

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS

Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES



**PROCESO DE CURADO Y SU INFLUENCIA EN LA
RESISTENCIA DEL HORMIGON EXPUESTO A
CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO**

REALIZADO POR:

MARIO BERNABE ONTIVEROS

Proyecto de investigación presentado a consideración de la "Universidad Autónoma Juan Misael Saracho", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Civil

ABRIL 2024

TARIJA-BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE ESTRUCTURAS

Y CIENCIAS DE LOS MATERIALES

**PROCESO DE CURADO Y SU INFLUENCIA EN LA
RESISTENCIA DEL HORMIGON EXPUESTO A
CICLOS DE CONGELAMIENTO Y DESHIELO**

REALIZADO POR:

MARIO BERNABE ONTIVEROS

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV-502

ABRIL 2024

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

A mis queridos padres: Dino por su apoyo incondicional, protección y motivación; a mi madre Amelia por estar siempre pendiente de mí apoyándome con espíritu alentador, por sus buenos consejos, por sus suplicas y oraciones constantes.

A mis hermanos: Fernando, Luis Alberto, José Enrique, Alex(+) quienes con su comprensión apoyo, fe, consejos y aliento me ayudaron a seguir adelante para lograr mis metas y objetivos.

INDICE

DEDICATORIA

RESUMEN

	Pagina
CAPITULO I.....	1
ANTEDECENTES	1
1.1 El problema	2
1.1.1 Planteamiento.....	2
1.1.2 Formulación	2
1.1.3 Sistematización.....	3
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1Objetivo general.....	3
1.2.2Objetivos específicos.....	3
1.3 Justificación.....	3
1.3.1Académica.....	4
1.3.2 Técnica.....	4
1.3.3 Social.....	4
1.4 Alcance del proyecto.....	4
1.5 Hipótesis de la investigación.....	5
1.6. Tipo de investigación.....	5
1.6.1 Nivel de Investigación.....	6
CAPITULO II.....	7
MARCO O FUNDAMENTO TEORICO	7
2.1 Marco conceptual.....	7
2.1.1 helada.....	7
2.1.2 Nevada.....	7
2.1.3 Friaje.....	7
2.1.4 Definición de clima frío.....	7
2.2 Fundamentos sobre el hormigón.....	8
2.2.1 Propiedades del hormigón.....	8
2.2.1.1 Propiedades del Hormigón Fresco.....	8

2.2.1.2	Propiedades del hormigón endurecido.....	12
2.2.1.2.1	Resistencia a la compresión.....	12
2.3	Fundamentos sobre los componentes del hormigón.....	15
2.3.1	Cemento.....	15
2.3.1.1.	Composición química del cemento.....	15
2.3.1.2.	Tipos de cemento.....	16
2.3.2	Agregados.....	17
2.3.2.1	Clasificación según su procedencia.....	18
2.3.2.2	Clasificación según su tamaño.....	18
2.3.2.3	Clasificación según su densidad.....	19
2.3.2.4	Propiedades de los agregados.....	19
2.3.2.4.1	Granulometría de los agregados.....	19
2.3.2.4.2	Forma de las partículas.....	20
2.3.2.4.3	Textura.....	20
2.3.2.4.4	Densidad.....	21
2.3.2.4.5	Porosidad.....	21
2.3.2.4.6	Propiedades mecánicas de los agregados.....	21
2.3.2.5	Agregado grueso.....	21
2.3.2.5.1	Granulometría de la grava.....	22
2.3.2.5.2	Peso unitario de la grava.....	24
2.3.2.5.3	Peso específico y absorción de la grava.....	25
2.3.2.6	Agregado fino.....	28
2.3.2.6.1	Granulometría de la arena.....	28
2.3.2.6.2	Modulo de finura.....	30
2.3.2.6.3	Peso unitario de la arena.....	30
2.3.2.6.4	Peso específico y absorción de la arena.....	31
2.3.3	Agua.....	32
2.3.3.1	Calidad del agua.....	33
2.4.	Aditivos.....	33
2.4.1	Aditivos incorporadores de aire para el hormigón.....	35

