage and low durability of the concrete, for this reason this type of concrete was created to guarantee the self-compaction without the need for mechanical compaction and workers.

At present in the region there is partial ignorance of the studied concrete, however in the world there have been applications of the SCC which presents good results. Therefore in the present work carried out studies and investigations and it has been determined that the materials used for the designs of experienced concretes are in the capacity to make self-compacting concretes, but specifications must be taking into account.

Resistance concretes 210kg / cm², 240 kg / cm² and 300 kg / cm² were designed with Azuay aggregates, a type III cement (distinguished by high resistance at an early age), highly water-reducing additives and, in turn, potable water; these concretes fulfill the tests that characterize self-compacting concretes. Resistance tests were performed from concrete cylinders at 28 days of age.

In the end, all the results of validated and rejected designs were collected, as well as the evaluation of the costs of self-compacting concrete in relation to conventional concrete. Finally, the conclusions were presented.

Azogues, 26 de febrero de 2018

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


LCDA. GABRIELA ESTRELLA G. MST.
COORDINATOR



CONTENIDO

1. CAPÍTULO I	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. EL PROBLEMA	3
1.2.1. <i>Formulación del problema</i>	3
1.2.2. <i>Delimitación del problema</i>	4
1.2.3. <i>DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO (OPTATIVO)</i>	5
1.3. JUSTIFICACIÓN	8
1.4. OBJETIVOS	9
1.4.1. <i>GENERAL</i>	9
1.4.2. <i>ESPECÍFICOS</i>	9
1.5. HIPÓTESIS	10
1.6. METODOLOGÍA.....	11
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	13
2.1. EL HORMIGÓN.....	13
2.1.1. <i>Hormigón no estructural</i>	13
2.1.2. <i>Hormigón estructural</i>	14
2.1.3. <i>Hormigones especiales</i>	14
2.2. HISTORIA DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	16
2.3. DEFINICIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	16
2.4. CARACTERÍSTICAS DEL HAC EN ESTADO FRESCO	18
2.4.1. <i>Capacidad de paso</i>	18
2.4.2. <i>Capacidad de relleno</i>	18
2.4.3. <i>Resistencia a la segregación</i>	18
2.5. RELACIÓN AGUA/CEMENTO	18
2.6. VENTAJAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	19
2.7. DESVENTAJAS DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	20
2.8. CAMPOS DE APLICACIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.....	20
3. CAPITULO III: MATERIALES, EQUIPOS Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS PARA EL DISEÑO DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	23
3.1. INTRODUCCIÓN A LOS MATERIALES	23
3.2. DESCRIPCIÓN DE TÉRMINOS UTILIZADOS EN EL TRABAJO SEGÚN LAS DIRECTRICES EUROPEAS PARA EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE	23
3.3. COMPONENTES PARA LA FABRICACIÓN DEL HAC	24
3.3.1. <i>Cemento</i>	24
3.3.2. <i>Áridos</i>	26
3.3.3. <i>Aditivos</i>	27
3.3.4. <i>Agua</i>	28
3.4. CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS	29
3.4.1. <i>Granulometría (NTE INEN 696, 2011)</i>	29
3.4.1. <i>Humedad (NTE INEN 862, 2011)</i>	30
3.4.2. <i>Absorción:</i>	30
3.4.3. <i>Peso Específico</i>	31
3.4.4. <i>Material pasante por el tamiz # 200 (NTE INEN 697, 2010)</i>	32
3.4.5. <i>Peso unitario (peso volumétrico) (ASTM C29, 1997)</i>	33

3.5. EQUIPO PARA LA FABRICACIÓN DE LOS HAC EN LABORATORIO.	35
3.5.1. <i>Procedimiento de Amasado</i>	35
4. CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE EN ESTADO FRESCO.....	37
4.1. ENSAYOS AL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE EN ESTADO FRESCO	37
4.1.1. <i>Flujo de asentamiento (escurrimiento) (ACI 237R, 2007)</i>	37
4.1.2. <i>T50cm (2) (ACI 237R, 2007)</i>	39
4.1.3. <i>Índice de estabilidad visual (VSI) (ACI 237R, 2007)</i>	40
4.1.4. <i>Caja en L (ACI 237R, 2007)</i>	41
4.1.5. <i>Determinación de la temperatura (ASTM C 1064, 2017)</i>	41
4.1.6. <i>Determinación de la densidad (peso unitario) (ASTM C138, 2009)</i>	42
4.1.7. <i>Determinación del contenido de aire de hormigón recién mezclado mediante el método de presión (ASTM C231 , 2017)</i>	43
4.2. ELABORACIÓN Y CURADO DE PROBETAS DE HORMIGÓN. (ASTM C31, 2009)	47
4.2.1. <i>Especificaciones técnicas</i>	47
4.2.2. <i>Procedimiento para la elaboración de probetas cilíndricas</i>	48
4.2.3. <i>Curado del hormigón</i>	48
4.3. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE (ASTM C109, 2002)	49
5. CAPÍTULO IV: DISEÑO DE LOS HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES (HAC).....	52
5.1. DISEÑO Y DOSIFICACIÓN DE MEZCLA PARA HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES (ACI 237 R-07)	52
5.2. RESULTADOS DE ENSAYOS A COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS DE HORMIGÓN	56
5.3. FABRICACIÓN DE UN MURO ESBELTO.....	56
5.3.1. <i>Consideraciones de diseño de muros dúctiles (ACI 318, 2008)</i>	57
5.4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	62
6. CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y BIBLIOGRAFÍA	63
6.1. CONCLUSIONES	63
6.2. BIBLIOGRAFÍA	69
7. ANEXOS	74
7.1. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMENTO HE GUAPÁN.....	74
7.2. HOJAS TÉCNICAS DE ADITIVOS Y ADICIONES.	75
7.3. RESULTADOS DE ENSAYOS A LOS ÁRIDOS.....	83
7.4. IMÁGENES DE LOS PROCESOS DE LA FABRICACIÓN DEL MURO Y HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.....	89
7.4.1. <i>Dosificación de los materiales</i>	89
7.4.2. <i>Elaboración del HAC</i>	90
7.4.3. <i>Ensayos al hormigón autocompactante</i>	93
7.4.4. <i>Fabricación del muro</i>	97
7.4.5. <i>Desencofrado del muro</i>	100
7.4.6. <i>Ensayo a compresión</i>	101
7.5. DESGLOSE DE PRECIOS UNITARIOS.....	102

LISTADO DE IMAGENES

Imagen 1. Ubicación de las Minas (Santa Isabel)	6
Imagen 2. Ubicación de la Mina Vipesa	6
Imagen 3. Ubicación Hormigonera Equinoccial – Cuenca	7
Imagen 4. Comportamiento Agua/Cemento	19
Imagen 5. Muro de gran longitud y alta cuantía de acero	20
Imagen 6. Muro con alta cuantía de hierro.....	20
Imagen 7. Terminado de un HAC.....	21
Imagen 8. Vertido de hormigón convencional en una losa, requiere 5 personas.	21
Imagen 9. Las dos Fotos Muestran el Vertido del HAC, Requiere solo 2 Operarios	21
Imagen 10. Hormigón convencional en pavimentos.....	22
Imagen 11. Uso de HAC en un pavimento	22
Imagen 12. Aplicación del HAC en túneles	22
Imagen 13. Terminado de túneles con HAC	22
Imagen 14: Estados de Saturación de Áridos	31
Imagen 15. Concreteira basculante	35
Imagen 16. Hormigón tras mezclar 2 minutos.....	36
Imagen 17. Hormigón tras mezclar luego de 15 minutos	36
Imagen 18. Ensayo de escurrimiento realizado	37
Imagen 19. Esquema de las p-ropiedades del HAC para distintos tipos de aplicación (slump=asentamiento).....	39
Imagen 20. Medidor de aire tipo A	44
Imagen 21. Partes del medidor de aire tipo B	45
Imagen 22. Manómetro	45
Imagen 23. Probetas cilíndricas	47
Imagen 24. Muro esbelto se considera como una viga en volado.....	57
Imagen 25. Encofrados	58
Imagen 26. Encofrados con armadura de refuerzo	58
Imagen 27. Separación del refuerzo en los extremos de la armadura de refuerzo ...	58
Imagen 28. Separación del refuerzo en el resto de la armadura de refuerzo.....	58
Imagen 29. Muro de hormigón sin compactar	59
Imagen 30. Muro de hormigón compactado.....	60
Imagen 31. Muro de hormigón autocompactante	61
Imagen 32. Peso de la adición	89

Imagen 33. Peso de aditivo.....	89
Imagen 34. Peso de la adición.....	89
Imagen 35. Dosificación de materiales.....	89
Imagen 36. Colocación del agua en el mezclador.....	90
Imagen 37. Colocación de grava en el mezclador.....	90
Imagen 38. Colocación de arena en el mezclador.....	90
Imagen 39. Adición del microsílíce.....	90
Imagen 40. Mezclado de agua, grava, arena y microsílíce.....	91
Imagen 41. Inclusión de cemento.....	91
Imagen 42. Fusión del cemento con agregados y adiciones.....	91
Imagen 43. Mezcla de componentes de hormigón antes de incluir aditivos.....	91
Imagen 44. Aditivo para la mezcla.....	92
Imagen 45. Reacción del hormigón al agregar el primer aditivo.....	92
Imagen 46. Reacción luego de agregar el segundo aditivo.....	92
Imagen 47. Efecto del aditivo en el hormigón luego de dos minutos.....	92
Imagen 48. Efecto del aditivo en el hormigón luego de quince minutos.....	93
Imagen 49. Estado del hormigón autocompactante.....	93
Imagen 50. Equipos para el ensayo del flujo de asentamiento.....	93
Imagen 51. Dispersión del hormigón mediante el ensayo de flujo de asentamiento.....	93
Imagen 52. Escurrimiento con baja fluidez.....	94
Imagen 53. Medición del escurrimiento.....	94
Imagen 54. Alta fluidez del hormigón y presenta segregación.....	94
Imagen 55. Baja fluidez del hormigón presentando segregación.....	94
Imagen 56. Escurrimiento óptimo de un hormigón autocompactante.....	95
Imagen 57. Medición de la extensión del flujo.....	95
Imagen 58. Caja en L.....	95
Imagen 59. El hormigón presenta baja fluidez.....	95
Imagen 60. Bajo contenido de aire.....	96
Imagen 61. Alto contenido de aire.....	96
Imagen 62. Toma de la temperatura del cemento.....	96
Imagen 63. Toma de la temperatura del hormigón.....	96
Imagen 64. Colocación de la estructura de refuerzo en el encofrado.....	97
Imagen 65. Orificios para el aseguramiento de la estructura de refuerzos.....	97
Imagen 66. Centrado de la armadura de refuerzo en el encofrado.....	97
Imagen 67: Aseguramiento del muro.....	97

Imagen 68. Encofrado y estructura de refuerzo humedecido	98
Imagen 69. Colocación del hormigón en el encofrado	98
Imagen 70. Hormigón convencional en un muro esbelto sin compactación	98
Imagen 71. Resultados del hormigón convencional en un muro esbelto sin compactación	98
Imagen 72. Hormigón convencional en un muro esbelto compactado	99
Imagen 73. Resultados del hormigón convencional en un muro esbelto compactado	99
Imagen 74. Hormigón autocompactante en un muro esbelto	99
Imagen 75. Resultados del hormigón autocompactante en un muro esbelto	99
Imagen 76. Desencofrado del muro esbelto con hormigón convencional sin compactar	100
Imagen 77. Muro esbelto con hormigón convencional sin compactar	100
Imagen 78. Muro esbelto con hormigón convencional compactado	100
Imagen 79. Muro esbelto con hormigón autocompactante	100
Imagen 80. Curado de probetas de hormigón	101
Imagen 81. Extracción de las probetas de hormigón previo a su ensayo	101
Imagen 82. Ensayo a compresión de la probeta de hormigón	101
Imagen 83. Resultados del ensayo a compresión	101

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tipos de cemento.....	24
Tabla 2. Dosificación Recomendada.....	28
Tabla 3. Clasificación del índice de estabilidad visual.....	40
Tabla 4 Tolerancia de tiempo para el ensayo a compresión	50
Tabla 5: Sugerencia del ACI para el contenido en finos.....	52
Tabla 6: Valores recomendados para dosificar un HAC.....	52
Tabla 7. Dosificaciones típicas de materiales del HAC	52
Tabla 8. Resumen de resistencias de los hormigones autocompactantes.....	56
Tabla 9. Resumen de los tiempos de colocación de hormigón referente a un muro esbelto.....	67

CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

El hormigón es una mezcla de agregados como son la arena y grava, unidos entre sí por una pasta que forma el cemento y agua, además se le puede agregar aditivos, lo cual ayuda a mejorar ciertas características como son la trabajabilidad, tiempo de fraguado, contenido de aire y entre otros según se requiera. Los hormigones con excelentes características están en función de un estudio y la obtención previa de parámetros para posteriormente producirlos en cantidad. Un hormigón convencional habitualmente requiere equipo de vibrado para rellenar los espacios vacíos que se producen involuntariamente entre éste o entre armaduras, que a futuro genera mala durabilidad del mismo y/o de elementos estructurales.

Para disminuir la energía ocupada en la eliminación de vacíos mediante el vibrado, existe el hormigón autocompactante (HAC) que se caracteriza porque no necesita ningún tipo de compactación debido a que se consolida por su propio peso o por gravedad, rellenando así todos los espacios de las formaleas aún en presencia de altas cuantías de hierros o refuerzos. Siendo así el HAC excluye el uso del equipo de vibrado para su compactación y tiene una vida útil igual a la del hormigón convencional.

Los primeros estudios sobre hormigón autocompactante fueron realizados por el profesor Okamura en la Universidad de Tokio en 1986, quien planteó aquello para garantizar una consolidación adecuada y a su vez aumentar la durabilidad de las estructuras de hormigón. Luego se usó para facilitar las operaciones de construcción con ello reduciría el tiempo y el costo de ejecución. A comienzos de los años ochenta del siglo pasado, el problema de la durabilidad de las estructuras de hormigón empezó a cobrar importancia en Japón. Surgió la necesidad de fabricar este concreto en la Universidad de Tokio por los años 86 por el maestro Okamura, se propuso investigar incansablemente para dar soluciones ante problemas de hormigones de baja durabilidad. Tras largos análisis e investigaciones, el 1988 consiguieron primeros resultados satisfactorios del concreto autoconsolidante, al cual lo bautizaron como “high performance concrete (HPC)” (Vilanova, 2015)

El comportamiento de este primer hormigón fue muy satisfactorio. Okamura y sus colaboradores inicialmente lo denominaron “high performance concrete” que significa (hormigón de altas prestaciones), debido a que presentaba características de impermeabilidad por lo tanto invulnerable a daños producidos por agentes externos. Al continuar con la investigación del tema, analizaron la relación baja de agua/cemento, logrando obtener gran durabilidad en las estructuras hechas con hormigón, que al final describieron a este hormigón como “self compacting high performance concrete” u hormigón autocompactante. (Vilanova, 2015)

Considerando los conocimientos existentes sobre HAC, se busca establecer dosificaciones de este tipo de hormigón con materiales del sector de Santa Isabel y Paute. Las pruebas a llevar a cabo se prepararon en el laboratorio de la entidad. Todos los datos se juntaron al final para analizar y elaborar un informe respectivo.

Los agregados utilizados en el presente trabajo han sido satisfactorios para la construcción de innumerables estructuras con hormigones convencionales, sin embargo, se pretende confeccionar mezclas de hormigón autocompactante con los mismos áridos, siempre y cuando cumplan las exigencias de acuerdo al (ACI 237R, 2007), (ASTM C 39, 2012) y/o las especificaciones de la (EFNARC , 2005), y que posteriormente puedan ser manejados estos hormigones como otra alternativa para la construcción. Además, se presenta un desglose de los costos de fabricación y colocación del hormigón en autocompactante comparado con el hormigón convencional.

1.2. EL PROBLEMA

1.2.1. Formulación del problema

Uno de los problemas más frecuentes que suele darse al momento de hormigonar elementos en zonas de difícil acceso, estructuras específicas de cierta configuración arquitectónica, esbeltez y gran cuantía de refuerzo con un hormigón convencional, es la inadecuada compactación, generando vacíos y poros, afectando la resistencia, terminado, durabilidad e impermeabilidad de un elemento.

Un hormigón con alta permeabilidad es mucho más vulnerable a patologías originadas por ataques físicos, químicos y biológicos, que otro con menor permeabilidad.

El deterioro del hormigón implica realizar inversiones no programadas dentro de la vida útil de un proyecto de infraestructura civil.

La trabajabilidad es un concepto fundamental que siempre se debe tomar en cuenta en el diseño de hormigones, no únicamente desde el punto de vista de una correcta compactación, sino también considerando la cantidad de energía y recursos necesarios para un correcto vertido del concreto.

El costo de mano de obra en la construcción, es cada vez más elevado como consecuencia del mejoramiento de las condiciones laborales y salariales. Consecuentemente, es necesario que los constructores busquen mecanismos para optimizar progresivamente los recursos disponibles, permitiendo incluso la disminución de los costos.

A su vez, para lograr una buena compactación en el hormigón convencional requiere un equipo de vibración, es por ello que, para dar una solución ante tal problema se ha creado el Hormigón Autocompactante que, en estado fresco, facilita su colocación en obra, sin necesidad de emplear equipo de vibrado, debido a que se compacta por gravedad, generando elementos más densos y mejor resistencia ante cargas de sollicitación.

1.2.2. Delimitación del problema

El uso del hormigón autocompactante, no ha sido una práctica común en nuestro medio, lo cual ha ocasionado un desconocimiento de los beneficios de su uso.

En el presente estudio, se trabaja con áridos de la zona de Santa Isabel, para fabricar hormigones de resistencias que no superen los 350kg/cm².

Se diseñan mezclas de hormigón autocompactante para resistencias a compresión de 210, 240 y 300 kg/cm² cumplida la edad de 28 días, también se ensayan en lapsos de 3, 7 y 28 días, para analizar el comportamiento de sus resistencias, se elaboran cilindros de hormigón de 10cm de diámetro y 20 cm de altura, se curan y se ensayan de acuerdo a la norma ACI. Además, se fabrica un muro esbelto, en el cual se vertió el HAC de 240 kg/cm², siendo este el hormigón más utilizado para este tipo de estructuras.

Para realizar los diferentes diseños, los materiales a utilizar en el presente trabajo de titulación son:

- Cemento Tipo HE-GUAPAN (High Strength-Alta Resistencia).
- Agua originaria de la Planta de Agua Potable de Tixán, Cuenca.
- Arena proveniente de una mina del Cantón Santa Isabel.
- Grava procedente de la mina Vipesa Construcciones Cía. Ltda. ubicada en el sector El Descanso (Cantón Cañar) de diámetro máximo 9.5 mm (3/8').
- Aditivos Hiperplastificantes: ViscoCrete 4100 Distribuido por SIKA.
- Aditivos Superplastificantes: ViscoFlow EQ 55 Distribuido por SIKA.

El cemento, áridos y aditivo Sika ViscoFlow 55EQ se consumirán los descritos previamente, debido a que se consumen a diario en la producción de hormigón de la hormigonera, la cual colaboró con los materiales para el presente Trabajo de Titulación, excepto el aditivo ViscoCrete 4100 el mismo que proporcionó una muestra un agente de la Empresa SIKA.

Además, previo a empezar a diseñar hormigones, se realizó los ensayos de: análisis granulométrico, módulo de finura, absorción, peso específico, peso unitario, materia orgánica, densidad.

Los ensayos efectuados en el hormigón en estado fresco fueron: escurrimiento, temperatura, contenido de aire, peso unitario, fluidez (caja en L, cono de Abrams invertido) y el ensayo que se realizara en hormigón endurecido es el ensayo a compresión de los cilíndricas.

1.2.3. DEFINICIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO (OPTATIVO)

1.2.3.1. Geográficos:

1.2.3.1.1. *Procedencia de áridos: Arena*

Provincia: Azuay

Cantón: Santa Isabel

Sector: Jubones

1.2.3.1.2. *Procedencia de áridos: Grava 3/8*

Provincia: Cañar

Cantón: Azogues

Sector: El Descanso

1.2.3.1.3. *Lugar de ejecución de la parte técnica*

Provincia: Azuay

Cantón: Cuenca

Sector: Descanso

1.2.3.2. Administrativos:

Existe una variedad de minas de áridos en el Austro, de las cuales, el árido fino (arena) es originaria de la mina localizada en el sector Jubones (Cantón Santa Isabel).

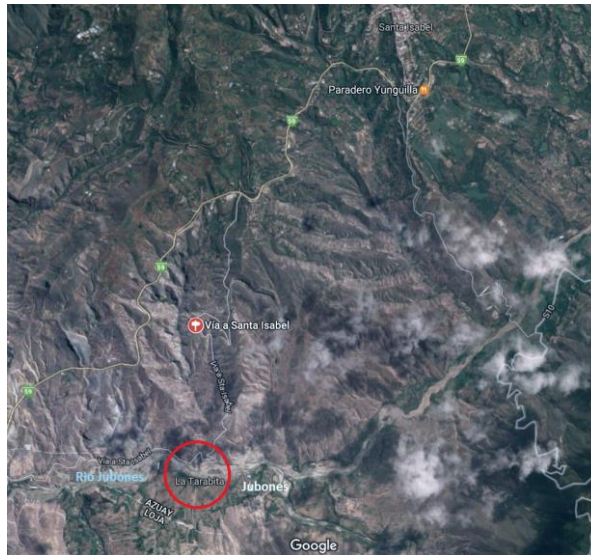


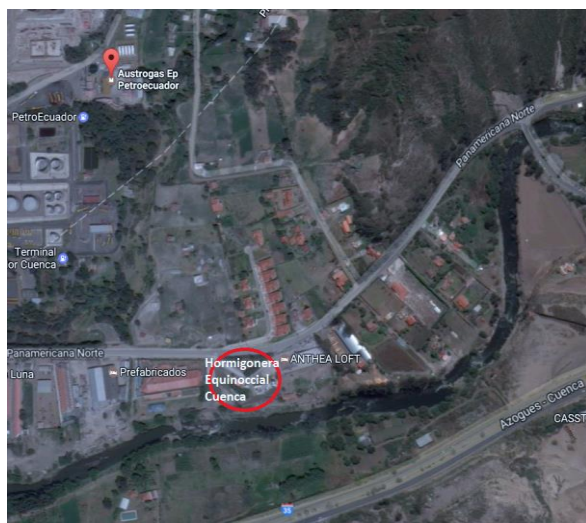
Imagen 1. Ubicación de las Minas (Santa Isabel)
Fuente: Google Earth

El árido grueso de diámetro máximo 9.5mm (3/8”) es procedente de la mina Vipesa Construcciones Cía. Ltda. ubicada en la Provincia del Cañar, Cantón Azogues, Parroquia Javier Loyola, Autopista Cuenca-Azogues, km 17 ½ sector El Descanso.



