

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE SAN LUIS DE LA CIUDAD DE TARIJA EN DOS FASES
CON Y SIN ADITIVO”**

Por:

DANIEL ANTHONY BELTRAN TORREZ

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.

SEMESTRE II - 2025

TARIJA – BOLIVIA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL

**“EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL HORMIGON EN LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE SAN LUIS DE LA CIUDAD DE TARIJA EN DOS FASES
CON Y SIN ADITIVO”**

Por:

DANIEL ANTHONY BELTRAN TORREZ

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.

SEMESTRE I - 2025

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico, ante todo, a Dios, mi inquebrantable compañero y la fuente inagotable de fortaleza que me ilumina noche tras noche, guiando cada jornada de mi vida.

A mis queridos padres: a mi Mamá Lizhet Mayda Torrez Claros, por su inmenso amor, su infinita paciencia y su incansable esfuerzo. Ellos fueron el pilar en cada etapa de mi formación profesional y me mostraron que, con dedicación y esfuerzo, los sueños realmente se hacen realidad. A mi Papá Selwin Beltrán Ramírez, por su apoyo incondicional y por enseñarme que la perseverancia es clave para alcanzar las metas y objetivos en la vida, sin importar las adversidades. Este logro es tanto de ustedes como mío; gracias por ser mi inspiración y por inculcarme la importancia de nunca rendirse. Estaré agradecido eternamente los quiero un montón

Asimismo, dedico este logro a mis hermanos, particularmente a mi hermano menor, Said Yousef Beltrán Torrez. Él ha sido, a lo largo de mi vida, una invaluable fuente de alegría en los momentos más complejos y un apoyo constante. Tengo la certeza de que siempre contaré con su respaldo, así como él podrá contar con el mío para acompañarlo en su propio trayecto académico.

INDICE

RESUMEN EJECUTIVO	I
CAPITULO I.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes.....	2
1.3. Justificación.....	4
1.3.1. Justificación técnica.....	4
1.3.2. Justificación económica.....	6
1.3.3. Justificación social.....	6
1.4.1. Formulación del problema.	8
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1. Objetivo general.	8
1.5.2. Objetivos específicos.	8
1.6. Hipótesis	9
1.7 Alcance de la investigación.	9
1.8 Limitaciones	10
1.8.1 Limitación temporal	10
1.8.2 Condiciones controladas vs. condiciones reales.....	10

1.8.3 Variabilidad del agua residual	10
1.8.4 Ensayos limitados a la resistencia a compresión	11
CAPITULO II: MARCO TEORICO.....	12
2.1 Hormigón.....	12
2.1.1 Definición de hormigón.....	12
2.1.2 Componentes del Hormigón.....	13
2.1.2.1 Cemento.....	13
2.1.2.2 Agregados	20
2.1.2.3 Agua.....	21
2.1.3 Diseño de mezcla del hormigón método del comité ACI -211.1	23
2.1.3.1 Definición.	23
2.1.3.2 Especificación para el diseño de hormigón.	23
2.1.3.3 Datos que se requiere para el diseño de mezclas de hormigón.....	25
2.1.3.4 Selección del asentamiento.....	25
2.1.3.5 Determinación del tamaño máximo del agregado grueso	26
2.1.3.6 Estimación del contenido de agua de mezclado y aire incorporado	26
2.1.3.8 Determinación de la cantidad de cemento	28
2.1.3.9 Estimación del contenido de agregado grueso.....	28
2.1.4 Estimación del contenido de agregado fino	30

2.1.4.1 Ajustes por humedad de los agregados	31
2.1.4.2 Determinación de la resistencia del hormigón C-39.....	31
2.1.4.3 Parámetros de resistencia del hormigón.	33
2.1.4.4 Ensayo de compresión de cilindros ASTM C-39	34
2.1.5 Propiedades del hormigón endurecido.....	34
2.1.5.1 Densidad.	34
2.1.5.2 Compacidad.....	34
2.1.5.3 Permeabilidad.	34
2.1.5.4 Resistencia.	35
2.1.5.5 Dureza.	35
2.1.5.5 Retracción	35
2.1.6 Características internas del hormigón	35
2.1.6.1 Contacto agregado-agregado	35
2.1.6.2 Forma del agregado.	36
2.1.6.3 Porcentaje de vacíos	37
2.1.6.4 Tipos de poros que se encuentran en el hormigón.....	38
2.1.7 Patologías en estructuras de hormigón (acciones de tipo químico).....	38
2.1.7.1 Ataque por ácidos.....	40
2.1.7.2 Ataque por sulfatos.....	41

