

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**



**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FILOSOFÍA DEL  
CONCRETO Y LA FILOSOFÍA DEL SUELO PARA EL  
DISEÑO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO  
(HCR)”**

**(Aplicado en la construcción de represas)**

Realizado por:

**HONIS GUALBERTO FIGUEROA CABA**

Enero de 2016

**TARIJA – BOLIVIA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA FILOSOFÍA DEL  
CONCRETO Y LA FILOSOFÍA DEL SUELO PARA EL  
DISEÑO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON RODILLO  
(HCR)”**

**(Aplicado en la construcción de represas)**

Realizado por:

**HONIS GUALBERTO FIGUEROA CABA**

**EN LA ASIGNATURA CIV 502 PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL II  
MENCION ESTRUCTURAS**

**Gestión académica II/S 2015**

**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:**

Quiero dedicar este trabajo a todas las personas que a través del tiempo me apoyaron para que salga adelante y pueda culminar con esta etapa.

A mi familia, que fueron mi apoyo en todo momento y me ayudaron a salir adelante.

# ÍNDICE

	Página
RESUMEN DEL PROYECTO .....	
1. ANTECEDENTES .....	1
1.1. El problema .....	1
1.1.1. Antecedentes .....	1
1.1.2. Planteamiento .....	1
1.1.3. Formulación.....	1
1.1.4. Sistematización.....	2
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. General .....	2
1.2.2. Específicos .....	2
1.3. Justificación .....	2
1.3.1. Teórica .....	3
1.3.2. Metodológica .....	3
1.3.3. Práctica .....	3
1.4. Hipótesis.....	3
1.5. Alcance del estudio .....	3
1.5.1. Tipo de Estudio.....	3
1.5.2. Alcance y/o Restricciones.....	4
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Hormigón compactado con rodillo (HCR) .....	5
2.2. Evolución de la técnica del HCR .....	6
2.3. Ventajas del HCR como método de construcción de presas .....	12
2.3.1. Costo.....	13
2.3.2. Construcción Rápida.....	13
2.3.3. Vertedor y estructuras anexas integradas .....	14
2.3.4. Reducción de desvío y ataguías.....	14

	Página
2.3.5. Reducción de impactos ambientales.....	15
2.3.6. Otras ventajas.....	15
2.4. Desventajas del HCR en la construcción de presas.....	15
2.5. Aplicaciones.....	16
2.6. Filosofías de diseño .....	17
2.6.1. Filosofía del concreto .....	19
2.6.2. Filosofía del suelo.....	22
2.7. Materiales para mezclas HCR.....	23
2.7.1. Cemento.....	24
2.7.2. Puzolanas.....	26
2.7.3. Agregados.....	27
2.7.4. Agua.....	32
2.7.5. Aditivos.....	32
2.8. Propiedades del Hormigón Compactado con Rodillo .....	33
2.8.1. Resistencia a la compresión .....	33
2.8.2. Resistencia a la tensión .....	35
2.8.3. Resistencia al corte.....	36
2.8.4. Módulo de elasticidad.....	38
2.8.5. Relación de Poisson.....	39
2.8.6. Propiedades térmicas.....	39
2.8.7. Cambios de volumen.....	40
2.8.8. Permeabilidad .....	40
2.8.9. Durabilidad .....	41
2.8.10. Peso unitario .....	42
2.9. Diseño de las mezclas de HCR .....	43
2.9.1. Método del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos .....	43

	Página
2.9.2. Método de suelos simplificado o utilizando concepto de compactación de suelos.	47
2.10. Preparación de especímenes .....	50
2.10.1. Especímenes Compactados por Impacto .....	51
2.10.2. Especímenes Vibrados.....	53
2.10.3. Especímenes Apisonados .....	53
2.11. Métodos de control de calidad del HCR.....	54
2.11.1. Controles en planta .....	54
2.11.2. Controles en obra.....	55
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN .....	57
3.1. Descripción de la investigación .....	57
3.2. Selección de materiales.....	58
3.2.1. Cemento.....	58
3.2.2. Agua.....	59
3.2.3. Agregado grueso .....	59
3.2.4. Agregado Fino .....	63
3.3. Diseño de las mezclas.....	65
3.3.1. Dosificación de probetas para la filosofía del concreto .....	65
3.3.2. Dosificación de probetas para la filosofía del suelo.....	66
3.4. Elaboración de muestras.....	67
3.5. Curado de probetas.....	69
3.6. Pruebas aplicadas.....	69
3.6.1. Ensayo mecánico de resistencia a compresión del hormigón .....	69
3.6.2. Ensayo para determinar la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido .....	70
3.7. Teoría estadística para el análisis de datos.....	71
3.7.1. Cálculo del error experimental promedio.....	71
3.7.2. Distribución de probabilidades .....	72

	Página
3.7.1. Definición de Resistencia Media y Resistencia Característica.....	73
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	75
4.1. Información generada.....	75
4.2. Análisis probabilístico, comparativo.....	79
4.3. Contrastación de hipótesis.....	111
CONCLUSIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA .....	116
ANEXOS .....	118
Anexo 1. Ensayos realizados a los materiales utilizados en la elaboración de las probetas.....	118
Anexo 2. Diseño de las mezclas de Hormigón Compactado con Rodillo.....	149
Anexo 3. Ensayo mecánico de Resistencia a compresión del HCR.....	178
Anexo 4. Ensayo para determinar la capacidad y velocidad de succión capilar de agua del hormigón endurecido .....	183
Anexo 5. Reporte fotográfico .....	191



## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2.2.1. Presas de HCR terminadas hasta 1996 y 2002 .....	11
Tabla 2.2.2. Parámetros de diseño Presa La Cañada .....	12
Tabla 2.6.1. Comparación general de factores característicos para filosofías de HCR.....	18
Tabla 2.7.1. Tipos de Cemento.....	25
Tabla 2.7.2. Clasificación puzolanas .....	27
Tabla 2.7.3. Clasificación de los agregados según los límites granulométricos .....	28
Tabla 2.7.4. Características y ensayos para agregados utilizados en presas de HCR .....	30
Tabla 2.8.1. Resistencias a la compresión de algunas presas de HCR.....	35
Tabla 2.8.2. Resistencias a la flexión y tensión de proyectos de HCR .....	36
Tabla 2.8.3. Comportamiento al corte de testigos perforados de presas de HCR .....	37
Tabla 2.8.4. Resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de algunas mezclas HCR de laboratorio .....	38
Tabla 2.8.5. Resistencia a la compresión y relación de Poisson de algunas mezclas de HCR de laboratorio .....	39
Tabla 2.9.1. Contenido de agua, contenido de arena, relación pasta mortero y contenido de aire atrapado para varios tamaños nominales de agregados .....	44
Tabla 2.9.2. Granulometría de agregado grueso ideal.....	45
Tabla 2.9.3. Granulometría límite de agregado fino.....	46
Tabla 2.9.4. Granulometría de los agregados utilizados en el diseño de mezclas HCR.....	48
Tabla 3.2.1. Informe de control de calidad Cemento El Puente.....	58
Tabla 3.2.2. Análisis físico del agua potable en la ciudad de Tarija .....	59
Tabla 3.2.3. Análisis Granulométrico Agregado Grueso .....	60
Tabla 3.2.4. Peso Específico y Absorción del Agregado Grueso.....	61
Tabla 3.2.5. Porcentaje de Desgaste del Agregado Grueso por medio de la Máquina de los Ángeles .....	61
Tabla 3.2.6. Peso Unitario Suelto y Compactado del Agregado Grueso.....	62
Tabla 3.2.7. Peso Unitario Agregado Fino Suelto y Compactado.....	63
Tabla 3.2.8. Análisis Granulométrico Agregado Fino.....	64

	Página
Tabla 3.2.9. Peso Específico y Absorción Agregado Fino .....	65
Tabla 3.3.1. Resumen Primera Dosificación con aproximación a Concreto (C-1) .....	66
Tabla 3.3.2. Resumen Segunda Dosificación con aproximación a Concreto (C-2) .....	66
Tabla 3.3.3. Resumen Tercera Dosificación con aproximación a Concreto (C-3).....	66
Tabla 3.3.4. Resumen Primera Dosificación con aproximación a Suelos (S-1).....	67
Tabla 3.3.5. Resumen Segunda Dosificación con aproximación a Suelos (S-2).....	67
Tabla 3.3.6. Resumen Tercera Dosificación con aproximación a Suelos (S-3) .....	67
Tabla 3.7.1. Distribución "t" de Student (Grado de confiabilidad 95%).....	74
Tabla 4.1.1. Ensayo de resistencia a compresión (filosofía cemento, primera dosificación).....	75
Tabla 4.1.2. Ensayo de resistencia a compresión (filosofía cemento, segunda dosificación) .....	76
Tabla 4.1.3. Ensayo de resistencia a compresión (filosofía cemento, tercera dosificación) .....	76
Tabla 4.1.4. Ensayo de resistencia a compresión (filosofía suelo, primera dosificación) ....	77
Tabla 4.1.5. Ensayo de resistencia a compresión (filosofía suelo, segunda dosificación) ...	77
Tabla 4.1.6. Ensayo de resistencia a compresión (filosofía suelo, tercera dosificación) .....	78
Tabla 4.1.7. Valores obtenidos, ensayo de capacidad y velocidad de succión de agua del HCR .....	79

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2.2.1. Presa La Cañada, primera experiencia de HCR en Bolivia .....	12
Figura 2.3.1. Relación costo-volumen para presas de HCR.....	13
Figura 2.6.1. Gráfica Resistencia media del hormigón – Relación Agua / Cemento, para hormigones comunes .....	21
Figura 2.6.2. Curvas de laboratorio humedad –densidad para mezclas HCR sujetas a varias energías de compactación .....	23
Figura 2.7.1. Componentes de HCR.....	24
Figura 2.7.2. Faja granulométrica propuesta por Choi y Groom, 2001 para proyectos pequeños a medianos .....	32
Figura 2.9.1. Gráfica de Contenido equivalente de cemento vs. Resistencia a la compresión.....	45
Figura 2.9.2. Curva granulométrica de agregados a utilizar en el diseño de las mezclas HCR.....	48
Figura 3.6.1. Preparación de probetas para el ensayo de succión capilar.....	71
Figura 3.7.1. Distribución Normal, Distribución "t" de Student .....	72