Imagen 2. Ubicación de la Mina Vipesa
Fuente: Google Earth

El lugar de ejecución de la parte técnica se realizará en la Hormigonera Equinoccial planta Cuenca ubicada en el Descanso Panamericana Norte Km 13.5 Cuenca.



*Imagen 3. Ubicación Hormigonera Equinoccial – Cuenca
Fuente: Google Earth*

1.3. JUSTIFICACIÓN

El presente trabajo tiene la finalidad de dar a conocer a: profesionales, albañiles y personas en particular dedicadas a la construcción civil, una alternativa más de construcción, con materiales propios de la región (Materiales pétreos del Azuay). Debido a que el hormigón autocompactante tiene gran fluidez, este puede avanzar sin obstrucción hasta rellenar todo el encofrado más aún si existen cuantías grandes de refuerzo, elementos de poco espesor, de difícil acceso, elementos arquitectónicos singulares de hormigón, prefabricados, puede ser utilizado también en rampas, muros, pavimentos, vigas, columnas, y generalmente en estructuras donde el hormigón convencional tiene problemas para compactarse efectivamente. Para comprobar que el hormigón diseñado cumpla con las características de un HAC se realizarán ensayos estandarizados en el laboratorio de hormigón de la Hormigonera Equinoccial-Cuenca. Además, se fabricó un muro esbelto en el cual se verterá el hormigón autocompactante.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. GENERAL

Diseñar hormigones autocompactantes usando materia prima local controlando las propiedades físicas y mecánicas del hormigón en estado fresco y endurecido para conocer sus beneficios técnicos y económicos con respecto a los hormigones convencionales.

1.4.2. ESPECÍFICOS

- Elaborar ensayos de los áridos para determinar sus características mecánicas previas al diseño de mezclas.
- Diseñar mezclas de Hormigón Autocompactante (HAC) con resistencia a los 28 días de 210, 240 y 300 kg/cm².
- Comprobar el comportamiento del hormigón en estado fresco que requiera un HAC mediante ensayos estandarizados y fabricación de un muro esbelto con este tipo de hormigón.
- Comprobar la resistencia a compresión de las probetas cilíndricas a los 28 días de su fabricación.
- Evaluar el análisis de precios unitarios de un hormigón autocompactante como de un hormigón convencional tanto los costos de producción, transporte y colocación en obra, no obstante, para la evaluación se tomará como referencia un mismo elemento (muro esbelto).

1.5. HIPÓTESIS

En Cuenca existe a disponibilidad de los materiales que se requieren para confeccionar un Hormigón Autocompactante (HAC), los mismos que son pocos utilizados para este tipo de hormigones.

Se puede determinar una guía para diseñar y obtener HAC con materiales que se utilizan en el campo de la construcción común en la Ciudad de Cuenca.

Si se dispone de las herramientas establecidas en la normativa, es posible verificar los criterios de aceptación del HAC de acuerdo a directrices internacionales.

Si se realiza un correcto diseño de mezcla, con materiales de la zona, es posible obtener HAC, con propiedades similares o mejores a las del CC.

1.6. METODOLOGÍA

El presente trabajo de titulación es de tipo experimental aplicada, que será desarrollada en el laboratorio de hormigón (Hormigonera Equinoccial-Cuenca), contiene el diseño de mezclas de HAC con los áridos para resistencias de 210, 240 y 300 kg/cm², para lo cual utilizaremos los siguientes materiales: Cemento de alta resistencia (HE-GUAPÁN), áridos del austro, aditivos SIKA Hiperplastificantes y Superplastificantes.

Los pasos a seguir:

- i) Determinación de las características mecánicas de los áridos que se usan en los diseños de las mezclas.

Los ensayos a los agregados serán aplicados de acuerdo a las normas determinadas para los agregados.

ENSAYOS APLICADOS A LOS AGREGADOS SEGÚN NORMAS

ENSAYOS	AGREGADO FINO (ARENA)	AGREGADO GRUESO (GRAVA 3/8" 9,5mm)
Peso específico	(NTE INEN 0856)	(NTE INEN 0857)
Absorción	(NTE INEN 0856)	(NTE INEN 0857)
Densidad	(NTE INEN 0856)	(NTE INEN 0857)
Humedad	(NTE INEN 0862)	(NTE INEN 0862)
% Pasa #200	(NTE INEN 0697)	(NTE INEN 0697)
Peso unitario compactado	(NTE INEN 0858)	(NTE INEN 858)
Peso unitario suelto	(NTE INEN 0858)	(NTE INEN 858)
Granulometría	(NTE INEN 0696)	(NTE INEN 0696)

- ii) Diseño, ajustes a las mezclas de prueba: Con las características obtenidas se procede a diseñar las mezclas en laboratorio, sin embargo, existen varios métodos de diseño para un HAC, pero ninguno está normalizado para lo cual se tomará como referencia el (ACI 237R, 2007).

- iii) Ensayos en el Hormigón:

- a) En el hormigón fresco se realiza lo siguiente:

ENSAYOS APLICADOS AL HAC

ENSAYOS	ESTADO FRESCO
Temperatura	(ASTM C 1064)
Peso unitario	(ASTM C 138)
Densidad	(ASTM C 138)
Contenido de Aire	(ASTM C 231)
Cono de Abrams (invertido)	(ACI 237-07)
Caja L	(ACI 237-07)

Elaborar probetas cilíndricas de 10cm de diámetro por 20 cm de altura. (EFNARC , 2005), (ASTM C31, 2009).

- b) Hormigón endurecido:

Desmoldar las probetas de hormigón y luego proceder al curado de las mismas. (ASTM C31, 2009).

Cumplida la edad de curado, realizar los ensayos de resistencia a compresión. (ASTM C 39, 2012).

iv) Elaboración de un muro esbelto.

v) Recopilación de datos y análisis de los resultados de los ensayos del HAC: densidades, temperaturas, fluidez, resistencias, análisis de costos.

vi) Elaboración del informe.

Capítulo II: Marco teórico

2.1. El hormigón

El hormigón es un material de construcción maniobrable en estado plástico, puede utilizarse para construir diversas estructuras, edificios, puentes, pistas de aterrizaje, represas, túneles, canales, y en todo lo que se pueda usar en cuanto a construcción. Está compuesto por proporciones de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, debidamente analizados previo a su fabricación, que presentan una forma moldeable y trabajable, que luego de pasar un cierto tiempo adquiere una contextura rígida, con propiedades durables y resistentes que le permiten ser un material de uso masivo para construcciones civiles.

La durabilidad en el hormigón es un tema muy importante que no basta analizar las características del medio ambiente y los componentes del hormigón, sino que debemos considerar las etapas de colocación, compactación y curado que, fusionado con una distribución adecuada de armaduras, permitirá asegurar la durabilidad de la estructura.

La forma más común para la compactación de un hormigón convencional es el vibrado mecánico lo cual permitirá asegurar una excelente calidad, durabilidad, resistencia eficaz, buenas propiedades mecánicas; sin embargo, existe normativas para la aplicación del vibrado, ya que al no aplicarse adecuadamente produciría una mala durabilidad, implicando a futuro incremento de costos de mantenimiento y reparación del hormigón.

Existen diversos tipos de hormigones, de los cuales se describen los más conocidos en el campo profesional como: no estructurales, estructurales y especiales.

2.1.1. Hormigón no estructural

Es aquel hormigón con densidad menor a 2000 kg/m^3 , utilizándose este hormigón en obras que no estén sometidas a grandes cargas, es decir para:

- Capas de hormigón delgado (de 1.5cm a 3cm)
- Bordillos
- Acera
- Hormigones de relleno

Además, la (EHE, 2008) define que, este tipo de hormigón “no aportan responsabilidad estructural a la construcción pero que colaboran en mejorar las condiciones durables del hormigón estructural o que aportan el volumen necesario de un material resistente para conformar la geometría requerida para un fin determinado”.

2.1.2. Hormigón estructural

Es un hormigón que se usa para fines estructurales, es decir los elementos construidos, contienen armaduras de acero además del hormigón, lo cual ayuda asegurar de manera conjunta la función del tipo de hormigón descrito. Generalmente la densidad alcanza valores de 2000 a 2800 kg/m^3 . Este tipo de hormigón usualmente se utiliza en estructuras que demanden considerables esfuerzos de tracción (absorben-hierros) y compresión (absorbe-hormigón). El tipo de estructuras pueden ser:

- Cimientos.
- Edificaciones.
- Hormigones pretensados.
- Pilares, Columnas, estribos, vigas, losas, cerramientos.
- Pavimentos rígidos.
- Muros.
- Cualquier tipo de estructura de hormigón que necesite armados de acero.

2.1.3. Hormigones especiales

(LÓPEZ, 2015), en su trabajo de tesis “Diseño de Mezclas de Hormigón Autocompactante Utilizando Agregados de Minas Locales y su Influencia en las Propiedades Mecánicas en el Cantón Ambato, Provincia De Tungurahua” describe que se considera como hormigones especiales aquellos que se aumentan componentes diferentes a los materiales utilizados en un hormigón convencional esto con la finalidad de mejorar una propiedad específica, como su peso específico, resistencia, fluidez. Los más reconocidos son:

- Hormigón liviano.
- Hormigón de alta resistencia.
- Hormigón autocompactante.
- Hormigón de contracción compensada.
- Hormigón con polímeros.
- Hormigón de elevada densidad.
- Hormigón masivo.
- Hormigón compactado por rodillo.

2.1.3.1. Hormigón liviano

Son hormigones que utilizan materiales livianos que tienen un peso específico bajo aproximado de 1600 a 1800 kg/m³. Mientras que la densidad disminuye, su capacidad de aislamiento térmico y resistencia se incrementa.

2.1.3.2. Hormigón de alta resistencia

Su densidad es igual o se apega a 2400 kg/m³, su resistencia puede ir de 60MPa a 80Mpa lo cual se logra con bajas relaciones de agua/cemento además de usar aditivos superplastificantes.

2.1.3.3. Hormigón autocompactante

Comúnmente se utiliza en estructuras densamente armadas (alta cuantía de acero) o los elementos de una singular construcción arquitectónica. El cual permite gran trabajabilidad y fluidez sin la necesidad de compactación alguna.

2.1.3.4. Hormigón de contracción compensada

Son hormigones que utilizan especialmente cementos o aditivos expansivos, esto es para contrarrestar los problemas de fisuración en elementos de hormigón delgados como los pisos.

2.1.3.5. Hormigón conteniendo polímeros

Se utiliza generalmente en estructuras que requieran estrictamente la impermeabilidad, garantizando así su durabilidad en presencia de humedad o agentes químicos agresivos. Se puede colocar capas delgadas para la protección de ambientes industriales o en puentes

2.1.3.6. Hormigón de elevada densidad

Es un hormigón utilizado en estructuras sometidas a niveles de radiación como escudos y su densidad se incrementa en un 50% en relación al hormigón convencional.

2.1.3.7. Hormigón masivo

Es utilizado en elementos con dimensiones considerablemente grandes, lo cual genera calor de hidratación (hidratación del cemento) y produce cambios de volumen. Para el cual se deben tomar medidas a fin de minimizar la fisuración.

2.2. Historia del hormigón autocompactante

En el transcurso de la construcción de estructuras han ido surgiendo algunos inconvenientes constructivos, que, a la larga se convirtieron problemas serios de tratarlos, ante estos se realizaron estudios para dar posibles soluciones.

Entre uno de los estudios está el hormigón autocompactante que ha surgido en las últimas décadas, debido a que el hormigón convencional no los resuelve, estos problemas comúnmente se han dado en elementos con altas cuantías de acero, una adecuada compactación y encofrados no tradicionales. El hormigón no compactado puede llegar a tener entre 5 – 20% de aire atrapado en su interior, lo cual afecta la resistencia, impermeabilidad y durabilidad; es por ello que la compactación del hormigón es de gran importancia en la calidad del hormigón. (Medina Sanchez, 2008)

Los primeros estudios sobre hormigón autocompactante fueron realizados por el profesor Okamura en la Universidad de Tokio en 1986, a su vez este fue planteado para garantizar una consolidación adecuada y a su vez aumentar la durabilidad de las estructuras de hormigón.

Esto se debe a que este país tiene un alto grado de riesgo sísmico y una compleja geografía teniendo estructuras densamente armadas (altas cuantías de acero) era inevitable encontrar aire atrapado, produciendo falta de homogeneidad en la estructura afectando a las propiedades mecánicas de la estructura. Estas deficiencias encontradas en el hormigón convencional promovieron la investigación de nuevos hormigones. Además, el HAC presenta ventajas en estado fresco (fluidez, cohesión, viscosidad, homogeneidad, trabajabilidad), a más de ofrecer excelentes propiedades en estado endurecido (resistencia, durabilidad), mejora el comportamiento en la construcción de muros delgados y de elementos con acceso limitado, y facilita las operaciones de construcción con ello reduce el tiempo y el costo de ejecución.

Los problemas surgieron cuando las durabilidades de las estructuras eran defectuosas, ante tal problema el maestro Okamura junto con Osawa y Maekawa iniciaron investigaciones profundas para contrarrestar esos problemas, logrando en 1988 obtener mediante algunas pruebas en el laboratorio un modelo de hormigón autocompactante denominándolo “high performance concrete (HPC)” que significa “hormigón de altas prestaciones”. Dicho nombre no duro mucho porque analizando el HAC presentaba bajas relaciones de agua/cemento, y lo cambiaron a “self compacting high performance concrete” u hormigón autocompactante. (Vilanova, 2015)

2.3. Definición del hormigón autocompactante

El hormigón autocompactante se caracteriza por ser altamente fluido, el mismo que no requiere ningún de una compactación mecánica siempre y cuando cumpla las características que demanda este hormigón. Este es capaz de pasar a través de altas cuantías de acero y rellenar, aunque sea encofrados arquitectónicamente singulares, por el cual un hormigón convencional no puede llegar.

Okamura presento una definición más concreta, bautizando este material como hormigón autocompactante de altas prestaciones, satisfaciendo tres requisitos siguientes. “Primero, el hormigón debe fluir libremente por cada rincón del encofrado sin el uso de vibración. Segundo, los efectos derivados de la generación de calor, endurecimiento a retracción por secado deben ser mínimos. Tercero, la permeabilidad del hormigón frente la penetración del oxígeno, cloruros y agua debe ser mínima”. (UPC, S/N)

El HAC demanda un mayor contenido de finos que un concreto convencional, para conseguir controlar la estabilidad, segregación, posee relaciones agua/cemento bajas, con esto y con una gran trabajabilidad este hormigón se adhiere de mejor manera entre las barras de acero y hormigón mismo. Por tanto, debido a que posee mayor cantidad de finos, el curado no adecuado podría afectar seriamente, llevando a la fisuración por retracción plástica. Sin embargo, el hormigón autocompactante posee características reológicas (retracción y fluencia) diferentes que el hormigón convencional, pero sus propiedades estructurales en estado endurecido o vida útil son las mismas. (Ravindra Gettu, 2004)

Sin embargo debido al gran aparte que han presentado investigadores sobre el hormigón autocompactante, hoy en día, este tipo de hormigón ha sido utilizados en algunas estructuras importantes aunque no en la región del Azuay, pero si han tomado mucha influencia en otros países.

2.4. Características del HAC en estado fresco

Las características de un hormigón autocompactante son diferentes en comparación con un hormigón convencional, por tanto, los ensayos para el control de calidad son distintos. Las principales características que debe cumplir un HAC son:

2.4.1. Capacidad de paso

Se define a la capacidad del hormigón para fluir a través de: espacios reducidos, en presencias de altas cuantías de hierros, encofrados arquitectónicamente singulares, donde el hormigón pasa a través de estos sin bloqueo alguno, y especialmente manteniendo su cohesividad (sin segregación).

2.4.2. Capacidad de relleno

Propiedad del HAC mediante el cual, el hormigón fluye dentro del encofrado sin problemas de formación de vacíos, sin la necesidad de cualquier tipo de compactación.

2.4.3. Resistencia a la segregación

Se le denomina *segregación* a la dispersión de los materiales que constituyen la mezcla del hormigón recién mezclado, lo cual incita una distribución no adecuada de sus partículas. A su vez, *la resistencia a la segregación*, es la habilidad del hormigón de mantener su homogeneidad en estado fresco (durante el mezclado, transporte y colocación), es decir, sin producir separación de los componentes de la mezcla (áridos, pasta). (Ingeniero de caminos, 2015)

2.5. Relación agua/cemento

La relación a/c tiene gran influencia sobre resistencia, la durabilidad y la retracción del hormigón. La relación agua/cemento crece cuando aumenta la cantidad de agua y decrece cuando aumenta el contenido de cemento, sin embargo, es el valor característico más importante en el diseño de hormigones.

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

Dónde:

- R: Relación agua / cemento
- a: Masa del agua del hormigón fresco
- c: Masa del cemento del hormigón

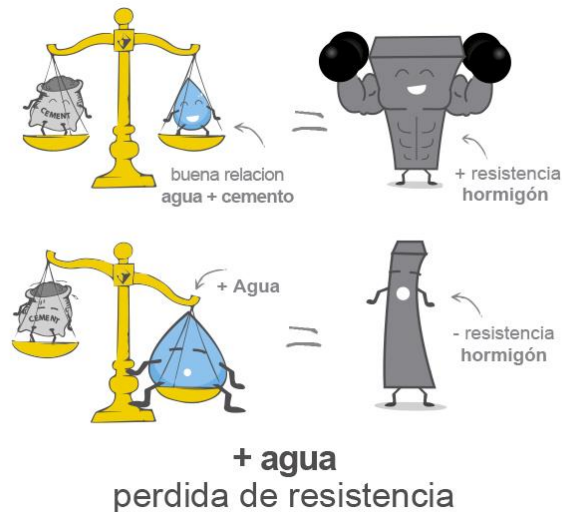


Imagen 4. Comportamiento Agua/Cemento
 Fuente: *La Relación Agua-Cemento: un frágil equilibrio*
<http://bestsupportunderground.com/relacion-agua-cemento/>

2.6. Ventajas del hormigón autocompactante

Analizando documentos publicados sobre hormigones autocompactantes se presentan las principales ventajas del mismo.

- No requiere de cualquier tipo de vibración y su colocación es rápida, con lo cual se reduciría los costos de colocación.
- Debido a la gran fluidez del HAC la uniformidad de los terminados superficiales son mejores, esto ayudaría a reducir labores de reparación superficial.
- Facilita el proceso de llenado en estructuras de dimensiones reducidas o elementos arquitectónicos singulares (formas no comunes), lo cual no se podría lograr con hormigones tradicionales.
- Si cumple los ensayos de aprobación del HAC por tanto la consolidación y la adherencia del hormigón al refuerzo será efectiva.
- Mejora la conducción del concreto mediante las bombas y ductos o tuberías para lugares elevados o de difícil colocación.
- El acabado es más uniforme, reduciendo así el esfuerzo de una persona encargada del allanado (producir una superficie lisa).
- Siendo el hormigón "auto-consolidante" reduce la mano de obra.
- Asimismo, se reducen los procesos de colocación en comparación al hormigón convencional obteniendo menores tiempos de construcción.
- No requiere equipos de vibrado ni vibración, por tanto, elimina el factor de ruido provocado por los vibradores.

2.7. Desventajas del hormigón autocompactante

Las principales desventajas del hormigón autocompactante frente al hormigón convencional son:

- Hay que tener un estricto control en los aditivos, debido a que aplicando cantidades en exceso podrían variar sus propiedades físicas y mecánicas.
- El costo es un tema que se analizará de forma rigurosa, porque para construcciones pequeñas resulta muy costoso, no así en obras grandes, reduce notablemente el tiempo de entrega de la obra. Su costo asciende entre un 20 a un 45% más que otros hormigones.

2.8. Campos de aplicación del hormigón autocompactante

Este tipo de hormigón podría ser aplicado en cualquier tipo de obras, como son elementos prefabricados, muros y losas de edificios, pisos industriales, estanques, presas, túneles, pavimentos. Este tipo de hormigón es ideal cuando existan grandes distancias fluyendo fácilmente alrededor de las esquinas en las formaletas, a su vez proporcionando buena adherencia con el acero de refuerzo aun en presencia de altas cuantías de hierro.



Imagen 5. Muro de gran longitud y alta cuantía de acero

*Fuente: Fuente: Concreto Autocompactante: Origen, Ventajas y Aplicaciones
(<http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-autocompactante-origen-ventajas-y-aplicaciones/>)*



*Imagen 6. Muro con alta cuantía de hierro
Fuente: Fuente: Concreto Autocompactante: Origen, Ventajas y Aplicaciones
(<http://blog.360gradosenconcreto.com/concreto-autocompactante-origen-ventajas-y-aplicaciones/>)*



*Imagen 7. Terminado de un HAC
Fuente: Hormigón autocompactante:
problemas*

<https://www.soloarquitectura.com/foros/threads/hormigon-autocompactante-problemas.75836/>



Imagen 8. Vertido de hormigón convencional en una losa, requiere 5 personas.

Fuente: El Hormigón Autocompactante, ¿Una Alternativa para la Construcción de Pavimentos Rígidos de Carreteras con el Sistema de Encofrados Fijos?

http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=56



*Imagen 9. Las dos Fotos Muestran el Vertido del HAC, Requiere solo 2 Operarios
Fuente: El Hormigón Autocompactante, ¿Una Alternativa para la Construcción de Pavimentos Rígidos de Carreteras con el Sistema de Encofrados Fijos?*

http://www.prontubeam.com/articulos/articulos.php?Id_articulo=56



Imagen 10. Hormigón convencional en pavimentos

Fuente: El pavimento de concreto es alternativa para obras viales

<https://www.eldinero.com.do/20532/el-pavimento-de-concreto-es-alternativa-para-obras-viales/>



Imagen 11. Uso de HAC en un pavimento

Fuente: Pavimentos industriales de hormigón
<http://technicalfloor.com/pavimentos-industriales-hormigon/>



Imagen 12. Aplicación del HAC en túneles

Fuente: Obras Subterráneas
<http://www.rubricaingenieria.com/es/galeria-barras-muela-ii>



Imagen 13. Terminado de túneles con HAC

Fuente: OBRAS SUBTERRÁNEAS
<http://www.rubricaingenieria.com/es/galeria-barras-muela-ii>

Capítulo III: Materiales, equipos y caracterización de materiales utilizados para el diseño de hormigón autocompactante

3.1. Introducción a los materiales

La (EFNARC, 2002), público las “Especificaciones y Directrices para el Hormigón Autocompactante” mismas que presentan criterios para la fabricación, de hormigones autocompactantes, basados en amplias experiencias. A su vez, tal publicación describe que los materiales utilizados en la fabricación de los HAC son los mismos que se utilizan en la fabricación de los hormigones convencionales; con las diferencias de que:

- Se dosifica de diferente manera que un hormigón convencional.
- Requiere mayor cantidad de finos para elaborar un HAC a fin de evitar la segregación.

