

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**  
**DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES**



**“DETERMINACIÓN DE LA RETRACCIÓN POR SECADO DEL HORMIGÓN  
UTILIZANDO CEMENTO FANCESA EN LA CIUDAD DE TARIJA”**

**Por:**

**ERWIN RODRIGO BATALLANOS ROMERO**

**SEMESTRE I-2023**

**TARIJA – BOLIVIA**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios, a mi familia y amigos por haberme brindado todo su apoyo, aliento y comprensión a lo largo de mi etapa universitaria.

Ética de autoría  
Dedicatoria  
Agradecimientos  
Pensamiento  
Resumen

## ÍNDICE

### CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1.	El problema.....	1
1.1.1.	Planteamiento .....	1
1.1.2.	Formulación.....	1
1.1.3.	Sistematización.....	1
1.2.	Objetivos.....	2
1.2.1.	General.....	2
1.2.2.	Específicos.....	2
1.3.	Justificación.....	2
1.4.	Alcance .....	4
1.5.	Hipótesis .....	4
1.6.	Definición de las variables .....	4
1.6.1.	Variable independiente.....	4
1.6.2.	Variable dependiente .....	4

### CAPÍTULO II FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1.	El Hormigón .....	5
2.2.	Características del hormigón .....	5
2.3.	Reología del hormigón .....	6
2.4.	Retracción.....	6
2.5.	Clasificación de la retracción .....	7

2.6.	El fenómeno de la retracción por secado.....	10
2.7.	Consecuencias debido a la retracción por secado.....	10
2.8.	Factores que influyen en la retracción por secado del hormigón .....	11
2.8.1.	Factores relacionados con la dosificación de la mezcla .....	11
2.8.2.	Factores relacionados con el ambiente .....	13
2.8.3.	Factores relacionados con el método de ejecución.....	14
2.9.	Modelos de estimación que considera el comité ACI 209.2R-08 .....	16
2.9.1.	Modelo ACI 209R-92.....	18
2.9.2.	Modelo Bažant-Baweja B3.....	21
2.9.3.	Modelo CEB MC90-99 .....	24
2.9.4.	Modelo GL2000 .....	26
2.10.	Materiales empleados en la elaboración de hormigones .....	27
2.10.1.	Agua.....	27
2.10.2.	Agregados .....	28
2.10.2.1.	Clasificación de los agregados.....	28
2.10.2.1.1.	Agregado grueso .....	28
2.10.2.1.2.	Agregado fino .....	28
2.10.2.2.	Propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	28
2.10.2.2.1.	Granulometría de los agregados.....	28
2.10.2.2.2.	Módulo de finura de los agregados .....	29
2.10.2.2.3.	Tamaño máximo .....	29
2.10.2.2.4.	Tamaño máximo nominal .....	30
2.10.2.2.5.	Peso específico de los agregados .....	30
2.10.2.2.6.	Porosidad y absorción de los agregados .....	30
2.10.2.2.7.	Peso unitario de los agregados .....	31

2.10.2.2.8. Resistencia a compresión.....	31
2.10.3. Cemento Portland.....	31
2.10.3.1. Composición química del cemento.....	31
2.10.3.2. Características físicas y mecánicas del cemento portland .....	32
2.10.3.2.1. Finura de molido.....	32
2.10.3.2.2. Peso específico.....	33
2.10.3.2.3. Resistencias mecánicas .....	33
2.10.3.3. Clasificación del cemento.....	33
2.10.4. Cemento tipo IP .....	35
2.10.4.1. Cemento tipo IP 30 .....	35
2.10.4.2. Cemento tipo IP 40 .....	35
2.10.4.3. Ventajas y desventajas de la puzolana en el cemento.....	35
2.10.4.4. Efectos del cemento puzolánico en la retracción por secado.....	36
2.11. Dosificación de mezclas de Hormigón.....	37
2.11.1. Métodos de dosificación utilizados en Bolivia .....	37
2.11.2. Método ACI 211.1 de la American Concrete Institute .....	37
2.12. Método de prueba estándar para determinar el cambio de longitud del hormigón ASTM C157 .....	40
2.12.1. Normas ASTM que se emplean en el cambio de longitud.....	40
2.12.1.1. C 143 Método de prueba estándar para asentamiento del Hormigón .....	40
2.12.1.2. C 172 Práctica estándar para el muestreo del hormigón recién mezclado.....	41
2.12.1.3. C 192 Práctica para la fabricación y curado del hormigón en laboratorio.....	41
2.12.1.4. C 490 Práctica para el uso de aparatos para el cambio de longitud del hormigón.....	42

