

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**



**“ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DEL CURADO DEL HORMIGÓN CON  
VAPOR DE AGUA VS CURADO CONVENCIONAL - EN LABORATORIO”  
(APLICACIÓN A ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS).**

**Por:**

**MARICELA CHOQUE ARAMAYO**

**GESTION 2014**

**TARIJA-BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**

**“ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DEL CURADO DEL HORMIGÓN CON  
VAPOR DE AGUA VS CURADO CONVENCIONAL - EN LABORATORIO”  
(APLICACIÓN A ELEMENTOS ESTRUCTURALES PREFABRICADOS).**

**Por:**

**MARICELA CHOQUE ARAMAYO**

**GESTION 2014**

**TARIJA-BOLIVIA**

El docente y tribunal evaluador del Proyecto de Ingeniería Civil no se solidarizan con los términos, la forma, los modos y las expresiones empleados en la elaboración del presente trabajo, siendo los mismos únicamente responsabilidad del autor.

## **DEDICATORIA**

A Dios por estar siempre presentes en mis plegarias.

A mi mamita *Beatriz* quien siempre me ha guiado, aconsejado y levanto los ánimos cuando sentía que las cosas se me venían abajo.

A mi papi Víctor que siempre estuvo presente cuando lo necesitaba.

A mis hermanos Sofia, Eudin, Raquel y Samuel que de una u otra forma me ayudaron, por sus consejos y preocupación.

El Autor

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres por el gran sacrificio que ellos hicieron para con mi persona.

Al Ingeniero, Fernando Mur Lagrava, por haber confiado en mí ciegamente, sin conocerme. Gracias a su dedicación, por su constante disposición y apoyo logré llevar a cabo mi trabajo y con el cual aprendí muchísimo.

A la M.Sc. Ing. Miriam Barrero, por su ayuda, por los consejos que me ayudaron a poder terminar esta investigación.

A mí enamorado Eiber por todo su amor y cariño; paciencia y apoyo incondicional. Por ser mi persona favorita y por estar ahí siempre levantándome los ánimos cuando más lo necesite.

ÍNDICE	pág.
DEDICATORIA.....	1
AGRADECIMIENTO.....	2
RESUMEN DEL PROYECTO.....	3
INDICE DE CONTENIDO.....	4
INDICE DE TABLAS.....	9
INDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFIAS.....	10
INDICE DE GRAFICAS.....	11
1. CAPITULO I. EL OBJETO DE CONOCIMIENTO	
1.1. El problema.....	14
1.1.1. Antecedentes.....	14
1.1.2. Planteamiento.....	14
1.1.3. Formulación.....	15
1.1.4. Sistematización.....	16
1.2. Objetivos.....	16
1.2.1. General.....	16
1.2.2. Específicos.....	16
1.3. Justificación.....	17
1.3.1. Teórica.....	17
1.3.2. Metodológica.....	17
1.3.3. Practica.....	17
1.4. Marco de referencia.....	18
1.4.1. Espacial.....	18
1.4.2. Temporal.....	18
1.5. Alcance del estudio.....	18
1.5.1. Tipo de estudio.....	18
1.5.2. Hipótesis.....	19
1.5.3. Restricciones o limitaciones.....	19
1.5.4. Aporte Académico.....	19
2. CAPITULO II. MARCO TEORICO	

2.1. Hormigón.....	24
2.1.1. Materiales componentes del hormigón.....	25
2.1.2. Propiedades del hormigón fresco.....	25
2.1.2.1. Consistencia.....	26
2.1.2.2. Docilidad.....	26
2.1.2.3. Homogeneidad.....	27
2.1.2.4. Peso específico.....	27
2.1.3. Propiedades del hormigón endurecido.....	27
2.1.3.1. Peso específico.....	27
2.1.3.2. Compacidad.....	27
2.1.3.3. Permeabilidad.....	28
2.1.3.4. Resistencia.....	28
2.1.4. Características mecánicas del hormigón.....	29
2.1.4.1. Resistencia a la compresión.....	29
2.1.4.2. Resistencia a la flexión.....	29
2.1.5. Ensayos estándar en hormigón.....	30
2.1.5.1. Determinación de la consistencia del hormigón.....	30
2.1.5.2. Preparación y curado de especímenes en el laboratorio para los ensayos de Compresión y de Flexión.....	30
2.1.5.3. Determinación de la Resistencia a la Compresión de cilindro de hormigón.....	31
2.1.5.4. Determinación de la Resistencia del hormigón a la Flexión.....	31
2.2. Estudio del cemento.....	32
2.2.1. Hidratación del cemento.....	33
2.2.1.1. Calor de hidratación.....	33
2.2.2. Características Físicas y Mecánicas.....	33
2.2.2.1. Fraguado y proceso de endurecimiento.....	33
2.2.2.2. Determinación de la Finura.....	33
2.2.2.3. Peso específico.....	34
2.3. Estudio de los agregados.....	34
2.3.1. Propiedades físicas de los agregados.....	34

