



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA  
EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA,  
GUATEMALA**

**Andrés Ricardo Cano Jerez**

Asesorado por Inga. Christa del Rosario Classon Rehwoldt de Pinto

Guatemala, enero 2023



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA  
EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA,  
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ANDRÉS RICARDO CANO JEREZ**

ASESORADO POR INGENIERA CHRISTA DEL ROSARIO CLASSON  
REHWOLDT DE PINTO

AL CONFERIRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO 2023





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIA	Ing. Hubo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Óscar Argueta Hernández
EXAMINADOR	Inga. Christa del Rosario Classon Rehwoldt
SECRETARIO	Ing. Hubo Humberto Rivera Pérez



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 17 de mayo del 2022

A handwritten signature in blue ink, consisting of several fluid, overlapping strokes that form a stylized representation of the name Andrés Ricardo Cano Jerez.

**Andrés Ricardo Cano Jerez**



## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por ser mi guía, mi roca, siempre estar conmigo, hacerme apto para las cosas y darme la sabiduría para conquistar las cosas que me propongo.

### **Mis Padres**

Erwin Leonel Cano Aceituno (q.d.e.p.) y María Carolina Jerez González. Por instruirme en los buenos caminos, darme consejos, inspirarme, apoyarme, estar siempre a mi lado y darme las mejores oportunidades posibles.

### **Mi Hermano**

Isaac Fernando Cano Jerez. Por estar siempre a mi lado, inspirarme y siempre estar disponible para aconsejarme.

### **Mis Abuelitos**

Rubén Homero Jerez Mejicanos y María Luisa González Amézquita de Jerez. Por inspirarme día a día, siempre estar a mi lado y guiarme por los buenos caminos.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Patricia Jerez</b>	A mi tía, por siempre estar a mi lado y apoyarme en todo lo que necesito.
<b>Ing. Ismael Jerez</b>	A mi tío, por darme la confianza y ver mis capacidades para estudiar una carrera de ingeniería.
<b>Tíos</b>	Por estar pendiente de mí
<b>Primos</b>	Por estar pendiente de mí
<b>Amigos de la facultad</b>	Cesar Otzoy, David Rabinal, Jorge Mérida, Juan Pablo Chávez, Julio Ruballos, Lester Soto, Pablo Rubio, Samuel López y demás amigos. Por todos los momentos que pasamos en estos años de carrera y apoyarnos mutuamente para que nadie se quede atrás.
<b>Brian Iboy</b>	Por enseñarme a que siempre puedo hacer las cosas mejor y a no conformarme con lo mínimo.
<b>Juan Pablo Chávez</b>	Por todos los momentos compartidos durante el EPS y por el apoyo mutuo que nos dimos a lo largo de la carrera.

<b>Facultad de ingeniería</b>	Por brindarme las instalaciones y profesionales necesarios para formarme como ingeniero civil.
<b>Escuela de ingeniería civil</b>	Por proporcionarme profesionales de calidad para mi formación como ingeniero civil.
<b>Universidad San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de formarme académicamente para la vida profesional.
<b>Departamento de hidráulica</b>	Por ver en mí la capacidad y darme la confianza para ser auxiliar de cátedra a lo largo de estos años.
<b>Ing. Pedro Aguilar</b>	Por darme la confianza y aceptarme como auxiliar durante estos años.
<b>Ing. Rafael Morales</b>	Por darme la confianza y aceptarme como auxiliar durante estos años.
<b>Inga. Christa Classon</b>	Por asesorarme, guiarme y apoyarme durante la realización de este proyecto.
<b>Unidad de EPS</b>	Por darme la oportunidad de hacer prácticas de campo.
<b>Dirección Municipal de Planificación de Palencia</b>	Por darme la oportunidad de realizar mi EPS en sus instalaciones.



Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 14 de octubre de 2022  
REF.EPS.DOC.339.10.2022

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesora-Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Andrés Ricardo Cano Jerez**, CUI 2929 16345 0101 y Registro Académico 201700372 de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA, GUATEMALA.**

En tal virtud, **LO DOY POR APROBADO**, solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Inga. Christa Classon de Pinto  
Asesora-Supervisora de EPS  
Área de Ingeniería Civil

c.c. Archivo  
CCdP/ra

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 24 de octubre de 2022  
REF.EPS.D.352.10.2022

Ing. Armando Fuentes Roca  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Fuentes Roca:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA, GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Andrés Ricardo Cano Jerez, CUI 2929 16345 0101 y Registro Académico 201700372**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Christa Classon de Pinto.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación por parte de la Asesora-Supervisor, como Director apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”

Una firma manuscrita en azul sobre un sello circular de la Unidad de EPS. El sello contiene el texto "UNIDAD DE EPS" y "FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL".

Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

OAH/ra



Guatemala, 17 de octubre 2022

Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Coordinador del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Aguilar:

Por medio de la presente comunico a usted, que a través del Departamento de Hidráulica de la Escuela de Ingeniería Civil se ha revisado el Trabajo Final de EPS, “**DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA, GUATEMALA**”, del estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, **Andrés Ricardo Cano Jerez, Registro Académico: 201700372**, quien contó con la asesoría de la **Ingeniera Christa del Rosario Classon Rehwoldt de Pinto**.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte académico para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

**Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa**  
**Revisor del Departamento de Hidráulica**

Asesor  
Interesado

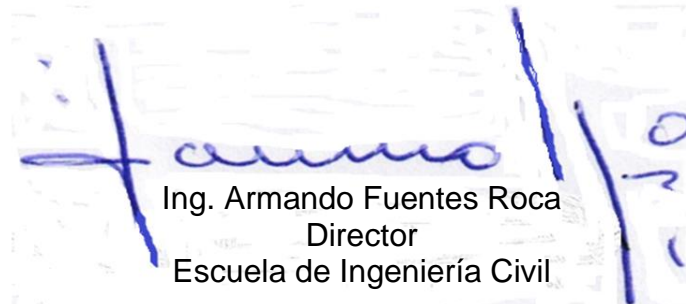




LNG.DIRECTOR.04.EIC.2023

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área y la aprobación del área de lingüística del trabajo de graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA, GUATEMALA**, presentado por: **Andrés Ricardo Cano Jerez**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Armando Fuentes Roca  
Director  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, enero de 2023



LNG.DECANATO.OI.06.2023

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA EL CANTÓN AGUA TIBIA, CABECERA MUNICIPAL, PALENCIA, GUATEMALA**, presentado por: **Andrés Ricardo Cano Jerez**, , después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada

Decana



Guatemala, enero de 2023

AACE/gaac



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
INTRODUCCIÓN .....	XIX
1. INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Monografía del municipio de Palencia.....	1
1.1.1. Localización geográfica .....	1
1.1.2. Topografía del lugar.....	2
1.1.3. Aspectos climáticos .....	2
1.1.4. Actividades económicas .....	2
1.1.5. Autoridades y servicios públicos.....	3
1.1.6. Servicios existentes .....	4
1.1.6.1. Educación .....	4
1.1.6.2. Salud .....	4
1.1.6.3. Energía Eléctrica .....	4
1.1.6.4. Agua potable.....	5
1.1.6.5. Drenajes .....	5
1.1.7. Aspectos generales de la cabecera municipal del municipio de Palencia.....	5
1.2. Principales necesidades del municipio .....	6
1.2.1. Descripción de las necesidades .....	6
1.2.2. Evaluación y priorización de las necesidades.....	7

1.3.	Vulnerabilidad del proyecto .....	7
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO Y PROFESIONAL.....	9
2.1.	Diseño del sistema de agua potable del cantón Agua Tibia, cabecera municipal, Palencia, Guatemala .....	9
2.1.1.	Descripción del proyecto .....	9
2.1.2.	Levantamiento topográfico .....	9
2.1.2.1.	Planimetría .....	10
2.1.2.2.	Altimetría .....	10
2.1.3.	Fuentes de agua .....	10
2.1.3.	Caudal de aforo .....	11
2.1.3.1.	Pozo Mingo Bran.....	11
2.1.3.2.	Nacimiento El Calahuar.....	11
2.1.4.	Dotación .....	11
2.1.5.	Análisis de la calidad del agua .....	12
2.1.5.1.	Análisis bacteriológico.....	12
2.1.5.2.	Análisis fisicoquímico .....	12
2.1.5.3.	Interpretación de resultados.....	13
2.1.6.	Criterios y bases de diseño .....	13
2.1.6.1.	Período de diseño .....	14
2.1.6.2.	Población de diseño .....	14
2.1.6.2.1.	Tasa de crecimiento.....	14
2.1.6.2.2.	Población actual.....	15
2.1.6.2.3.	Población futura .....	15
2.1.6.3.	Factores de consumo y caudales.....	16
2.1.6.3.1.	Factor de día máximo ...	16
2.1.6.3.2.	Factor de hora máximo .	17
2.1.6.4.	Caudal de diseño .....	18
2.1.6.4.1.	Caudal de día medio .....	18



	2.1.6.4.2.	Caudal día máximo.....	19
	2.1.6.4.3.	Caudal hora máxima ....	19
	2.1.6.4.4.	Caudal de bombeo .....	20
	2.1.6.4.5.	Caudal uso simultaneo .	21
	2.1.6.4.6.	Caudal de diseño.....	22
2.1.6.5.		Tipos de tubería.....	22
	2.1.6.5.1.	Tubería de PVC.....	23
	2.1.6.5.2.	Tubería de acero galvanizado .....	23
2.1.6.6.		Ecuaciones de diseño.....	23
	2.1.6.6.1.	Pérdidas de carga .....	23
	2.1.6.6.2.	Diámetro teórico .....	24
	2.1.6.6.3.	Longitudes de diseño ...	24
2.1.7.		Diseño del sistema de agua potable.....	26
	2.1.7.1.	Captación.....	26
	2.1.7.2.	Línea de conducción.....	27
	2.1.7.2.1.	Utilización de cajas rompe presión (CRP).....	27
	2.1.7.2.2.	Diámetro teórico .....	27
	2.1.7.2.3.	Pérdidas de carga .....	28
	2.1.7.2.4.	Longitudes de diseño ...	28
	2.1.7.2.5.	Pérdidas reales.....	29
2.1.7.3.		Línea de impulsión.....	30
	2.1.7.3.1.	Diámetro económico.....	30
	2.1.7.3.2.	Diámetro económico.....	35
	2.1.7.3.3.	Chequeo del golpe de ariete .....	36
	2.1.7.3.4.	Carga dinámica total.....	38
2.1.7.4.		Selección de la potencia de la bomba .	40