2.1.7.3 Reacción Álcali agregado.....	43
2.1.7.4 Carbonatación.....	44
2.1.8 Hormigones para plantas de tratamiento de aguas residuales	45
2.1.9 Resistencias mínimas recomendadas	46
2.2 Proceso de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	50
2.2.1 Lagunas de estabilización.....	50
2.2.1.1 Laguna de Estabilización Anaerobia.....	50
2.2.1.2 Lagunas Facultativas.	52
2.3.1.2 Ventajas.	53
2.2.1.3 Desventajas.	54
2.2.2 Aprovechamiento y reusó de efluentes tratados.....	54
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	59
3.1 Tipo de investigación	59
3.2 Enfoque metodológico.....	59
3.3 Diseño experimental.....	59
3.4 Materiales y equipos.....	61
3.5 Procedimiento experimental.....	62
3.5.1 Diseño de mezcla y elaboración de probetas	62
3.5.2 Exposición a aguas residuales.....	62

3.5.3 Análisis fisicoquímico del agua	62
3.5.4 Ensayo de resistencia a compresión	62
3.6 Procesamiento y análisis de datos	63
CAPITULO IV: PROCESAMIENTO DE DATOS.....	64
4.1. Análisis físico-químico del agua residual.....	64
4.1.1. Introducción	64
4.1.2. Tabla comparativa de parámetros.....	65
4.1.3. Análisis de las Variaciones de Parámetros del Agua Residual	66
4.1.4. Análisis gráfico de la variación de parámetros.....	67
4.1.5. Identificación de factores críticos presentes en el agua residual	71
4.2.1. Resultados Generales de Laboratorio	73
4.2.2. Análisis Granulométrico de los Áridos	75
4.2.3. Resumen de Resultados de Caracterización de Materiales	78
4.2.4. Dosificación teórica del hormigón patrón H30	80
4.2.10 Proceso de mezclado, moldeado y curado de las probetas	87
4.3. Evaluación de la resistencia a compresión de las probetas H30	88
4.3.1 Resistencia característica	89
4.3.4 Probetas sumergidas en aguas residuales (30 días).....	95
4.3.5 Probetas sumergidas en aguas residuales (60 días).....	99

4.3.6 Probetas sumergidas en aguas residuales (90 días)	104
4.3.7 Probetas sumergidas en aguas residuales (120 días)	108
4.3.8 Análisis Comparativo del Comportamiento del Hormigón con Aditivo Hidrofílico (KIM) en Condiciones de Inmersión	113
4.3.9 Análisis Comparativo del Comportamiento del Hormigón Sin Aditivo Hidrofílico (KIM) en Condiciones de Inmersión	116
4.4 Análisis comparativo de costos unitarios entre mezclas	120
4.5 Análisis de Resultados.....	122
4.5.1 Análisis del Agua Residual	122
4.5.2 Análisis de la Resistencia a Compresión	124
4.5.3 Análisis de Costos.....	126
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	127
5.1 Conclusiones.....	127
5.2 Recomendaciones	128
6. Bibliografía.....	130

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación de las aguas residuales de Tarija - Bolivia.....	10
Figura 2	Mezcla del hormigón en el campo de construcción.....	13
Figura 3	Diagrama conceptual de la combinación perfecta en el diseño del hormigón. ...	24
Figura 4	Comportamiento esfuerzo – deformación	32
Figura 5	Ataque por ácidos	41
Figura 6	Ataque por sulfatos	42
Figura 7	Reacción álcali agregado	44
Figura 8	Deterioro del hormigón reforzado por corrosión del acero.....	45
Figura 9	Diagrama del proceso de tratamiento anaerobio de aguas residuales	51
Figura 10	Esquema de tratamiento de aguas residuales en una laguna facultativa.....	52
Figura 11	Ciclo simbiótico	53
Figura 12	Inmersión de probetas de hormigón H30	64
Figura 13	Extracción de muestras de agua	66
Figura 14	El oxígeno disuelto.....	68
Figura 15	La conductividad eléctrica.....	68
Figura 16	Demanda química de oxígeno (DQO)	69
Figura 17	Concentración de sulfatos.....	70
Figura 18	Concentración de PH.....	70
Figura 19	Concentración de solidos totales	71
Figura 20	Extracción de muestras de agua residual en la salida de la laguna facultativa	71
Figura 21	Extracción de áridos	74
Figura 22	Ensayo de granulometría por tamizado.....	75
Figura 23	Curva granulométrica del agregado grueso C-33.....	77
Figura 24	Curva granulométrica del agregado fino ASTM C-33	78
Figura 25	Ensayos físicos de los áridos	79
Figura 26	Elaboración de mezclas de hormigón.....	86
Figura 27	Determinación de la consistencia del concreto fresco mediante el ensayo de asentamiento (Slump)	88
Figura 28	Cilindros de concreto de 10x20 en proceso de curado.....	88
Figura 29	Determinación de la resistencia a la compresión del concreto.....	89

