

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
“JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**



**PROYECTO DE GRADO DE INVESTIGACIÓN**

**“ANÁLISIS TÉCNICO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (H.A.C)”**

**REALIZADO POR:**

**FERNÁNDEZ MAMANI RICHARD**

MARZO DE 2012

TARIJA-BOLIVIA

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**PROYECTO DE GRADO DE INVESTIGACIÓN**

**“ANÁLISIS TÉCNICO DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (H.A.C)”**

**REALIZADO POR:**

**FERNÁNDEZ MAMANI RICHARD**

Proyecto de Grado, presentado a consideración de la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el Grado Académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

MARZO DE 2012

TARIJA-BOLIVIA

**VºBº**

-----  
Ing. Fernando Mur

**PROFESOR GUÍA**

-----  
Ing. Luis A. Yurquina

**DECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

-----  
Lic. Msc. Gustavo Succi

**VICEDECANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS Y  
TECNOLOGÍA**

**APROBADO POR EL TRIBUNAL:**

-----  
TRIBUNAL 1

Ing. Paul Carrasco A.

-----  
Ing. Arturo Dubravcic

TRIBUNAL 2

-----  
Ing. David Zenteno B.

TRIBUNAL 3

El TRIBUNAL CALIFICADOR del presente proyecto de grado, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el trabajo, siendo las mismas únicamente responsabilidad del autor.

***DEDICATORIA:***

*A mis padres, Julián Fernández B. y  
Faustina Mamani S.*

*A mi amada, Gabriela Primentela F.*

*A mis hermanos, Jhonny, Jhaneth y  
Ramiro.*

***PENSAMIENTO:***

*“El hombre no es sabio cuando tiene un gran conocimiento, sino el hombre que tiene temor al Dios supremo se considera el verdadero Sabio”*

*Propio de: Richard Fernández M.*

## **AGRADECIMIENTOS:**

Es de gran importancia para mí el escribir este apartado en relación al presente proyecto, puesto que sin la ayuda que me brindaron diferentes personas e instituciones no hubiera sido posible la realización y culminación del mismo para lograr mi profesionalización como un gran paso más que doy en mi vida.

En primer lugar doy gracias a Dios porque ÉL me guió durante toda esta etapa, siempre me dio sabiduría para que pueda realizar este proyecto y su ayuda en los momentos más difíciles ha sido el motor que me ha impulsado a encontrar ideas y soluciones cuando no sabía qué hacer. Por eso te doy gracias Dios por amarme y guiarme en todos los momentos de mi vida.

También doy gracias a mis padres Julián y Faustina que fueron los que me apoyaron desde el inicio de mi carrera y hasta este momento de conclusión. Me brindaron su apoyo moral y económico, doy gracias a mi padre que fue el que me ayudó a realizar los equipos que fueron usados durante la ejecución de este proyecto, ya que gracias a su experiencia en la metalúrgica pudimos conseguir la fabricación de los mismos.

También doy gracias a mis hermanos Ramiro, Jhaneth y Jhonny por haberme acompañado durante toda esta etapa dándome su apoyo moral e incondicional.

Una de las personas más importantes para mí es GABRIELA, una mujer ejemplar, la cual me brindó sus consejos, ideas, apoyo y comprensión desde el momento en que Dios la puso en mi vida, dándome su amor sincero y fuerzas para seguir adelante con mi carrera, de todo corazón le doy gracias al amor de mi vida porque gracias a ella logré avanzar y superar diferentes etapas y pruebas que hay que cursar para llegar a ser un buen profesional.

Un agradecimiento especial al Ing. Claudio Rivera T. Jefe Regional de Hormigones SOBOCE S.A por permitirme usar el laboratorio de hormigones para realizar las prácticas y gestionar la colaboración que me dieron al proveerme de agregados y cemento necesarios para la ejecución de mi proyecto. También, doy gracias al Ing. Yamil Gutiérrez quien es el encargado de la empresa READY MIX por guiarme con el proceso de investigación y a los técnicos por enseñarme a realizar y perfeccionar las prácticas de laboratorio.