Se debe emplear aditivos de última generación como superplastificantes (reductores de agua de alto rango), con lo cual reducirá el agua de la mezcla, de ser posible incorporar un material fino (microsilíce/filler) permitiendo incrementar la cohesión y disminuyendo la tendencia a la segregación.

Se prevé realizar diseños de mezclas de hormigón autocompactante utilizando agregados de la zona del Azuay, no obstante, el trabajo se fundamenta en ensayos para la determinación de las características de los agregados y siguiendo las especificaciones de un HAC.

3.2. Descripción de términos utilizados en el trabajo según las Directrices Europeas para el hormigón autocompactante

- Adición.** – Son materiales inorgánicos o puzolánicos que se agregan al hormigón cuando se desee mejorar alguna de sus propiedades.
- Aditivo.** - Son productos químicos en estado sólido o líquido que, al adherirse al hormigón provocan reacciones, modificando las propiedades ya sea en estado plástico o endurecido.
- Durabilidad.** - La durabilidad de una estructura de hormigón dependerá estrictamente de la calidad del hormigón.
- Finos.** – Se refiere a las partículas de tamaño menor de 0,125 mm. (Dicha fracción corresponde al cemento, adiciones y áridos)
- Fluidez del hormigón.** – Para el hormigón autocompactante la fluidez debe ser óptima para fluir fácilmente por el encofrado sin necesidad de compactación.
- Microsilíce.** – Es un material de gran finura resultante del cuarzo, que permite una buena cohesión e incrementa la resistencia a la segregación.
- Viscosidad.** – Es la consistencia espesa de un líquido.
- Retracción.** – En el hormigón se da generalmente por la evaporación del agua y por la pérdida de la hidratación del cemento.
- Trabajabilidad.** – Facilidad de hormigón en estado fresco para ser transportado, maniobrado y colocado en la obra.

3.3. Componentes para la fabricación del HAC

3.3.1. Cemento

El cemento es un aglomerante hidráulico, ya que endurece al contacto con el agua o el aire, utilizado para la confección de morteros y hormigones. Generalmente para utilizar el cemento deberá tener una temperatura menor a los 50°C, no así al usar el cemento con temperaturas superiores, controlar al final el proceso de mezclado que el hormigón que no exceda los 35°C.

Existen diversos tipos de cemento Portland, describiéndose a continuación según la norma NTE INEN 152, 2012.

<u>Tipos de cemento</u>	<u>Descripción</u>
Tipo I	Conocido como cemento Portland ordinario, que es el de mayor utilización en el mercado. Se lo utiliza en hormigones normales que no estarán expuestos a sulfatos en el ambiente, en el suelo o en el agua del subsuelo.
Tipo II	Son cementos con propiedades modificadas para cumplir propósitos especiales, como cementos antibacteriales que pueden usarse en piscinas; cementos hidrófobos que se deterioran muy poco en contacto con sustancias agresivas líquidas; cementos de albañilería que se los emplea en la colocación de mampostería; cementos impermeabilizantes que se los utiliza en elementos estructurales en que se desea evitar las filtraciones de agua u otros fluidos, etc.
Tipo III	Son los cementos de fraguado rápido, que suelen utilizarse en obras de hormigón que están en contacto con flujos de agua durante su construcción o en obras que pueden inestabilizarse rápidamente durante la construcción.
Tipo IV	Son los cementos de fraguado lento, que producen poco calor de hidratación. Se los emplea en obras que contienen grandes volúmenes continuos de hormigón como las presas, permitiendo controlar el calor emitido durante el proceso de fraguado.
Tipo V	Son cementos resistentes a los sulfatos que pueden estar presentes en los agregados del hormigón o en el propio medio ambiente. Se utiliza en alcantarillas, túneles y donde existan aguas que tenga una alta concentración de sulfatos, alcanza altas resistencias a edades tempranas. La presencia de sulfatos junto con otros tipos de cementos provoca la desintegración progresiva del hormigón y la destrucción de la estructura interna del material compuesto.

*Tabla 1. Descripción de los tipos de cemento
Fuente: NTE INEN 152-12*

Sin embargo, (Cañizares Beltrán, 2012) en su tesis “Diseño de mezclas de hormigón autocompactante”, redacta que pueden elaborarse HAC con cualquier tipo de cemento que cumpla con las especificaciones de la norma de Cemento Puzolánico – Requisitos NTE INEN 490, 2015. Siendo así, la presente investigación se basa en aquel enunciado descrito, por tanto, para diseños de HAC se trabaja con Cemento Hidráulico, tipo HE, que cumple con la Norma NTE INEN 2380. Y según la clasificación de la norma NTE INEN 152 está dentro de un cemento tipo III.

Para el presente trabajo, se opta por la marca de cemento Guapán, que es la más accesible de conseguir en nuestro medio.

La principal característica del Cemento Portland Puzolánico Guapán HE, es la elevada resistencia a temprana edad. Su fabricación es similar a la fabricación de Cemento Puzolánico Chimborazo HE, que utilizan Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso de alta pureza. Esta mezcla preparada y dosificada adecuadamente, es molida en un molino de última generación, que incorpora un separador de alta eficiencia para lograr un alto grado de finura.

Últimamente el Cemento Puzolánico Guapán HE ha sido utilizado solo en la producción de hormigón convencional por la Hormigonera Equinoccial Planta Cuenca. Sin embargo, este tipo de cemento se ha utilizado para la construcción grandes obras como la UNAE, La Edificación del Registro de la Propiedad de la Ciudad de Cuenca, entre otros, que demandan alta resistencia a la compresión y durabilidad.

La (EFNARC, 2002) y el (ACI 237R, 2007), presentan documentos parecidos, describiendo los requisitos de los componentes para la confección de los HAC, por tanto, para el cemento describen lo siguiente:

Para obtener hormigones

- La cantidad habitual de cemento es de 350-450 kg/m³.
- Más de 500 kg/m³ de cemento podría resultar peligrosos e incrementar la retracción.
- Menos de 350 kg/m³ sólo resultan adecuados si se incluye otro tipo de fino, como cenizas volantes, puzolanas, etc.

Sin embargo, el presente trabajo, no se utiliza estas cantidades recomendadas.

3.3.2. Áridos

3.3.2.1. Árido grueso (Grava)

Los áridos se caracterizan por su alta resistencia mecánica y comúnmente son utilizados como materia prima en la construcción. Los áridos para fabricar HAC y hormigones convencionales son los mismos, no obstante, existe un límite para este tipo de árido cuando se requiera fabricar un hormigón autocompactante, como:

- El tamaño máximo de la grava no debe exceder de 16-20 mm o comúnmente llamado grava $\frac{3}{4}$ de pulgada; sin embargo, algunos investigadores describen que se puede emplear tamaños de partícula de hasta 40 mm en HAC.
- Todos los tipos de áridos son oportunos no importa su procedencia, siempre y cuando no contenga materiales orgánicos que puedan dañar al hormigón.
- Los áridos sometidos a trituración se adhieren de mejor manera tanto al hormigón como el refuerzo porque la fricción entre las partículas es alta.
- Los áridos ovalados o de origen natural mejoran la trabajabilidad del hormigón porque su fricción entre partículas es menor.
- La calidad en la granulometría es un factor importante. Resultando efectiva una granulometría discontinua de áridos.

3.3.2.2. Árido fino (Arena)

Generalmente una arena bien graduada, con bajo contenido orgánico, resulta óptimo en hormigón. No obstante, para este tipo de árido, la (EFNARC, 2002) presenta exigencias detalladas a continuación:

- Todas las arenas normales de hormigón son adecuadas para el HAC, pudiendo ser arenas trituradas, rodadas, arenas silíceas o calizas.
- La cantidad de grano fino inferior a 0,125 mm se considera polvo (fino) y es muy importante para la reología del HAC.
- Debe obtenerse una cantidad mínima de fino (procedente de los aglomerantes y la arena) para evitar la segregación.
- Mientras mayor sea el porcentaje existirá mayor cohesión, a su vez mayor requerimiento de agua.

En cuanto a los áridos utilizados en el presente trabajo, el árido fino (arena) es originaria de la mina localizada en el sector Jubones (Cantón Santa Isabel) y el árido grueso de diámetro máximo 9.5mm (3/8") es procedente de la mina Vipesa ubicada en el sector El Descanso. Se realizaron además en ambos áridos ensayos normalizados como son las determinaciones de: peso específico densidad, humedad, porcentaje que pasa tamiz #200, absorción, peso unitario compactado, peso unitario suelto, análisis granulométrico, contenido de materia orgánica, análisis granulométrico. Los resultados se muestran en el anexo 7.3.

3.3.3. Aditivos

Si bien los aditivos sirven para modificar las propiedades del hormigón ya sea en estado fresco o endurecido, no debe agregarse en proporciones mayores al 5% de peso del cemento. Conforme a las necesidades específicas de cada construcción, existen diversos tipos de aditivos como: aditivos plastificantes, aditivos superplastificantes o reductores de agua de alto rango, aditivos acelerantes, aditivos de fraguado extra rápido, aditivos retardantes y aditivos incorporadores de aire.

Las principales propiedades que ofrecen en estado fresco y endurecido, son:

- Incrementan la trabajabilidad.
- Permiten reducir la relación agua / cemento.
- Los tiempos de fraguado descienden.
- Aumentan la impermeabilidad y durabilidad de las estructuras con hormigón.
- Permite desarrollar resistencias tempranas.
- Los aditivos modificadores de la viscosidad permiten controlar la segregación ayudando a la homogeneidad del hormigón.

Adiciones. -En el HAC se utiliza habitualmente debido a que demanda un contenido de partículas finas grandes.

Para el caso de estudio se utilizó aditivos y adiciones fabricados por SIKA, descritos a continuación.

NOMBRE DEL ADITIVO	CUMPLE LA NORMA	TIPOS DE EXIGENCIAS CUMPLIDAS	DOSIFICACIÓN RECOMENDADA
Sika ViscoFlow 55	ASTM C-494	F	0,6% a 1,6% del peso de cemento
Sika ViscoCrete 4100	ASTM C-494	A y F	0,19% - 0,9% del peso de cemento Se utilizarán dosis mayores solo cuando se especifique materiales como: microsilica o condiciones ambientales extremas.
SikaFume	ASTM C-1240	-	3 - 10% del peso de cemento

*Tabla 2. Dosificación Recomendada
Fuente: Hoja Técnica SIKA*

En el anexo 7.2 se detalla las hojas técnicas de los aditivos usados.

3.3.4. Agua

El agua utilizada para la fabricación de hormigón, debe ser de calidad y a su vez una cantidad óptima, para poder garantizar la calidad en el hormigón. En caso de existir impurezas podría afectar al fraguado del hormigón, resistencia, provocar corrosión del acero, aparecer manchas superficiales.

Se dice que el agua de consumo humano es excelente para la fabricación de hormigones, razón por la cual en la planta se elabora los hormigones con el agua procedente de la Planta de Agua Potable de Tixán, Cuenca.

3.4. Caracterización de los áridos

Las propiedades de los áridos son necesarias antes de efectuar los diseños y fabricación de los hormigones. Se han obtenido resultados de ensayos a los áridos según establecen las normas de: Granulometría, Densidad, Peso específico, Absorción, Módulo de Finura, Humedad, Material más Fino que pasa el tamiz 200, describiendo a continuación los procedimientos y sus definiciones. Los valores de los mismos influirán en la resistencia y durabilidad del hormigón. Los ensayos de los áridos se mandaron a realizar debido a que no contaba con los equipos necesarios para efectuar los mismos. Sin embargo, se describen los ensayos requeridos para el presente trabajo.

3.4.1. Granulometría (NTE INEN 696, 2011)

3.4.1.1. Análisis Granulométrico

El ensayo consiste en tamizar una porción de árido mediante una serie de tamices de aberturas cuadradas ordenadas cada vez más pequeña (forma descendente). Previo a efectuar el tamizado, los áridos serán sometidos al secado en horno, evitando que los terrones de material fino se incluyan como material grueso e impidiendo que se taponen las aberturas de los tamices.

El tamizado se lo puede realizar a mano, girando en sentido de las manecillas del reloj, opuestamente, moviendo de atrás hacia adelante, de izquierda a derecha, y a su vez alternando todos estos movimientos, permitiendo a las partículas pasar por el tamiz. En caso de realizar el tamizado en una vibradora mecánica el tiempo no debe ser menor de 2 minutos.

3.4.1.2. Curva Granulométrica

Es una representación gráfica resultante de un análisis granulométrico que muestran una distribución del tamaño de los áridos, es decir, revela si los áridos tienden a ser finos, gruesos o si existe una deficiencia de un tamaño. En un gráfico, las abscisas representan la serie de tamices (escala logarítmica) y las ordenadas el porcentaje acumulado que pasa por el tamiz.

3.4.1.3. Módulo de finura (MF)

Se considera como el tamaño promedio ponderado del agregado.

Es igual a la suma de los porcentajes retenidos acumulados en los tamices # 100, #50, #30, #16, #8, #4, 3/8" y dividir esta suma entre 100.

Se considera arena gruesa cuando su módulo de finura va de 2.5 a 3.5; se clasifica como arena fina cuando el módulo de finura esta entre 1.5 a 2.5 y se cataloga como arena muy fina si su MF va de 0.5 a 1.5. Un módulo de finura mayor significa que el árido es grueso y a su vez viceversa.

3.4.1.4. Tamaño nominal

Tamaño con el cual se identifica al agregado grueso y se lo determina por el siguiente tamiz de abertura mayor en el cual se retiene el 10% o más del agregado.

3.4.1. Humedad (NTE INEN 862, 2011)

Para la fabricación de un hormigón cualquiera, lo ideal sería poseer áridos en estado completamente seco, así no variarían sus características. Pero, en la zona del Azuay generalmente los áridos provienen de ríos, lo cual es inevitable tener áridos completamente secos, por tanto, para el diseño de hormigones tanto convencionales como autocompactantes, la humedad de los áridos juega un papel muy importante y se debería tener un estricto control de humedad de los mismos.

La norma citada permite determinar el contenido de humedad de los agregados mediante secado, tanto la parte superficial de las partículas, como al interior de ellas.

Este parámetro es fundamental para corregir la cantidad de agua de mezclado del hormigón, la masa mínima de la muestra está dada por el tamaño nominal máximo del agregado de acuerdo a la tabla siguiente:

Para determinar el contenido total de humedad evaporable se usa la siguiente expresión tanto para áridos gruesos y finos:

$$H = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$$

Dónde:

- H = contenido de humedad en porcentaje (%),
- P1 = peso de la muestra húmeda, g,
- P2 = peso de la muestra seca, g.

3.4.2. Absorción:

Para obtener el valor de la absorción, el árido se somete a un secado al horno, una vez aplicado esto, en un recipiente colocar el árido con agua, dejando reposar por cierto tiempo especificado en la norma, secar la superficie del árido. Por tanto, la absorción se define a la cantidad máxima de agua que puede contener el árido a partir de un estado seco al horno hasta secar la superficie del árido una vez sacado del recipiente con agua. El valor de la absorción se expresa en porcentaje. Entre más porosidad presente el hormigón será más sensible al medio ambiente y mayor porosidad del árido mayor absorción.

La norma INEN presentan métodos similares para calcular el valor de la Absorción del árido grueso_(NTE INEN 857, 2010) y del árido fino (NTE INEN 856, 2010).

$$Abs. = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$$

Dónde:

- P1: peso del árido en estado SSS, g.
- P2: peso de la muestra seca sometido al horno, g.

3.4.3. Peso Específico

Es uno de los valores fundamentales para la dosificación de hormigones sobre todo cuando se diseña por volumen y se parte de la masa del árido en condición SSS.

La porosidad de las partículas de áridos influye también en la densidad de la misma. Mientras mayor sea la porosidad de una partícula, menor densidad será de la misma. Las unidades se expresan en kg/m³. Existen diferentes estados de saturación de los áridos, los cuales se muestran en la imagen siguiente.

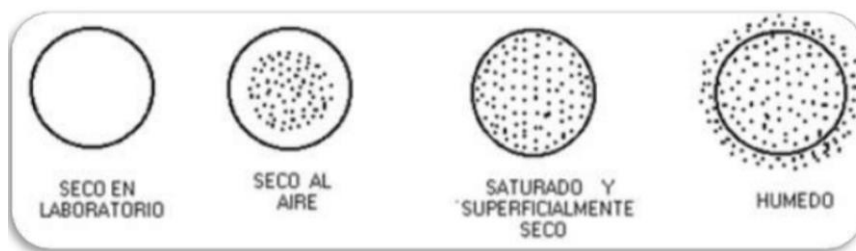


Imagen 14: Estados de Saturación de Áridos

Fuente: Estudio Tecnológico de los Agregados Fino y Grueso

<https://es.slideshare.net/dens15tas/estudio-tecnologico-de-los-agregados-fino-y-grueso>

Estados de saturación:

- *Seco al horno (SH)*. - El árido es sometido a un proceso de secado al horno.
- *Seco al aire*. - El árido absorbe la humedad de la intemperie, saturándose parte de los poros.
- *Saturado y superficialmente seco (SSS)*. – Se satura los poros permeables del árido, pero manteniendo la superficie seca.
- *Sobresaturado*. - Aquí además de saturarse los poros permeables hay una película de agua en la superficie del árido.

Las normas (NTE INEN 856, 2010) y (NTE INEN 857, 2010) presentan ensayos aplicados a los áridos finos y gruesos respectivamente, siendo indispensables previo al análisis de los diseños de hormigones.

Peso Específico (árido grueso) (NTE INEN 857, 2010)

$$P. esp. = \frac{P1}{Vd} \times 1000$$

$$Vd = P1 - P2$$

Dónde:

- P. esp: peso específico y se expresa en kg/m³
- P1: peso del agregado en estado SSS, kg.
- P2: peso del agregado sumergido en el agua, kg.
- Vd: Volumen desalojado. m³.

Peso Específico (árido fino) (NTE INEN 856, 2010)

$$Vd = \frac{(P4 - P1) - (P3 - P2)}{\frac{(P4 - P1)}{500}}$$

$$P. esp. = \frac{(P2 - P1)}{Vd} \times 1000$$

Dónde:

- P. esp: peso específico, expresado en kg/m³
- P1: peso del picnómetro vacío. kg.
- P2: peso del picnómetro + peso del agregado fino en estado SSS. kg.
- P3: peso del picnómetro + peso del agregado fino en estado SSS + agua. kg.
- P4: peso del picnómetro + 500 ml de agua. kg.

3.4.4. Material pasante por el tamiz # 200 (NTE INEN 697, 2010)

Los materiales para la fabricación de hormigones deben ser lo más limpios posibles, es decir, no deben contener porciones elevadas de partículas como limo y arcilla, lo cual afectaría la adherencia entre los componentes de la mezcla del concreto. Además, las cantidades elevadas de estos materiales puede incrementar la cantidad de agua de mezcla. Por lo tanto, para determinar el material pasante por el tamiz N°200, se puede realizar el tamizado en húmedo (lavado) o tamizado en seco, resultado efectivo el tamizado por lavado que permite obtener valores más exactos.

Para el cálculo se utiliza la expresión:

$$\#200 = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100$$

Dónde:

- P1: masa de la muestra. kg.
- P2: masa de la muestra retenida. kg.

3.4.5. Peso unitario (peso volumétrico) (ASTM C29, 1997)

Este ensayo permite obtener la densidad aparente tanto compactada como suelta y estimar los espacios entre las partículas de los agregados finos y gruesos. Se expresa en relación de peso sobre unidad de volumen.

3.4.5.1. Peso unitario suelto (PUS)

Consiste en dejar caer el árido libremente a una altura cerca de 5cm sobre un cuenco de volumen conocido y sólido.

$$P4 = \frac{(P1 + P2 + P3)}{3}$$

$$P6 = (P4 - P5)$$

$$PUS = \frac{P6}{V}$$

Dónde:

- P1, P2, P3: peso del agregado suelto + peso del recipiente. kg
- P4: Promedio de peso suelto. kg
- P5: peso del recipiente. kg
- P6: peso del agregado suelto. kg
- V: Volumen del recipiente. m³

3.4.5.2. Peso unitario compacto (PUC)

Este ensayo es semejante al peso unitario suelto, diferenciado por compactarse el material en el molde como si elaborase una probeta de hormigón (3 capas +25 compactadas con varilla+ 12 golpes a los costados del cuenco)

$$P4 = \frac{(P1 + P2 + P3)}{3}$$

$$P6 = (P4 - P5)$$

$$PUC = \frac{P6}{V}$$

Dónde:

- P1, P2, P3: peso del agregado compactado + peso del recipiente. Kg/m³
- P4: Promedio de peso compactado. kg
- P5: peso del recipiente. kg
- P6: peso del agregado suelto. kg
- V: Volumen del recipiente. kg

3.5. Equipo para la fabricación de los HAC en laboratorio.

Una vez establecidas las cantidades de materiales para producir HAC, se produce en el laboratorio a menor escala conforme al ACI, donde establece que para un volumen no menor a 28 lt, se utiliza una concretera basculante, como se muestra en la imagen siguiente.



*Imagen 15. Concretera basculante
Fuente: Autor*

La concretera basculante tiene la capacidad máxima para fabricar hasta un volumen de 35 litros de hormigón.

3.5.1. Procedimiento de Amasado

Para continuar con el procedimiento del mezclado, existe normas estableciendo el orden y tiempo de colocación de los componentes del hormigón, siendo así el mismo procedimiento tanto para HAC como para hormigones convencionales, sin embargo, en base a experiencias de algunos diseños de hormigón, mismo que ha permitido obtener resultados muy favorables, se ha optado por seguir con el siguiente procedimiento:

- Humedecer las paredes internas de la concretera. (agua distinta de amasado)
- Colocar los 3/4 del agua en la concretera
- Verter el árido grueso y fino, dejar mezclar (1 minuto)
- Añadir los finos (puzolana/microsílice y cemento) (3 minutos)
- Cargar los aditivos con el 1/4 de agua restante.

Se dice que, el tiempo de mezclado de los hormigones autocompactantes deber ser mayor que de los hormigones convencionales, para conseguir que los aditivos hagan todo su efecto en la mezcla y a su vez obtener homogeneidad en la misma.