2.3.1.1. Granulometría.....	34
2.3.1.2. Peso específico y Absorción de agua.....	37
2.3.1.3. Peso unitario.....	40
2.3.2. Funciones de los agregados.....	40
2.4. Dosificación del hormigón.....	40
2.5. Curado del hormigón.....	44
2.5.1. Tiempo de curado.....	49
2.5.2. El durado del concreto y su influencia en la contracción plástica.....	51
2.5.3. Efectos de un mal curado.....	52
2.6. Curado por inundación o inmersión.....	53
2.7. Curado Acelerado.....	54
2.7.1. Ventajas y limitaciones.....	54
2.7.2. Curado de vapor de agua a presión atmosférica.....	55
2.7.3. Cámaras de curado a vapor de agua.....	61
2.8. Influencia de la temperatura temprana sobre la resistencia del hormigón.....	61
2.8.1. Propiedades térmicas del hormigón.....	64
2.9. Elementos prefabricados.....	67
2.9.1. Bloques prefabricados.....	67
2.9.2. Curado de elementos estructurales prefabricados.....	69
<b>3. CAPITULO III. MARCO PRACTICO</b>	
3.1. Fabricación del equipo de curado acelerado.....	72
3.2. Información generada.....	75
3.2.1. Análisis del cemento.....	75
3.2.1.1. Determinación de la Finura.....	75
3.2.1.2. Peso específico.....	76
3.2.2. Análisis de los agregados.....	76
3.2.2.1. Granulometría.....	77
3.2.2.2. Peso específico.....	80
3.2.2.3. Peso unitario.....	80
3.2.3. Dosificación de las probetas, vigas y bloque de hormigón.....	82

3.2.4. Elaboración, curado y ruptura de los especímenes de hormigón.....	87
3.2.4.1. Elaboración.....	87
3.2.4.2. Curado.....	89
3.2.4.3.Ruptura.....	92
3.2.5. Ensayos a los especímenes de hormigón.....	92
3.2.5.1. Capacidad calorífica del hormigón .....	92
3.2.5.2. Determinación de la temperatura en el centro y superficie de un elemento de hormigón.....	94
3.2.5.3. Ensayo de compresión (Probetas, Bloques de hormigón).....	95
3.2.5.4. Ensayo de flexión (Vigas).....	101
3.3. Análisis de Resultados.....	103
CONCLUSIONES.....	104
RECOMENDACIONES.....	106
BIBLIOGRAFIA.....	107

## ANEXOS

A-1 PLANOS DEL DISEÑO DE LA CAMARA DE VAPOR.

A-2 FOTOGRAFIA DEL PROCEDIMIENTO DE LOS DIFERENTES ENSAYOS  
REALIZADOS A LOS AGREGADOS.

A-3 FOTOGRAFIA DE LA ELABORACION DE LAS PROBETAS, VIGAS Y  
BLOQUES.

A-4 FOTOGRAFIA DE LA FABRICACIÓN DEL EQUIPO DE CURADO  
ACELERADO Y SUS PARTES.

A-5 FOTOGRAFIA DE LA DISTRIBUCION DE LAS PROBETAS VIGAS Y  
BLOQUES DE HORMIGON DENTRO DE LA CAMARA DE CURADO DE VAPOR  
DE AGUA.

A-6 FOTOGRAFIA DEL PROCEDIMIENTO DEL CURADO A VAPOR DE AGUA.

A-7 CRONOGRAMA DEL PROCESO DE CURADO A VAPOR DE AGUA Y  
CURADO CONVENCIONAL.

A-8 ESQUEMA DE HORARIO TIPICO DEL CURADO A VAPOR DE AGUA  
PARA CADA DIA.

A-9 PLANILLAS CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL PROCESO DE  
CURADO DE VAPOR DE AGUA.

A-10 FOTOGRAFIA DEL PROCEDIMIENTO DE LOS DIFERENTES ENSAYOS  
REALIZADOS A LOS ESPECIMENES DE HORMIGON.