2.4.1.1 Métodos de medición del contenido de aire para hormigón en estado fresco.....	36
2.4.2 Aditivos acelerantes	36
2.5 Diseño de mezcla de hormigón	37
2.5.1 Diseño de mezclas de hormigón por el método A.C.I 211.....	38
2.6 Deterioro del hormigón	39
2.6.1 Fenómenos que afectan la durabilidad del hormigón.....	39
2.6.2 Factores que afectan al hormigón por congelamiento y deshielo.....	40
2.6.2.1 Grado de saturación.....	40
2.6.2.2 Relación agua/ cemento (a/c).....	40
2.6.2.3 Efecto del reductor de agua o superplastificante.....	40
2.6.2.4 Influencia de los áridos.....	41
2.7 Daños por los ciclos de congelamiento y deshielo en el hormigón.	41
2.8 Mecanismo de congelamiento y deshielo en el hormigón.....	41
2.8.1 Presión hidráulica.....	42
2.9 Recomendaciones para el vaciado del hormigón en climas fríos.....	44
2.10 Curado del hormigón..	45
2.10.1 Periodos de curado.....	46
2.11 Métodos de curado del hormigón.....	47
2.11.1 Curado con agua.....	47
2.11.1.1 Anegamiento o inmersión.....	47
2.11.1.2 Rociado de niebla o aspersión.....	48
2.11.1.3 Costales, carpetas de algodón y alfombras.....	48
2.11.1.4 Curado con tierra y agua.....	48
2.11.1.5 Arena y aserrín.....	48
2.11.1.6 Paja o heno.....	48
2.11.2 Curado con materiales selladores	49
2.12 Protección del hormigón.....	50
2.13 Materiales para la protección del hormigón	51
2.13.1 Fibra de celulosa.....	51
2.13.2 Lana mineral.....	51

2.13.3 Paja	51
2.13.4 Polietileno con arena.....	51
2.13.5 Frazadas de lana mineral	51
2.13.6 Mantas aislantes.....	52
2.13.7 Espuma de poliuretano.....	52
2.13.8 Mantas de espuma de vinilo.....	52
2.13.9 Aserrín.....	53
2.13.10 Lámina de poliestireno expandido.....	54
2.13.11 Lámina de Polietileno con Burbuja.....	55
2.14 Materiales utilizados en la investigación.....	55
2.14.1 Polietileno (naylor).....	55
2.14.2 Papel (envase de cemento)	56
2.14.3 Aditivo incorporador de aire.....	57
2.15 Control y aceptación del hormigón.....	59
2.15.1 Introducción.....	59
2.15.2 Concepto básico de calidad.....	59
2.15.3 Control de calidad.....	59
2.15.4 Principales fuentes de variabilidad.....	60
CAPITULO III.....	61
APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA INVESTIGACION.....	61
3.1 Clima en el departamento de Tarija.....	61
3.1.1 Generalidades.....	61
3.1.2 Registro de temperaturas (zona andina).....	62
3.2 Desarrollo de la investigación.....	63
3.2.1 Metodología experimental.....	64
3.3 Análisis de las propiedades físicas de los elementos empleados para el hormigón.....	65
3.3.1 Cemento.....	65
3.3.2 Agregados.....	66
3.3.2.1 Análisis granulométrico.....	66
3.3.2.2 Propiedades físicas de los agregados.....	67

