

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA Y OBRAS SANITARIAS



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO INTERNO DE LOS HORMIGONES A
EDADES TEMPRANAS SUMERGIDOS EN AGUAS RESIDUALES MEDIANTE
TOMOGRFÍA COMPUTARIZADA EN RAYOS X”**

Por:

LILIANA VARGAS FERNÁNDEZ

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- 2023

TARIJA – BOLIVIA

DEDICATORIA

A mi madre Lidia Fernández y a mis hermanos Freddy, América, Ivonne y Doly con mucho cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo de esta tesis.

Tabla de Contenido

1.	Introducción.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Descripción del problema.....	2
1.3	Planteamiento del problema	3
1.4	Justificación del problema.....	3
1.5	Alcance	4
1.6	Objetivos.....	4
1.6.1	Objetivo general	4
1.6.2	Objetivos específicos.....	5
1.7	Hipótesis	5
CAPÍTULO II		
2	Marco Teórico	6
2.1	Hormigón.....	6
2.1.1	Definición del hormigón.....	6
2.1.2	Componentes del hormigón.....	6
2.1.2.1	Cemento	6
2.1.2.1.1	Los componentes de los cementos:.....	7
2.1.2.2	Áridos.....	8
2.1.2.3	Agua.....	9
2.1.3	Dosificación del hormigón	10
2.1.4	Propiedades del hormigón endurecido	10
2.1.4.1	Densidad	10
2.1.4.2	Compacidad	11
2.1.4.3	Permeabilidad	11
2.1.4.4	Resistencia	12
2.1.4.5	Dureza	12
2.1.4.6	Retracción	12
2.1.5	Características internas del hormigón.....	12
2.1.5.1	Contacto agregado-agregado	12

2.1.5.2	Forma del agregado	13
2.1.5.3	Porcentaje de vacíos.....	13
2.1.5.3.1	Tipos de poros que se encuentran en el hormigón..	14
2.1.6	Patologías en estructuras de hormigón (acciones de tipo químico).....	15
2.1.6.1	Ataque por ácidos	17
2.1.6.2	Ataque por sulfatos	18
2.2	Hormigones para plantas de tratamiento de aguas residuales	19
2.2.1	Resistencias mínimas recomendadas.....	20
2.3	Proceso de plantas de tratamiento de aguas residuales.....	21
2.3.1	Lagunas de estabilización.....	21
2.3.1.1	Ventajas	21
2.3.1.2	Desventajas	22
2.3.2	Lagunas anaerobias.....	22
2.3.2.1	Licuefacción.....	23
2.3.2.2	Gasificación	23
2.3.3	Planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis	24
2.3.3.1	Ubicación de la PTAR	24
2.3.3.2	Tipo de aguas a tratar.....	24
2.3.3.3	Tipo de tratamiento	24
2.3.3.4	Unidades que la conforman	24
2.4	Definición tomografía computarizada en rayos-X:	25
2.4.1	Descripción de la técnica de rayos x	26
2.4.2	Caracterización de la estructura de vacíos y del flujo de agua en mezclas a mediante el análisis de imágenes de rayos-X	29
2.4.3	Ventajas de la tomografía computarizada en rayos-X, como método para analizar las características internas del hormigón	31
2.4.4	Técnicas no destructivas para la inspección y diagnóstico del estado del hormigón.....	31
2.4.4.1	Inspección visual.....	33
2.4.4.2	Método de potencial eléctrico de media celda.....	33
2.4.4.3	Métodos basados en ondas elásticas	33

2.4.4.4	Georradar	34
2.4.4.5	Termografía infrarroja	34
2.4.5	eFilm lite.....	34
2.5	Metodología.....	34
2.5.1	Diseño de la investigación.....	34
2.5.2	Agregados.....	35
2.5.2.1	Características y propiedades de los agregados.....	35
2.5.2.1.1	Análisis granulométrico y módulo de finura de los agregados ASTM C-136.....	35
2.5.2.1.2	Tamaño máximo del agregado grueso	35
2.5.2.1.3	Tamaño máximo nominal	36
2.5.2.1.4	Modulo de finura (M.F)	36
2.5.2.1.5	Cálculo de módulo de finura.....	37
2.5.2.2	Determinar la densidad aparente e índice de huecos en los agregados para hormigón ASTM C 29.....	37
2.5.2.2.1	Densidad aparente.....	37
2.5.2.3	Método para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso ASTM-C 127.....	37
2.5.2.3.1	Muestra	37
2.5.2.4	Método para determinar el peso específico y absorción del agregado fino ASTM C-128.....	38
2.5.2.4.1	Absorción de los agregados	38
2.5.2.5	Contenido de humedad en agregados ASTM C-566	39
2.5.2.5.1	Muestreo	39
2.5.3	Procedimiento de diseño de mezcla de hormigón (ACI 211.1).....	40
2.5.3.1	Resistencia promedio requerida.....	40
2.5.3.2	Dosificación basada en la experiencia en obra o en mezclas de prueba 40	
2.5.3.2.1	Desviación estándar	40
2.5.3.3	Elección del asentamiento	42
2.5.3.4	Selección del tamaño máximo nominal del agregado.....	43