ÍNDICE DE TABLAS	pág.
Tabla N° 1.- Clasificación del hormigón según su consistencia.....	26
Tabla N° 2.- Granulometría del agregado grueso.....	35
Tabla N° 3.- Granulometría del agregado fino.....	36

Tabla N° 4.- Relación entre la razón Agua /cemento y la resistencia promedio a compresión del hormigón (ACI 211,1-Rev.85).....	82
Tabla N° 5.- Máxima razón Agua /cemento permitida para hormigón en exposición severa (basada en ACI 201,2R).....	82
Tabla N° 6.- Asentamientos de cono recomendado para diferentes tipos de construcción (ACI 211,1-Rev.85).....	83
Tabla N° 7.- Requerimientos aproximados para dosis de agua (kg/m <sup>3</sup> ) y contenido de aire (%) para diferentes trabajabilidad y tamaños máximos nominales de áridos (ACI 211,1-Rev.85).....	83
Tabla N° 8.- Volumen aparente de árido grueso seco por metro cubico de hormigón (1/m <sup>3</sup> ) (ACI 211,1-Rev.85).....	83
Tabla N° 9.- Temperaturas obtenidas.....	94
Tabla N° 10.- Resultado obtenidos de la resistencia a compresión de las Probetas.....	95
Tabla N° 11.- Resultados obtenidos de la resistencia a compresión de las probetas con curado continuo.....	97
Tabla N° 12.- Resultado obtenidos de la resistencia a compresión de los bloques de hormigón.....	99
Tabla N° 13.- Resultado obtenidos de la resistencia a flexión de las vigas.....	101

## ÍNDICE DE FIGURAS Y FOTOGRAFIAS

pág.

Figura N° 1: Aparato para la prueba de resistencia a la flexión con carga en los tercios del claro.....	30
Figura N° 2: Representación diagramática de la humedad en el agregado.....	37
Figura N° 3: Dimensiones comerciales de los bloques de hormigón .....	69

Fotográfica N° 1: Cámara del vapor.....	61
Fotográfica N° 2: Equipo de curado acelerado .....	72
Fotográfica N° 3: Proforma de la fabricación de Máquina de curado acelerado.....	73
Fotográfica N° 4: Separadora de áridos de San Blas.....	75
Fotográfica N° 5: Hormigonera lista para empezar el mezclado.....	87
Fotográfica N° 6: Prueba del cono de Abrams.....	88
Fotográfica N° 7: Colocado del hormigón en los moldes cilíndricos.....	89
Fotográfica N° 8: Curado convencional.....	90
Fotográfica N° 9: Equipo utilizado para realizar las rupturas.....	92

## INDICE DE GRAFICAS

	pág.
Grafica N° 1: Zonas granulométrica IRAM – CIRSOC.....	34
Grafica N° 2: Efecto de curado húmedo sobre el desarrollo de la resistencia del concreto (Ginnerman y Shuman 1928).....	45
Grafica N° 3: Influencia del curado en la permeabilidad de probetas de mortero.....	46
Grafica N° 4: Efecto de las condiciones de temperatura en el desarrollo de resistencia del hormigón.....	47

Grafica N° 5: Ejemplo de un ciclo típico de curado con vapor a presión atmosférica.....	55
Grafica N° 6: Relación entre la resistencia a 18 horas y el período previo a la introducción del vapor, para varias temperaturas de vapor. En cada caso dicho período más el suministro de vapor totaliza 18 hrs.....	56
Grafica N° 7: Resistencia del hormigón curado con vapor a diferentes temperaturas (relación agua/cemento = 0.50; curado con vapor aplicado inmediatamente después del colado del hormigón).....	57
Grafica N° 8: Efecto del retraso en el curado con vapor sobre la adquisición temprana de resistencia debido a la madurez.....	58
Grafica N° 9: Ejemplo de Ross del flujo en dos dimensiones del calor en hormigón con una difusividad de $0.0037 \text{ m}^2/\text{h}$ .....	60
Grafica N° 10: Influencia de la temperatura de curado en la resistencia a la compresión a 1 y 28 días.....	62
Grafica N° 11: Relación entre la resistencia a la compresión y el tiempo de curado de los compactos de la pasta de cemento puro a diferentes temperaturas de curado.....	63
Grafica N° 12: Relación entre la resistencia a la compresión y el tiempo de curado de los compactos de la pasta de cemento puro a diferentes temperaturas de curado. La temperatura de los especímenes fue moderada a $20^\circ \text{C}$ , a una velocidad constante (cemento tipo I).....	63
Grafica N° 13: Tasa de evolución de liberación de calor vs tiempo para cemento portland.....	65
Grafica N° 14: Ciclo de curado de vapor de agua utilizado.....	91
Grafica N° 15: Registro de temperaturas en el centro y superficie de un elemento de hormigón masivo.....	94
Grafica N° 16: Grafica del curado de vapor de agua Vs el curado convencional de las probetas.....	96
Grafica N° 17: Grafica del curado de vapor de agua Vs el curado convencional de los bloques de hormigón.....	98
Grafica N° 18: Grafica del curado de vapor de agua Vs el curado convencional de las vigas.....	102