3.3.3 Agua.....	68
3.4 Diseño de dosificación de mezclas de hormigón (método ACI-211).....	68
3.5 Pesos de los materiales por (m ³) de hormigón.....	69
3.5.1 Hormigón sin aire incorporado.....	69
3.5.2 Hormigón con aire incorporado.....	69
3.5.3 Peso para 3 probetas de hormigón con pérdida del 20% (V= 0.0159m ³).....	70
3.6 Equipos utilizados para la investigación.....	70
3.6.1 Congeladora.....	70
3.6.2 Termómetro.....	71
3.6.3 Moldes utilizados.....	71
3.6.4 Máquina de compresión.....	72
3.6.5 Maquina mezcladora.....	72
3.7 Elaboración de las probetas de hormigón.....	73
3.7.1. Dosificación de los materiales.....	75
3.7.2 Ensayo al hormigón fresco.....	75
3.7.3. Mezclado y colocado del hormigón a los moldes cilíndricos.....	76
3.8 Curado de las probetas de hormigón endurecido.....	78
3.8.1 Curado de las probetas de hormigón patrón (G.C, GC.A).....	78
3.8.2 Curado de las probetas de hormigón (G.Exp1, G.Exp2, G.Exp1A, G. Exp2A).....	79
3.9 Protección de las probetas de hormigón endurecido (G.Exp2, G. Exp2A).....	79
3.10 Sometimiento de las probetas a ciclos de congelamiento y deshielo (G.Exp1, G.Exp2, G.Exp1A, G. Exp2A).....	80
3.11 Ensayos al hormigón endurecido (G.C, GC.A, G.Exp1, G.Exp2, G.Exp1A, G.Exp2A).....	81
3.11.1 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (G.C).....	84
3.11.2 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (G.Exp.1).....	85
3.11.3 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (G.Exp2).....	86
3.11.4 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (días de protección).....	87
3.11.5 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (G.CA).....	88

3.11.6 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (G.Exp1A).....	88
3.11.7 Resultados de los ensayos de resistencia a la compresión (G.Exp2A).....	89
CAPITULO IV.....	91
ANALISIS DE RESULTADOS.....	91
4.1 Generalidades.....	91
4.2 Hormigón sin aire incorporado: Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del hormigón protegido y sin protección.....	91
4.3 Hormigón con aire incorporado: Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del hormigón protegido y sin protección.....	93
4.4 Hormigón con y sin aire incorporado: Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del hormigón protegido y sin protección a los 28 días.....	94
CAPITULO V.....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	95
5.1 Conclusiones.....	95
5.2 Recomendaciones.....	96
FUENTES Y BIBLIOGRAFIA.....	97
ANEXOS.....	99
A.1 Fichas Técnicas	99
A.2 Informe de Ensayos de Caracterización de los Agregados.....	104
A.3 Dosificación del Hormigón.....	110
A.4 Resultados de la Resistencia a la Compresión del Hormigón.....	116
A.5 Tablas Para Dosificación Método ACI – 211.....	120
A.6 Temperaturas Mínimas.....	123
A.7 Matriz: Problema- Causa- Efecto- Solución (PCES).....	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Cono de Abrams	9
Figura 2.2: Agregado grueso.....	22
Figura 2.3: Contenido de Humedad del Agregado.....	26
Figura 2.4: Protección del Hormigón en Obra.....	50
Figura 2.5: Espuma de Poliuretano.....	52
Figura 2.6: Aserrín.....	53
Figura 2.7: Lámina de Poliestireno Expandido.....	54
Figura 2.8: Lámina de Polietileno con Burbuja.....	55
Figura 2.9: Polietileno (naylor).....	55
Figura 2.10: Bolsa de Papel de Cemento.....	56
Figura 2.11: Aditivo Sika Aer.....	58
Figura 3.1: Bolsa de Cemento El Puente.....	65
Figura 3.2: Refrigerador Para Simulación del Clima.....	70
Figura 3.3: Termómetro Para Medir la Temperatura dentro del Refrigerador.....	71
Figura 3.4: Moldes Metálicos.....	71
Figura 3.5: Maquina de Compresión.....	72
Figura 3.6: Maquina Mezcladora.....	72
Figura 3.7: Determinación del Asentamiento del Hormigón.....	76
Figura 3.8: Agregados para elaboración del hormigón.....	77
Figura 3.9: Probetas con aceite.....	77
Figura 3.10: Elaboración de probetas.....	77
Figura 3.11: Enrase de probetas.....	78
Figura 3.12: Desmoldado e Identificación de Probetas.....	78
Figura 3.12: Curado Sumergido de las Probetas.....	78
Figura 3.13: Curado Sumergido de las Probetas experimentales.....	79
Figura 3.14: Protección de las Probetas con Papel y Polietileno.....	80
Figura 3.15: Probetas de hormigón sometidas a congelamiento.....	81
Figura 3.17: Midiendo el diámetro.....	82
Figura 3.18: Midiendo altura.....	82