	2.1.7.4.1.	Cálculo de la potencia... 40	
	2.1.7.4.2.	Caseta de protección .... 41	
2.1.7.5.		Tanque de almacenamiento..... 73	
	2.1.7.5.1.	Forma y tipo del tanque 73	
	2.1.7.5.2.	Volumen del tanque ..... 73	
	2.1.7.5.3.	Diseño del tanque ..... 74	
2.1.7.6.		Desinfección y tratamiento del agua .. 114	
2.1.7.7.		Red de distribución..... 116	
	2.1.7.7.1.	Tipos de redes ..... 116	
	2.1.7.7.2.	Diseño de la red ..... 116	
2.1.7.8.		Obras hidráulicas ..... 121	
	2.1.7.8.1.	Cajas rompe presión ... 121	
2.1.7.9.		Elaboración de Planos ..... 123	
2.1.7.10.		Integración del presupuesto ..... 123	
2.1.7.11.		Cronograma de ejecución ..... 128	
CONCLUSIONES.....			131
RECOMENDACIONES .....			133
REFERENCIAS .....			135
APÉNDICES.....			137
ANEXOS.....			157

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama Municipalidad de Palencia.....	3
2.	Gráfica para determinar longitudes y diámetros.....	25
3.	Distribución de muros de la caseta de bombeo.....	42
4.	Momentos actuantes en losa inferior de caseta de control de bombeo..	65
5.	Momentos actuantes en losa superior de caseta de control de bombeo .....	71
6.	Área tributaria de la viga crítica .....	78
7.	Ubicación del límite de la zona central de la viga.....	88
8.	Momentos sin balancear en losas superiores .....	104
9.	Momentos sin balancear entre losas 3 y 4 .....	104
10.	Momentos balanceados .....	106
11.	Momentos actuantes en losa inferior.....	112

### TABLAS

I.	Costo mensual de tubería .....	33
II.	Costo mensual de bombeo.....	35
III.	Diámetro económico... ..	35
IV.	Cálculo de rigideces de muro .....	43
V.	Cálculo de la componente Y del centro de corte de muros .....	44
VI.	Cálculo de la componente X del centro de corte de muros .....	45
VII.	Cálculo de centros de masa de muros .....	46
VIII.	Propiedades de los materiales .....	47

IX.	Carga muerta de losa de caseta de bombeo .....	48
X.	Peso total de los muros.....	49
XI.	Distribución de cargas laterales para muros en sentido vertical .....	53
XII.	Distribución de cargas laterales para muros en sentido horizontal .....	53
XIII.	Distribución del momento de volteo para muros en sentido vertical .....	54
XIV.	Distribución del momento de volteo para muros en sentido horizontal ...	54
XV.	Tabla resumen de cargas y momentos por muro.....	54
XVI.	Muro crítico por diseñar.....	55
XVII.	Datos del muro crítico .....	55
XVIII.	Cuadro de renglones finales del proyecto.....	124
XIX.	Cronograma de ejecución .....	129

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>H</b>	Alto
<b>Am</b>	Amortización
<b>A</b>	Ancho
<b>As</b>	Área de acero
$\Delta P$	Cambio de presión
<b>#TUB</b>	Cantidad de tubería
<b>CDT</b>	Carga dinámica total
<b>W</b>	Carga distribuida
<b>CM</b>	Carga muerta
<b>CU</b>	Carga Última
<b>CV</b>	Carga viva
$Q_B$	Caudal de bombeo
$Q_{DM}$	Caudal de día máximo
$Q_{HM}$	Caudal de hora máxima
$Q_{US}$	Caudal de uso simultaneo
$Q_M$	Caudal Medio diario
$\alpha$	Celeridad
<b>CCM</b>	Centro de corte de muros
<b>CMM</b>	Centro de masa de muros
<b>K</b>	Coefficiente activo de Rankine
<b>VR</b>	Cortante resistente del concreto
<b>VUC</b>	Cortante unitario del concreto
<b>VC</b>	Corte basal

$\text{Cos}(\alpha)$	Coseno del ángulo
$C_{BOMB}$	Costo de bombeo
$C_{TUB}$	Costo de tubería
$C_{TOTAL}$	Costo total
$CT$	Cota de terreno
$CP$	Cota piezométrica
$\rho_B$	Cuantía balanceada
$\rho_{MAX}$	Cuantía máxima
$\rho_{MIN}$	Cuantía mínima
$\rho_{REAL}$	Cuantía real
$\rho_P$	Densidad poblacional
$\rightarrow$	Dirección del flujo
$\emptyset$	Diámetro
$e$	Eficiencia
$F_m$	Esfuerzo a compresión de mampostería
$f'c$	Esfuerzo a la compresión del concreto
$f_y$	Esfuerzo a la fluencia del acero
<b>FDM</b>	Factor de día máximo
<b>FHM</b>	Factor de hora máxima
<b>N</b>	Horas de bombeo al mes
<b>INE</b>	Instituto nacional de estadística
<b>L</b>	Longitud
<b>L2</b>	Longitud de tubería diámetro dos
<b>L1</b>	Longitud de tubería diámetro uno
<b>mca</b>	Metro columna de agua
$M_{volteo}$	Momento de volteo
<b>M(-)</b>	Momento Negativo
<b>M(+)</b>	Momento positivo
<b>d</b>	Peralte efectivo

<b>Hf</b>	Pérdida de carga por fricción
$\gamma$	Peso específico
<b>P.P.</b>	Peso propio
$P_o$	Población actual
$P_f$	Población futura
<b>POT</b>	Potencia
<b>P</b>	Presión
<b>RxE</b>	Rigidez
$Sen(\alpha)$	Seno del ángulo
$Tan(\alpha)$	Tangente del ángulo
<b>R</b>	Tasa de crecimiento poblacional
<b>TB</b>	Tiempo de bombeo
<b>V</b>	Velocidad





## GLOSARIO

<b>Aforo</b>	Acción de medir el caudal que proporciona una fuente.
<b>Agua potable</b>	Es aquella que es sanitariamente segura y agradable para los sentidos.
<b>Altimetría</b>	Es una medida de la altura de la superficie terrestre para poder representarlas gráficamente con el fin de definir la superficie en estudio junto con la medida plana.
<b>Área tributaria</b>	Es aquella que contiene todos los elementos que tienen influencia sobre el elemento estructural analizado.
<b>Carga muerta</b>	Es aquella que se compone por el peso propio del elemento estructural y de todas aquellas cargas inmóviles de magnitud constante.
<b>Carga última</b>	Es la resultante por la filosofía de diseño por factores de carga y factores de resistencia (Load and Resistance Factor Design, LRFD por sus siglas en inglés) la cual consiste en aplicar factores de seguridad con la finalidad de obtener una carga mayorada.

<b>Carga viva</b>	Son aquellas que no son permanentes y debido a esto no se puede calcular con exactitud por su naturaleza que es cambiante.
<b>Caudal</b>	Cantidad de volumen proporcionado por la fuente en un lapso de tiempo.
<b>Concreto armado</b>	Material de construcción resultante de una dosificación de cementos, materiales pétreos y agua combinado con acero de refuerzo.
<b>Concreto ciclópeo</b>	Material de construcción resultante de una dosificación de cementos, materiales arena, piedra bola y agua.
<b>Cota de terreno</b>	Indica la altura de un punto del terreno respecto a un banco de marca.
<b>Cota piezométrica</b>	Es aquella que indica la presión en el sistema de tuberías de la red.
<b>Cuantía</b>	Hace referencia a la cantidad de acero de refuerzo por utilizar.
<b>Dotación</b>	Es una cantidad asignada a la unidad consumidora.
<b>Estación</b>	Punto en que se colocó el aparato topográfico para realizar mediciones.

<b>Estribo</b>	Pieza que ayuda a las vigas a soportar los esfuerzos cortantes.
<b>Mampostería confinada</b>	Es un sistema constructivo compuesto por unidades de mamposterías las cuales son confinadas de manera vertical (mochetas) y horizontal (vigas).
<b>Nacimiento</b>	Fuente de agua de origen subterráneo que emana a la superficie.
<b>Planimetría</b>	Se define como el conjunto de obras necesarias para representar gráficamente la superficie terrestre, teniendo como referencia el norte para su orientación.
<b>Pozo mecánico</b>	Es una perforación vertical en el subsuelo, el cual está diseñada para la extraer del agua subterránea.
<b>Presión estática</b>	Es la máxima presión que puede resistir una tubería.
<b>Tanque de distribución</b>	Es aquel cuyo objetivo principal es cubrir las variaciones en la demanda de agua en los horarios pico y llenarse nuevamente en las horas de bajo consumo.
<b>Topografía</b>	Ciencia y arte de determinar posiciones relativas de puntos situados encima y debajo de la superficie.

- Zona central** Es aquella zona en una viga donde el cortante actuante es menor o igual al cortante resistente del concreto por un factor de reducción de resistencia.
- Zona de confinamiento** Es aquella zona en una viga donde el cortante actuante es mayor al cortante resistente del concreto por un factor de reducción de resistencia.