*Imagen 16. Hormigón tras mezclar 2 minutos
Fuente: Autor*



*Imagen 17. Hormigón tras mezclar luego de 15 minutos
Fuente: Autor*

Se presenta los resultados en las imágenes anteriores, del aspecto del hormigón, cuando no se ha realizado un periodo de amasado correcto. La imagen 1 muestra un hormigón mezclado por un tiempo menor a 3 minutos, sin embargo, el aditivo logra hacer efectiva su función, pero no así la dispersión los finos, mientras que, transcurrido un tiempo de 15 minutos, tanto el aditivo y la dispersión de finos permiten obtener un hormigó cohesivo.

CAPÍTULO IV: Caracterización del hormigón autocompactante en estado fresco

Debido a que las características de un hormigón autocompactante son diferentes de un hormigón convencional, por lo tanto, los ensayos a realizarse para su validación, son distintos para cada tipo de concreto descrito, mismos que calificarán el cumplimiento de los criterios como un HAC; se sabe que: los ensayos a los hormigones autocompactantes más usados en Japón son: ensayo de escurrimiento, la Caja L y Embudo en V, mientras que en Suecia la prueba más usada para su aprobación es la Caja L luego del ensayo de escurrimiento.

4.1. Ensayos al hormigón autocompactante en estado fresco

La (EFNARC, 2002) y el (ACI 237R, 2007) presentan un documento describiendo ensayos similares en los cuales se basan para analizar y evaluar las propiedades del hormigón autocompactante, de los cuales se detallan aquellos que se aplicaron al trabado realizado.

4.1.1. Flujo de asentamiento (escurrimiento) (ACI 237R, 2007)

La herramienta principal para efectuar el ensayo es el cono de Abrams, esta prueba sirve para evaluar la fluidez y la capacidad de relleno del HAC, con el cual puede presentar indicios de la resistencia a la segregación, además es el más utilizado con más frecuencia. El valor del ensayo describe el flujo de una mezcla fresca y no confinada, además, indica si la consistencia del hormigón fresco cumple con las especificaciones.



Imagen 18. Ensayo de escurrimiento realizado

Fuente: Autor

Procedimiento:

- i) Consiste en colocar el cono de Abrams (ASTM C 143) sobre una bandeja plana marcada el centro y un círculo de 500 mm de diámetro, de superficie horizontal, lisa.
- ii) Llenar el cono de hormigón sin compactar.
- iii) Levantar el cono verticalmente y dejar fluir.
- iv) Medir el mayor diámetro (d_m) de la extensión del flujo del hormigón y el diámetro perpendicular (d_r) a éste.
- v) El promedio de los dos diámetros es el escurrimiento (flujo de asentamiento del hormigón), sin embargo, el valor no debe diferir de 2 pulgadas (50mm).

El rango de escurrimiento puede variar entre 18 a 30 pulgadas (450 a 760mm). Mientras más alto sea el valor del escurrimiento de un HAC, éste puede fluir a través del encofrado rápidamente y puede viajar más lejos desde un punto de descarga. Además, el ensayo permite comprobar si hay segregación en el borde del hormigón.

4.1.1.1. Clases de consistencia según (EFNARC , 2005)

Los valores normales para los distintos tipos de escurrimiento y su campo de aplicaciones se describen a continuación:

SF1 (550 – 650 mm). -Es apropiado para:

- Estructuras en masa o poca densidad de armaduras que sean llenadas desde la parte superior con desplazamiento libre desde el punto de entrega (losas de cimentación o pavimentos).
- Hormigones de relleno por bombeo (encofrados de túneles).
- Elementos suficientemente pequeños que no precisen largos flujos horizontales (pilares y algunas cimentaciones profundas).

SF2 (660 – 750 mm). - Adecuado para muchas aplicaciones normales (muros, pilares).

SF3 (760 – 850 mm) Elaborado normalmente con una limitación del tamaño máximo de los áridos (menor de 16 mm) y se utiliza para:

- Aplicaciones verticales en estructuras muy armadas
- Estructuras de formas complejas.
- Rellenados bajo los encofrados.

El SF3 da normalmente un mejor acabado superficial que el SF2 para aplicaciones verticales pero la segregación es más difícil de controlar.

Valores mayores de 850 mm pueden especificarse en algunos casos especiales, tomando más precauciones, considerando la segregación y el tamaño máximo de los áridos será normalmente menor de 12 mm.

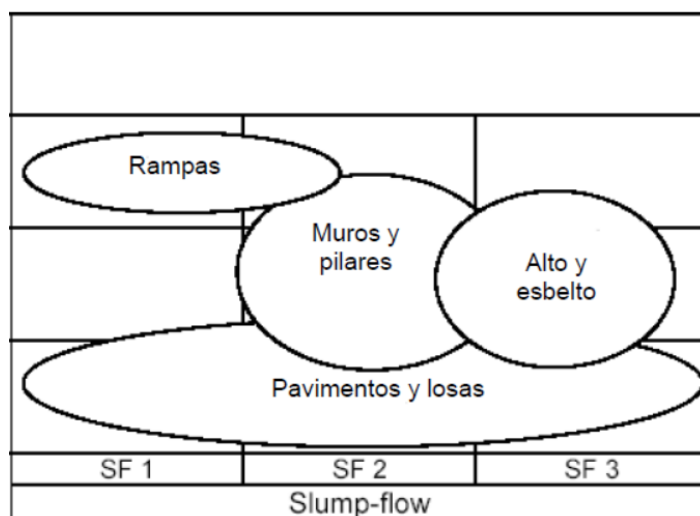


Imagen 19. Esquema de las propiedades del HAC para distintos tipos de aplicación (slump=asentamiento)

Fuente: Especificaciones y Directrices para el hormigón autocompactante 2006

4.1.2. T50cm (2) (ACI 237R, 2007)

El ensayo proporciona una indicación de la viscosidad, la cual está en función de la velocidad de flujo del HAC.

Procedimiento:

- Éste se basa en el ensayo descrito anteriormente (Flujo de asentamiento), pero con ayuda de una persona medir el tiempo que tarda el hormigón en alcanzar un diámetro de 20 pulgadas (500 mm) desde el momento que se levanta el cono. Este diámetro indica la capacidad de llenado.
- * Un tiempo T50 largo indica una mezcla con una viscosidad más alta; lo contrario es cierto para un tiempo T50 más corto.
- * Un tiempo T50 de 2 segundos o menos determina un HAC con una baja viscosidad, y un tiempo T50 de más de 5 segundos generalmente se considera una mezcla de alta viscosidad.

La ejecución de los dos ensayos descritos puede usarse en obra siempre y cuando sea un terreno nivelado y se tenga una placa base que suele ser pesada.

4.1.3. Índice de estabilidad visual (VSI) (ACI 237R, 2007)

Consiste en un examen visual resultante de la ejecución de la prueba de flujo de asentamiento, de la dispersión del HAC procediendo luego de adquirir el promedio de dos diámetros, medidos perpendicularmente entre sí. El ensayo sirve para determinar la estabilidad (resistencia a la segregación) de la mezcla del hormigón autocompactante.

Procedimiento:

Se hace una observación visual de la extensión del concreto en la placa para caracterizar la estabilidad de la mezcla, asignando un número de VSI de 0, 1, 2 o 3 a la dispersión para caracterizar la estabilidad de la mezcla, según la descripción de DACZKO Y KURTZ 2001 como se muestra en la tabla.

CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTABILIDAD VISUAL (VSI) DE LAS MEZCLAS DE SCC (DACZKO Y KURTZ 2001)

	CRITERIO DE VALOR VSI
0 = altamente estable	No hay evidencia de segregación en la propagación del flujo de asentamiento.
1 = estable	No hay mortero de halo o agregado de pilotes en la expansión del flujo de asentamiento.
2 = inestable	Un ligero halo de mortero (<10 mm [3/8 in.]) O pila de agregados, o ambos, en la extensión del flujo de asentamiento.
3 = altamente inestable	Separación clara por evidencia de un halo de mortero grande (> 10 mm [3/8 in.]) O un agregado grande.

*Tabla 3. Clasificación del índice de estabilidad visual
Fuente: ACI 237R 07*

- Una clasificación de VSI de 0 o 1 indica que el HAC es estable y debería ser adecuada para el uso previsto.
- Una clasificación de VSI de 2 o 3 muestra una posibilidad de segregación por tanto el responsable del diseño del hormigón debe tomar medidas modificando o ajustando la mezcla para garantizar la estabilidad.
- Sin embargo, debido a que la clasificación VSI es subjetiva y siendo una excelente herramienta de control de calidad para producir HAC, no debe usarse para la aceptación o el rechazo de un hormigón autocompactante.

4.1.4. Caja en L (ACI 237R, 2007)

El ensayo permite determinar la capacidad de paso del concreto, es decir, la capacidad del hormigón a no obstruirse cuando este atraviesa los refuerzos o espacios estrechos, además muestra la capacidad de llenado y la resistencia a la segregación, Esta prueba es ideal para realizarse en el laboratorio.

Procedimiento:

- i) Colocar la caja en L en una superficie horizontal y cerrar la compuerta.
- ii) Verter el hormigón en el compartimiento vertical sin compactar.
- iii) Dejar en reposo 60 seg. \pm 10 seg.
- iv) Abrir la compuerta para que el hormigón fluya a través de las barras y de la sección del compartimiento horizontal hasta que se estabilice. Medir H1 (al comienzo del canal) y H2 (al final del canal) las mismas que sirven para determinar el coeficiente de bloqueo (CB). (Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante, 2005)

$$CB = \frac{H_2}{H_1}$$

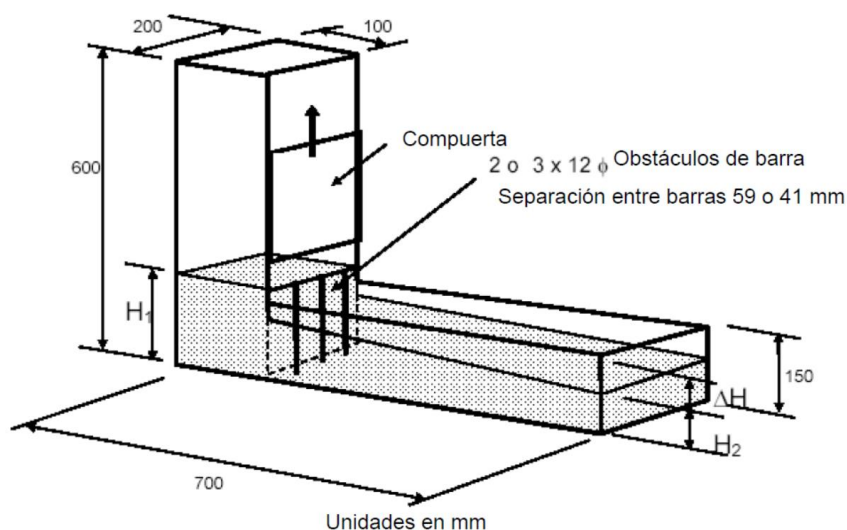


Figura 1. Caja L
Fuente: EFNARC, 2002

4.1.5. Determinación de la temperatura (ASTM C 1064, 2017)

La alta temperatura del hormigón puede generar problemas de retracción, por lo que debe controlarse mediante un dispositivo (termómetro), cual valor debe encontrarse dentro de un rango aceptable más aún si el hormigón se usa en construcciones masivas.

Se debe tomar la temperatura en estado fresco, representando tal valor en ese instante, sin embargo, la temperatura dependerá de la temperatura de sus

componentes y principalmente de la reacción química generada por el calor de hidratación del cemento en contacto con el agua.

El dispositivo de medición debe ser capaz de medir a exactitud de ± 0.5 °C, capacidad de inmersión de 75 mm o más.

Procedimiento:

- i) Colocar el dispositivo de medición de temperatura en el concreto recién mezclado de modo que la porción de detección de temperatura se sumerja un mínimo de 3 pulg. [75 mm].
- ii) Dejar el dispositivo de medición de temperatura en el concreto recién mezclado durante un período mínimo de 2 minutos o hasta que la lectura de temperatura se estabilice, luego lea y registre la temperatura.
- iii) Realizar el ensayo dentro de los 5 minutos de extraer la muestra.
- iv) Registrar la temperatura a la más cercana 1 ° F [0.5 ° C].

4.1.6. Determinación de la densidad (peso unitario) (ASTM C138, 2009)

El hormigón estructural de peso liviano (baja densidad) in situ tiene un peso unitario de 1440 a 1849 kg/m³ mientras que un hormigón de peso normal va de 2240 a 2400 kg/m³. (NRMCA CIP 36, S/N). Un hormigón estructural debe ser superior a 17 MPa.

El método sirve para la determinación de la densidad del concreto recién mezclado y brinda fórmulas para calcular el rendimiento y el contenido de aire del hormigón.

Para el cálculo de la densidad pesamos el recipiente vacío como si se elaborara una probeta de hormigón, es decir, llenamos el cuenco de concreto en tres capas, dando 25 golpes en cada capa con una varilla (varilla estándar para elaborar probetas de hormigón), se enrasa la superficie y se limpia los excesos en los bordes del recipiente y se pesa, la diferencia entre el peso vacío del recipiente y el peso con hormigón en el mismo nos da el peso del hormigón esto se divide para el volumen del cuenco, obteniendo así la densidad del hormigón ensayado.

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Dónde:

- D: densidad $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ o } \frac{\text{lb}}{\text{pie}^3}\right)$
- Mc: masa del recipiente de ensayo + hormigón. (kg o lb)
- Mm: masa del recipiente del ensayo. (kg o lb)
- Vm: volumen del recipiente de ensayo. (m³ o pie³)

4.1.7. Determinación del contenido de aire de hormigón recién mezclado mediante el método de presión (ASTM C231 , 2017)

El ensayo permite determinar el contenido de aire en el concreto recién mezclado, mediante la observación en los cambios de volumen del hormigón producido por el cambio de presión. Es aplicable a hormigones con agregados relativamente densos.

Ventajas:

- Aumenta la resistencia a la segregación principalmente durante el transporte.
- Las burbujas de aire permiten incrementar la trabajabilidad del mismo; por tanto, puede reducir el agua de amasado.
- El hormigón con aire ocluido es más impermeable que un hormigón normal.
- Es más resistente a las bajas temperaturas (heladas).

Desventaja:

El hormigón tiene la desventaja de perder el 3% de su resistencia mecánica por cada 1% de aire introducido. Lo cual puede ser reducido utilizando productos anticoagulantes, generalmente polvos muy finos de aluminio que nos permite reducir a un más la cantidad de agua de amasado.

Aparatos:

Existen disponibles dos métodos básicos para determinar el contenido de aire que emplean la Ley de Boyle, describiéndose como medidor tipo A y tipo B.

4.1.7.1. Medidor tipo A.

Para el presente estudio no se utilizará este método, pero se presenta una breve descripción, el cual consiste en un cuenco de medición y un sistema de tapa de sellado hermético. El principio de funcionamiento de este medidor consiste en introducir agua hasta una altura predeterminada por encima de una muestra de concreto de volumen conocido, y aplicar una presión de aire predeterminada sobre el agua. Se determina la reducción del volumen de aire en la muestra de concreto mediante la observación de la cantidad de nivel de agua que baja bajo la presión aplicada, la última cantidad se calibra en términos de porcentaje de aire en la muestra de concreto. (ASTM C231 , 2017)

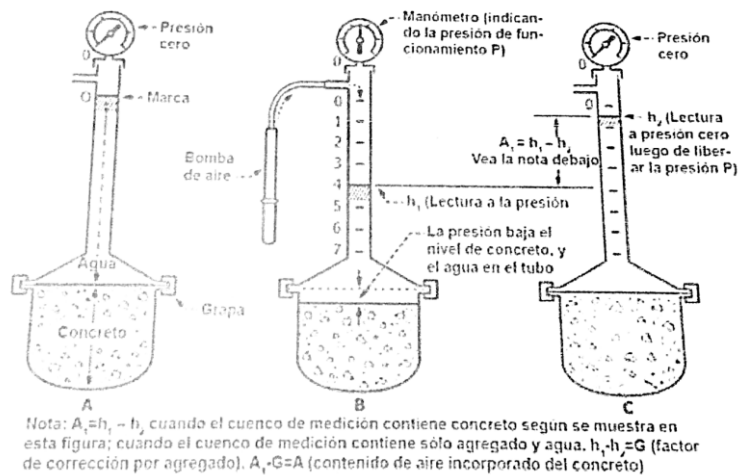


Imagen 20. Medidor de aire tipo A
Fuente: Libro ASTM C31

4.1.7.2. Medidor tipo B

Sirve para la determinación del contenido de aire en el hormigón en estado fresco recién mezclado, mediante la observación en los cambios de volumen del hormigón producidos por el cambio de presión.

Definiciones

* **Contenido de Aire:** Volumen de aire contenido en la masa de hormigón, sin incluir los espacios internos de las partículas de agregado, se expresa como el porcentaje del volumen total del hormigón.

* **Corrección por Agregado:** Contenido de Aire en exceso que será restado del Contenido de Aire de la Mezcla de Hormigón en estado fresco, generado por el ingreso de agua por presión en los vacíos de las partículas de agregado durante el ensayo. Se realizará una corrección por agregado si el concreto contiene partículas de agregado grueso que podrían ser retenidas en un tamiz de 37.5 mm (1½ pulgadas). (ASTM C231 , 2017)

Especificaciones técnicas.

- El método no se aplica a hormigones con árido liviano, escoria de horno, o árido poroso.
- El hormigón fresco de otro tipo se puede ensayar mediante el método ASTM C173.
- Es aplicable en hormigones de tamaño nominal no mayor a los 37 mm (1½ pulgadas), por tanto, es aplicable para el hormigón autocompactante.

Para los hormigones autocompactantes, el método de llenado del recipiente se realizará sin compactación alguna.

Equipos del medidor de aire tipo B

Recipiente: Cuenta con un recipiente cilíndrico (técnicamente denominada olla de Washington) y su tapa, provista de un manómetro y válvulas para el correcto funcionamiento de la cámara de aire, alrededor de su diámetro tendrá un empaque que se ajuste al borde del recipiente de ensayo (cuenco de medición). El recipiente de ensayo debe tener una capacidad mínima de 6 lt. Y una relación entre diámetro y altura de 0.75 a 1.25, debe además ser hermético. (ASTM C231 , 2017)

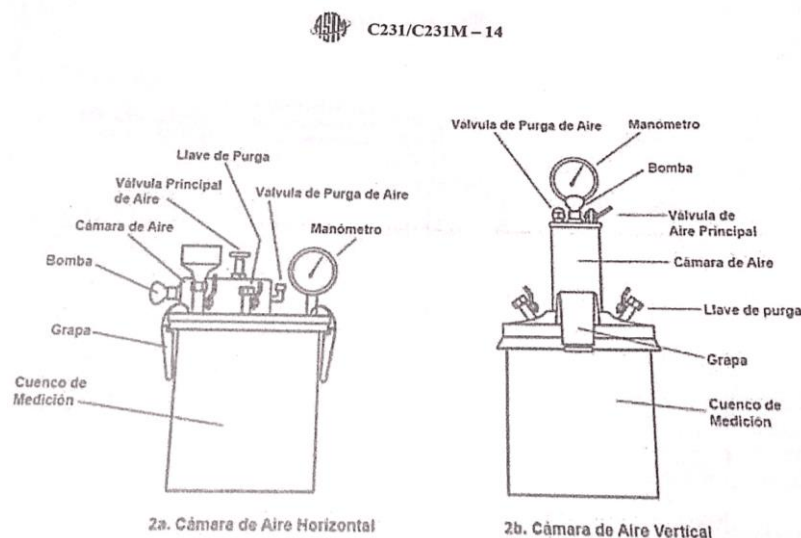


FIG. 2 Diagrama esquemático—Medidor Tipo B

Imagen 21. Partes del medidor de aire tipo B

Fuente: Libro ASTM C231

Manómetro: El manómetro debe tener una capacidad de mínimo 8% y una precisión de 0.1 %. La tapa debe contar además con una válvula principal llaves de purga de agua, una manija para bombear, una válvula principal de aire Y cuatro grapas distribuidas a los costados. (ASTM C231 , 2017)



Imagen 22. Manómetro

Fuente: Autor

Reporte y precisión del ensayo:

$$A_s = A_1 - G$$

Dónde:

- A_s : Contenido de Aire del Hormigón Ensayado. (%)
- A_1 : Contenido de Aire Aparente del Hormigón Ensayado. (%)
- G : Factor de Corrección por Agregado. (%)

El resultado del contenido de aire se reporta en porcentaje, con una precisión del 0.1% más cercano, o a la mayor proximidad a lo que marca la aguja del manómetro.

4.2. Elaboración y curado de probetas de hormigón. (ASTM C31, 2009)

Se describe a continuación los procedimientos para la elaboración (Directrices europeas para el hormigón autocompactante, 2006, pg. 30) y el curado especímenes cilíndricos de hormigón fresco (ASTM C31) para un proyecto de construcción.

Definiciones:

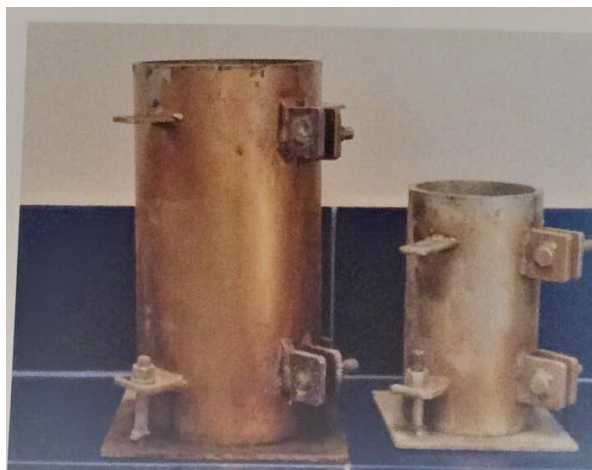
Curado del Hormigón: Proceso mediante el cual se preserva la humedad interna del hormigón de modo que los geles logren cristalizarse en el avance de la edad del conglomerado, estando en determinadas condiciones de humedad y temperatura.

Fraguado: Proceso de endurecimiento del hormigón debido a las reacciones químicas de la pasta, donde es evidente el desarrollo de resistencias.

Resistencia: Especificada: Se denomina resistencia característica (f'_c a los 28 días), al promedio de tres ensayos de una misma muestra que debe igualar o superar el valor determinado en MPa.

Equipos:

Moldes Cilíndricos: Las probetas (moldes) cilíndricas estándar para el uso en este ensayo, deben cumplir con los requisitos de la norma (ASTM C470, 2015), pueden ser de 150 x 300 mm o a su vez de 100 x 200 mm, especificando diámetro y altura respectivamente en las dimensiones mostradas, fabricados de acero, hierro fundido u otro material resistente a la pasta de cemento y al impacto.



*Imagen 23. Probetas cilíndricas
Fuente: Libro INECYC*

4.2.1. Especificaciones técnicas

Siendo elaboradas de acuerdo a las especificaciones antes mencionadas, entonces, los datos obtenidos del ensayo de resistencia pueden ser utilizados con los siguientes propósitos:

- Aprobación de los resultados de resistencia especificada.
- Control de la adecuada dosificación de la mezcla para obtener una determinada resistencia.