Figura 3.20: Ensayo de Rotura a Compresión.....	83
Figura 3.21: Probetas con y sin Aire Incorporado.....	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Consistencia de los Hormigones Frescos	9
Tabla 2.2: Hormigón Según Resistencia.....	13
Tabla 2.4: Composición Química del Cemento.....	15
Tabla 2.4: Clasificación Según su Tamaño.....	18
Tabla 2.5: Tamaños nominales de abertura.....	20
Tabla 2.6: Requisitos Granulométricos de la ASTM C33 para Agregado Grueso.....	23
Tabla 2.7: Graduación del Agregado Fino.....	29
Tabla 2.8: Temperatura de Acuerdo a la Sección.....	44
Tabla 2.9: Curado después del Vaciado según el Clima.....	46
Tabla 2.10: Normas para el Control del Hormigón.....	60
Tabla 3.1: Composición Química y Propiedades Físicas del Cemento IP-30.....	65
Tabla 3.2: Propiedades Físicas de los Agregados y el Cemento.....	68
Tabla 3.5: Peso para 3 probetas.....	70
Tabla 3.6 Matriz de Control de Probetas.....	73
Tabla 3.7: Resumen diario de registro de temperatura en el Freezer.....	81
Tabla 3.8: Ensayo de Resistencia a la Compresión Grupo de Control G.C.....	84
Tabla 3.9: Ensayo de Resistencia a la Compresión Grupo (G.Exp1).....	85
Tabla 3.10: Ensayo de Resistencia a la Compresión Grupo Experimental G.Exp2.....	86
Tabla 3.11: Ensayo de Resistencia a la Compresión (días de protección).....	87
Tabla 3.12: Ensayo de Resistencia a la Compresión Grupo (G.CA).....	88
Tabla 3.13: Ensayo de Resistencia a la Compresión Grupo (G.Exp1A).....	88
Tabla 3.14: Ensayo de Resistencia a la Compresión Grupo (G.Exp2A).....	89
Tabla 3.15: Resultados de la Resistencia a la Compresión.....	90

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 3.1: Temperaturas Mínimas Extremas (SENAMHI).....	62
Gráfica 3.2: Días con heladas (SENAMHI).....	62
Grafica 3.3: Curva Granulométrica del Agregado Grueso.....	66
Grafica 3.4: Curva Granulométrica del Agregado Fino.....	67
Grafica 3.5: Variación de la temperatura en el freezer.....	81
Grafica 3.6: Comparación H° G.C vs H° G.Exp1.....	85
Grafica 3.7: Comparación H° patrón Vs H° protegido con papel y polietileno.....	87
Gráfica 3.8: Comparación de las Resistencias (7 días vs 28 días) de Protección.....	87
Gráfica 3.9: Comparación de la Resistencia del Hormigón con aire incorporado.....	89
Gráfica 3.10: Comparación de las Resistencias a Compresión de los Ensayos.....	90
Grafica 4.1: Comparación de la Resistencia a la Compresión según la Protección.....	91
Grafica 4.2: Resistencia a la Compresión según Tiempo de Protección.....	92
Grafica 4.3: Resistencia a la Compresión según la Protección.....	93
Grafica 4.4: Resistencia a la Compresión según Tiempo de Protección.....	94