## **RESUMEN**

En la concepción de este proyecto, se observó y se planteó la situación actual del cantón Agua Tibia de la cabecera municipal de Palencia, Guatemala, por lo cual se realizó el diseño técnico del proyecto denominado como: Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el cantón Agua Tibia, cabecera municipal, Palencia, Guatemala.

El proyecto previamente mencionado se definió mediante una serie de visitas a las calles del donde el proyecto tendrá impacto, donde paralelamente se realizó el estudio topográfico y un censo de casas para tener el número preciso de viviendas que se verán directamente beneficiadas por la ejecución de este.

Posteriormente de recabar la información en campo. En gabinete se realizó todo el diseño hidráulico junto a las obras de arte complementarias que el proyecto requiere donde posteriormente fueron elaborados los planos.

Este proyecto se realizó debido a que en la actualidad los pobladores de los sectores más bajos del cantón Agua Tibia tienen un déficit en el servicio de agua potable y el resto del cantón no gozan de un servicio con la presión mínima requerida.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Contribuir a mejorar la calidad de vida, salud, economía y crecimiento integral del cantón Agua Tibia de la cabecera municipal del municipio de Palencia, Departamento de Guatemala

### **Específicos**

1. Realizar un diagnóstico sobre las necesidades que genera el déficit actual de agua potable en el cantón Agua Tibia de la cabecera municipal del municipio de Palencia, Departamento de Guatemala.
2. Realiza un diseño que cumpla con las guías de diseño y normativas para poder abastecer con agua potable sanitariamente segura a los pobladores del cantón Agua Tibia de la cabecera municipal del municipio de Palencia, Departamento de Guatemala.
3. Ayudar a cubrir las necesidades básicas de los habitantes del cantón Agua Tibia de la cabecera municipal del municipio de Palencia, Departamento de Guatemala, por medio del diseño y realización de un nuevo sistema de abastecimiento de agua potable sanitariamente segura.





## INTRODUCCIÓN

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) es un programa en la cual el estudiante próximo a graduarse tiene una inmersión total en el día a día de un profesional de la ingeniería civil para poder adquirir experiencia en el campo, poder comprender las necesidades que presentan las comunidades de Guatemala y por medio de sus conocimientos técnicos, proponer una solución óptima para dichos problemas.

Un sistema de abastecimiento de agua potable es la red por la cual permite facilitar que la población beneficiada tenga un mejor acceso al agua potable por medio de sus distintos componentes requeridos para llevar el agua de la captación hasta un punto de consumo, cuidando siempre que este líquido sea sanitariamente seguro y cumpla con parámetros indicados en guías de diseño y normativas.

Por medio del desarrollo del proyecto denominado como Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el cantón Agua Tibia, cabecera municipal, Palencia, Guatemala se pretende poder contribuir a mejorar la calidad de vida, salud, economía y crecimiento integral de dicha población mediante la implementación de este proyecto.

El presente documento busca poder exponer la importancia y necesidad que tiene la población del cantón Agua Tibia de la cabecera municipal de Palencia de que se lleve a cabo el desarrollo del presente proyecto, por lo cual en el desarrollo del presente documento contienen las justificaciones teóricas, técnicas y muestra de cálculo del proyecto junto a los respectivos planos respectivos.



# **1. INVESTIGACIÓN**

El municipio de Palencia actualmente cuenta con escasez de agua por lo que se plantea investigar las razones de esta falta de agua para poder determinar la solución más viable en vista al futuro del municipio

## **1.1. Monografía del municipio de Palencia**

Palencia es uno de los diecisiete municipios que conforman el departamento de Guatemala, Palencia es conocido ya que fue allí donde colgaron al mariscal Serapio Cruz.

### **1.1.1. Localización geográfica**

El municipio de Palencia se encuentra ubicado en el noreste de la ciudad capital de Guatemala, este municipio cuenta con su acceso principal en el kilómetro 21 de la ruta CA-9 Norte, cuya cabecera municipal se encuentra a 7 kilómetros del acceso desde la carretera y se encuentra ubicada en la base del cerro Tomastepeque, mismo cerro que aparece en el escudo municipal. El municipio de Palencia es conformado por 16 aldeas y este municipio colinda con los municipios de San José del Golfo, San Pedro Ayampuc, Ciudad de Guatemala y San José Pinula que pertenecen al departamento de Guatemala y con los departamentos de El Progreso y Jalapa.

La cabecera municipal de Palencia se encuentra ubicada en las coordenadas Geográficas 14 °40 '11.91" Norte 90 °21 '27.67" Oeste y se compone por cuatro cantones, los cuales son: Rincón de la Piedra, Agua Tibia, Ojo de Agua y Pueblo Nuevo entre los cuatro cantones se extiende un área que sobre pasa los 7.50 kilómetros cuadrados.

### **1.1.2. Topografía del lugar**

El casco urbano del municipio de Palencia se encuentra conformado por cuatro cantones los cuales son: Agua Tibia, Rincón de la Piedra, Ojo de Agua y Pueblo Nuevo. Estos cuentan con una topografía que corresponde a un terreno tipo ondulado ya que esta superficie cuenta con un 6.70 % de pendiente que se encuentra entre el 2 % y 8 % que corresponde a un terreno ondulado. El punto más alto del terreno es de 1,438 msnm y con la altura más baja de 1,352 msnm. Los cuatro cantones en conjunto aproximadamente cuentan con un área de 7.50 Km<sup>2</sup> de los cuales aproximadamente 1 Km<sup>2</sup> ocupa el cantón Agua Tibia.

### **1.1.3. Aspectos climáticos**

El clima en el municipio de Palencia fluctúa mucho a lo largo del año e inclusive del día, al año se estima que su temperatura máxima puede alcanzar los 29 °C entre los meses de abril y mayo y puede alcanzar temperaturas mínimas de 18 °C entre los meses de noviembre y diciembre. Al día por lo general las temperaturas por la mañana son de 20 °C para luego al medio día llegar a los 23 °C al medio día para al anochecer alcanzar una temperatura nuevamente de 20 °C.

### **1.1.4. Actividades económicas**

La economía del municipio de Palencia se basa principalmente en la producción y exportación de cultivos de Güisquil, Tomate, zanahoria y café.

Al centrarse este municipio principalmente en actividades agrícolas cuya materia prima es el agua, es por eso por lo que este proyecto es de vital importancia llevarse a cabo para que el sector agrícola cuente con el agua necesaria como también procurando que los habitantes cuenten con un servicio de agua de forma constante y optimizado.



### **1.1.6. Servicios existentes**

El municipio de Palencia en su casco cuenta con servicios para uso público como lo son los siguientes:

#### **1.1.6.1. Educación**

En el municipio de Palencia existe educación pública y privada. La escuela pública tipo federación No. 01 cuenta educación desde el nivel de preescolar hasta nivel diversificado con carreras técnicas como lo son Bachillerato en Electricista, Dibujo técnico, Agricultura, Computación y Ciencias y Letras. Por otro lado, los colegios privados Como lo son: Colegio Fe y Alegría No. 43, Colegio LIFSA y el Liceo Tecnológico Profesional de Palencia cuentan con educación desde preescolar hasta bachillerato en Computación y en Ciencias y Letras. Sin embargo, debido a que hay áreas del municipio fuera del casco urbano que se están construyendo y se requiere mucha mano de obra, existen padres que desde pequeños llevan a sus hijos a trabajar por lo que no todos los niños gozan tener una educación.

#### **1.1.6.2. Salud**

El municipio de Palencia con un centro de salud ubicado en la 2da Calle del Cantón Agua Tibia, colonia La Mortera del Municipio de Palencia. El centro de salud de forma periódica lleva a cabo jornadas médicas y de vacunación contra el COVID-19 para mantener a la población del municipio con buena salud.

#### **1.1.6.3. Energía Eléctrica**

Los pobladores del casco urbano del municipio de Palencia cuentan con acceso a la energía eléctrica por empresas privadas de los mismos pobladores de Palencia

pagando una cuota fija o también se abastecen de energía eléctrica de empresas como EEGSA pagando una cuota variable en función a su consumo.

#### **1.1.6.4. Agua potable**

Los pobladores de municipio de Palencia cuentan con acceso al servicio de agua potable municipal la cual se obtiene de captaciones superficiales como lo son nacimientos y captaciones subterráneas como lo son pozos mecánicos.

#### **1.1.6.5. Drenajes**

La cabecera municipal de Palencia cuenta con una red de alcantarillado sanitario y pluvial con la finalidad de que el municipio sea sanitariamente seguro y se encuentre saneado de forma correcta.

#### **1.1.7. Aspectos generales de la cabecera municipal del municipio de Palencia**

La cabecera municipal de Palencia se encuentra ubicada en las coordenadas Geográficas 14°40'11.91" Norte 90°21'27.67" Oeste y se compone por cuatro cantones, los cuales son: Rincón de la Piedra, Agua Tibia, Ojo de Agua y Pueblo Nuevo entre los cuatro cantones se extiende un área que sobre pasa los 7.50 kilómetros cuadrados.

Aproximadamente en la cabecera municipal existen 4,500 viviendas dispersas entre los cuatro cantones. Debido a la nula planificación de la red existente de agua potable, nadie sabe con exactitud donde pasan las tuberías principales de la red y las personas se han conectado a la primera tubería que han encontrado de primero sin importar hacia donde se dirigen estas. Esta situación ha dado como resultado un déficit de agua en la cabecera municipal por lo que actualmente en dicho sector del municipio

de Palencia nadie cuenta con un servicio de agua continuo, sino que este servicio se sectoriza y se regula el agua.

## **1.2. Principales necesidades del municipio**

En la actualidad, el municipio cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable obsoleto por que se necesita construir un sistema nuevo.