Un agradecimiento en general a todas aquellas personas que de una u otra forma me colaboraron y ayudaron apoyándome moralmente, dándome una guía para realizar este proyecto de investigación.

## ÍNDICE

Dedicatorias  
Pensamiento  
Agradecimientos  
Resumen

### Capítulo I INTRODUCCIÓN

	<b>Página</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.3 HIPOTESIS.....	2
1.4 ANTECEDENTES.....	2
1.4.1 Reseña histórica.....	2
1.4.2 Campos de aplicación en el mundo.....	3
1.4.3 Campo de aplicación en Bolivia.....	4
1.4.4 Diferencias con el hormigón convencional.....	5
1.4.5 Dosificaciones tipo.....	6
1.4.6 Normativa actual en distintos países.....	6
1.5. OBJETIVOS.....	7
1.5.1 Objetivo General.....	7
1.5.2 Objetivos Específicos.....	8
1.6. JUSTIFICACION.....	8
1.6.1 Académica.....	9
1.6.2 Social –Institucional.....	9
1.7. ALCANCE DEL LA INVESTIGACION.....	9

### Capítulo II MARCO TEÓRICO

2.1 EL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE (H.A.C).....	11
2.1.1 Definición.....	11
2.1.2 Ventajas.....	11
2.1.3 Área de aplicación.....	11

	<b>Página</b>
2.1.4 Clases de HAC.....	12
2.2 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTES.....	13
2.2.1 Propiedades del HAC en estado fresco.....	13
2.2.1.1 Propiedades reológicas del H.A.C.....	13
2.2.1.2 Capacidad de relleno.....	14
2.2.1.3 Capacidad de paso.....	14
2.2.1.4 Resistencia a la segregación.....	14
2.2.1.5 Fiabilidad.....	14
2.2.1.6 Tiempo abierto.....	15
2.2.2. Propiedades estructurales.....	15
2.2.2.1 Resistencia a compresión.....	16
2.2.2.2 Resistencia a tracción.....	16
2.2.2.3 Módulo de elasticidad.....	16
2.2.2.4 Fluencia.....	17
2.2.2.5 Retracción.....	18
2.2.2.6 Coeficiente de dilatación térmica.....	19
2.2.2.7 Adherencia en las armaduras, el pretensado y los cables.....	19
2.2.2.8 Capacidad de esfuerzo cortante entre capas de hormigonado.....	20
2.2.2.9 Resistencia al fuego.....	20
2.2.2.10 Durabilidad.....	21
2.3 COMPONENTES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.....	22
2.3.1 Cemento.....	23
2.3.2 Agregados.....	24
2.3.2.1 Agregado fino.....	26
2.3.2.2 Agregado grueso.....	26
2.3.3 Adiciones.....	27
2.3.4 Agua.....	28
2.3.5 Agentes reductores de agua de alto rango (superplastificantes).....	29
2.3.6 Agentes reductores de viscosidad.....	33
2.4 MÉTODOS DE ENSAYO PARA CARACTERIZAR EL HAC.....	34
2.4.1 Ensayo de extensión de flujo.....	35
2.4.2 Anillo J.....	38