2.12.2.	Aplicación del ensayo ASTM C 157 .....	43
2.12.2.1.	Condiciones estándar para la determinación del cambio de longitud.....	43
2.12.2.2.	Condiciones de mezclado del hormigón .....	43
2.12.2.3.	Procedimiento de curado de las muestras .....	43
2.12.3.	Periodo de estudio de la retracción .....	44
2.12.4.	Cambio de longitud.....	44
2.12.5.	Dispositivo para la medición de la variación de longitud 58-C0230/30D ..	44
2.12.5.1.	Descripción del equipo de medición 58-C0230/30D .....	44
2.12.6.	Cálculos estadísticos de la precisión.....	48
2.12.7.	Consistencia de las mediciones.....	49
<b>CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO</b>		
3.1.	Criterios del diseño metodológico.....	51
3.1.1.	Población .....	51
3.1.2.	Tamaño de la muestra.....	52
3.1.2.1.	Muestreo estratificado .....	52
3.1.2.2.	Desarrollo.....	52
3.1.2.2.1.	Cálculos y análisis previos .....	52
3.1.2.3.	Cálculo de muestra estratificada .....	53
3.1.3.	Procedencia de los agregados .....	54
3.1.3.1.	Agregado grueso .....	54
3.1.3.2.	Localización del agregado fino .....	55
3.2.	Caracterización de los materiales .....	56
3.2.1.	Criterios de extracción.....	56
3.3.	Ensayos de caracterización de los materiales que conforman el hormigón .....	57
3.3.1.	Granulometría.....	57

3.3.1.1.	Granulometría del agregado grueso .....	57
3.3.1.1.1.	Objetivo.....	57
3.3.1.2.	Grnulometría del agregado fino .....	57
3.3.1.2.1.	Objetivo.....	57
3.3.2.	Peso específico y absorción de los agregados .....	58
3.3.2.1.	Agregado grueso .....	58
3.3.2.1.1.	Objetivo.....	58
3.3.2.2.	Agregado fino.....	59
3.3.2.2.1.	Objetivo.....	59
3.3.3.	Peso unitario de los agregados.....	60
3.3.3.1.	Agregado grueso .....	60
3.3.3.1.1.	Objetivo.....	60
3.3.3.2.	Agregado fino.....	60
3.3.3.2.1.	Objetivo.....	60
3.3.4.	Cemento.....	61
3.3.4.1.	Peso específico del cemento.....	61
3.3.4.1.1.	Objetivo.....	61
3.3.4.2.	Finura del cemento .....	61
3.3.4.2.1.	Objetivo.....	61
3.4.	Preparación del hormigón.....	61
3.4.1.	Preparación de los materiales .....	62
3.4.2.	Pesada de materiales.....	62
3.4.3.	Mezclado del hormigón .....	62
3.4.4.	Vaciado y moldeo de probetas de hormigón .....	63
3.4.4.1.1.	Probetas para el ensayo a compresión .....	63

3.4.4.1.2.	Probetas para el ensayo de retracción .....	64
3.4.5.	Curado de las Muestras ASTM C 192.....	66
3.5.	Control del hormigón en su estado endurecido .....	68
3.5.1.	Compresión de probetas cilíndricas.....	68
3.5.1.1.	Procedimiento.....	68
3.5.2.	Medición de las vigas debido a la retracción.....	69
3.5.2.1.	Procedimiento.....	69

#### CAPÍTULO IV MARCO PRÁCTICO

4.1.	Presentación de resultados de los ensayos.....	72
4.2.	Dosificación.....	72
4.3.	Análisis del comportamiento del hormigón.....	75
4.3.1.	Análisis de las probetas cilíndricas ensayadas a compresión .....	75
4.3.2.	Análisis de las probetas prismáticas ensayadas a retracción .....	77
4.3.2.1.	Consistencia de las mediciones .....	82
4.3.2.2.	Deformación versus el tiempo.....	85
4.3.3.	Variación del peso debido a la retracción.....	89
4.4.	Modelos predictivos de retracción por secado considerados por el comité ACI 209.2R-08 .....	91
4.4.1.	Modelo ACI 209R-92.....	93
4.4.2.	Modelo Bažant-Baweja B3.....	94
4.4.3.	Modelo CEB MC90-99 .....	95
4.4.4.	Modelo GL2000 .....	96
4.4.5.	Análisis comparativo de los resultados .....	96
4.5.	Contrastación de la hipótesis .....	100
4.6.	Especificación técnica para la medición de la retracción y procesamiento de datos.....	101