### **1.2.1. Descripción de las necesidades**

Según datos recabados los censos oficiales realizados por el Instituto Nacional de Estadística – INE –, en el año 2002 el municipio de Palencia una tasa de crecimiento poblacional del 1.89 % anual, con población en el 2002 de 47,705 habitantes y según los datos del censo nacional realizado el 2018 el Municipio de Palencia cuenta con una población actual de 70,973 habitantes con los datos proporcionados y empleando el modelo geométrico del crecimiento poblacional se determinó que la tasa de crecimiento poblacional es del 2.50 % anual.

Debido a la nula planificación de la red existente de agua potable, nadie sabe con exactitud donde pasan las tuberías principales de la red y las personas se han conectado a la primera tubería que han encontrado de primero sin importar hacia donde se dirigen estas. Esta situación ha dado como resultado un déficit de agua en la cabecera municipal por lo que actualmente en dicho sector del municipio de Palencia nadie cuenta con un servicio de agua continuo, sino que este servicio se sectoriza y se regula el agua.

La única persona que conoce el sistema de agua potable es el colaborador de la municipalidad que se encarga todos los días desde hace 23 años aproximadamente de llenar los tanques y manejar las distintas llaves que abastecen a cada cantón de agua, sin embargo, él solo sabe por dónde pasa la tubería, el diámetro de la tubería, válvulas y



accesorios con los que cuenta el sistema, sin embargo, él sabe dónde pasa la tubería en función a sus propias referencias, las cuales no puede localizar en un mapa porque le resulta imposible ubicarse en uno, por lo que no ha sido posible trazar en papel las líneas de conducción principales que salen de cada uno de los tanques y distribuyen a cada uno de los cantones, cabe mencionar que con la distribución actual, cada tanque de distribución abastece a más de un cantón por lo que no se sabe con certeza que tanque abastece en un momento específico a cada cantón.

### **1.2.2. Evaluación y priorización de las necesidades**

De acuerdo con la evaluación anterior y pláticas con las comunidades, se llegó a la conclusión de priorizar las necesidades de la siguiente forma:

- Agua potable
- Pavimentación de tramos

### **1.3. Vulnerabilidad del proyecto**

De acuerdo con pláticas con las comunidades involucradas con el proyecto, este proyecto será vulnerable ante los siguientes panoramas:

- Conexiones ilícitas: debido a que la tubería principal de distribución antes de llegar al cantón Agua Tibia cruza la 6ta avenida del cantón Ojo de Agua, la cual es una de las avenidas más pobladas en el cantón Ojo de Agua, ya que esta avenida es el camino principal para dirigirse a otras aldeas de Palencia, por antecedentes se ha documentado que las personas al conocer que frente a sus domicilios pasa una tubería sin conexiones inmediatas sino que esta tubería distribuye agua a otros lugares, las personas se conectan a dichas tuberías sabiendo que esa es una tubería que no les corresponde pero deciden hacerlo con la finalidad de contar con un servicio de agua continuo.

- Fallas en las tuberías de conducción: por inspección visual se puede determinar que las épocas críticas para esta tubería al ir enterrada bajo la superficie natural y no contar con una carpeta asfáltica o estructura que ayude a drenar el agua de lluvia, se notó que en época lluviosa el agua de escorrentía superficial tiende a desenterrar las tuberías de conducción exponiéndolas a los rayos solares y haciendo que estas tuberías se deformen y tiendan a fallar con el paso del tiempo.

## **2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO Y PROFESIONAL**

### **2.1. Diseño del sistema de agua potable del cantón Agua Tibia, cabecera municipal, Palencia, Guatemala**

El sistema de abastecimiento de agua potable para el cantón Agua Tibia es de suma importancia ya que este abastecerá a muchas familias que cuentan con problemas de agua y será un proyecto pensado en el futuro del municipio.

#### **2.1.1. Descripción del proyecto**

El proyecto *Diseño del sistema de agua potable del cantón Agua Tibia, cabecera municipal, Palencia, Guatemala* consiste en poder abastecer las 592 viviendas actuales que se encuentran en el cantón Agua Tibia que proyectando a un período de diseño de 22 años que equivale a 1,020 viviendas y 6,100 habitantes en una extensión territorial aproximada de 1.00 Km<sup>2</sup> que se abastecerá de dos tanques de distribución exclusivos para dicho cantón que será el tanque El Chorrón que se abastece de su propio pozo mecánico y del tanque Mingo Bran que se abastece de un nacimiento ubicado en la finca El Calahuar, dichos tanques serán rediseñados para que todo el proyecto cumpla las mismas guías de diseño, estén calculados y diseñados bajo los mismos criterios de diseño.

#### **2.1.2. Levantamiento topográfico**

El levantamiento topográfico es la técnica por cual se puede obtener una representación gráfica a escala sobre el relieve de un terreno y sus componentes.

### **2.1.2.1. Planimetría**

Se define como el conjunto de obras necesarias para representar gráficamente la superficie terrestre, teniendo como referencia el norte para su orientación.

Para este proyecto se realizó el levantamiento por medio del método de conservación de azimut y el equipo que se utilizó fue: teodolito marca Foif modelo TD-450, estadal, cinta métrica, plomada y clavos.

### **2.1.2.2. Altimetría**

Es una medida de la altura de la superficie terrestre para poder representarlas gráficamente con el fin de definir la superficie en estudio junto con la medida plana.

Para este proyecto se utilizó el método taquimétrico y para su realización se tomó en consideración la toma de las medidas de la lectura de hilos superior, medio e inferior y la altura del instrumento.

### **2.1.2.3. Fuentes de agua**

Para este proyecto se cuenta con dos fuentes de captación de agua, la primera fuente es el nacimiento de agua que se encuentra en la finca El Calahuar ubicado en las coordenadas  $14^{\circ}38'25.36''$  Norte y  $90^{\circ}20'49.77''$  Oeste, este nacimiento será conducido hasta el tanque de almacenamiento Mingo Bran. La segunda fuente es el pozo mecánico llamado El Chorrón ubicado en las coordenadas  $14^{\circ}39'36.18''$  Norte y  $90^{\circ}21'06.79''$  Oeste, este pozo bombeará el agua hasta el tanque de almacenamiento El Chorrón.

### **2.1.3. Caudal de aforo**

El caudal de aforo es aquel que se obtiene mediante el aforo de la fuente en campo, este aforo es de suma importancia ya que para que una fuente sea capaz de satisfacer la demanda de un proyecto, el caudal de aforo en la época de estiaje debe de ser mayor o igual al caudal medio diario calculado de manera teórico.

#### **2.1.3.1. Pozo Mingo Bran**

Por medio de un aforo volumétrico que se le realizo al pozo en la salida de este, se determinó que cuenta con un caudal de bombeo de 210 galones por minutos equivalentes a 13.25 Lt/s.

#### **2.1.3.2. Nacimiento El Calahuar**

Por medio de un aforo volumétrico se determinó que el nacimiento proporciona un caudal de 14.83 Lt/s.

### **2.1.4. Dotación**

Para realizar el diseño se decidió por seleccionar una dotación con servicio de conexiones intradomiciliares con opción a varios grifos por vivienda, este tipo de servicio según las guías de diseño de INFOM y el Ministerio de Salud, se encuentra en un rango de dotaciones de 90 Lt/Hab/Día hasta 170 Lt/Hab/Día por lo que, por criterio del diseñador, se tomó como dotación de diseño 120 Lt/Hab/Día.

## **2.1.5. Análisis de la calidad del agua**

Los exámenes sobre la calidad de agua son vitales para un proyecto de agua potable ya que mediante estos se puede saber si el agua es potable y sanitariamente segura para los sentidos o no, ya que sanitariamente el agua no puede ser parcialmente potable por lo que solo se puede decir si es potable o no lo es.

### **2.1.5.1. Análisis bacteriológico**

El objetivo principal del análisis bacteriológico es determinar el nivel de contaminación bacteriana y fecal que se encuentra en la muestra. Los resultados del análisis se contrastan con los límites de la norma COGUNARNO NGO 29001 para determinar si el agua muestreada es potable o no lo es.

Según los resultados de los análisis bacteriológicos, elaborados por el laboratorio ECOQUIMSA, se concluyó que el agua proveniente del pozo El Chorrón cumple con los análisis bacteriológicos de la normativa técnica guatemalteca COGUANOR NTG 29001, sin embargo el muestreo del agua proveniente del nacimiento El Calahuar presenta un alto nivel de contaminación fecal por lo que se puede decir con este análisis, que el agua proveniente de esta fuente no es potable y debe de someterse a un tratamiento para ser potabilizada.

La copia de los análisis bacteriológicos de la muestra de agua tomadas se encuentra en la sección de anexos.

### **2.1.5.2. Análisis fisicoquímico**

Mediante los análisis físicos se puede determinar aspectos como el color, turbiedad, olor, sabor, pH, temperatura y conductividad eléctrica, en los análisis químicos

se pueden determinar los niveles de materia orgánica presentes, minerales, como los siguientes componentes presentes en el agua: amoníaco, nitritos, nitratos, cloro residual, manganeso, cloruros, fluoruros, sulfatos, hierro total, dureza total, sólidos totales, sólidos volátiles, sólidos fijos, sólidos en suspensión, sólidos disueltos y también su alcalinidad.

Según los resultados de los análisis fisicoquímicos, elaborados por el laboratorio ECOQUIMSA, se concluyó que el agua en ambas captaciones como lo son: el nacimiento El Calahuar y el pozo El Chorrón no cumplen con los parámetros establecidos para el agua de consumo humano que se establecen en la norma técnica guatemalteca COGUARNO NTG 29001.

La copia de los análisis fisicoquímicos de la muestra de agua tomadas se encuentra en la sección de anexos.