	<b>Página</b>
2.4.3 Embudo V.....	40
2.4.4 Caja en L.....	42
2.4.5 Método de ensayo de Caja en U.....	45
2.4.6 Método de ensayo de caja de relleno.....	46
2.4.7 Ensayo de Orimet.....	47
2.5 MÉTODOS DE DOSIFICACIÓN.....	48
2.5.1 Ensayos previos sobre la pasta y el mortero.....	48
2.5.1.1 Ensayo de flujo de mortero .....	48
2.5.1.2 Ensayo de embudo en V del mortero .....	49
2.5.2 Método general de dosificación.....	50
2.5.3 Método de dosificación EFNARC.....	50
2.6. COMPOSICIÓN ORIENTATIVA DE LA MESCLA.....	51
2.7 EXIGENCIA DE AUTOCOMPACTABILIDAD POR DISTINTOS AUTORES.....	53
2.8 GUIA PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS .....	55
2.9 CLASIFICACION USADA EN LAS ESPECIFICACIONES DEL HAC.....	57
2.9.1 Clases de consistencia.....	59
2.9.1.1 Ecurrimiento.....	59
2.9.1.2 Viscosidad.....	60
2.9.1.3Capacidad de paso.....	60
2.9.1.4 Resistencia a la segregación.....	61

### **Capítulo III**

### **METODOLOGÍA**

3.1 CONSTRUCCIÓN DE LOS EQUIPOS.....	63
3.1.1 Anillo japonés.....	63
3.1.2 Embudo en V.....	63
3.1.3 Caja en L.....	64
3.1.4 Cono de flujo para la pasta y el mortero.....	65
3.1.5 Embudo en V para mortero.....	66
3.2 MATERIALES A UTILIZAR .....	66
3.2.1 Cementos a utilizar.....	67

	<b>Página</b>
3.2.2 Elección del superplastificante a utilizar.....	67
3.2.3 Agregados.....	68
3.2.3.1 Agregado fino a utilizar.....	68
3.2.3.2 Agregado grueso a utilizar.....	69
3.3 ENSAYO DE LABORATORIO PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS.....	70
3.3.1 Humedad.....	70
3.3.2 Granulometría de los agregados.....	71
3.3.2.1 Límites de la granulométricos del agregado fino.....	71
3.3.2.2 Límites de la granulométrico del agregado grueso.....	71
3.3.3 Módulo de finura.....	73
3.3.4 Porcentaje de finos que pasan el tamiz No 200.....	73
3.3.5 Peso específico y absorción del agregado.....	74
3.3.6 Peso Unitario.....	74
3.4 COMPOSICIONES INICIALES DE LA MEZCLA A UTILIZAR.....	75
3.5 DOSIFICACIONES DEL HORMIGÓN AUTOCOMPACTANTE.....	76
3.5.1 Establecer las características de diseño utilizando las tablas de ACI.....	78
3.5.1.1 Cálculo del contenido de cemento.....	79
3.5.2 Modificación del contenido de agua.....	80
3.5.3 Diseñar y ajustar la composición de la mezcla.....	80
3.5.4 Verificar el rendimiento en laboratorio.....	83
3.5.4.1 Ensayo de flujo de asentamiento y ensayo de T50cm.....	83
3.5.4.2 Ensayo de anillo en J.....	85
3.5.4.3 Ensayo de embudo V y ensayo de embudo V a T5 minutos.....	87
3.5.4.4 Ensayo de caja en L.....	88
3.6 MEZCLADO.....	90
3.7 ELABORACIÓN DE PROBETAS.....	91
3.7.1 Llenado de probetas.....	92
3.8. CARACTERIZACIÓN DE LOS HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES EN ESTADO ENDURECIDO.....	92
3.9. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	92

**Capítulo IV**  
**APLICACIÓN DE LA METODOLOGIA**

	<b>Página</b>
4.1. ENSAYOS PARA LA CARACTERIZACIÓN LOS AGREGADOS.....	94
4.1.1 Granulometría de los agregados.....	94
4.1.2 Granulometría de los agregados combinados.....	96
4.1.3 Caracterización de los agregados utilizados.....	97
4.2. RESULTADOS DE LA DOSIFICACIÓN DEL HAC.....	99
4.3 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A COMPRESIÓN.....	101