4.6.1. Aparato .....	101
4.6.2. Procedimiento para el uso de los aparatos.....	101
4.6.3. Procesamiento de datos .....	102
<b>CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
5.1. Conclusiones.....	104
5.2. Recomendaciones .....	108
Bibliografía.....	109
<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1. Materiales esenciales para elaborar el hormigón .....	5
Fig. 2.2. Esquema de los tipos de agua debido a la hipótesis de Feldman y Sereda .....	7
Fig. 2.3. Relación entre retracción química y autógena .....	8
Fig. 2.4. Hormigón en estado fresco.....	9
Fig. 2.5. Fisuración de un elemento estructural restringido lateralmente.....	10
Fig. 2.6. Alabeo debido a la retracción por secado.....	11
Fig. 2.7. Relación entre la retracción y el contenido del agregado % .....	12
Fig. 2.8. Relación entre el contenido de agua, cemento y relación a/c con la retracción .....	12
Fig. 2.9. Retracción por secado para probetas cúbicas utilizando cementos tipo I y IV .....	13
Fig. 2.10. Relación entre la retracción versus el tiempo bajo condiciones de almacenaje constantes de humedad relativa curadas durante 28 días(Troxell, Raphael y Davis 1958) ...	14
Fig. 2.11. Retracción del hormigón con periodos de curado de 1 o 625 días, sometidas a diferentes humedades relativas .....	15
Fig. 2.12. Efecto de la relación volumen/superficie .....	16
Fig. 2.13. Calor de hidratación de un cemento portland y varios puzolánicos.....	36
Fig. 2.14. Partes del equipo .....	45
Fig. 2.15. Partes del indicador digital.....	47
Fig. 2.16. Funciones de las teclas del indicador digital.....	48
Fig. 3.1. Planta de trituración “Garzon” .....	55
Fig. 3.2. Planta de trituración “Vargas”.....	56
Fig. 3.3. Pesado de materiales .....	62
Fig. 3.4. Elaboración del hormigón .....	63
Fig. 3.5. Llenado de probetas cilíndricas con hormigón fresco.....	64
Fig. 3.6. Llenado de vigas con hormigón fresco .....	65

Fig. 3.7. Muestras elaboradas previo al desencofrado de las mismas para luego ser sumegidas en agua.....	66
Fig. 3.8. Muestras de vigas elaboradas previo al desencofrado de las mismas para luego ser sumegidas .....	67
Fig. 3.9. Curado de las probetas cilindricas.....	67
Fig. 3.10. Curado de las vigas .....	68
Fig. 3.11. Cilindro ensayado a compresión .....	69
Fig. 3.12. Discos que se colocaron en las vigas para su medición .....	70
Fig. 3.13. Colocado de los discos en las vigas .....	70
Fig. 3.14. Medición de las deformaciones debido a la retracción .....	71
Fig. 3.15. Medición del peso de las vigas.....	71
Fig. 4.1. Consistencia estadistica de las muestras “k” $F_{ck}$ 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	83
Fig. 4.2. Consistencia estadistica de las muestras “k” $F_{ck}$ 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	85
Fig. 4.3. Retracción vs tiempo 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	86
Fig. 4.4. Retracción vs tiempo 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	88
Fig. 4.5. Análisis de retracción-Peso 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	90
Fig. 4.6. Análisis de retracción-Peso 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	91
Fig. 4.7. Análisis comparativo de los modelos predictivos 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	97
Fig. 4.8. Análisis comparativo de los modelos predictivos 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	98
Fig. 4.9. Análisis de retraccion de los hormigones.....	100

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Parámetros de los modelos predictivos según ACI 209 .....	17
Tabla 2.2. Factores de corrección para curado húmedo .....	19
Tabla 2.3. Factores de corrección para la relación volumen superficie .....	20
Tabla 2.4. Dependencia de la humedad Kh .....	22
Tabla 2.5. $\alpha_1$ en función del tipo de cemento .....	23
Tabla 2.6. $\alpha_2$ en función de la condición de curado .....	23
Tabla 2.7. $K_s$ Coeficiente en función de la sección transversal .....	24
Tabla 2.8. coeficientes $\alpha_{ds1}$ y $\alpha_{ds2}$ .....	26
Tabla 2.9. Parámetro de k en función del tipo de cemento .....	27
Tabla 2.10. Serie de mallas estándar y límites de tolerancia para la Arena .....	29
Tabla 2.11. Compuestos del Cemento Portland .....	32
Tabla 2.12. Procedimiento de diseño.....	37
Tabla 2.13. Asentamiento recomendado para diversos tipos de construcción sistemas de colocación y compactación.....	38
Tabla 2.14. Requerimientos de agua de mezclado y contenido de agua para diferentes asentamientos y tamaño máximo de agregados.....	38
Tabla 2.15. Resistencia de diseño cuando no hay datos que permitan determinar la desviación estándar.....	39
Tabla 2.16. Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del hormigón .....	39
Tabla 2.17. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón .....	40
Tabla 2.18. Valores críticos de h y k a un nivel de significancia de 0,5% .....	50
Tabla 3.1. Ensayos a realizarse en la investigación.....	51
Tabla 3.2. Variables de la varianza en función al tiempo.....	52
Tabla 3.3. Nivel de confianza.....	53
Tabla 3.4. Numero de ensayos a realizar en laboratorio .....	54