### **2.1.5.3. Interpretación de resultados**

Con base en que los resultados obtenidos en análisis fisicoquímicos y bacteriológicos de las muestras de agua tomadas del nacimiento El Calahuar y el pozo El Chorrón no se encuentran dentro de los parámetros admisibles establecidos en la norma técnica guatemalteca COGUANOR NTG 29001, la cual estipula los parámetros tanto fisicoquímicos como bacteriológicos. Se concluye en que el agua proveniente de ambas fuentes del municipio de Palencia debe de ser tratadas para que estas cumplan con los parámetros estipulados en la normativa previamente mencionada para que el agua que se le proporcione a los pobladores sea potable y sanitariamente segura.

### **2.1.6. Criterios y bases de diseño**

Los parámetros de diseño son aquellos que asumimos o los obtenemos en campo, mediante estos podemos empezar a desarrollar el proyecto.

### **2.1.6.1. Período de diseño**

Para el proyecto denominado como Diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para el cantón Agua Tibia, cabecera municipal, Palencia, Guatemala se utilizará un período de diseño equivalente a 22 años por criterio del diseñador, este criterio es respaldado con los parámetros que indica que indica la guía de diseño de INFOM, puesto a que estas indican que para obras civiles se deben de tomar 20 años solamente para la obra sumándole a esto 2 años por los procesos administrativos y gestión del proyecto ya que durante estos dos años la población sigue creciendo.

### **2.1.6.2. Población de diseño**

La población de diseño es aquella que se obtiene al proyectar la población inicial actual al número de años del periodo de diseño, mediante esta población futura o de diseño podemos realizar un pronóstico más acertado cuando calculamos el caudal requerido para abastecer a la población.

#### **2.1.6.2.1. Tasa de crecimiento**

Según datos recabados los censos oficiales realizados por el Instituto Nacional de Estadística – INE –, en el año 2002 el municipio de Palencia una tasa de crecimiento poblacional del 1.89 % anual, con población en el 2002 de 47,705 habitantes y según los datos del censo nacional realizado el 2018 el Municipio de Palencia cuenta con una población actual de 70,973 habitantes con los datos proporcionados y empleando el modelo geométrico del crecimiento poblacional se determinó que la tasa de crecimiento poblacional es del 2.51 % anual, como se en el siguiente ejemplo.

$$R = \left( \frac{P_f}{P_o} \right)^{\frac{1}{t_f - t_o}} -$$



Donde:

- $P_f$ : Población en el segundo censo [Habitantes]
- $P_o$ : Población en el primer censo [Habitantes]
- $r$ : Tasa de crecimiento poblacional [%]
- $t_o$ : Año de primer censo [Años]
- $t_f$ : Año de segundo censo [Años]

$$R = \left( \frac{70,973 \text{ hab}}{47,705 \text{ hab}} \right)^{\frac{1}{2018-2002}} - 1 = 0.0251 \approx 2.51 \%$$

#### **2.1.6.2.2. Población actual**

Por medio del levantamiento topográfico se logró determinar el número de viviendas actuales en el Cantón Agua Tibia es de 592 y se asumirá una densidad poblacional de 6 personas por vivienda por lo cual se puede concluir en que la población actual del Cantón Agua Tibia es de 3,552 habitantes.

#### **2.1.6.2.3. Población futura**

Para realizar la estimación de la población futura existen varios modelos matemáticos, en este caso se consideró que el método geométrico es el más adecuado para esta población debido a que este modelo parte de la tasa de crecimiento poblacional anual, el período de diseño del proyecto y la población actual. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$P_o = NC * \rho_P$$

Donde:

- $P_o$ : Población Actual [Habitantes]

- $NC$ : Número de conexiones actuales [Viviendas]
- $\rho_P$ : Densidad poblacional [Habitantes]

$$P_o = 44 \text{ Viviendas} * 6 \frac{\text{Habitantes}}{\text{Vivienda}} = 264 \text{ Habitantes}$$

$$P_f = P_o * (1 + r)^t$$

Donde:

- $P_f$ : Población Futura [Habitantes]
- $P_o$ : Población Actual [Habitantes]
- $r$ : Tasa de crecimiento poblacional [%]
- $t$ : Periodo de diseño [Años]

$$P_o = NC * \rho_P$$

$$P_f = 264 \text{ Habitantes} * (1 + 2.51 \%)^{22 \text{ Años}} = 455.47 \approx 456 \text{ Habitantes}$$

### 2.1.6.3. Factores de consumo y caudales

Los factores de consumos y los caudales son variables de suma importancia en los sistemas de distribución de agua potable ya que con estos se inicia el diseño.

#### 2.1.6.3.1. Factor de día máximo (FDM)

El factor de día máximo es un valor adimensional utilizado como factor de seguridad para el caudal medio diario, este valor ayuda a incrementarlo y evitar que la conducción se quede sin agua. Como bien se sabe, el consumo del agua tiende a fluctuar a lo largo del día en función a la demanda de los usuarios. Por medio de estudios de

caudales se ha podido determinar que al inicio del día y al final de este es donde se encuentra los consumos máximos diarios. Es por eso por lo que este valor nos ayuda a encontrar de manera aproximada el valor del caudal que se requiere a lo largo del día para que nunca la conducción se quede sin agua.

Este valor se utiliza para multiplicarlo al caudal medio diario y de esta manera obtener el caudal de día máximo el cual se utiliza para el diseño de la línea de conducción.

El valor del FDM se encuentra entre 1.20 y 1.50, se estima que se puede utilizar un valor de 1.50 para poblaciones menores a 1,000 habitantes y se utiliza un valor de 1.20 para poblaciones mayores a 1,000 habitantes.

Para este proyecto fue seleccionado un valor del FDM igual a 1.20.

#### **2.1.6.3.2. Factor de hora máximo (FHM)**

El factor de día máximo es un valor adimensional utilizado como factor de seguridad para el caudal medio diario, este valor ayuda a incrementarlo y evitar que la red de distribución se quede sin agua durante las horas pico de consumo. Como bien se sabe, el consumo del agua tiende a fluctuar a lo largo del día y más en las horas pico de consumo en función a la demanda de los usuarios. Por medio de estudios de caudales se ha podido determinar que al inicio del día y al final de este es donde se encuentra los máximos consumos horarios. Es por eso por lo que este valor nos ayuda a encontrar de manera aproximada el valor del caudal que se requiere durante las horas pico para que nunca la red de distribución se quede sin agua.

Este valor se utiliza para multiplicarlo al caudal medio diario y de esta manera obtener el caudal de hora máxima o caudal máximo horario, el cual se utiliza para el

diseño de la línea de las redes de distribución, ya sean abiertas (ramales) o cerrados (circuitos).

El valor del FDM se encuentra entre 2.00 y 3.00, se estima que se puede utilizar un valor de 3.00 para poblaciones menores a 1,000 habitantes y se utiliza un valor de 2.00 para poblaciones mayores a 1,000 habitantes.

Para este proyecto fue seleccionado un valor del FHM igual a 2.00.

#### **2.1.6.4. Caudal de diseño**

El caudal de diseño es una variable muy importante para tomar en cuenta ya que no es el mismo para todos los elementos que componen un sistema de abastecimiento, por lo tanto, hay que ser sumamente precisos al momento de seleccionar el caudal de diseño para cada uno de los elementos.

##### **2.1.6.4.1. Caudal de día medio (Q<sub>m</sub>)**

El caudal de día medio es el producto de multiplicar la dotación adoptada por el número de habitantes que se hayan estimado para el final del período de diseño, dividido entre el número de segundos que tiene un día. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$Q_m = \frac{P_f * Dot}{86400 \text{ s/día}}$$

Donde:

- $Q_m$ : Caudal de día medio [Lt/s]
- $P_f$ : Población futura [Habitantes]

- *Dot*: Dotación [Lt/Hab/Día]

$$Q_m = \frac{456 \text{ Habitantes} * 120 \text{ Lt / Hab / Dia}}{86400 \text{ s/dia}} = 0.6333 \frac{\text{Lt}}{\text{s}}$$

#### 2.1.6.4.2. Caudal día máximo (Q<sub>dm</sub>)

El caudal de día máximo es el máximo caudal que conduce la tubería de conducción de agua potable durante un día. Se obtiene del producto entre el caudal de día medio (Q<sub>m</sub>) y el factor de día máximo (FDM) seleccionado por el diseñador. Este es el caudal utilizado para las líneas de conducción que son aquellas que conectan una captación superficial con un tanque como también puede conectar dos tanques. Se realizará el ejemplo para la línea de conducción del proyecto que aproximadamente esta conduce el 70 % del agua que abastece el proyecto.

$$Q_{dm} = Q_m * FDM$$

Donde:

- *Q<sub>dm</sub>*: Caudal de día máximo [Lt/s]
- *Q<sub>m</sub>*: Caudal de día medio [Lt/s]
- *FDM*: Factor de Día Máximo

$$Q_{dm} = 12.95 \frac{\text{Lt}}{\text{s}} * 1.20 = 15.54 \frac{\text{Lt}}{\text{s}}$$

#### 2.1.6.4.3. Caudal hora máxima (Q<sub>hm</sub>)

El caudal de hora máxima es el máximo caudal que conduce la tubería de distribución de agua potable durante una hora. Se obtiene del producto entre el caudal de día medio (Q<sub>m</sub>) y el factor de hora máxima (FHM) seleccionado por el diseñador. Este

es el caudal utilizado para las redes de distribución ya sean abiertas(ramales), cerradas(circuitos) o mixtos, esta tubería es aquella que sale del tanque hasta la acometida domiciliar de cada hogar cuenta con el servicio. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$Q_{hm} = Q_m * FHM$$

Donde:

- $Q_{hm}$ : Caudal de hora máxima [Lt/s]
- $Q_m$ : Caudal de día medio [Lt/s]
- $FHM$ : Factor de Hora Máximo

$$Q_{hm} = 0.6333 \frac{Lt}{s} * 2.00 = 1.27 \frac{Lt}{s}$$

#### 2.1.6.4.4. Caudal de bombeo (Qb)

El caudal de bombeo es el gasto requerido para poder satisfacer la demanda de una comunidad que es obtenido mediante la perforación de un pozo mecánico en conjunto a un equipo de bombeo. Este caudal debe de ser determinado minuciosamente ya que este dependerá netamente del volumen de agua que pueda proporcionar el pozo porque si se sobre utiliza el pozo o el equipo de bombeo, estos tenderán a fundirse en el caso del equipo de bombeo o secarse en el caso del pozo y su acuífero. Este caudal se utiliza para diseñar la denominada línea de impulsión que es aquella que va desde la boca del pozo hasta el tanque que almacenará el agua proveniente de este. Se realizará el ejemplo para la línea de impulsión que aproximadamente abastece del 30 % del agua que requiere el proyecto.

$$Q_B = \frac{Q_{dm} * 24}{t_B}$$

Donde:

- $Q_B$ : Caudal de bombeo [Lt/s]
- $Q_{dm}$ : Caudal de día máximo [Lt/s]
- $t_B$ : Tiempo de bombeo [Horas/Día]

$$Q_B = \frac{6.66 \frac{Lt}{s} * 24}{12 \frac{Horas}{Dia}} = 13.32 \frac{Lt}{s}$$

#### 2.1.6.4.5. Caudal de uso simultaneo

El caudal de uso simultaneo es aquel que se estima que es demandado por las conexiones a la red en las horas pico de consumo cuando se intuye que todas las conexiones están utilizando el servicio al mismo tiempo. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$n = \frac{P_f}{\rho_P}$$

Donde:

- $n$ : Número de conexiones futuras [Viviendas]
- $P_f$ : Población futura [Habitantes]
- $\rho_P$ : Densidad poblacional [Hab/Viv]

$$n = \frac{456 \text{ Habitantes}}{6 \text{ Habitantes/Vivienda}} = 76 \text{ Viviendas}$$

$$Q_{us} = k * \sqrt{n - 1}$$

Donde:

- $Q_{us}$ : Caudal uso simultaneo [Lt/s]
- $k$ : Coeficiente de tipo de conexión [Lt/s]
  - $K=0.20$  para conexiones prediales
  - $K=0.15$  para llena cantaros
- $n$ : Número de conexiones futuras [Viviendas]

$$Q_{us} = 0.20 * \sqrt{76 - 1} = 1.73 \frac{Lt}{s}$$

#### 2.1.6.4.6. Caudal de diseño ( $Q_{dist}$ )

Es el caudal mayor entre el caudal de hora máxima y el caudal de uso simultaneo que demanda la red. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$Q_{us} = 1.73 \frac{Lt}{s}$$

$$Q_{hm} = 1.27 \frac{Lt}{s}$$

$$Q_{dist} = 1.73 \frac{Lt}{s}$$

#### 2.1.6.5. Tipos de tubería

La tubería es un conducto por el cual se transporta agua a presión a diferencia de los canales y alcantarillado donde el agua se transporta sin presión adicional a la que ejerce la atmosférica.



#### **2.1.6.5.1. Tubería de PVC**

El cloruro de polivinilo (PVC) es el material que más se emplea en la actualidad, esto es debido a que es más económico, más liviano, fácil de instalar, durable y no se corroe, pero también tiene muchas desventajas, es más frágil y no se puede dejar en la intemperie, ya que se vuelve quebradizo. Esta tubería nunca se debe de utilizar expuesta a la radiación solar.

#### **2.1.6.5.2. Tubería de acero galvanizado**

El acero galvanizado tiene su principal aplicación cuando se encuentre sobre la superficie del terreno, ya que si se entierra empieza a corroerse.

### **2.1.6.6. Ecuaciones de diseño**

Para realizar el diseño hidráulico de un sistema de abastecimiento de agua potable recurrimos a ecuaciones matemáticas como las siguientes.

#### **2.1.6.6.1. Pérdidas de carga**

Para obtener las pérdidas de carga por fricción ocasionadas por el roce entre el agua y la tubería se utiliza la ecuación de Hazen & Williams.

$$H_f = \frac{1743.811 * (L_{dis}) * (Q_{dis})^{1.85}}{(C)^{1.85} * (\phi)^{4.87}}$$

Donde:

- $H_f$ : Pérdidas de carga por fricción [m]
- $L_{dis}$ : Longitud de diseño [m]

- $Q_{dis}$ : Caudal de diseño [Lt/s]
- $C$ : Coeficiente de fricción [Adimensional]
- $\emptyset$ : Diámetro interno de tubería [Pulgadas]

#### 2.1.6.6.2. Diámetro teórico

Para obtener el valor del diámetro teórico requerido se procede a despejar el diámetro de la ecuación de Hazen & Williams con la finalidad de conocer un diámetro requerido para perder la carga necesaria.

$$\emptyset = \left( \frac{1743.811 * (L) * (Q)^{1.85}}{(C)^{1.85} * Hf} \right)^{\frac{1}{4.87}}$$

Donde:

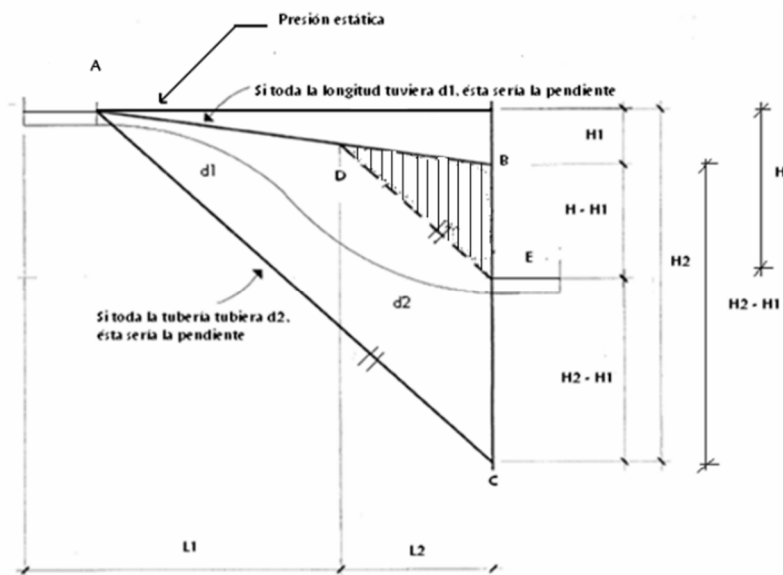
- $\emptyset$ : Diámetro teórico [Pulgadas]
- $Hf$ : Diferencia de alturas entre inicio y fin del tramo [m]
- $L_{dis}$ : Longitud de diseño [m]
- $Q_{dis}$ : Caudal de diseño [ Lt/s]
- $C$ : Coeficiente de fricción [Adimensional]

#### 2.1.6.6.3. Longitudes de diseño

Estas ecuaciones son derivadas de la ilustración 2, son útiles ya que permiten al diseñador realizar combinaciones de diámetros con la finalidad de que este pueda controlar las pérdidas que se ocasionaran en el tramo que se está analizando y de esta manera se evita el caso que exista una pérdida por fricción desmedida y que el agua no llegue a su destino o al contrario que las pérdidas por fricción sean ínfimas y el agua llegue con demasiada presión a las viviendas y estas sufran daño. Es por eso que se

recurre al recurso de la combinación de tubería de distintos diámetros con longitudes de diseño específicas.

Figura 2. **Gráfica para determinar longitudes y diámetros**



Fuente: Aguilar Ruiz, Pedro. (2007). *Apuntes del curso de Ingeniería Sanitaria 1*.

En la figura anterior (ilustración 2), la relación de triángulos se puede observar de la siguiente forma, el triángulo D-B-C tiene una altura  $H - H_1$  y una longitud  $L_2$ , mientras que el triángulo A-B-C tiene una altura  $H_2 - H_1$  y una longitud  $L$ , es por ello que se llega a la siguiente relación:

$$\frac{H - H_1}{L_2} = \frac{H_2 - H_1}{L}$$

$$L_2 = L \left( \frac{H - H_1}{H_2 - H_1} \right)$$

Donde:

- $L_2$ : Longitud del diámetro 2 [m]
- $L$ : Longitud total del tramo [m]
- $H$ : Cambio de altura entre salida y entrada [m]
- $H_1$ : Pérdida de carga producida por el diámetro 1 [m]
- $H_2$ : Pérdida de carga producida por el diámetro 2 [m]

$$L_1 = L - L_2$$

Donde:

- $L_1$ : Longitud del diámetro 1 [m]
- $L$ : Longitud total del tramo [m]
- $L_2$ : Longitud del diámetro 2 [m]

### **2.1.7. Diseño del sistema de agua potable**

Un sistema de abastecimiento de agua potable busca transportar el agua desde la captación hasta los usuarios finales, pero antes de que el agua llegue a cada usuario el agua debe de pasar por una serie de elementos o componentes que unidos forman el sistema de abastecimiento.

#### **2.1.7.1. Captación**

Para poder abastecer el cantón agua tibia del municipio de Palencia se cuentan con dos fuentes de captación de agua las cuales son: el nacimiento que se encuentra en la finca El Calahuar para el cual se realizara una línea de conducción hasta el tanque Mingo Bran y el pozo mecánico en la escuela El Chorrón se diseñara una línea de impulsión que llevara el agua hasta el tanque El Chorrón.

### **2.1.7.2. Línea de conducción**

La línea de conducción es el conjunto de tuberías, dispositivos de control y obras de arte que permiten el transporte del agua por gravedad desde la captación hasta un tanque de almacenamiento o de un tanque de almacenamiento a otro tanque de almacenamiento. Este tipo de acueductos utiliza el caudal de día máximo para su diseño.