**Capítulo V**  
**ANÁLISIS DE RESULTADOS**

5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
5.1.1 Prueba de flujo 1.....	102
5.1.2 Prueba de flujo 2.....	102
5.1.3 Prueba de flujo 3.....	102
5.1.4 Prueba de flujo 4.....	102
5.1.5 Prueba 5 para todos los ensayos.....	103
5.1.6 Prueba 6 para todos los ensayos.....	104
5.1.7 Prueba 7 para todos los ensayos.....	105
5.1.8 Prueba 8 para todos los ensayos.....	106
5.1.9 Prueba 9 para todos los ensayos.....	107
5.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN EFNARC DEL HAC.....	119
5.2.1 Ensayo del escurrimiento.....	119
5.2.2 Viscosidad.....	110
5.2.3 Capacidad de paso.....	110
5.3 CALCULO DE LA RESISTENCIA FCK DEL HAC.....	110
5.4 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.....	112

**CAPÍTULO VI**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

	<b>Página</b>
Conclusiones.....	115
Recomendaciones.....	118
Bibliografía.....	119

ANEXOS

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Página</b>
<b>Figura 1</b> Puente Akasi Kaikyo (Bahia Osaka).....	4
<b>Figura 2</b> Propiedades reológicas.....	13
<b>Figura 3</b> Mecanismo de bloqueo.....	14
<b>Figura 4</b> Comparación de proporciones entre una mezcla de hormigón convencional y una de hormigón autocompactante .....	23
<b>Figura 5</b> Composición esquemática del hormigón autocompactante.....	23
<b>Figura 6</b> Agregados grueso tradicional con un tamaño máximo entre 8 y 16 mm.....	25
<b>Figura 7</b> Distintos tipos de adiciones utilizados en la elaboración del hormigón autocompactante.....	28
<b>Figura 8</b> Porcentaje de reducción de agua de los plastificantes.....	30
<b>Figura 9</b> Reducción de agua con distintas dosis de un superplastificante.....	30
<b>Figura 10</b> Microfotografía de partículas de cemento en una solución d agua/cemento sin aditivo superplastificante y con aditivo.....	31
<b>Figura 11</b> Efecto del superplastificante y del agua sobre la viscosidad.....	32
<b>Figura 12</b> Efecto del superplastificante sobre el cemento: Cemento y agua, Cemento, agua y superplastificante.....	32
<b>Figura 13</b> Cono y base.....	36
<b>Figura 14</b> Diámetro final de extensión.....	36
<b>Figura 15</b> Anillo de barras.....	38
<b>Figura 16</b> Ensayo de extensión combinado con anillo.....	38
<b>Figura 17</b> Embudo en V sección circular.....	41
<b>Figura 18</b> Embudo en V sección rectangular.....	41
<b>Figura 19</b> Configuración de la caja en L.....	43
<b>Figura 20</b> Dimensiones típicas de la caja en L.....	43
<b>Figura 21</b> Dimensiones según EFNARC (2002) de la caja en.....	43