Tabla 4.1. Datos de los ensayos de laboratorio realizados .....	72
Tabla 4.2. Pesos secos de los materiales por m <sup>3</sup> de hormigón para $F_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	73
Tabla 4.3. Pesos húmedos de los materiales por m <sup>3</sup> de Hormigón $F_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	73
Tabla 4.4. Proporciones de mezcla seca $F_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	73
Tabla 4.5. Proporciones de mezcla húmeda $F_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	73
Tabla 4.6. Cantidad de material húmedo para 4 cilindros $F_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	73
Tabla 4.7. Cantidad de material húmedo para 4 vigas $F_{ck} = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	74
Tabla 4.8. Pesos secos de los materiales por m <sup>3</sup> de hormigón para $F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	74
Tabla 4.9. Pesos húmedos de los materiales por m <sup>3</sup> de Hormigón $F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	74
Tabla 4.10. Proporciones de mezcla seca $F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	74
Tabla 4.11. Proporciones de mezcla húmeda $F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	75
Tabla 4.12. Cantidad de material húmedo para 4 cilindros $F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	75
Tabla 4.13. Cantidad de material húmedo para 4 vigas $F_{ck} = 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	75
Tabla 4.14. Detalle de rotura de las probetas cilíndricas ensayadas a compresión para 210 $\text{Kg/cm}^2$ .....	76
Tabla 4.15. Detalle de rotura de las probetas cilíndricas ensayadas a compresión para 250 $\text{Kg/cm}^2$ .....	77
Tabla 4.16. Deformación de las muestras de 210 $\text{Kg/cm}^2$ .....	78
Tabla 4.17. Deformación unitaria de las muestras de 210 $\text{Kg/cm}^2$ .....	79
Tabla 4.18. Deformación de las muestras de 250 $\text{Kg/cm}^2$ .....	80
Tabla 4.19. Deformación unitaria de las muestras de 250 $\text{Kg/cm}^2$ .....	81
Tabla 4.20. Consistencia estadística de las muestras “K” de $F_{ck} 210 \text{ Kg/cm}^2$ .....	82
Tabla 4.21. Consistencia estadística de las muestras “K” de $F_{ck} 250 \text{ Kg/cm}^2$ .....	84
Tabla 4.22. Deformación Unitaria 210 $\text{Kg/cm}^2$ .....	86
Tabla 4.23. Deformación Unitaria 250 $\text{Kg/cm}^2$ .....	87
Tabla 4.24. La retracción y la variación del peso para muestras de 210 $\text{Kg/cm}^2$ .....	89

Tabla 4.25. La retracción y la variación del peso para muestras de 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	90
Tabla 4.26. Datos requeridos para uso de los modelos predictivos 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	92
Tabla 4.27. Datos requeridos para uso de los modelos predictivos 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	93
Tabla 4.28. Retracción calculada por ACI 209R-92 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	94
Tabla 4.29. Retracción calculada por ACI 209R-92 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	94
Tabla 4.30. Retracción calculada por Bažant-Baweja B3 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	94
Tabla 4.31. Retracción calculada por Bažant-Baweja B3 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	95
Tabla 4.32. Retracción calculada por CEB MC90-99 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	95
Tabla 4.33. Retracción calculada por CEB MC90-99 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	95
Tabla 4.34. Retracción calculada por GL2000 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	96
Tabla 4.35. Retracción calculada por GL2000 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	96
Tabla 4.36. Resultado de las mediciones de laboratorio y de los modelos de estimación 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	96
Tabla 4.37. Resultado de las mediciones de laboratorio y de los modelos de estimación 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	97
Tabla 4.38. Variación porcentual de la retracción estimados por los modelos respecto de los medidos en laboratorio para 210 Kg/cm <sup>2</sup> .....	99
Tabla 4.39. Variación porcentual de la retracción estimados por los modelos respecto de los medidos en laboratorio para 250 Kg/cm <sup>2</sup> .....	99
Tabla 5.1. Valores inconsistentes para las muestras de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	104
Tabla 5.2. Valores inconsistentes para las muestras de 250 kg/cm <sup>2</sup> .....	105
Tabla 5.3. Valores inconsistentes para las muestras de 210 kg/cm <sup>2</sup> .....	105
Tabla 5.4. Valores inconsistentes para las muestras de 250 kg/cm <sup>2</sup> .....	105
Tabla 5.5. Variación del valor de “k” según el número de mediciones .....	106
Tabla 5.6. Factores de mezcla de los hormigones de 210 y 250 kg/cm <sup>2</sup> .....	106