Figura 30 Resistencia Característica a los 28 Días: Diseño Patrón vs. Diseño patrón con Aditivo.....	93
Figura 31 Resistencia Característica del Diseño 1 (con aditivo) tras 30 Días de Exposición a Aguas Residuales	96
Figura 32 Resistencia Característica del Diseño 1 (sin aditivo) tras 30 Días de Exposición a Aguas residuales.....	98
Figura 33 Resistencia Característica del Diseño 2 (con aditivo) tras 60 Días de Exposición a Aguas Residuales	101
Figura 34 Resistencia Característica del Diseño 2 (sin aditivo) tras 60 Días de Exposición a Aguas residuales.....	103
Figura 35 Resistencia Característica del Diseño 3 (con aditivo) tras 90 Días de Exposición a Aguas Residuales	106
Figura 36 Resistencia Característica del Diseño 3 (sin aditivo) tras 90 Días de Exposición a Aguas Residuales	108
Figura 37 Resistencia Característica del Diseño 4 (con aditivo) tras 120 Días de Exposición a Aguas Residuales	110
Figura 38 Resistencia Característica del Diseño 4 (sin aditivo) tras 120 Días de Exposición a Aguas Residuales	112
Figura 39 Evolución de la Resistencia Característica del Hormigón con Aditivo Kryton en Diferentes Condiciones de Sumergencia.....	113
Figura 40 Evolución de la Resistencia a Compresión del Hormigón con Aditivo Kryton en Inmersión Total	115
Figura 41 Evolución de la Resistencia a Compresión del Hormigón con Aditivo Kryton en Inmersión Parcial.....	116
Figura 42 Evolución de la Resistencia Característica del Hormigón sin Aditivo en Diferentes Condiciones de Sumergencia.....	117
Figura 43 Evolución de la Resistencia a Compresión del Hormigón sin Aditivo Kryton en Inmersión Total	118
Figura 44 Evolución de la Resistencia a Compresión del Hormigón sin Aditivo Kryton en Inmersión Parcial	119

Figura 45 Comparación del costo por probeta entre mezclas de Hormigón Convencional y Hormigón con Kryton.....	122
Figura 46 Análisis Comparativo de la Calidad del Agua Residual Frente a Estándares de Referencia.....	123
Figura 47 Evolución de la Resistencia Característica a Compresión del Concreto IP-40 bajo Diferentes Condiciones de Exposición y comportamiento del aditivo.....	125

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Parámetros Normativos del Cemento Portland IP 30 Compuesto (NB 001)..</i>	15
Tabla 2: <i>Parámetros Normativos del Cemento Portland IP 40 Compuesto (NB 001)...</i>	17
Tabla 3: <i>Porcentajes típicos de intervención de los óxidos</i>	18
Tabla 4: <i>Límites De Granulometría del Agregado Fino.....</i>	21
Tabla 5: <i>Sustancias permitidas en el agua</i>	23
Tabla 6: <i>Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.</i>	25
Tabla 7: <i>Requerimiento aproximado de agua de mezcla.....</i>	27
Tabla 8: <i>Relación entre agua/cemento y la resistencia a la compresión del hormigón.</i>	28
Tabla 9: <i>Volumen de agregado grueso por volumen unitario de hormigón</i>	29
Tabla 10: <i>Primera estimación del peso del hormigón fresco.....</i>	30
Tabla 11: <i>Resistencia característica mínima esperada para el hormigón en función de la clase de exposición, según el Código Estructural (Tabla 43.2.1.b del Código Estructural)</i>	47
Tabla 12: <i>Requisitos para el hormigón según la clase de exposición</i>	48
Tabla 13: <i>Valores máximos admisibles de parámetros indicadores de contaminación en reúso de aguas</i>	56
Tabla 14: <i>Descripción de las características del aditivo hidrofílico cristalino (KIM) .</i>	56
Tabla 15: <i>Distribución de Probetas Según Tipo de Hormigón, Condición de Inmersión y Tiempo de Exposición a Aguas Residuales</i>	60