En el caso de los moldes de 150 x 300 mm y 100 x 200 mm, se usa siempre y cuando el tamaño nominal del agregado no exceda de 1/3 del diámetro de la probeta cilíndrica. Para el caso de estudio se utilizará moldes de 100mm de diámetro x 200 mm de altura.

4.2.2. Procedimiento para la elaboración de probetas cilíndricas

El procedimiento de fabricación de especímenes, es diferente el del HAC con un hormigón convencional, siendo así:

- Primeramente, los moldes deben ser cubiertos con algún tipo de desencofrante.
- Tomar una muestra representativa de HAC para elaborar probetas cilíndricas.
- El molde de la probeta debe ser rellenado en una sola capa y sin compactación.

4.2.3. Curado del hormigón

De acuerdo a la norma (ASTM C31, 2009) se llevará a cabo el proceso de curado de las probetas de hormigón autocompactante ya que es el mismo procedimiento para un hormigón convencional, por lo tanto:

- Al culminar la fabricación de la probeta, este inmediatamente deberá colocarse en el lugar final de almacenamiento, seguidamente se procede a nivelar, enrazar y enmarcar cada probeta.
- Existen dos procesos de curado, el inicial se lo realiza en el tiempo que el espécimen permanece en el molde cilíndrico por un periodo no mayor a las 48 horas, y el final es la colocación del espécimen en una cámara de curado o piscina de curado por un periodo de tiempo hasta ensayarlos a compresión, generalmente 28 días.
- El curado inicial para especímenes de resistencias especificadas menores a 40 MPa, debe realizárselo en temperaturas de 16 °C a 27 °C (60 °F a 80 °F). Mientras que, para especímenes con resistencias especificadas de 40 MPa o mayores, el curado inicial se lo realizará en temperaturas de 20 °C a 26 °C (68 °F a 78 °F).
- Las probetas que vayan a ser transportados después de moldeo y antes de transcurridas 48 horas, deben permanecer en su molde a humedad ambiental hasta que sean recibidos en el laboratorio para el desmolde y curado final.
- Los especímenes que no vayan a ser transportados dentro de las 48 horas, deben ser desmoldados entre las primeras 24 ±8 horas de su fabricación y proceder el curado final.
- El transporte de los especímenes no podrá extenderse más allá de las 4 horas, y no podrán ser transportados en un tiempo menor a 8 horas luego de haberlos elaborado.

4.3. ENSAYO A COMPRESIÓN SIMPLE (ASTM C109, 2002)

Los especímenes se encuentran en estado sólido y se procede luego que los especímenes han alcanzado el periodo final de curado. Este ensayo es similar tanto para hormigones autocompactantes como también para hormigones convencionales.

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se usan para determinar que el hormigón diseñado cumpla la resistencia especificada, f'_c , tales resultados se pueden utilizar además para fines de control de calidad, con los siguientes propósitos:

- Establecer si una estructura está en capacidad de ponerse en servicio.
- Comparación de los resultados obtenidos de las probetas curadas.
- Determinación de un adecuado curado y protección del hormigón en la estructura.

Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayos a la misma edad. Generalmente, los requerimientos de resistencia para el hormigón se realizan a la edad de 28 días.

Equipos:

Almohadillas de neopreno. - Pueden usarse para medir las resistencias del concreto entre 10 a 50 MPa. Las almohadillas se deben sustituir si presentan desgaste excesivo.

Máquina de prueba. – Ya sea hidráulica o de tornillo, con suficiente abertura entre la superficie superior del cojinete y la superficie inferior del cojinete de la máquina para permitir el uso del aparato verificador.

Procedimiento:

- Sacar de las piscinas de curado los especímenes a ensayar, sin embargo, no se debe permitir que los cilindros se sequen antes de la prueba.
- Las probetas de hormigón se ensayarán a compresión dentro de la tolerancia permisible de tiempo prescrita de la siguiente manera de acuerdo a la norma ASTM C19.

Edad de ensayo	Tolerancia permisible
24 horas	± ½ h
3 días	± 1 h
7 días	± 3 h
28 días	± 12 h

*Tabla 4 Tolerancia de tiempo para el ensayo a compresión
Fuente: ASTM C19*

- Un ensayo de rotura a los 3 o 7 puede ayudar a detectar problemas relacionados con la calidad del hormigón, no obstante, no establece el criterio para rechazar el concreto.
- Limpiar cada muestra a una condición de superficie seca, eliminando cualquier grano de arena suelta o incrustaciones de las caras que estarán en contacto con los cojinetes de la máquina de prueba.
- Medir el diámetro del cilindro en dos sitios en ángulos rectos entre sí, y deben promediarse para calcular el área de la sección. Si los dos diámetros medidos difieren en más de 2%, no se debe someter a prueba el cilindro.
- Los extremos de las probetas no deben presentar desviación con respecto a la perpendicularidad del eje del cilindro en más 0.5%.
- Verificar que los extremos de cada espécimen de hormigón se encuentren planos, en caso de existir alguna curvatura apreciable, aplanar la cara o las caras en superficies planas o descarta la muestra.
- Colocar cada muestra con los cojinetes entre las mordazas de la máquina de ensayo lo más centrado posible.
- Se procede a dar carga hasta la ruptura del espécimen.

Cálculo

Registrar la carga máxima total indicada por la máquina de prueba y calcule la resistencia a la compresión de la siguiente manera:

$$f_c = \frac{P}{A}$$

Dónde:

- $f'c$: resistencia a la compresión (psi o MPa)
- P: carga máxima total (lbf o N)
- A: área de superficie de la probeta de hormigón (mm^2 o cm^2)

La resistencia a la compresión de todos los especímenes de prueba aceptables fabricados a partir de la misma muestra y analizados en el mismo período se promediarán y se informarán a 0.1 MPa cercanos.

Capítulo IV: Diseño de los hormigones autocompactantes (HAC)

5.1. Diseño y dosificación de mezcla para hormigones autocompactantes (ACI 237 R-07)

Existen varios métodos de diseño para los HAC, pero ninguno está normalizado, sin embargo, la (EFNARC, 2002) y (ACI 237R, 2007) en los cuales se basa el presente estudio, describen los parámetros similares que deben cumplirse para obtener un hormigón autocompactante con las características físicas que se requiera, para luego validarlas con pruebas en el laboratorio. Además, según la forma de diseño de hormigones del área de calidad de la planta hormigonera, se elaborará una hoja en Excel la misma que permitirá reajustar la dosificación para los hormigones autocompactantes.

Se diseñará en el presente estudio hormigones autocompactantes con resistencias de diseño de 210, 240 y de 300 kg/cm² con materiales propios del Azuay descritos inicialmente. Procediendo a la dosificación, según la norma propuesta por (ACI 237R, 2007), parte de un criterio inicial, donde se define el comportamiento del escurrimiento deseado, seguidamente se ajustan las proporciones de los materiales siguiendo las recomendaciones de las tablas.

Escurrecimiento (mm)	< 550	550 – 600	> 650
Contenido en finos (Kg)	355 – 385	385 – 445	>458

Tabla 5: Sugerencia del ACI para el contenido en finos
Fuente: (ACI 237R, 2007)

Parámetro	Recomendación
% Grava (< 12 mm)	28 – 32
% Pasta	34 - 40
% Mortero	68 - 72
Agua / material cementante	0,32 – 0,45
Contenido en cemento	386 - 475

Tabla 6: Valores recomendados para dosificar un HAC
Fuente: (ACI 237R, 2007)

Se elaboran pruebas de hormigón y se realizan los ensayos de Escurrecimiento y Caja L. A partir de los resultados de las pruebas realizadas, se ajustan las proporciones de los materiales hasta que el hormigón cumpla las propiedades de autocompactabilidad inicialmente definidas.

Componente	Rango típico por masa (kg/m ³)	Rango típico por volumen (litros/m ³)
Finos	380 – 600	
Pasta		300 – 380
Agua	150 – 210	150 – 210
Áridos gruesos	750 – 1000	270 – 360
Áridos finos (arenas)	El volumen de otros constituyentes es usualmente un 45 – 55% del peso total de los áridos en dosificaciones equilibradas.	
Relación agua / finos por volumen		0,85 – 1,10

Tabla 7. Dosificaciones típicas de materiales del HAC
Fuente: (EFNARC , 2005)

Nomenclatura utilizada en hojas de Excel.

HAC: hormigón autocompactante; GPHE: Cemento Guapán HE: V: grava 3/8 de la mina Vipesa; S: arena de Santa Isabel; 21, 24, 30: Resistencias en MPA; MF: módulo de finura.

Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:	<u>HAC-21-GPHE-V9.5-S</u>
--	----------------------------------

I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO

Material	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto					
	Peso Específico (kg/m ³)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m ³)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	Peso Seco (kg)	
Cemento Tipo HE	2920							300	0,1027	300	8,40	300	
Agua	1000							204	0,2040	208	5,81	262,90	
Arena Sánchez	100,00%	2400	4,8	2,73	1439	1541	5,06	3,47	879	0,3664	882	24,69	837,19
Piedra 3/8" VIPESA	100,00%	2651	2,1	6	1371	1478,8	1,35	1,10	795	0,2998	789	22,09	778,07
ViscoCrete 4100	1,20%	1080							3,60	0,0033	3,60	0,1008	3,60
SikaFume	10,00%	2580							30,00	0,0116	30,00	0,8400	30,00
ViscoFlow 55EQ	0,80%	1150							2,40	0,0021	2,40	0,0672	2,40

II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:

Material cementante (kg)	300
Relacion a/c	0,68
Relacion de finos rf (%)	0,55
Contenido de finos (kg/m ³)	1167,19
Cantidad de agua en seco (kg o lt)	262,90
Áridos gruesos (%)	778,07
Áridos finos	0,23

III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA (ACI 237R)

ENSAYO	RESULTADOS	
Flujo de asentamiento (mm)	Ecurr. 1	65,00
	Ecurr. Perp.	64
Tiempo T50 (sg)	14,00	
VSI (Índice de estabilidad visual)	No presenta segregacion	
Caja L	T (sg)	
	H1 (mm)	14,50
	H2 (mm)	11,50
	Índice de Bloqueo (IB)	
	0,79	

IV. OTROS ENSAYOS

Temp. Hormigon (°C)	22,5
Densidad (kg/m ³)	2228
Contenido de aire (%)	2

Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:

HAC-24-GPHE-V9.5-S

I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO

Material	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto				
	Peso Específico (kg/m ³)	Absorción (%)	MF	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	Humedad (%)	Mailla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m ³)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	Peso Seco (kg)
Cemento Tipo HE	2920							300	0,1027	300	8,40	300
Agua	1000							192	0,1920	196	5,48	251,56
Arena Sánchez	100,00%	4,8	2,73	1439	1541	5,06	3,47	879	0,3662	881	24,67	836,77
Piedra 3/8" VIPESA	100,00%	2,1	6	1371	1478,8	1,35	1,10	827	0,3120	821	22,98	809,68
ViscoCrete 4100	1,20%							3,60	0,0033	3,60	0,1008	3,60
SikaFume	10,00%							30,00	0,0116	30,00	0,8400	30,00
ViscoFlow 55EQ	0,80%							2,40	0,0021	2,40	0,0672	2,40

II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:

Material cementante (kg)	300
Relacion a/c	0,64
Relacion de finos rf (%)	0,54
Contenido de finos (kg/m ³)	1166,77
Cantidad de agua en seco (kg o lt)	251,56
Áridos gruesos (%)	809,68
Áridos finos	0,22

III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA (ACI 237R)

ENSAYO	RESULTADOS	
Flujo de asentamiento (mm)	Ecurr. 1	65,00
	Ecurr. Perp.	66
T50 (sg)	13,00	
VSI (Índice de estabilidad visual)	No presenta segregacion	
Caja L	T (sg)	
	H1 (mm)	14,30
	H2 (mm)	11,90
	Índice de Bloqueo (IB)	
	0,83	

IV. OTROS ENSAYOS

Temp. Hormigon (°C)	23
Densidad (kg/m ³)	2250
Contenido de aire (%)	2,5

Nomenclatura del Diseño de Mezcla de Concreto Premezclado:

HAC-30-GPHE-V9.5-S

I. PROPIEDADES FÍSICAS Y FORMULACIÓN DEL DISEÑO

Material	Propiedades Físicas del Agregado, Cemento y Aditivo							Formulación del Concreto					
	Peso Especifico (kg/m ³)	Absorción (%)	IMF	Peso Unitario Suelto (kg/m ³)	Peso Unitario Compactado (kg/m ³)	Humedad (%)	Malla > 200	Peso sss (kg)	Volumen absoluto (m ³)	Peso corregido por humedad (kg)	Peso de la tanda (kg)	Peso Seco (kg)	
Cemento Tipo HE	2920							320	0,1096	320	8,96	320	
Agua	1000							198	0,1984	202	5,67	256,30	
Arena Sánchez	100,00%	2400	4,8	2,73	1439	1541	5,06	3,47	844	0,3518	847	23,70	803,86
Piedra 3/8" VIPESA	100,00%	2651	2,1	6	1371	1478,8	1,35	1,10	827	0,3120	821	22,99	809,74
ViscoCrete 4100	1,20%	1080							3,84	0,0036	3,84	0,1075	3,84
SikaFume	10,00%	2580							32,00	0,0124	32,00	0,8960	32,00
ViscoFlow 55EQ	0,80%	1150							2,56	0,0022	2,56	0,0717	2,56

II. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO:

Material cementante (kg)	320
Relacion a/c	0,62
Relacion de finos rf (%)	0,53
Contenido de finos (kg/m ³)	1155,86
Cantidad de agua en seco (kg o lt)	256,30
Áridos gruesos (%)	809,74
Áridos finos	0,22

III. VERIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA (ACI 237R)

ENSAYO	RESULTADOS		
Flujo de asentamiento (mm)	Escurr. 1	66,00	65,0
	Escurr. Perp.	64	
T50 (sg)			12,00
VSI (Índice de estabilidad visual)	No presenta segregacion		1
Caja L	T (sg)		11,00
	H1 (mm)	14,20	
	H2 (mm)	11,80	
	Índice de Bloqueo (IB)		0,93

IV. OTROS ENSAYOS

Temp. Hormigon (°C)	21,5
Densidad (kg/m ³)	2274
Contenido de aire (%)	1,5

5.2. Resultados de ensayos a compresión de las probetas de hormigón

Se ensayó las probetas a los 3, 7 y 28 días, de cada diseño se confeccionó 7 probetas, ensayándose dos a los 3 días, dos a los 7 días y 3 a los 28 días. Dando los siguientes resultados.

Cilindro N°	Nomenclatura de Hormigón	Fecha vaciado	Fecha Ensayo	Edad (días)	Masa (g)	Diametro (cm)	Altura (cm)	Área (cm²)	Carga (KN)	Resistencia individual (kg/cm²)	Resistencia promedio (MPa)	Porcentaje de resistencia (%)
1	HAC-21-GPHE-V9.5-S	09-ene-18	12-ene-18	3	3345	10,00	20,7	78,54	8612,15	109,7	11,05	52,60
2		09-ene-18	12-ene-18	3	3380	10,30	20,6	83,32	8579,61	103,0		
3		09-ene-18	16-ene-18	7	3350	10,00	20,4	78,54	12650,40	161,1	16,10	76,66
4		09-ene-18	16-ene-18	7	3355	10,20	20,2	81,71	12990,16	159,0		
5		09-ene-18	06-feb-18	28	3378	10,20	20,5	81,71	26828,41	328,3	36,36	173,16
6		09-ene-18	06-feb-18	28	3348	10,10	20,6	80,12	26708,35	333,4		
7		09-ene-18	06-feb-18	28	3385	10,10	20,8	80,12	26583,11	331,8		
8	HAC-24-GPHE-V9.5-S	09-ene-18	16-ene-18	3	3358	10,30	20,6	83,32	9138,04	109,7	10,96	45,67
9		09-ene-18	16-ene-18	3	3397	10,20	20,2	81,71	91678,56	1122,0		
10		09-ene-18	16-ene-18	7	3365	10,10	20,6	80,12	132061,37	1648,3	17,54	73,07
11		09-ene-18	16-ene-18	7	3380	9,90	20,1	76,98	13000,46	168,9		
12		09-ene-18	06-feb-18	28	3398	10,30	20,6	83,32	28470,02	341,7	34,15	142,30
13		09-ene-18	06-feb-18	28	3367	10,00	20,4	78,54	28261,36	359,8		
14		09-ene-18	06-feb-18	28	3401	10,10	20,1	80,12	29168,26	364,1		
15	HAC-30-GPHE-V9.5-S	10-ene-18	13-ene-18	3	3420	10,00	20,6	78,54	13197,06	168,0	16,79	55,98
16		10-ene-18	13-ene-18	3	3428	10,10	20,1	80,12	12901,85	161,0		
17		10-ene-18	17-ene-18	7	3450	10,20	20,2	81,71	21067,00	257,8	25,77	85,90
18		10-ene-18	17-ene-18	7	3425	10,10	20,6	80,12	20891,45	260,8		
19		10-ene-18	07-feb-18	28	3436	10,30	20,6	83,32	36964,13	443,6	44,34	147,80
20		10-ene-18	07-feb-18	28	3449	10,00	20,4	78,54	36524,16	465,0		
21		10-ene-18	07-feb-18	28	3461	10,10	20,1	80,12	36227,16	452,2		

Tabla 8. Resumen de resistencias de los hormigones autocompactantes
Fuente: Autor

5.3. Fabricación de un muro esbelto

Los campos de aplicación de hormigones autocompactantes son amplios, de los cuales se ha seleccionado un muro esbelto para su aplicación. Para ello se fabricó tres encofrados con dimensiones de 150 x 50 x 15 cm; se elaboró además estructura de refuerzo que quepan dentro de los encofrados descritos con espaciamientos entre estribos de 2.5 cm en los extremos a una longitud de 25 cm y en la mitad a una separación de 10 cm. Asimismo, en un lado de los encofrados contiene vidrio, esto con el objetivo de ir analizando el comportamiento del hormigón colocado además no se hormigonó todo el muro para verificar la existencia de la estructura de refuerzo.

Los tres muros se han elaborado para verificar la autenticidad del HAC, hormigón convencional vibrado y el hormigón convencional sin utilizar el vibrado.

5.3.1. Consideraciones de diseño de muros dúctiles (ACI 318, 2008)

Muros esbeltos: estos se comportan como una viga en voladizo como se muestra en la figura.

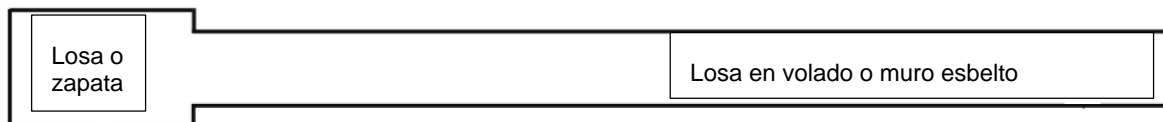


Imagen 24. Muro esbelto se considera como una viga en volado
Fuente: Autor

Viga en voladizo

Condiciones para que cumpla como un muro esbelto:

- Se producen momentos grandes en la base del muro (formación de rótula plástica)
H_{min}=1.5L_w Longitud probable de rótulas plásticas
- Se producen fuerzas cortantes significativas (transversales)
- Debe cumplir sobre todo la expresión:

$$\frac{h_w}{L_w} \geq 2$$

Dónde:

- h_w: altura total del muro (150 cm)
- L_w: longitud del muro (50 cm)

Por tanto, según las dimensiones de los muros a elaborar se tiene: $\frac{150}{50} \geq 3$ por lo tanto el valor 3 indica que cumple como un muro esbelto.

Encofrados y armaduras de refuerzos



*Imagen 25. Encofrados
Fuente: Autor*



*Imagen 26. Encofrados con armadura de
refuerzo
Fuente: Autor*



*Imagen 27. Separación del refuerzo en los
extremos de la armadura de refuerzo
Fuente: Autor*



*Imagen 28. Separación del refuerzo en el resto
de la armadura de refuerzo
Fuente: Autor*

5.3.1.1. Muro esbelto con hormigón convencional sin compactar

Se ha seleccionado un hormigón convencional de 240 kg/cm² de vertido directo que usualmente se utilizan para la construcción de muros. Como lo indica en el título de esta sección, este hormigón será vertido dentro del encofrado de dimensiones 150 x 50 x15 cm, sin ningún tipo de compactación, es decir sin utilizar vibrador o golpes a los costados del muro.



*Imagen 29. Muro de hormigón sin compactar
Fuente: Autor*

5.3.1.2. Muro esbelto con hormigón convencional compactado

La mejor manera para obtener durabilidad y resistencias requeridas por los constructores al usar hormigones convencionales, lo ideal es compactar mediante vibradores mecánicos o mediante golpes con martillos de goma a los costados del encofrado mientras se va llenando el mismo. Se utilizará un hormigón convencional de 240 kg/cm² vertido directo.



*Imagen 30. Muro de hormigón compactado
Fuente: Autor*

5.3.1.3. Muro esbelto con hormigón autocompactante

Las dimensiones del encofrado y la estructura de refuerzo a comparación de los anteriores elementos no han variado, sin embargo, el hormigón a utilizar en este punto es un HAC de resistencia 240 kg/cm² que ha cumplido las especificaciones y características del mismo, es decir, el hormigón no requiere de compactación alguna, debido a que se compacta por gravedad o fluye por todo el encofrado por su propio peso.



*Imagen 31. Muro de hormigón autocompactante
Fuente: Autor*

5.4. Análisis de costos

Los costos de hormigón es un tema amplio en el cual influyen muchos factores como son los materiales (cemento arena, grava, aditivos, adiciones), distancia de la obra, tipo de vertido (directo o usando una bomba).

Se averiguó los precios de los hormigones convencionales que varían sus costos en función de tipo de vaciado y con el uso de cemento tipo III (HE-Guapán). Se indican los valores de precios reales al mes de febrero 2018 considerando los costos de colocación, de acuerdo a esto se presenta los análisis de precios de un hormigón autocompactante como de un hormigón convencional. En el anexo 7.5 se describe el desglose del análisis de precios incluido el IVA. Mientras que en la siguiente tabla presenta un resumen de los costos de los hormigones.