#### **2.1.7.2.1. Utilización de cajas rompe presión (CRP)**

Una caja rompe presión (CRP) tiene como principal función disminuir las presiones estática y dinámica del fluido conducido por la tubería forzada a presión atmosférica. Esta obra de arte se coloca con el objeto de que la máxima presión estática no exceda la presión de trabajo de la tubería que se utiliza.

#### **2.1.7.2.2. Diámetro teórico**

Partiendo de la ecuación de Hazen & Williams, la cual se deduce de la ecuación de la ley de Darcy (1838), se puede adaptar para determinar el diámetro teórico y sustituyendo los datos que tenemos en las variables respectivas. El ejemplo de los cálculos se realizó sobre el primer tramo de la línea de conducción por lo cual dio inicio en la estación C-0 y finaliza en la CRP1 ubicada en la estación C-17, La CRP 1 se colocó en la estación C-17, debido a que, si la caja se movía una estación más, la línea piezométrica se enterraría en la superficie por lo cual el agua ya no podría llegar a su siguiente destino.

$$\phi = \left( \frac{1743.811 * (L) * (Q)^{1.85}}{(C)^{1.85} * Hf} \right)^{\frac{1}{4.87}}$$

$$\emptyset = \left( \frac{1743.811 * (811.63m * 1.05) * \left(15.54 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (61.91m)} \right)^{\frac{1}{4.87}} = 3.35''$$

Como no existe un diámetro comercial con un diámetro interno de 3.35 pulgadas exactas, se recurrió a combinar tubería de distintos diámetros, se utilizó tubería de 4" con un diámetro interno de 4.15 pulgadas y una tubería 3" con un diámetro interno de 3.23 pulgadas. Estos diámetros han sido obtenidos de las especificaciones técnicas de tubería PVC de la cama comercial AMANCO.

### 2.1.7.2.3. Pérdidas de carga

A partir de la ecuación de Hazen & Williams y sustituyendo los datos que tenemos en las variables respectivas. Se realizará el ejemplo para el cálculo del tramo C0-C17/CRP1 de la línea de conducción, se obtuvo el siguiente resultado para cada diámetro analizado:

$$Hf_{\emptyset=4''} = \frac{1743.811 * (811.63m * 1.05) * \left(15.54 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (4.15'')^{4.87}} = 21.76m$$

$$Hf_{\emptyset=3''} = \frac{1743.811 * (811.63m * 1.05) * \left(15.54 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (3.23'')^{4.87}} = 74.21m$$

### 2.1.7.2.4. Longitudes de diseño

Debido a que se realizó combinación de tuberías de distintos diámetros, se requiere calcular la longitud precisa que tiene que tener cada tubería, por lo tanto, se

aplicaron las ecuaciones respectivas para obtener las siguientes longitudes. Se realizará el ejemplo para el cálculo del tramo C0-C17/CRP1 de la línea de conducción

$$L_2 = (811.63m * 1.05) \left( \frac{61.91m - 21.76m}{74.21m - 21.76m} \right) = 652.24m$$

$$L_1 = (811.63m * 1.05) - 652.24 = 199.98m$$

#### 2.1.7.2.5. Pérdidas reales

Utilizando la ecuación de Hazen & Williams en la cual se sustituyeron los valores de L1 y L2 en las respectivas ecuaciones Se realizará el ejemplo para el cálculo del tramo C0-C17/CRP1 de la línea de conducción, se obtuvieron los valores de las pérdidas reales para cada diámetro:

$$Hf_{\phi=4"} = \frac{1743.811 * (199.98m) * \left(15.54 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (4.15")^{4.87}} = 5.11m$$

$$Hf_{\phi=3"} = \frac{1743.811 * (652.24m) * \left(15.54 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (3.23")^{4.87}} = 56.80m$$

$$Hf_{\phi=4"} + Hf_{\phi=3"} = 5.11m + 56.80m = 61.91m$$

Debido a que la suma de la pérdida de ambas tuberías cumplió con ser igual a la diferencia de niveles entre la llegada y la salida, se interpretó que el diseño resulta aceptable.

### 2.1.7.3. Línea de impulsión

En un sistema por bombeo, es el tramo de tubería que conduce el agua desde la estación de bombeo hasta el tanque de almacenamiento.

#### 2.1.7.3.1. Diámetro económico

El análisis del diámetro económico se realiza con la finalidad de evaluar únicamente los diámetros que cumplan con la velocidad permitida para luego analizar el costo mensual total.

- Límite de diámetros

A partir de la ecuación del chequeo por velocidad despejando el diámetro podemos determinar un rango de tuberías que garantizan que el agua tendrá la velocidad apropiada, por lo siguiente se realizó el cálculo de la línea de impulsión presente en el proyecto que es el tramo I0-E0.

$$\phi_i = \sqrt{\frac{1.974 * Q_B}{V}}$$

Donde:

- $Q_B$ : Caudal de bombeo [Lt/s]
- $\phi_i$ : Diámetro interno Mayor o Menor [Pulgadas]
- $V$ : Velocidad del flujo [m/s]

$$\phi_{Menor} = \sqrt{\frac{1.974 * 13.32 \frac{Lt}{s}}{2.00 \frac{m}{s}}} = 3.63''$$



$$\phi_i = \sqrt{\frac{1.974 * 13.32 \frac{Lt}{s}}{0.60 \frac{m}{s}}} = 6.62''$$

Considerando los resultados que se obtuvieron anteriormente, se concluyó que los diámetros comerciales bajo los cuales se puede realizar un análisis para la línea de impulsión, son los siguientes: 6" con un diámetro interno de 6.115", 5" con un diámetro interno de 5.135" y 4" con un diámetro interno de 4.154".

- Costo mensual de tubería

El análisis del costo mensual de tubería es uno de los dos requeridos para realizar el análisis del diámetro económico, mediante este cálculo podemos determinar la amortización mensual de la tubería a utilizar.

- Tasa de interés mensual

$$r = \frac{R}{12}$$

Donde:

- $r$ : Tasa de interés mensual [%]
- $R$ : Tasa de interés anual [%]

$$r = \frac{12 \%}{12} \rightarrow 1 \%$$

- Amortización mensual

$$A = \frac{r * (r + 1)^n}{(r + 1)^n - 1}$$

Donde:

- $A$ : Amortización mensual [Adimensional]
- $r$ : Tasa de interés mensual [%]
- $V$ : Tiempo de análisis [meses]

Debido a que el tiempo de vida medio de una bomba es de 10 años, este tiempo fue el utilizado para calcular la amortización y cálculos del costo del bombeo.

$$A = \frac{r * (r + 1)^n}{(r + 1)^n - 1} \rightarrow \frac{(1\%) * (1\% + 1)^{120 \text{ meses}}}{(1\% + 1)^{120 \text{ meses}} - 1} = 0.0143$$

- Cantidad de tubos

$$CTUB = \frac{L_{dis}}{6}$$

Donde:

- $CTUB$ : Cantidad de tubería [Tubos]
- $L_{dis}$ : Longitud de diseño [m]

$$CTUB = \frac{170.12m * 1.05}{6} = 29.75 \text{ Tubos} \approx 30 \text{ Tubos}$$

- Costo de tubería

Por medio de la aplicación de la siguiente tabla podemos calcular el costo mensual que nos representaría utilizar cada diámetro de tubería.

Tabla I. Costo mensual de tubería

DIAMETRO	CTUB	P.U. (Q)	A	C TUBERIA
4	30.00	Q452.03	0.0143	Q194.56
5	30.00	Q951.00	0.0143	Q409.32
6	30.00	Q1,018.10	0.0143	Q438.20

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Costo mensual de bombeo

El análisis del costo mensual de bombeo es uno de los dos requeridos para realizar el análisis del diámetro económico, mediante este cálculo podemos determinar la amortización mensual de cuanto energía se gastaría por cada tubería.

- Tiempo de bombeo mensual

$$TB = T_{BDIA} * 30 \frac{Dias}{mes}$$

Donde:

- $TB$ : Tiempo de bombeo mensual [Hora/Mes]
- $T_{BDIA}$ : Tiempo de bombeo por día [Horas/Dia]

$$TB = 12 \frac{Horas}{Dia} * 30 \frac{Dia}{mes} = 360.00 \frac{Horas}{Mes}$$

- Pérdidas de carga

Utilizando la ecuación de Hazen & Williams en la cual se sustituyeron los valores en sus respectivas variables de la ecuación para los distintos diámetros por analizar en la línea de impulsión representado en el tramo I0-E0, se obtuvieron los valores de las pérdidas de carga para cada diámetro:

$$Hf_{4"} = \frac{1743.811 * (170.12m * 1.05) * \left(13.32 \frac{Lt}{S}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (4.15")^{4.87}} = 3.43m$$

$$Hf_{5"} = \frac{1743.811 * (170.12m * 1.05) * \left(13.32 \frac{Lt}{S}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (5.135")^{4.87}} = 1.22m$$

$$Hf_{6"} = \frac{1743.811 * (170.12m * 1.05) * \left(13.32 \frac{Lt}{S}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (6.115")^{4.87}} = 0.52m$$

- Potencia requerida

$$POT = \frac{Q * HF * 0.746}{76 * e}$$

Donde:

- $POT$ : Potencia [KW]
- $HF$ : Pérdida de carga [m]
- $e$ : Eficiencia del equipo de bombeo [%]

$$POT_{4"} = \frac{\left(13.32 \frac{Lt}{S}\right) * (3.43m) * 0.746}{76 * (60 \%)} = 0.75KW$$

$$POT_{5"} = \frac{\left(13.32 \frac{Lt}{S}\right) * (1.22m) * 0.746}{76 * (60 \%)} = 0.7 = 27KW$$

$$POT_{6''} = \frac{\left(13.32 \frac{Lt}{s}\right) * (0.52m) * 0.746}{76 * (60 \%)} = 0.11KW$$

- o Costo mensual de bombeo

Por medio de la aplicación de la siguiente tabla podemos calcular el costo mensual que nos representaría impulsar el agua por medio de cada tubería.