2.5.3.5	Estimación de la cantidad de agua y contenido de aire	43
2.5.3.6	Selección de relación agua/cemento	44
2.5.3.7	Cálculo del contenido de cemento	45
2.5.3.8	Estimación del contenido de grava	45
2.5.3.9	Estimación del contenido de arena	46
2.5.3.10	Ajustes por humedad de los agregados	47
2.5.4	Ensayo de resistencia a la compresión del hormigón (ASTM C 39)....	48
2.5.4.1	Tipos de fallas en cilindros sometidos a compresión.....	48
2.5.4.2	Guía para evaluación de resultados de la prueba de resistencia del concreto (ACI 214R-11).....	50
2.5.4.2.1	Indicadores estadísticos	50
2.5.4.2.2	Control de calidad.....	51
3	Desarrollo de la investigación	49
3.1	Recopilación de datos.....	49
3.1.1	Análisis granulométrico del agregado grueso	49
3.1.2	Análisis granulométrico del agregado fino.....	50
3.1.3	Densidad aparente “peso unitario” del agregado grueso.....	51
3.1.3.1	Pesos unitario suelto	51
3.1.3.2	Peso unitario compactado	52
3.1.4	Densidad aparente “peso unitario” del agregado fino.....	52
3.1.5	Peso específico y absorción del agregado grueso.....	53
3.1.6	Peso específico y absorción del agregado fino.....	53
3.1.7	Peso específico del cemento.....	54
3.1.8	Contenido de humedad de los agregados	54
3.1.8.1	Agregado grueso	54
3.1.8.2	Agregado fino	54
3.1.9	Dosificación del hormigón.....	55
3.1.9.1	Determinar la resistencia promedio requerida (f'_{cr}).....	55
3.1.9.2	Determinación de la relación agua/cemento (A/C).....	55
3.1.9.3	Determinación de la cantidad de agua	56
3.1.9.4	Cálculo de la cantidad de cemento (Cc).....	56

	3.1.9.5	Cálculo del peso agregado grueso (Gr).....	56
	3.1.9.6	Determinación de la cantidad de arena (Ar) por el método de los volúmenes absolutos.	57
	3.1.9.7	Elaboración de muestras	58
	3.1.9.7.1	El proceso de mezclado	59
	3.1.9.7.2	Curado de probetas	59
3.2		Sumersión de probetas en la planta de tratamiento de aguas residuales de San Luis	59
	3.2.1	Preparado de probetas.....	59
	3.2.2	Análisis de calidad de agua	60
3.3		Análisis y resultados.....	60
	3.3.1	Ensayo mecánico de resistencia a compresión del hormigón.....	60
	3.3.1.1	Validación de datos.....	75
	3.3.2	Ensayo de permeabilidad.....	82
	3.3.3	Análisis de imágenes tomográficas	84
	3.3.3.1	Determinación porcentaje de vacíos	84
	3.3.3.1.1	Procedimiento	86
	3.3.3.2	Contacto agregado-agregado	91
	3.3.3.3	Ensayo de resistencia a compresión.....	96
	3.3.3.4	Resultados análisis de calidad de agua residual.....	100
4		Conclusiones y recomendaciones.....	108
	4.1	Conclusiones.....	108
	4.2	Recomendaciones	111
5		Referencias bibliográficas	112
6		Anexos.....	115
	6.1	Ensayos de laboratorios	
	6.2	Imágenes obtenidas por el tomógrafo	
	6.2.1	Contacto agregado-agregado	
	6.2.2	Áreas de vacíos	
	6.2.3	Probeta sumergida S1-0.42	
	6.2.4	Probeta sumergida S2-0.42	

- 6.2.5 Probeta sumergida S3-0.42
- 6.2.6 Probeta sumergida S1-0.47
- 6.2.7 Probeta patrón S2-0.47
- 6.2.8 Probeta patrón S3-0.47
- 6.2.9 Probeta patrón SS1-0.42
- 6.2.10 Probeta patrón SS2-0.42
- 6.2.11 Probeta patrón SS3-0.42
- 6.2.12 Probeta patrón SS3-0.47
- 6.2.13 Imágenes binarias
- 6.3 Fotografías de laboratorio
- 6.4 Informe de ensayo de muestras de agua residual CEANID
- 6.5 Informe de ensayo de muestras de agua residual CIAGUA