PRECIOS DE PRODUCCIÓN DE HORMIGON CONVENCIONAL/AUTOCOMPACTANTE		
Resistencia de hormigón	Tipo de vertido	Precio/m ³
		P
Hormigón convencional 210 con cemento HE	Directo	\$95,00
Hormigón convencional 240 con cemento HE	Directo	\$97,00
Hormigón convencional 300 con cemento HE	Directo	\$105,00
HAC-21-GPHE-V9.5-S	Directo	\$175,67
HAC-21-GPHE-V9.5-S	Directo	\$180,94
HAC-21-GPHE-V9.5-S	Directo	\$190,91

PRECIOS DE HORMIGON CONVENCIONAL/AUTOCOMPACTANTE COLOCADO EN OBRA		
Resistencia de hormigón	Tipo de vertido	Precio/m ³
		S=P+N+O
Hormigón convencional 210 con cemento HE	Directo	\$121,54
Hormigón convencional 240 con cemento HE	Directo	\$123,54
Hormigón convencional 300 con cemento HE	Directo	\$131,54
HAC-21-GPHE-V9.5-S	Directo	\$204,94
HAC-21-GPHE-V9.5-S	Directo	\$210,22
HAC-21-GPHE-V9.5-S	Directo	\$220,18

CAPÍTULO VI: Conclusiones y Bibliografía

6.1. Conclusiones

- La temperatura del cemento influye en el hormigón recién mezclado, en el proceso de fraguado, teniendo temperaturas de 40°C-60°C, con temperaturas altas acelera el proceso de fraguado y genera fisuras en la estructura por pérdida acelerada de agua. Sin embargo, no siempre que exista temperaturas altas del cemento existirá problemas, debido que en el proceso de mezcla con los demás materiales esta temperatura desciende, permitiendo continuar con el fraguado normal del hormigón. Cuando se construya estructuras con hormigón, es indispensable verificar continuamente la temperatura del concreto.
- El cemento tipo III (HE Guapán) cumple con los requisitos de fabricación según las normas establecidas. No obstante, las cantidades a usar en la producción de hormigones autocompactantes en relación a sus resistencias son notablemente exitosas y lo principal se pueden reducir estas cantidades, pero utilizando aditivos altamente reductores de agua conjuntamente con adiciones de microsílíce, que al final incrementan costos de fabricación.
- Se logró diseñar hormigones autocompactantes para las resistencias especificadas, que, al evaluar los resultados de los ensayos a compresión a los 3, 7 y 28 días, fueron altos, esto se debe primeramente a que los hormigones autocompactantes se caracterizan como hormigones especiales por utilizar grandes contenidos de cemento, pero al usar un cemento HE permitió obtener resultados favorables utilizando cantidades menores a las que recomiendan el ACI o EFNARC debido a que este tipo de cemento posee la ventaja de brindar resistencias altas a edades tempranas.
- Se utilizó cantidades de cemento tipo HE menores a 290 kg/m³, con resultados desfavorables, realizando los ensayos para caracterizar un hormigón autocompactante se observó que presentaba segregación. Además, se tuvo que incrementar la cantidad de agua de amasado debido a que presenta bajo contenido de cemento, pero alto contenido de arena, por ende, este diseño se rechazó.
- Se utilizó cantidades de cemento menores a 350kg/m³, pero con inclusiones de Microsílíce.
- Al principio se utilizaron áridos de varios sectores de la Provincia del Azuay, resultando con características excelentes en cuanto a su granulometría, absorción, peso específico, densidad, no así su contenido de finos, lo cual demandó cantidades muy altas de agua, arena, y cemento.
- Resultan óptimos toda clase de árido siempre y cuando se escoja un tipo de árido con granulometría no variable en exceso. Permitiendo a las partículas más pequeñas rellenar espacios más reducidos. Es necesario realizar ensayos de caracterización de los áridos para poder fabricar un hormigón, lo cual permite tener ideas sobre la calidad de hormigón que vamos a producir.

- Es necesario elaborar ensayos a los áridos para determinar sus características debido a que, de estas depende la dosificación de áridos. Sin embargo, los áridos utilizados en el presente trabajo son de buena calidad, cumplen con las normas de ensayos previos para la fabricación de hormigones, como muestran los resultados conseguidos.
- El agregado grueso de la mina VIPESA y el agregado fino de Santa Isabel cumplen con los parámetros establecidos en la norma INEN, los mismos que pueden ser utilizados para la fabricación de hormigones autocompactantes.
- Se utilizaron diferentes áridos de la zona del Azuay de los cuales la grava 3/8" de Santa Isabel no cumplió con la granulometría requerida para el diseño de hormigones autocompactantes, debido a su que su granulometría presenta una tendencia de material fino.
- Sin embargo, al usar la grava 3/8" procedente de la Mina Vipesa, se obtuvo mejores resultados, teniendo una granulometría adecuada para la confección de hormigones autocompactantes.
- Los aditivos son esenciales cuando se requiera modificar las características del hormigón en estado fresco u endurecido.
- Los aditivos reductores de agua además de su propio objetivo, permiten reducir las cantidades de cemento que es lo esencial en la producción de hormigón a gran escala, siempre y cuando se tenga un control en las resistencias a compresión.
- Cuando se requiera un hormigón autocompactante es indispensable contar con aditivos superplastificantes/hiperplastificantes para lograr obtener bajas relaciones de agua/cemento. No obstante, el costo de los aditivos utilizados en el presente trabajo es relativamente alto, lo cual dependerá ya del consumidor optar por la solución que mejor le convenga.
- La adición de microsílíce es indispensable para la elaboración de los hormigones autocompactantes descritos en este trabajo, lo cual permite que el hormigón no tienda a segregarse. Asimismo, su costo es un factor a analizar cuando se tenga limitaciones con los presupuestos.
- Se realizó pruebas de hormigones autocompactantes adicionando material puzolánico con la finalidad de incrementar la cohesión y disminuir costos, los resultados fueron insatisfactorios debido a no cumple con los ensayos necesarios de un HAC, presenta segregación, genera alto contenido de aire (de 7 a 12%), además al realizar probetas cilíndricas, no permite un allanado conforme se necesite porque existen partículas de puzolana en suspensión. En cuanto a su resistencia a compresión, no se ve afectada.
- Las altas dosificaciones del aditivo provocan inestabilidad en la mezcla como: incrementar el porcentaje de segregación y exudación; acelerar/disminuir el tiempo de fraguado, reduce la resistencia del hormigón, siendo como límite máximo de usó el 2 % de la cantidad de cemento, no obstante, al momento

de realizar el mezclado en la concretera se dejó un tiempo de amasado de 10 a 15 minutos debido a que ambos aditivos son derivados de policarboxilatos, por recomendación de la casa de aditivos.

- Luego de obtener las dosificaciones del cemento, agua y aditivo se puede calcular el volumen de la pasta presente en la mezcla de concreto para 1 m³ de mezcla, el volumen restante será ocupado por los agregados. La dosificación de los agregados se puede calcular en función del volumen total que ocuparán y de la relación arena piedra.
- En las primeras mezclas se usó cantidades de cemento superiores a los 400 kilos de cemento por m³, las mezclas tenían una cantidad de finos adecuadas donde la trabajabilidad se mantuvo y de igual manera las resistencias a la compresión en probetas cilíndricas tuvieron resultados con un porcentaje más alto que las resistencias de diseño, con lo que se puede concluir que se puede optimizar la cantidad de cemento.
- Los diseños de hormigones autocompactantes se fueron reajustando de acuerdo a los ensayos que especifica la norma ACI 237R hasta conseguir las características necesarias que tienen los hormigones autocompactantes.
- Se realizó algunas pruebas de HAC, de los cuales las primeras no fueron óptimas al evaluar de acuerdo a los ensayos estandarizados como en el ensayo de escurrimiento no se obtuvo una extensión del flujo adecuada y presentó segregación, asimismo en el ensayo de caja en L no cumplía el índice de bloqueo o coeficiente de bloqueo dando resultados con $IB < 8$.
- Para validar cada diseño de hormigón autocompactante se aplicaron los ensayos al hormigón en estado fresco dado por el ACI 237R y en estado endurecido por la norma ASTM C109, a su vez cumplieron con las especificaciones que describe cada diseño utilizado en el presente trabajo.
- Para la fabricación del muro esbelto se mandó a construir un encofrado de medidas (150x50x15) cm. El material del encofrado fue trupan con una cara de vidrio, en este se introdujo la armadura de refuerzo (armadura de hierro) la cual se aseguró con alambres de amarre.
- Se diseñó 3 encofrados en los cuales se vertió hormigón de 240 kg/cm² de vertido directo, en el 1º se vertió un hormigón convencional de resistencia 240 kg/cm², pero sin compactación, es decir no se aplicó ningún tipo de vibrado. En el 2º se vertió un hormigón de 240 kg/cm² de vertido directo, pero se aplicó el proceso de compactación mediante un vibrador eléctrico, y en el 3º se vertió el hormigón autocompactante sin aplicar ningún tipo de compactación.
- Del primer encofrado el hormigón convencional 240 kg/cm² vertido directo sin compactación se observa que el hormigón no llena todos los espacios debido a que no existe ningún tipo de compactación, se crea grietas (espacios vacíos sin hormigón), no se adhiere el hormigón a la estructura de refuerzo. Por lo tanto, si aplicáramos el hormigón sin compactar en una estructura,

afectaría su durabilidad de herencia por lo cual no es óptimo para la construcción. El asentamiento para este encofrado fue 15 cm según el cono de Abrams.

- En el segundo muro, el hormigón fue compactado mediante un equipo de vibración mecánica, de este se observa que el hormigón se adhiere a la estructura de refuerzo, logrando obtener un elemento denso que ha futuro ofrece gran durabilidad. Sin embargo, hay que realizar una vibración adecuada para que no queden espacios vacíos. El asentamiento para este muro fue 16 cm.
- En el tercer encofrado se vierte un hormigón autocompactante de 240kg/cm² este cumple con las especificaciones como un hormigón autocompactante mediante los ensayos que se utilizaron en este caso el flujo de asentamiento, T50, caja en L. Se observa que este hormigón cumple con el propósito o el objetivo de un hormigón autocompactante que es rellenar todos los espacios del encofrado, adherirse a la armadura de refuerzos sin ningún tipo de compactación mecánica adicional, y no presenta segregación alguna, esto se visualiza en las fotos de los anexos. La extensión del flujo para este muro fue 65cm
- Para el diseño de hormigones realizados la cantidad de cemento no se ajustó a las especificaciones presentadas por el ACI como EFNARC, sin embargo, estas cumplen su resistencia a los 28 días.
- La cantidad de finos en el hormigón autocompactante es indispensable mientras mayor sea el contenido de finos mayor es su cohesión, pero así mismo demanda altas cantidades de agua, además, no se tuvo problemas con el tipo de cemento HE en cuanto a su resistencia a los 28 días.
- Los porcentajes de aditivo utilizados en cuanto a Sika ViscoFlow cumplen dentro de la dosificación recomendado, sin embargo, en cuanto a Sika ViscoCrete se utiliza dosis mayores por lo que se incluye además dosis de Microsílice.
- El agua para el diseño de mezclas se utilizó el agua potable y visualmente no conteniente materia orgánica.
- La humedad de los áridos se determinó de cada uno previo al diseño de hormigones debido a que de ellos depende la cantidad corregida de agua y a su vez el agua de mezcla.
- Para obtener un flujo de asentamiento requerido no existe procedimientos estandarizados, sin embargo, el trabajo se realizó en base a las especificaciones o recomendaciones que da el EFNARC o similarmente la ACI, las cuales presentan/cantidades de grava, finos, cemento, agua que podrían utilizarse para confeccionar hormigones autocompactantes.
- Al usar las recomendaciones que presenta la ACI; porcentajes de grava, pasta, cemento, la relación agua cemento, contenido de finos, no fue el

adecuado cuando se quiere reducir el costo de hormigón, ya que al usar el cemento tipo HE y ensayando a los 28 días de edad mostraron resistencias muy altas por tal motivo se optó reducir al máximo la cantidad de cemento lo cual reduciría su resistencia a la necesaria, a la par de reducir costos también.

- Sin embargo, se utilizaron cantidades de cemento desde 290 kg/m³ para hormigón de 210 kg/cm², 300 kg/m³ para 240 kg/cm² y 320 kg/m³ para uno de 300 kg/cm².
- Al usar cantidades de cemento menores a 290 realizando los ensayos de flujo de asentamiento en este presenta segregación, presenta obstrucción del hormigón no llegando al extremo de la caja en L y no fluye libremente.
- En cuanto al tiempo de colocación de hormigón en un muro esbelto es más efectivo que en los 2 tipos de muros fabricados con hormigón convencional, obteniendo resultados como: en el primer encofrado con hormigón convencional sin compactación, el tiempo de vertido = 4 minutos; en el segundo encofrado con hormigón convencional compactado, el tiempo de vertido = 6 minutos y por último en el tercer encofrado con hormigón convencional sin compactación, el tiempo de vertido = 3 minutos; a continuación se presenta un resumen de los mismos.

TIEMPOS DE COLOCACIÓN REFERENTES A UN MURO ESBELTO DE DIMENSIONES 150x50x15 cm.				
	Muro de hormigón convencional 240 kg/cm ²		Hormigón autocompactante 240kg/cm ²	
	MURO SIN COMPACTAR	MURO COMPACTADO	SIN COMPACTAR	
Tiempos de colocación	4 minutos	7 minutos	3 minutos	Muro esbelto de dimensiones 150x50x15 cm con un volumen de hormigón 0,11 m ³
	36 minutos	63 minutos	27 minutos	Muro esbelto con un volumen de hormigón 1m ³

*Tabla 9. Resumen de los tiempos de colocación de hormigón referente a un muro esbelto
Fuente: Autor*

- Las diferencias de tiempo de colocación no se observan notoriamente, sin embargo, en la construcción de obras grandes esto puede favorecer cuando se requiera terminar en menor tiempo.
- En cuanto a resistencias los hormigones diseñados cumplen con su resistencia especificada los 28 días a demás las resistencias de esto hormigones diseñados sobrepasa el límite de resistencia esto debido a que se utiliza un cemento tipo III de alta resistencia a edades tempranas.
- En cuanto a la resistencia, se obtuvo elevadas resistencias debido a que se utiliza bajas cantidades de agua, pero así mismo se utiliza dosificaciones altas de aditivo.

- Se puede observar que en cuanto a los análisis de costos de este hormigón se incrementan un cierto porcentaje no solo por el cemento sino por los tipos de aditivo utilizado en este caso ViscoCrete y SikaFume (Microsilíce) que son los aditivos que mayor costo presentan, además que implica mayor control en la fabricación para obtener un adecuado concreto.
- El fraguado de los hormigones convencionales con cemento tipo III (hormigón producido la hormigonera donde se llevó a cabo), tienen fraguados iniciales de 6 a 8 horas, mientras que el fraguado final está dentro de un tiempo de 10 a 12 horas. Sin embargo, los HAC estudiados tienen fraguados iniciales de 3 a 4 horas y el fraguado final está entre 5 a 6 horas, con ello se concluye que el hormigón autocompactante no es recomendable para distancias largas, a su vez en estudios posteriores del mismo tema se podrían utilizar aditivos retardantes a la mezcla.
- Se pudo observar además que, al utilizar aditivos de alta reducción de agua, el hormigón requiere de tiempos más largos de amasado, resultando 15 minutos en concretera como tiempo óptimo para que el aditivo haga su efecto real sobre el hormigón.

6.2. Bibliografía

- ACI 237R. (2007). SELF-CONSOLIDATING CONCRETE.
- ACI 311. (2005). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural .
- ACI 318. (2008). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.
- Association, N. R. (Abril 2007). Concreto autocompactable. *El Concreto en la Obra*.
- ASTM C 1064. (2017). Método de prueba estándar para la determinación de la temperatura del hormigón de cemento hidráulico recién mezclado.
- ASTM C 39. (2012). Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto.
- ASTM C109. (2002). Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar.
- ASTM C138. (2009). Historical Standard: Método de Ensayo Normalizado de Densidad (Peso Unitario), Rendimiento, y Contenido de Aire (Gravimétrico) del Concreto.
- ASTM C231 . (2017). Método de Ensayo Normalizado de Contenido de Aire del Concreto Recién Mezclado Mediante el Método por Presión.
- ASTM C29. (1997). *Método Estándar de Ensayo para Densidad Total (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados*.
- ASTM C31. (2009). Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra.
- ASTM C31. (2009). Práctica Normalizada para Preparación y Curado de Especímenes de Ensayo de Concreto en la Obra.
- ASTM C470. (2015). Standard Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically.
- Cañizares Beltrán, I. G. (2012). *DISEÑO DE MEZCLAS DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE UTILIZANDO MATERIALES DE LA ZONA*. CUENCA.
- EFNARC . (2005). Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante Especificaciones, Producción y Uso.
- EFNARC. (2002). Especificaciones y Directrices Europeas para el Hormigón Autocompactante.
- EHE. (2008). *Instrucción Española del Hormigón Estructural*.
- Gusman, D. S. (2001). Tecnología del Concreto y del Mortero. Bogotá: Brandar Editores Ltda.
- Ingeniero de caminos. (2015). *Segregación del Hormigón*. Obtenido de <https://ingeniero-de-caminos.com/segregacion-del-hormigon/>
- Jack C. McCormac, R. H. (2011). Diseño de Concreto Reforzado. México: Alfaomega.
- LÓPEZ, I. F. (2015). *DISEÑOS DE MEZCLAS DE HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE UTILIZANDO AGREGADOS DE MINAS LOCALES Y SU INFLUENCIA EN LAS*

PROPIEDADES MECANICAS EN EL CANTON AMBATO, PROVINCIA DE TUNGURAGUA. AMBATO.

- McCormac, J. C. (s.f.). Diseño de Concreto Reforzado.
- Medina Sanchez, E. (2008). *Construcción de Estructuras de Hormigón Armado*.
- NRMCA CIP 36. (S/N). *Concreto estructural de peso liviano*. Obtenido de <https://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP36es.pdf>
- NTE INEN 696. (2011). Áridos. Análisis Granulométrico en los Áridos, Fino y Grueso. Quito.
- NTE INEN 697. (2010). Áridos. *Determinacion de Material más fino que pasa el Tamiz con Aberturas de 75 um (Nº 200), Mediante Lavado*. Quito.
- NTE INEN 856. (2010). Áridos. *Determinacion de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) y Absorción del Árido Fino*. Quito.
- NTE INEN 857. (2010). Áridos. *Determinacion de la Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Especifica) y Absorción del Árido Grueso*. Quito.
- NTE INEN 862. (2011). Áridos para Hormigón. *Determinación del Contenido Total de Humedad*. Quito.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). Tópicos de Tecnología del concreto en el Perú. Lima: S/N.
- Ravindra Gettu, L. A. (Abril de 2004). *Instituto Mexicano de Cemento y del Concreto*. Obtenido de <http://imcyc.com/biblioteca/ArchivosPDF/Concreto%20Autocompactado/ESTADO%20DEL%20ARTE%20DEL%20HORMIGON%20AUTOCOMPACTABLE%20Y%20SU%20CARACTERIZACION.pdf>
- UPC. (S/N). *Arquitectura Blanca*. Obtenido de H.A.C. HORMIGÓN AUTO-COMPACTANTE: http://www.arquitecturablanca.com/dinamica-hac_5.html
- Vilanova, A. (5 de Julio de 2015). *Hormigón Autocompactante*. Obtenido de <http://tecnologiahormigon.blogspot.com/2015/07/origen-del-hormigon-autocompactante.html>
- Coma, F. (1974). Método para la determinación analítica de sulfuros y de azufre total contenidos en áridos y hormigones, y consideraciones acerca de la necesidad de separar, del valor de azufre total tolerable en los áridos, el debido a la presencia de sulfuros, 24(1), 51–55.
- Wilson Medina, M. (2014). El curado del concreto en la construcción The curing concrete at construction, 1–15.
- Tatiana, A., Guzmán, M., Soler, E., & Torres., J. (2010). Formulación del plan de manejo ambiental para planta de concreto en la ciudad de Buenaventura, 18. Retrieved from <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista9/articulos/Formulacion-del-plan-de-manejo-ambiental-para-planta-de-concreto-en-la-ciudad-de-Buenaventura.pdf>
- Normas, D. G. D. E. (1978). Fomento Industrial Norma Mexicana Nmx-K-450-1978 Determinación De Ortofosfatos En Aguas Para.

No, R., Consejo, E., Superior, C., Superior, C., & Superior, A. (2017). Facultad de Ingeniería Civil Consejo de Facultad Facultad de Ingeniería Civil Consejo de Facultad, 2017(272).

Precast, S. V., & Precast, S. V. (2015). Construcción Construcción, 1–2.

Ministerio De Transporte y Obras Públicas del Ecuador Subsecretaría de Infraestructura del Transporte. (2013). Volumen N° 6 Conservacion Vial. *Nevi-12 - Mtop*, 6, 1–508. Retrieved from http://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_6.pdf

Adiciones, A. Y. (n.d.). Cementos 1 hormigón.

Villarroel, S., & Sgreccia, N. (2011). Materiales didácticos concretos en Geometría en primer año de Secundaria. *Números*, (78), 73–94. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3782833&info=resumen&idioma=SPA>

Optar, P., & Grado, E. L. (2013). Universidad Católica de Santa María Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil y del Ambiente Programa Profesional de Ing. Civil Tema: “Diseño De Concreto Autocompactante con Agregado Angular y Sub-Redondeado Utilizando Aditivos de las Marcas Chema, Sika Y Euco, en la Ciudad de Arequipa – 2013” Tesis de Investigación Presentado por el Bachiller: Ingeniero Civil Arequipa – Perú.

Casado, J. A. (2012). Hormigón pretensado, arquitecturas liberadas, (2010), 10–15.

Azuay, U. D. E. L. (2009). Universidad del Azuay facultad de medicina.

Ing., P., & Fernanda, M. (1913). Tecnología del Hormigón - Ingeniería Civil, 1–53.

Marín Palma, A. M. (2014). Tipos de hormigones, 1–19. Retrieved from https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121896/docencia/Tema 9 Materiales I GCTE.pdf

Bojorque, J. (2010). Fundada en 1867 Facultad de Ingeniería Escuela de Ingeniería Civil.

De, A. T., ACI, D., & Tabla, A. (n.d.). A. Tablas de dosificación de concreto - ACI, 4, 6–8.

Estudio de la robustez en el hormigón autocompactante con bajo contenido de finos. (2011).

NTE INNE. (2015). Ecuatoriana Nte Inen 663, 1–3. Retrieved from http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/07/nte_inen_663.pdf

Para, S., Con, P., & Visual, D. (2015). Ecuatoriana Nte Inen 2854.

NTE INEN 1762. (2014). Hormigón. Definiciones y terminología.

Técnica, N. (1987). No Title, 78.