<b>Figura 22</b>	Dimensiones de la caja en.....	46
<b>Figura 23</b>	Dimensiones de la caja de relleno.....	47
<b>Figura 24</b>	Dimensiones del equipo de Orimet.....	47
<b>Figura 25</b>	Cono de flujo para la pasta y mortero.....	49
<b>Figura 26</b>	Embudo en V para mortero.....	49
<b>Figura 27</b>	Modelo de embudo V a construir.....	64
<b>Figura 28</b>	Modelo de caja en L a construir.....	65
<b>Figura 29</b>	Cono de flujo a construir para la pasta y el mortero.....	65
<b>Figura 30</b>	Embudo en V a construir para el mortero.....	66
<b>Figura 31</b>	Modificaciones del contenido de agua.....	80
<b>Figura 32</b>	Determinación de la relación agua/ finos.....	82
<b>Figura 33</b>	Aspecto de un hormigón autocompactante donde se ha producido segregación del árido grueso en el centro y de pérdida de agua en el frente de avance del ensayo.....	83
<b>Figura 34</b>	Ensayo de flujo asentamiento.....	83
<b>Figura 35</b>	Combinación de ensayos extensión de flujo y anillo J.....	85
<b>Figura 36</b>	Caja en L.....	88
<b>Figura 37</b>	Resultado final del ensayo de la caja en L.....	89
<b>Figura 38</b>	Mezcladora para hormigones.....	90
<b>Figura 39</b>	Elaboración de probetas.....	91
<b>Figura 40</b>	Curva granulométrica de agregado fino.....	94
<b>Figura 41</b>	Curva granulométrica de la grava 19 mm.....	95
<b>Figura 42</b>	Curva granulométrica de la grava 19 mm.....	96
<b>Figura 43</b>	Granulometría de agregados combinados.....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Página</b>
<b>Tabla 1</b> Clases de HAC en European Guidelines for Self Compacting Concrete.....	12
<b>Tabla 2</b> Evolución de los agentes reductores de agua.....	29
<b>Tabla 3.</b> Lista de métodos de ensayo para las propiedades de trabajabilidad del HAC.....	34
<b>Tabla 4</b> Propiedades de trabajabilidad del HAC y métodos de ensayo alternativos (EFNARC).....	35
<b>Tabla 5</b> Composición del HAC según la directriz europea.....	52
<b>Tabla 6</b> Rangos típicos para la dosificación de un HAC según la Instrucción EHE-08 (ACHE, 2008).....	52
<b>Tabla 7</b> Rango admisible de los ensayos normalizados (Instrucción EHE-08).....	53
<b>Tabla 8</b> Rango admisible de los ensayos no normalizados (ACHE, 2008).....	54
<b>Tabla 9</b> Parámetros de los ensayos en estado fresco (EFNARC,2002).....	54
<b>Tabla 10</b> Localización de fallos en caso de resultados demasiado bajos.....	56
<b>Tabla 11</b> Localización de fallos en caso de resultados demasiado altos.....	56
<b>Tabla 12</b> Posibles medidas de corrección a partir de los fallos identificados.....	57
<b>Tabla 13</b> Clasificación europea en función del ensayo de escurrimiento (df) (EFNARC, 2002).....	58
<b>Tabla 14</b> Clasificación europea en función del ensayo del embudo en V (TV) (EFNARC, 2002).....	58
<b>Tabla 15</b> Clasificación europea en función del ensayo de la caja en L (CbL) (EFNARC, 2002).....	58
<b>Tabla 16</b> Clasificación europea en función de la resistencia de segregación (EFNARC, 2002).....	58
<b>Tabla 17</b> Agregados existentes en Tarija.....	68
<b>Tabla 18</b> Medidas de muestra de agregados.....	70
<b>Tabla 19</b> Límites granulométricos de agregado fino.....	71
<b>Tabla 20</b> Requisitos de granulometría para los agregados Gruesos (ASTMC33).....	72
<b>Tabla 21</b> Capacidad de recipientes (ensayo de peso unitario).....	75
<b>Tabla 22</b> Tolerancias permisibles para las edades de los cilindros sometidos a prueba de compresión.....	93

	<b>Página</b>
<b>Tabla 23</b> Granulometría del agregado fino.....	94
<b>Tabla 24</b> Granulometría de la grava 19mm.....	95
<b>Tabla 25</b> Granulometría de la grava 9.5mm.....	95
<b>Tabla 26</b> Granulometría de agregados combinados (grueso y fino).....	97
<b>Tabla 27</b> Características físico- mecánica de la arena.....	98
<b>Tabla 28</b> Características físico- mecánica de la grava 19mm (3/4").....	98
<b>Tabla 29</b> Características físico- mecánica de la grava 9.5mm (3/8").....	98
<b>Tabla 30</b> Resultados de la dosificación del hormigón autocompactante.....	100
<b>Tabla 31</b> Resistencia media (fcm) del hormigón HAC.....	101