Tabla 16: <i>Parámetros del agua - Entrada a la laguna facultativa.....</i>	65
Tabla 17: <i>Parámetros del agua - salida a la laguna facultativa</i>	65
Tabla 18: <i>Variación de los parámetros</i>	67
Tabla 19: <i>Factores de agresividad del agua residual sobre el hormigón</i>	72
Tabla 20: <i>Parámetros fisicoquímicos del agua residual y su impacto sobre el hormigón estructural.....</i>	73
Tabla 21: <i>Estudios en laboratorio caracterización de los agregados.....</i>	74
Tabla 22: <i>Análisis granulométrico del Agregado Grueso</i>	76
Tabla 23: <i>Resultados de Tamizado según Norma ASTM C-33.....</i>	76
Tabla 24: <i>Análisis granulométrico del Agregado fino.....</i>	77
Tabla 25: <i>Resultados de Tamizado según Norma ASTM C-33.....</i>	78
Tabla 26: <i>Resultados de Ensayos Físicos de Agregados según Normas ASTM y AASHTO</i>	79
Tabla 27: <i>Asentamiento para tipos de construcción.....</i>	80
Tabla 28: <i>Contenido seco de los componentes por (m³) de concreto</i>	83
Tabla 29: <i>Contenido Húmedo y Seco de los Componentes por m³ de Concreto</i>	84
Tabla 30: <i>Proporciones de mezcla.....</i>	84
Tabla 31: <i>Composición Corregida del contenido seco de los ingredientes por (m³) de concreto</i>	85

Tabla 32: <i>Contenido Húmedo y Seco corregido de los Componentes por m³ de Concreto</i>	86
Tabla 33: <i>Proporciones de mezcla corregida</i>	86
Tabla 34: <i>Valores De Coeficiente Estadístico “T”</i>	90
Tabla 35: <i>Resistencia a compresión del Hormigón Patrón H30 (Mezcla sin uso de Aditivo)</i>	91
Tabla 36: <i>Resistencia a compresión del Hormigón Patrón H30 (Mezcla con uso de Aditivo)</i>	92
Tabla 37: <i>Resumen del comportamiento del Hormigón H30</i>	93
Tabla 38: <i>Comparación de Parámetros Estadísticos y de Resistencia a Compresión: Hormigón Patrón con y sin Aditivo</i>	94
Tabla 39: <i>Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Total durante 30 días en Aguas Residuales (Diseño 1)</i>	95
Tabla 40: <i>Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 30 días en Aguas Residuales (Diseño 1)</i>	96
Tabla 41: <i>Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Total durante 30 días en Aguas Residuales (Diseño 1)</i>	97
Tabla 42: <i>Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 30 días en Aguas Residuales (Diseño 1)</i>	98
Tabla 43: <i>Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Total durante 60 días en Aguas Residuales (Diseño 2)</i>	99
Tabla 44: <i>Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 60 días en Aguas Residuales (Diseño 2)</i>	100

Tabla 45: Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Total durante 60 días en Aguas Residuales (Diseño 2)	102
Tabla 46: Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición parcial durante 60 días en Aguas Residuales (Diseño 2)	102
Tabla 47: Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Total durante 90 días en Aguas Residuales (Diseño 3)	104
Tabla 48: Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 90 días en Aguas Residuales (Diseño 3)	105
Tabla 49: Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Total durante 90 días en Aguas Residuales (Diseño 3)	106
Tabla 50: Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 90 días en Aguas Residuales (Diseño 3)	107
Tabla 51: Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Total durante 120 días en Aguas Residuales (Diseño 4)	108
Tabla 52: Resistencia Característica de Hormigón con Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 120 días en Aguas Residuales (Diseño 4)	109
Tabla 53: Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Total durante 120 días en Aguas Residuales (Diseño 4)	110
Tabla 54: Resistencia Característica de Hormigón sin Aditivo Kryton Exposición Parcial durante 120 días en Aguas Residuales (Diseño 4)	111
Tabla 55: Resumen de Resistencia Característica del Hormigón Aditivado y Patrón por Condición de Exposición.	113
Tabla 56: Tabla Resistencia característica comparada frente al hormigón patrón Aditivado	114

Tabla 57: Resumen de Resistencia Característica del Hormigón Convencional y Patrón por Condición de Exposición.	116
Tabla 58: Resistencia característica comparada frente al hormigón patrón convencional	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 59: Cantidad de material para una probeta sin Aditivo Krystol (KIM)	120
Tabla 60: Cantidad de material para 1 m ³ sin Aditivo Krystol.....	120
Tabla 61: Cantidad de material para una probeta con Aditivo Krystol (KIM)	121
Tabla 62: Cantidad de material para un 1 m ³ con Aditivo Krystol (KIM).....	121
Tabla 63: Tabla precio por probeta.....	121

ANEXOS

Anexos 1: Ficha técnica del aditivo Kryton (KIM)

Anexos 2: Ficha técnica del cemento el puente IP 40

Anexos 3: Ficha técnica del fluidificante Viscocrete 5-800 (SIKA)

Anexos 4: Informes del análisis físico químico de las aguas residuales de la laguna facultativa de San Luis - Tarija

Anexos 5: Datos de elaboración para la dosificación en instalaciones de SOBOCE

Anexos 6: Trabajo en campo introducción de las probetas en la laguna facultativa

Anexos 7: Extracción de probetas y rotura a diferentes edades de inmersión en aguas residuales

Anexos 8: Análisis de precios unitarios