- Ministerio, N., & Tzul, C. A. (2015). GUATEMALTECA NTG 41017 h19, (502), 1–23.
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), & Cámara de la Industria de la Construcción (CAMICON). (2014). *Estructuras de hormigón armado*.
- Noveno, A. (n.d.). Facultad de Ingeniería Civil Y Mecánica Carrera De Ingeniería Civil.
- Paz, M. (1992). Muros estructurales. *Dinámica Estructural*, 153. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=FeOP4m-oH2QC&pgis=1>
- Manual de Diseño Sismo-Resistente Simplificado para Guatemala Héctor Monzón Despang Marzo 2014. (2014), 1, 1–158.
- Unión- WireCo World Group. (n.d.). Manual del usuario de cables.
- Miró-Bonet, R. (2014). Índice 1. *Uib*, 1(1), 1–38. <https://doi.org/10.3390/rs71115782>
- Quiróz, M., & Salamanca, L. (2006). Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de “Tecnología del Hormigón,” 85–87.
- Aplicaci, C. D. E. (n.d.). Hormigones de relleno de densidad controlada, 36–38.
- Arte, E. D. E. L. (n.d.). Hormigón Autocompactante mejorado con aditivos químicos y uso de áridos reciclados.
- GUIA DE DISEÑO. (2015). Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado, 107.
- Nacional, U., & Del, D. E. M. A. R. (2017). “examen físico.”
- Mancha, universidad de C. la. (n.d.). Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) Propiedades tecnológicas de los materiales. Retrieved from https://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/EHE08_Materiales.pdf
- Hormigón ligero 1. (n.d.), 1–51.
- Carlos, M. I., & Escobedo, J. M. (2007). Maestro En Ingeniería Eric Vásquez Paniagua.
- Cementos, M. (n.d.). Anejo 18º, 569–571.
- Ries, J. P., Boyle, M. J., Bremner, T. W., Burg, R. G., Crocker, D. a, Dodl, C. L., Vaysburd, A. M. (2010). Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete Reported by ACI Committee 213, 1–38.
- Ensayo de materiales Ensayo de peso unitario de los agregados fino y grueso. DIEGO GUERRA P. (2016).
- Generales, R. (n.d.). Capítulo 1.

Hormigonera, L., & Ce, M. (1997). Hormigonera con tambor basculante accionada con motor eléctrico.



Tecnología, C., Civil, I., Ing., P., Fernanda, M., Rocas, U., & Para, Y. A. (1997). UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL Facultad Regional Santa Fe, 1–25.

Espinoza Sánchez, A. C. (2015). La Importancia de Utilizar Agregados de Calidad. Retrieved from <https://es.slideshare.net/arnoldclaudioespinozasanchez/agregados-monografia>

Educativa, C., Servicio, A. L., & Pueblo, D. E. L. (2013). Unidad Académica de Ingeniería Civil.

ANEXOS

7.1. Especificaciones técnicas del cemento he Guapán

 	DEPARTAMENTO DE CONTROL DE CALIDAD REPORTE DE CALIDAD DE PRODUCTO	CODIGO: R.CK-7.1-09-01 REVISIÓN: 01 FECHA: 2014-01-02							
Información General									
Proveedor: Unión Cementera Nacional C.E.M - Planta Guapán Dirección: Km 1-1/2 via a Guapan - Azogues Teléfono: 07 - 2240128 / 07 - 2599800		Cliente que solicita: Servicio al Cliente: 07 - 2599800 Exts. 202 / 277 / 278							
Producto: Cemento Portlánd Puzolánico. Tipo HE									
Período de análisis:									
Requisitos Obligatorios según Norma NTE INEN 2380:2011 -Segunda revisión-									
7.1.1 Requisitos Químicos					7.1.2 Requisitos Físicos				
Propiedad	METODO	Unidad	INEN 490	Resultado	Propiedad	METODO	Unidad	INEN 2380	Resultado
SiO ₂		%	N/A	28,61	Finura (blaine)	INEN 196	cm ² /g	N/A	4957
Al ₂ O ₃		%	N/A	6,12	Retenido en 45 um (No. 325)	INEN 957	%	N/A	1,36
Fe ₂ O ₃		%	N/A	2,99	Expansión en Autoclave	INEN 200	%	0.8 máx.	
CaO		%	N/A	53,32	Contracción en Autoclave	INEN 200	%	0.2 máx.	
MgO	INEN 160	%	8.0 máx.	1,34	Fraguado inicial	INEN 158	minutos	45-420	167,73
SO ₃	INEN 160	%	4.0 máx.	2,46	Contenido de aire en mortero	INEN 195	%	12 máx.	
Pérdida por calcinación	INEN 160	%	5.0 máx.	1,59	Contenido neto en la funda	INEN 1902	kg	49.5-50.5	
Residuo Insoluble		%	N/A						
7.1.2 Requisitos opcionales					7.1.2 Resistencia a la Compresión				
Propiedad	METODO	Unidad	INEN 490	Resultado	Periodo	METODO	Unidad	INEN 2380	Resultado
Expansión barra de mortero (14 días)	INEN 867	%	0,02	N/D	1 Día	INEN 488	MPa	12.0 mín.	17,21
Expansión barra de mortero (8 semanas)	INEN 867	%	0,06	N/D	3 Días	INEN 488	MPa	24.0 mín.	25,64
Resistencia a sulfatos. Expansión a 180 días	INEN 2503	%	0.10 máx.	N/D	7 Días	INEN 488	MPa	N/A	32,27
					28 Días	INEN 488	MPa	N/A	40,85
					7.1.2.3 PUZOLANA: Requisitos Físicos				
					Retenido en 45 um (No. 325)	INEN 957	%	20 máx.	17,9
					Índice de actividad puzolánica	INEN 490	%	75 mín.	82,8
El cemento portlánd puzolánico Tipo GU CUMPLE con las especificaciones de la NTE INEN 2380 para cemento hidráulico compuesto.									
UCEM - PLANTA GUAPAN MANTIENE VIGENTE EL CERTIFICADO DE CONFORMIDAD CON SELLO DE CALIDAD INEN									
Observaciones									
<input type="checkbox"/> Los resultados de los análisis que se reportan corresponden al valor promedio obtenido en el periodo indicado, ensayado en muestras diarias de cemento despachado por la Planta Guapán. <input type="checkbox"/> Los resultados de los análisis químicos están calculados en porcentaje en peso. <input type="checkbox"/> La resistencia a 28 días corresponde al promedio del mes anterior. <input type="checkbox"/> Los ensayos de expansión barra de mortero se realizan en referencia a las normas INEN NTE 1508 / INEN 202 / ASTM 1012-04 <input type="checkbox"/> (N/A) No aplica <input type="checkbox"/> (N/D) Resultado del ensayo para este periodo de producción no disponible									
Observaciones:									

7.2. Hojas técnicas de aditivos y adiciones.



HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Sika® ViscoFlow®-55

ADITIVO PARA MANTENER LA MANEJABILIDAD DEL CONCRETO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® ViscoFlow®-55 es un desarrollo de una aplicación específica, para mantener la manejabilidad de mezclas de concreto en base de la tecnología PCE. Diseñado para cumplir la norma ASTM C 494 Como tipo F.

USOS

Sika® ViscoFlow®-55 es especialmente adecuado para las mezclas de concreto con amplios requisitos de manejabilidad, así como mejorar las características de fluidez de mez.

Sika® ViscoFlow®-55 se utiliza principalmente para las siguientes aplicaciones:

- Cualquier concreto en clima frío o caliente con largos tiempos de transporte y manejabilidad.
- Adecuado para una amplia gama de aplicaciones con alta o baja relación agua / cemento y / o temperaturas ambiente altas o bajas.
- Definir el tiempo de manejabilidad sobre la base de los requerimientos del proyecto, sin un efecto negativo sobre el desarrollo resistencias tempranas.

VENTAJAS

Sika® ViscoFlow®-55 trabaja sobre la base de una combinación de adsorción electrostática y efectos estéricos de repulsión. Así, las partículas sólidas pueden ser efectivamente dispersadas y un alto nivel de fluidez puede ser alcanzado con menos cantidad de agua. Como resultado, Sika® ViscoFlow®-55 HQ puede proporcionar un mayor tiempo de manejabilidad y estabilidad que los dispersantes convencionales.

- Es compatible con otros aditivos
- Mantiene la manejabilidad por un tiempo prolongado
- Mantenimiento del slump sin retardos del fraguado con el subsecuente rápido desarrollo de las resistencias.
- Slump y plasticidad del concretos constantes durante horas.

Sika® ViscoFlow®-55 no contiene cloruros o cualquier otro ingrediente que promueva la corrosión del acero. Por consiguiente, es adecuado para uso en hormigón armado y estructuras de hormigón pretensado.

Hoja técnica de producto
Sika® ViscoFlow®-55 HQ
Edición N°1 07-2016
Documento N°

1/3

DATOS TÉCNICOS

COLOR:	Líquido color café
DENSIDAD:	1,11 kg / l a +25 ° C Aprox.
BASE QUÍMICA:	Policarboxilatos

DETALLES DE LA APLICACIÓN

DOSIS:

Dosis recomendada para el hormigón: de 0,6% a 1,6% en peso de cemento

CONDICIONES DE APLICACIÓN Y LIMITACIONES

Compatibilidad

Sika® ViscoFlow® -55 se puede combinar con muchos otros productos Sika.

Importante:

Siempre realizar ensayos antes de la combinación con otros productos en mezclas específicas y ponerse en contacto con nuestro Departamento de Servicio Técnico para obtener información y asesoramiento sobre cualquier combinaciones específicas.

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

Sika® ViscoFlow® -55 se añade al agua de amasado o directamente a la mezcla de concreto.

Para aprovechar la capacidad de mejorar la manejabilidad, se recomienda un tiempo de mezcla de al menos 60 segundos.

Para evitar el exceso de agua en el hormigón, la dosificación final debe comenzar sólo después de 2/3 del tiempo de mezclado.

MÉTODO DE APLICACIÓN

Las reglas de buena práctica del hormigonado, colocación y producción deben ser seguidas.

Los ensayos de laboratorio se llevarán a cabo antes del hormigonado en obra, especialmente cuando se está utilizando un diseño de mezcla nueva o la producción con nuevos componentes del concreto.

El concreto fresco debe curarse correctamente y curado se aplicará tan pronto como sea posible.

LIMPIEZA DE HERRAMIENTAS

Limpie todas las herramientas y equipos de aplicación con agua inmediatamente después de su uso. El material endurecido sólo puede ser removido mecánicamente.

PRESENTACION

Embalaje: Tambores de 200 Kg, IBC 1000 litros, al granel bajo pedido.

NOTAS DE APLICACIÓN LIMITACIONES

Cuando se utiliza Sika® ViscoFlow®-55 un diseño de mezcla adecuado tiene que ser tenido en cuenta.

Sika® ViscoFlow®-55 no se añade al cemento seco. El exceso de agua o una sobredosis puede causar sangrado o segregación.

Congelamiento

Si se congela y / o si se ha producido la precipitación, Sika® ViscoFlow®-55 puede ser utilizado después de descongelar lentamente a temperatura ambiente, seguido de una mezcla intensa.

Todos los datos técnicos indicados en esta hoja técnica se basan en pruebas de laboratorio. Los datos reales pueden variar debido a circunstancias fuera de nuestro control.

SALUD Y SEGURIDAD

Para más información y asesoramiento sobre la manipulación, almacenamiento y eliminación de éste producto, los usuarios deben consultar la versión más reciente de la Hoja de Seguridad que contiene datos físicos, ecológicos, toxicológicos y demás cuestiones relacionadas con la salud y seguridad.

NOTA LEGAL

Toda 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. En la práctica, las diferencias en los materiales, substratos 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 surja de cualquier relación legal. 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, cuyas copias serán facilitadas a solicitud del cliente.



Sika Ecuatoriana S.A. <http://ecu.sika.com>

Durán.- Km. 3 1/2 vía Durán - Tambo (Casilla 10093) PBX (593-4) 2812700 Fax (593-4) 2801229

Quito.- Av. Naciones Unidas entre Inaquito y Núñez de Vela. Edificio Metropolitano. PBX (593-4) 2812700

Cuenca.- Av. Ordoñez Lasso y Los Claveles. Edf. Palermo Tel: +5937 4 089725 - 4102829

HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

Sika® ViscoCrete 4100

ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika ViscoCrete 4100 es un aditivo reductor de agua de alto rango e hiperplastificante, fabricado con los polímeros policarboxilatos de nuestra Tecnología Sika ViscoCrete. Diseñado para cumplir con todos los requerimientos de la Norma ASTM C-494. Tipos A y F.

USOS

- Sika ViscoCrete 4100 puede ser usado, tanto en hormigón premezclado, así como en prefabricados, adicionado en la planta como un reductor de agua de alto rango, proporciona excelente plasticidad mientras mantiene la trabajabilidad por más de una hora. Los tiempos de fraguado controlados del Sika ViscoCrete 4100 lo hacen ideal para aplicaciones tanto horizontales como verticales.
- Sika ViscoCrete 4100 es ideal para producción de hormigones autocompactados (SCC).

VENTAJAS

Reductor de agua: Sika ViscoCrete 4100 con pequeñas dosificaciones, se obtienen reducciones de agua entre 10-15% y con altas dosificaciones se pueden lograr reducciones de agua de hasta un 45%.

Sika ViscoCrete 4100 es aplicable para todos los niveles de reducción de agua.

Alta plasticidad: la acción superplastificante del Sika ViscoCrete 4100 permite obtener altos asentamientos, hormigones fluidos con alto mantenimiento de la trabajabilidad que facilitan la colocación con el mínimo vibrado aún cuando las relaciones agua-cemento sean tan bajas como 0,25

Sika ViscoCrete 4100 plastifica el hormigón dando alta fluidez, pero manteniendo la cohesión, evitando de esta manera sangrado o segregación.

Larga trabajabilidad y control del fraguado: Sika ViscoCrete 4100 está formulado para mantener la trabajabilidad por más de una hora, manteniendo los tiempos de fraguado normales.

La acción combinada de reductor de agua de alto rango y superplastificante del Sika ViscoCrete 4100, proporciona al hormigón endurecido los siguientes beneficios:

- Las altas resistencias finales permiten flexibilidad en los diseños de ingeniería y economía en las estructuras.
- Bajas relaciones agua cemento producen hormigones más durables, más densos y menos permeables.
- La alta plasticidad permite reducir los defectos de la superficie del hormigón y mejora la apariencia estética.

DATOS TÉCNICOS

ASPECTO: Líquido translúcido
DENSIDAD: 1.1 g/cc aprox.

MODO DE EMPLEO

Dosis: Las dosis varían de acuerdo al tipo de material usado, condiciones ambientales y a los requerimientos de un proyecto específico.

Sika Ecuatoriana recomienda usar dosis entre 0,19% a 0,9% del peso del cemento. Dosis mayores a las recomendadas pueden usarse cuando están especificados materiales, tales como microsilica, condiciones ambientales extremas. Para mayor información comuníquese con el Departamento Técnico de Sika.

Mezclado: Para mejores resultados de superplastificación, adicionar el Sika ViscoCrete 4100 directamente a la mezcla fresca de hormigón en el mixer y dejar mezclándose por lo menos 60 segundos. El Sika ViscoCrete 4100 también puede adicionarse a la mezcla fresca directamente en la planta al final del ciclo de mezclado.

Combinación con otros aditivos: Sika ViscoCrete 4100 es muy efectivo sólo o combinado con otros aditivos de Sika. Si se usa con ciertos aditivos Sikament puede afectar la plasticidad del hormigón fresco.

Combinación con microsilica: Sika ViscoCrete 4100 es particularmente recomendable para el uso con microsilica por su capacidad de reducción de agua y mayor control de la plasticidad.

PRESENTACIÓN

Tambores de 230 kg y al granel.

ALMACENAMIENTO

12 meses en su envase original, bien sellado y bajo techo.

SEGURIDAD

Medidas generales de protección e higiene.

Prever una ventilación suficiente o escape de gases en el área de trabajo.

Evitar el contacto con los ojos y la piel.

Protección preventiva de la piel con pomada protectora.

Quitarse inmediatamente la ropa manchada.

No fumar, no comer o beber durante el trabajo. Lavarse las manos antes de los descansos.

Protección de las manos con guantes de goma de butilo/nitrilo.

Protección de los ojos con gafas herméticamente cerradas. Protección corporal.

Ecología

No verter directamente sobre vertientes de agua o el suelo, actuar de acuerdo a las regulaciones locales.

Toxicidad

No peligroso.

Transporte

Mercancía no peligrosa.

NOTA LEGAL

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 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 ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja 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 debe 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. <http://ecu.sika.com>

Durán.- Km. 3 1/2 vía Durán - Tambo (Casilla 10093) PBX (593-4) 2812700 Fax (593-4) 2801229

Quito.- Av. Naciones Unidas entre Ibaquito y Núñez de Velazco, Edificio Metropolitan, PBX (593-4) 2812700

Cuenca.- Av. Ordoñez Lasso y Los Claveles, Edf. Palermo Tel: +5937 4 089725 - 4102829

HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO

SikaFume®

ADITIVO EN POLVO CON BASE A SILICA-FUME

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaFume, es una adición en polvo fino, color gris, con base en microsilica, que permite aumentar las resistencias mecánicas y químicas de hormigones y morteros endurecidos. Su doble efecto puzolánico y granular, mejora las características de la matriz del hormigón o mortero, disminuyendo la porosidad y creando mediante su reacción con la cal libre, una estructura densa y resistente al ataque de aguas y ambientes agresivos. No contiene cloruros. Diseñado para cumplir con los requerimientos de la Norma ASTM C-1240

USOS

SikaFume es de gran utilidad cuando se requiere:

- Colocar hormigón bajo agua.
- Reducir la exudación y la segregación del hormigón.
- Mejorar la aptitud para el bombeo de hormigones y morteros.
- Elaborar hormigones resistentes al ataque de sulfatos.
- Dotar al hormigón de resistencia al ataque químico de aguas y suelos agresivos.
- Reducir la permeabilidad del hormigón.
- Mejorar la cohesión y la adherencia al soporte de hormigones y morteros proyectados.

VENTAJAS

SikaFume imparte a la mezcla las siguientes propiedades:

- **EN EL HORMIGÓN FRESCO**
 - Evita la segregación, mejora la cohesión y la bombeabilidad de hormigones y morteros, en especial cuando se trabaja con diseños de mezcla carentes de finos.
 - Reduce el rebote, permite disminuir la cantidad de acelerante y se logran capas de mayor espesor cuando se adiciona a hormigones y morteros proyectados.
 - Reduce la energía necesaria para bombear hormigones y morteros.
 - Aumenta la adherencia del hormigón con el acero de refuerzo.
- **EN EL HORMIGÓN ENDURECIDO**
 - Disminuye los picos de temperatura de las mezclas cuando se usa como reemplazo parcial de cemento.
 - Disminuye la permeabilidad, densifica la matriz de hormigones y morteros y aumenta la compacidad.
 - Reduce la permeabilidad a gases como el CO₂ y el SO₂ que carbonatan y disgregan el hormigón.
 - Disminuye apreciablemente la penetración de aguas con cloruros y otras sales.
 - Reduce notablemente la expansión de hormigón y morteros sometidos a fuerte ataque de sulfatos.

DATOS TÉCNICOS

CONTENIDO DE SO₂:	Mayor al 95%
SUPERFICIE ESPECIFICADA:	Mayor a 30 m ² /g
HUMEDAD:	3 - 5 % aprox.

La humedad del producto, debido a su altísima superficie especificada, puede aumentar, en caso de un inadecuado almacenamiento o de alta humedad relativa en la zona de trabajo. Las normas especifican la humedad solo en razón a que el producto se utiliza como materia prima para elaborar morteros predosificados, que incorporan cemento y una alta humedad los haría endurecer.

MODO DE EMPLEO

SikaFume viene listo para ser empleado. Se adiciona a la mezcla con los agregados o con el cemento. Para garantizar la distribución homogénea de la microsíllica en la mezcla, debe incrementarse el tiempo de mezclado.

Este es el siguiente esquema de mezcla tanto en planta como en la obra:

- Colocar en la mezcladora los agregados.
- Adicionar la cantidad de SikaFume requerida y mezclar por 1 minuto.
- Adicionar el cemento y continuar el mezclado hasta los 2 minutos.
- Adicionar el agua de amasado con el superplastificante Sikament disuelto en ella, en la dosis requerida para lograr la consistencia deseada de la mezcla.
- Mezclar por 2 minutos adicionales.

DOSIFICACIÓN

SikaFume se dosifica entre el 3 y el 10% del peso del cemento de la mezcla de acuerdo con los resultados deseados. Debido a que la microsíllica es una adición en polvo, muy fina, por su gran superficie específica se genera una mayor demanda de agua, para igual consistencia de la mezcla, por lo tanto debe acompañarse SikaFume con la dosis adecuada de superplastificante Sikament, evitando así elevar la relación agua/cemento. Se recomienda realizar ensayos previos para determinar el diseño óptimo de la mezcla y las dosis requeridas de adiciones y aditivos.

LIMITACIONES

Proteger el producto de la humedad. Debido a las bajas relaciones a/c característica de los hormigones con microsíllica es recomendado el uso de superplastificantes. Para obtener superficies con un acabado eficiente es necesario usar curadores. Se recomienda usar Antisol como curador.

PRECAUCIONES

Se debe preveer un excelente curado al momento de utilizar microsíllica o SikaFume en los hormigones y morteros. Curar por lo menos durante 7 días, ya que se pueden presentar microfisuras en caso de defectuoso curado. Contiene sílice y óxido de hierro. Evite respirar el polvo. Use solamente con ventilación adecuada. Puede causar irritación en la piel, ojos y vías respiratorias. Use gafas de seguridad, guantes de caucho y mascarillas para polvos. En caso de contacto con la piel, lavar la parte afectada con abundante agua y jabón. Para contacto con los ojos lavar con abundante agua durante 15 minutos y consultar un especialista. En caso de derrames accidentales recoger en recipientes adecuados y desecharlos de acuerdo a las regulaciones locales.

PRESENTACIÓN

Fundas de 15 kg.

ALMACENAMIENTO

El tiempo de almacenamiento es de 60 meses, protegido de la humedad.
Condiciones de almacenamiento: lugar seco y bajo techo.

CÓDIGOS R/S

R: 20/36

S: 2/24/25

NOTA LEGAL

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 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 ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad en particular, así como ninguna responsabilidad que surja 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 debe 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. <http://ecusika.com>

Durán • Km. 3 1/2 vía Durán • Tambo (Casilla 10093) PBX (593-4) 2812700 Fax (593-4) 2801229

Quito • Av. Naciones Unidas entre Inaquito y Núñez de Vela, Edificio Metropolitan, PBX (593-4) 2812700

Cuenca • Av. Ordóñez Lasso y Los Javeles, Edif. Palermo Tel: +5937 4 089725 • 4102829

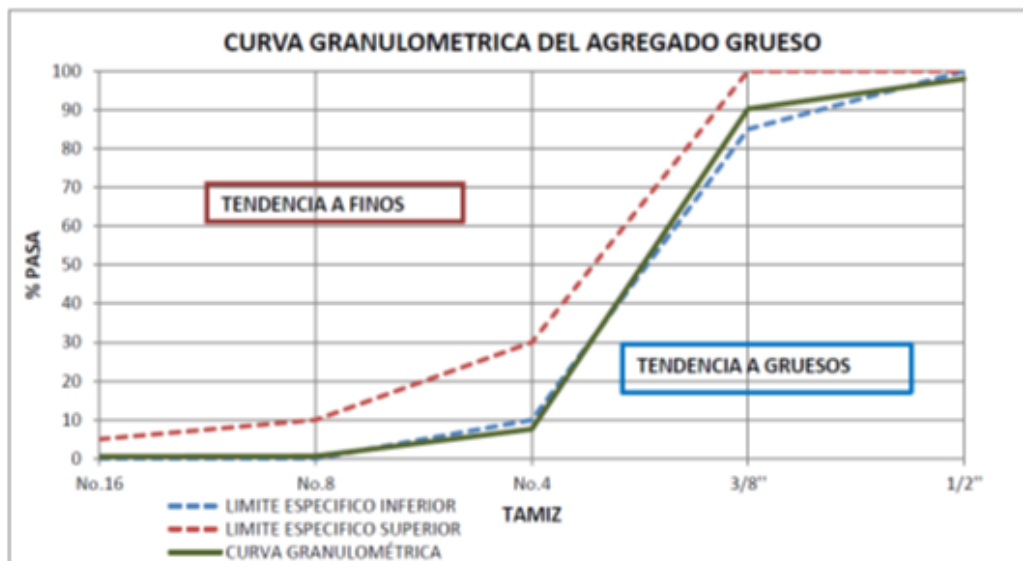
7.3. Resultados de ensayos a los áridos.

Agregado Grueso

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
NTE INEN 0696:2011 (ASTM C-136)

REPORTE Nº:	
MATERIAL:	GRAVA 3/8"
PROCEDENCIA:	VIPESA - CUENCA

Tamiz ASTM Abertura / Nº.	RETENIDO		% RETENIDO	% PASA	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
	PARCIAL (g.)	ACUMULADO (g.)				
12,70 mm 1/2"	32	32	2,0	98,0	100	100
9,35 mm 3/8"	162	194	9,7	90,3	85	100
4,75 mm No.4	1650	1844	92,4	7,6	10	30
2,36 mm No.8	139	1983	99,3	0,7	0	10
1,18 mm No.16	3	1986	99,5	0,5	0	5
					-	-
					-	-
					-	-
BANDEJA	10	1996				
TOTAL	1996,0	M. FINURA	6,0	TNM	3/8"	



REPORTE N°	
MATERIAL:	Grava triturada N°8
PROCEDECENCIA:	Vipesa - Cuenca

1) PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO (NTE INEN 0857)			Fecha de ensayo: 5/9/2017	
$Vd = P1 - P2$ $P. esp. = \frac{P1}{Vd} \times 1000$	P1: Masa del agregado en SSS	5000,00	g	P. Especifico: kg/m ³
	P2: Masa del agregado sumergido en agua	3114,00	g	
	Vd: Volumen desalojado	1886,00	g	2651,11

2) ABSORCIÓN (NTE INEN 0857)			Fecha de ensayo: 5/9/2017	
$Abs. = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$	P1: Masa del agregado SSS	5000,00	g	Absorción: %
	P2: Muestra Seca	4897,00	g	2,10

3) HUMEDAD (NTE INEN 0857)			Fecha de ensayo:	
$H = \frac{(P1 - P2)}{P2} \times 100$	P1: Masa de la muestra		g	Humedad: %
	P2: Muestra Seca		g	

4) % PASA #200 (NTE INEN 0697)			Fecha de ensayo: 4/9/2017	
$\#200 = \frac{(P1 - P2)}{P1} \times 100$	P1: Masa de la muestra	1000,00	g	Malla #200: %
	P2: Masa Muestra Retenida	989,00	g	1,10


5) PESO UNITARIO COMPACTADO (NTE INEN 858)			Fecha de ensayo: 4/09/2017		
$P4 = \frac{(P1 + P2 + P3)}{3}$ $P6 = (P4 - P5)$ $PUC = \frac{P6}{V}$	Masa agregado compactado + recipiente:	P1	26574,00	g	Peso unitario compactado (kgf/m ³)
		P2	26585,00	g	
		P3	26577,00	g	
	Masa compactada promedio:	P4	26578,67	g	1478,81
	Masa recipiente:	P5	12141,00	g	
	Masa agregado compactado:	P6	14437,67	g	
	Volumen Recipiente:	V	9763,00	cm ³	

5) PESO UNITARIO SUELTO (NTE INEN 858)			Fecha de ensayo: 4/09/2017		
$P4 = \frac{(P1 + P2 + P3)}{3}$ $P6 = (P4 - P5)$ $PUS = \frac{P6}{V}$	Masa agregado suelta + recipiente:	P1	25528,00	g	Peso unitario Suelto (kgf/m ³)
		P2	25532,00	g	
		P3	25537,00	g	
	Masa suelta promedio:	P4	25532,33	g	1371,64
	Masa recipiente:	P5	12141,00	g	
	Masa agregado suelta:	P6	13391,33	g	
	Volumen Recipiente:	V	9763,00	cm ³	

REPORTE N°	
MATERIAL:	Grava triturada N°8
PROCEDENCIA:	Vipasa - Cuenca

1) PARTÍCULAS LIVIANAS EN EL AGREGADO GRUESO (NTE INEN 699)		Fecha de ensayo:	
$P(\%) = \frac{A}{C} \times 100$	A: Masa seca de las partículas que flotan	g	P: Partículas livianas: %
	C: Masa seca de la porción de la muestra más gruesa que 4,75mm	g	

2) CONTENIDO DE TERRONES DE ARCILLA Y PARTÍCULAS DESMENUZABLES EN EL AGREGADO GRUESO (NTE INEN 698)		Fecha de ensayo: 5/9/2017	
$P(\%) = \frac{(M - R)}{M} \times 100$	M: Masa de la muestra de ensayo	1000,00	g
	R: Masa de las partículas retenidas en el tamiz # 4	998,00	g
		P: Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables: %	
		0,20	

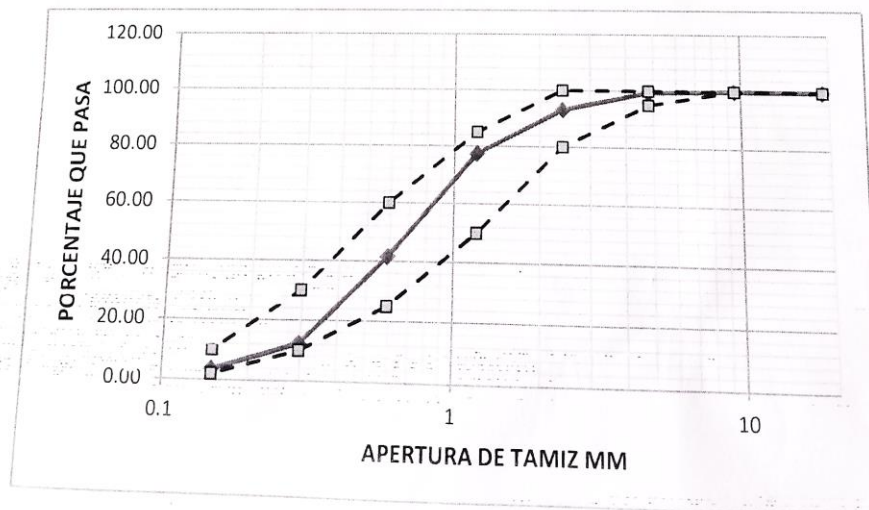
3) DETERMINACIÓN DE LAS IMPUREZAS EN EL AGREGADO GRUESO (NTE INEN 855)		Fecha de ensayo: 5/9/2017	
	Color determinado en el ensayo	2	
	Color de acuerdo a la escala de Gardner	8	
		COLOR PATRÓN	ESCALA DE GARDNER
		1	5
		2	8
		3	11
		4	14
		5	16

4) DETERMINACIÓN DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5mm MEDIANTE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES (NTE INEN 860)		Fecha de ensayo: 5/09/2017	
$D(\%) = \frac{(B - C)}{B} \times 100$	GRADACIÓN	(A, B, C, D)	C
	B: Masa inicial de la muestra de ensayo	5000,00	g
	C: Masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70mm, después del ensayo	4317,00	g
		D(%): VALOR DE LA DEGRADACIÓN	
		13,66	

Agregado fino (Arena)

CANTERA: HEREDIA (SANTA ISABEL)
 MUESTRA N°: 1 ARENA
 NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 696:2010 NTE INEN 872

TAMIZ #		PESO RETENIDO (g)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUM.	% PASA	NORMA INEN 872		CUMPLE NORMA INEN 872
ISO	ASTM							
3/4"	19 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	CUMPLE
3/8"	9,5 mm	0.00	0.00	0.00	100.00	100	100	CUMPLE
4	4,8 mm	5.39	0.52	0.52	99.48	95	100	CUMPLE
8	2,4 mm	66.03	6.35	6.87	93.13	80	100	CUMPLE
16	1,2 mm	163.92	15.77	22.64	77.36	50	85	CUMPLE
30	(590 μ)	371.58	35.75	58.39	41.61	25	60	CUMPLE
50	(297 μ)	304.03	29.25	87.65	12.35	10	30	CUMPLE
100	(149 μ)	91.71	8.82	96.47	3.53	2	10	CUMPLE
Fondo	Fondo	36.70	3.53	100.00	0.00			
TOTAL		1,039.36						
Peso de la muestra		1,039.71						
% de pérdidas		0.03						
Módulo de Finura		2.73	CUMPLE					



CANTERA: HEREDIA (SANTA ISABEL)
 MUESTRA N°: 01 ARENA
 NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 856:2010 ASTM C 128

SÍMBOLOS

- A = Masa de la muestra seca al horno, gr
- B = Masa del picnómetro lleno con agua, hasta la marca de calibración, gr
- C = Masa del picnómetro lleno con muestra y agua, gr
- S = Masa de la muestra saturada superficialmente seca, gr

DATOS:

A = 477.1 gr
 B = 1449.5 gr
 C = 1741.6 gr
 S = 500.0 gr

CÁLCULOS:

Densidad relativa (gravedad específica) (SH) =	$\frac{A}{B + S - C} =$	2.29
Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) =	$\frac{S}{B + S - C} =$	2.40
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) =	$\frac{A}{B + A - C} =$	2.58
Densidad (SH), kg/m ³ =	$\frac{997.5(A)}{B + S - C} =$	2,284.15
Densidad (SSS), kg/m ³ =	$\frac{997.5(S)}{B + S - C} =$	2,398.64
Densidad aparente (SH), kg/m ³ =	$\frac{997.5(A)}{B + A - C} =$	2,572.14
Absorción % =	$\frac{(S - A)}{A} \times 100 =$	4.80%

CANTERA: HEREDIA (SANTA ISABEL)
MUESTRA Nº: 01 ARENA
NORMA EN ENSAYO: NTE INEN 858:2010

SÍMBOLOS

- Mc = Masa unitaria (peso volumétrico) compactada del árido, kg/m³
- Ms = Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m³
- Gc = masa unitaria compactada del árido más el molde, kg
- Gs = masa unitaria suelta del árido suelto más el molde, kg
- T = masa del molde; kg
- V = Volumen del molde; m³

DATOS:

Gc = 10655.0 gr

Gs = 10355.7 gr

T = 6109.0 gr

V = 0.00295 m³

CÁLCULOS:

Masa unitaria (peso volumétrico) compacta del árido, kg/m ³	Mc	$\frac{G_c - T}{V} =$	1541.01
Masa unitaria (peso volumétrico) suelta del árido, kg/m ³	Ms	$\frac{G_s - T}{V} =$	1439.54

7.4. Imágenes de los procesos de la fabricación del muro y hormigón autocompactante

7.4.1. Dosificación de los materiales



Imagen 32. Peso de la adición
Fuente: Autor



Imagen 33. Peso de aditivo
Fuente: Autor



Imagen 34. Peso de la adición
Fuente: Autor



Imagen 35. Dosificación de materiales
Fuente: Autor

7.4.2. Elaboración del HAC



*Imagen 36. Colocación del agua en el mezclador
Fuente: Autor*



*Imagen 37. Colocación de grava en el mezclador
Fuente: Autor*



*Imagen 38. Colocación de arena en el mezclador
Fuente: Autor*



*Imagen 39. Adición del microsílíce
Fuente: Autor*



*Imagen 40. Mezclado de agua, grava, arena y microsílíce
Fuente: Autor*



*Imagen 41. Inclusión de cemento
Fuente: Autor*



*Imagen 42. Fusión del cemento con agregados y adiciones
Fuente: Autor*



*Imagen 43. Mezcla de componentes de hormigón antes de incluir aditivos.
Fuente: Autor*



*Imagen 44. Aditivo para la mezcla
Fuente: Autor*



*Imagen 45. Reacción del hormigón al agregar el primer aditivo
Fuente: Autor*



*Imagen 46. Reacción luego de agregar el segundo aditivo
Fuente: Autor*



*Imagen 47. Efecto del aditivo en el hormigón luego de dos minutos
Fuente: Autor*



*Imagen 48. Efecto del aditivo en el hormigón
luego de quince minutos
Fuente: Autor*



*Imagen 49. Estado del hormigón
autocompactante
Fuente: Autor*

7.4.3. Ensayos al hormigón autocompactante



*Imagen 50. Equipos para el ensayo del flujo de
asentamiento
Fuente: Autor*



*Imagen 51. Dispersión del hormigón mediante
el ensayo de flujo de asentamiento
Fuente: Autor*



*Imagen 52. Escurrimiento con baja fluidez
Fuente: Autor*



*Imagen 53. Medición del escurrimiento
Fuente: Autor*



*Imagen 54. Alta fluidez del hormigón y presenta segregación
Fuente: Autor*



*Imagen 55. Baja fluidez del hormigón presentando segregación
Fuente: Autor*

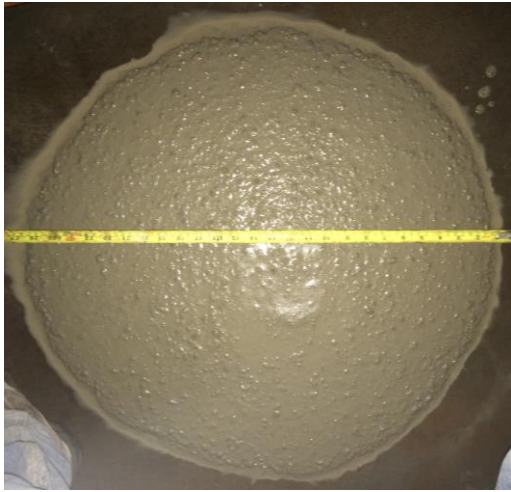


Imagen 56. Ecurrimiento óptimo de un hormigón autocompactante
Fuente: Autor



Imagen 57. Medición de la extensión del flujo
Fuente: Autor



Imagen 58. Caja en L
Fuente: Autor



Imagen 59. El hormigón presenta baja fluidez
Fuente: Autor



*Imagen 60. Bajo contenido de aire,
Fuente: Autor*



*Imagen 61. Alto contenido de aire
Fuente: Autor*



*Imagen 62. Toma de la temperatura del
cemento
Fuente: Autor*



*Imagen 63. Toma de la temperatura del
hormigón
Fuente: Autor*

7.4.4. Fabricación del muro



Imagen 64. Colocación de la estructura de refuerzo en el encofrado
Fuente: Autor

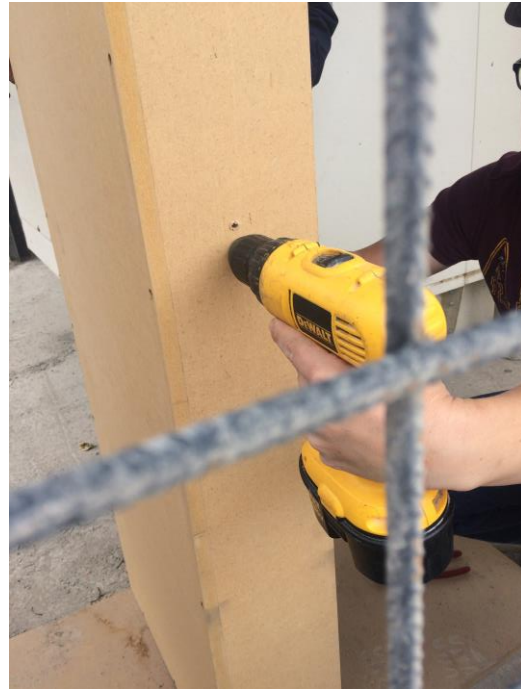


Imagen 65. Orificios para el aseguramiento de la estructura de refuerzos
Fuente: Autor



Imagen 66 Centrado de la armadura de refuerzo en el encofrado
Fuente: Autor



Imagen 67: Aseguramiento del muro
Fuente: Autor



*Imagen 68. Encofrado y estructura de refuerzo humedecido
Fuente: Autor*



*Imagen 69. Colocación del hormigón en el encofrado
Fuente: Autor*



*Imagen 70. Hormigón convencional en un muro esbelto sin compactación
Fuente: Autor*



*Imagen 71. Resultados del hormigón convencional en un muro esbelto sin compactación
Fuente: Autor*



*Imagen 72. Hormigón convencional en un muro esbelto compactado
Fuente: Autor*



*Imagen 73. Resultados del hormigón convencional en un muro esbelto compactado
Fuente: Autor*



*Imagen 74. Hormigón autocompactante en un muro esbelto
Fuente: Autor*



*Imagen 75. Resultados del hormigón autocompactante en un muro esbelto
Fuente: Autor*

7.4.5. Desencofrado del muro



*Imagen 76. Desencofrado del muro esbelto con hormigón convencional sin compactar
Fuente: Autor*



*Imagen 77. Muro esbelto con hormigón convencional sin compactar
Fuente: Autor*



*Imagen 78. Muro esbelto con hormigón convencional compactado
Fuente: Autor*



*Imagen 79. Muro esbelto con hormigón autocompactante
Fuente: Autor*

7.4.6. Ensayo a compresión



Imagen 80. Curado de probetas de hormigón
Fuente: Autor



Imagen 81. Extracción de las probetas de hormigón previo a su ensayo
Fuente: Autor



Imagen 82. Ensayo a compresión de la probeta de hormigón
Fuente: Autor

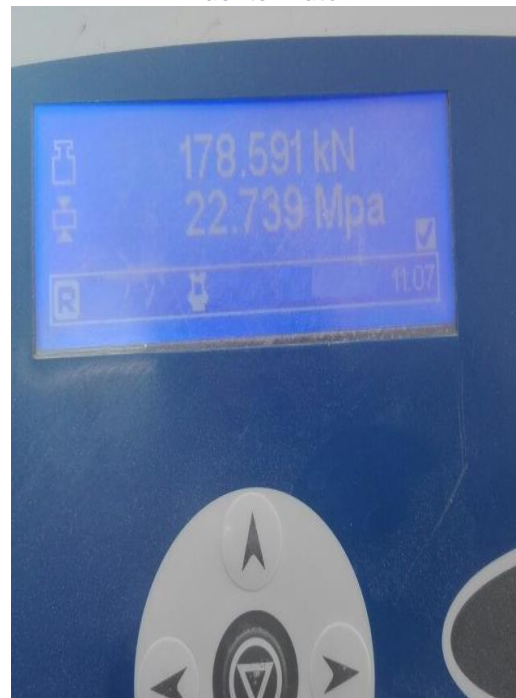


Imagen 83. Resultados del ensayo a compresión
Fuente: Autor

7.5. Desglose de precios unitarios

ANALISI DE PRECIOS UNITARIOS					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costos/Hora	Rendimiento	Costo
Equipo	A	B	C=A*B	R	
Concretera de sacco	1	\$3,15	\$3,15	0,75	\$2,36
Herramienta menor	1	\$0,50	\$0,50	0,75	\$0,38
Subtotal M					\$2,74
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costos/Día	Costo	
Equipo	A	B	C=A*B		
Vibrador mecánico	1	\$15,00	\$15,00	\$15,00	
Subtotal N					\$15,00
Descripción	Cantidad	Salario/h	Costos/Hora	Rendimiento	Costo
Mano de obra	A	B	C=A*B	R	
Peón	5	\$2,56	\$12,80	0,75	\$9,60
Maestro de obra	1	\$2,58	\$2,58	0,75	\$1,94
Subtotal O					\$11,54

HAC-21-GPHE-V9.5-S				
DESCRIPCION	UNIDAD	Cant Utilizar	P. Unitario	COSTO
MATERIALES		A	B	C=A*B
Cemento	kg	290	\$0,135	\$39,15
Arena	kg	850,75	\$0,012	\$9,95
Grava 3/8	kg	790,67	\$0,015	\$11,46
Agua	lt	257	\$0,005	\$1,29
Aditivo ViscoCrete	kg	3,48	\$3,350	\$11,66
Aditivo ViscoFlow	kg	2,32	\$1,530	\$3,55
Microsilice	kg	29	\$2,751	\$79,79
SUBTOTAL C				\$156,85
SUBTOTAL C + IVA				<u>\$175,67</u>

HAC-24-GPHE-V9.5-S				
DESCRIPCION	UNIDAD	Cant Utilizar	P. Unitario	COSTO
MATERIALES		A	B	C=A*B
Cemento	kg	300	\$0,135	\$40,50
Arena	kg	836,77	\$0,012	\$9,79
Grava 3/8	kg	809,68	\$0,015	\$11,74
Agua	lt	251	\$0,005	\$1,26
Aditivo ViscoCrete	kg	3,6	\$3,350	\$12,06
Aditivo ViscoFlow	kg	2,4	\$1,530	\$3,67
Microsilice	kg	30	\$2,751	\$82,54
SUBTOTAL C				\$161,56
SUBTOTAL C + IVA				<u>\$180,94</u>

HAC-30-GPHE-V9.5-S				
DESCRIPCION	UNIDAD	Cant Utilizar	P. Unitario	COSTO
MATERIALES		A	B	C=A*B
Cemento	kg	320	\$0,135	\$43,20
Arena	kg	803,86	\$0,012	\$9,41
Grava 3/8	kg	809,74	\$0,015	\$11,74
Agua	lt	256,3	\$0,005	\$1,28
Aditivo ViscoCrete	kg	3,84	\$3,350	\$12,86
Aditivo ViscoFlow	kg	2,56	\$1,530	\$3,92
Microsilice	kg	32	\$2,751	\$88,04
SUBTOTAL C				\$170,45
SUBTOTAL C + IVA				<u>\$190,91</u>