Tabla II. **Costo mensual de bombeo**

<b>DIAMETRO</b>	<b>Pot</b>	<b>P.U. (Q)</b>	<b>N</b>	<b>C BOMB</b>
<b>4</b>	0.75	Q2.00	360.00	Q538.76
<b>5</b>	0.27	Q2.00	360.00	Q191.87
<b>6</b>	0.11	Q2.00	360.00	Q81.96

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

### **2.1.7.3.2. Diámetro económico**

Por medio de la aplicación de la siguiente tabla podemos calcular el costo mensual total para poder determinar el diámetro económico.

Tabla III. **Diámetro económico**

<b>DIAMETRO</b>	<b>C TUBERIA</b>	<b>C BOMB</b>	<b>CTOTAL</b>
<b>4</b>	Q194.56	Q538.76	Q733.32

Continuación tabla III.

5	Q409.32	Q191.87	Q601.19
6	Q438.20	Q81.96	Q520.16

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Se concluyó en que la tubería de 6" es la más económico para este proyecto debido a que la suma del costo de la tubería con el costo de bombeo representa la inversión más pequeña con el paso de tiempo.

### 2.1.7.3.3. Chequeo del golpe de ariete

El golpe de ariete es un fenómeno físico que surge al cerrar una válvula o una llave de manera brusca lo cual hace que el fluido se detenga repentinamente y genere una sobrepresión la cual puede ser capaz de romper la tubería.

- Celeridad

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left(\frac{k}{E} * \frac{\phi_i}{e}\right)}}$$

Donde:

- $a$ : celeridad [m/s]
- $k$ : Módulo de elasticidad volumétrica del agua [kg/cm<sup>2</sup>]
- $E$ : Módulo de elasticidad del material [kg/cm<sup>2</sup>]
- $\phi_i$ : Diámetro interno de la tubería [pulgadas]
- $e$ : Espesor de pared del tubo [pulgadas]

$$a = \frac{1420}{\sqrt{1 + \left( \frac{2.07 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2}{3 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2} * \frac{6.115''}{0.255''} \right)}} = 339 \frac{m}{s}$$

- Velocidad del agua en la tubería

Utilizando la ecuación de velocidad en la cual se sustituyeron los valores en sus respectivas variables de la ecuación para el diámetro económico de la línea de impulsión representado en el tramo I0-E0, por lo cual se obtuvo que la velocidad del agua en la tubería de 6" es de:

$$V_{6''} = \frac{1.974 * \left( 13.32 \frac{Lt}{s} \right)}{(6.115'')^2} = 0.70 \text{ m/s}$$

Al comparar el resultado de la velocidad con la que circula el agua por la tubería, se concluyó que cumple con los límites de velocidad que mencionan las guías de diseño.

- Cambio de presión

$$\Delta P = \frac{a * v}{g}$$

Donde:

- $\Delta P$ : Cambio de presión [m]
- $a$ : Celeridad [m/s]
- $V$ : Velocidad del agua [m/s]
- $g$ : Gravedad [m/s<sup>2</sup>]

$$\Delta P = \frac{339 \frac{m}{s} * 0.70 \frac{m}{s}}{9.81 \frac{m}{s^2}} = 24.29 m$$

- Verificación del golpe de ariete

$$H = \Delta P + H_{Bomb}$$

Donde:

- $H$ : Golpe de ariete [m]
- $\Delta P$ : Cambio de presión [m]
- $H_{Bomb}$ : Altura de bombeo = Diferencia de la altura entre la boca del pozo y el tanque [m]

$$H = 24.29 + (1,447.00m - 1,440.00m) = 31.29mca$$

Debido a que el golpe de ariete es menor a la presión de trabajo de la tubería utilizada (160 PSI o 112mca), se concluyó que la tubería es capaz de soportar el golpe de ariete.

#### 2.1.7.3.4. Carga dinámica total (CDT)

Existen varios tipos de calcular la carga dinámica total ya que esto depende del tipo de equipo de bombeo que se está utilizando, a continuación, se calculó el valor de la carga dinámica total (CDT) para una bomba sumergible.

- A1 – Altura del nivel dinámico a la boca del pozo

$$A1 = N_{BOCA DEL POZO} - N_{DINAMICO}$$



$$A1 = 1,447.00m - 1,393.00m = 54.00m$$

- A2 – Pérdidas de carga en la tubería de succión

$$A2 = Hf_{6"} = \frac{1743.811 * (1,447.00m - 1,378m) * \left(13.32 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (6.115")^{4.87}} = 0.20m$$

- A3 – Altura de la boca del pozo a la descarga

$$A3 = (1,447.00m - 1,440.00m) = 7.00 m$$

- A4 – Pérdidas de la línea de impulsión

$$A4 = Hf_{6"} = \frac{1743.811 * (170.12m * 1.05) * \left(13.32 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (6.115")^{4.87}} = 0.52m$$

- A5 – Pérdidas por velocidad

$$A5 = H_v = \frac{v^2}{2g}$$

$$A5 = \frac{\left(0.70 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \left(9.81 \frac{m}{s^2}\right)} = 0.03m$$

- A6 – Pérdidas menores

$$A6 = 10 \% * A4$$

$$A6 = 10 \% * 0.52m = 0.05m$$

- Carga dinámica total (CDT)

$$CDT = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6$$

$$CDT = 54.00m + 0.20m + 7.00m + 0.52m + 0.03m + 0.05m$$

$$CDT = 61.80m$$

#### 2.1.7.4. Selección de la potencia de la bomba

Debemos de determinar la potencia que requiere la bomba para poder satisfacer los requerimientos de carga dinámica total y caudal de bombeo.

##### 2.1.7.4.1. Cálculo de la potencia

Utilizando la ecuación de Potencia en la cual se sustituyeron los valores en sus respectivas variables de la ecuación para el diámetro económico resultante, se obtuvo la potencia requerida por el sistema:

$$POT_{CDT} = \frac{\left(13.32 \frac{Lt}{s}\right) * (61.80m) * 0.746}{76 * (60 \%)} = 13.46KW \approx 14KW$$

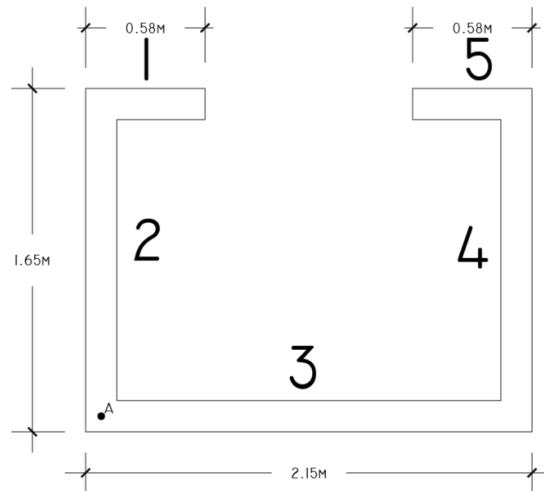
#### 2.1.7.4.2. Caseta de protección

Es necesario diseñar una caseta de bombeo debido a que los controles automáticos del equipo de bombeo se deben de resguardar de las inclemencias del clima durante lo largo del año.

- Propiedades de los materiales por utilizar
  - $F'm = 50 \text{ Kg/cm}^2$
  - Ancho efectivo del muro: 6 Pulgadas
  - Espesor del muro: 15 cm
  - Peso específico de la mampostería: 25.60 Lb/ft [AGIES]
  - Peso específico del concreto: 2,400.00 Kg/m<sup>3</sup>
  - $C_s = 0.128$  [Datos calculado por método Estático-Equivalente]
  - Espesor de acabados: 2.50 cm
  - Espesor de pañuelos: 6.00cm
  - Valor de  $K_d=3.551$  Pulg [Asumido]
  
- Integración de cargas y momentos

La integración de cargas y momentos parte de la distribución de muros ya que en función a esta distribución se puede obtener el muro crítico.

Figura 3. **Distribución de muros de la caseta de bombeo**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

- Cálculo de rigideces de muro

Por medio de la siguiente ecuación fue posible determinar el valor de la rigidez de cada uno de los muros existentes de la caseta de bombeo:

$$RxE = \frac{t}{\left(\frac{h}{l}\right)^3 + 3 * \left(\frac{h}{l}\right)}$$

Donde:

- $t$ : Espesor de muro [m]
- $h$ : Altura del muro [m]
- $l$ : Longitud del muro [m]

Tabla IV. **Cálculo de rigideces de muro**

<b>MURO</b>	<b>L(m)</b>	<b>H (m)</b>	<b>H/L</b>	<b>(H/L)^3</b>	<b>t</b>	<b>RxE</b>
<b>1</b>	0.58	2.50	4.31	80.08	0.15	0.002
<b>2</b>	1.65	2.50	1.52	3.48	0.15	0.019
<b>3</b>	2.15	2.50	1.16	1.57	0.15	0.030
<b>4</b>	1.65	2.50	1.52	3.48	0.15	0.019
<b>5</b>	0.58	2.50	4.31	80.08	0.15	0.002

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

- Cálculo del centro de corte de muros

Posteriormente del cálculo de rigideces, se realizó el cálculo del centro de corte de muros en cada dirección ortogonal:

En dirección Horizontal (X) se encuentra los muros 1,3 y 5 y en la dirección Vertical (Y) se encuentran los muros 2 y 4.

Para determinar la componente vertical del centro de corte de muros, se debe de recurrir a emplear la siguiente ecuación:

$$Y_{ccm} = \frac{\sum y_i * R_{xE}}{\sum R_{xE}}$$

Donde:

- $Y_{ccm}$ : Componente vertical del centro de corte de muros [m]
- $y_i$ : Distancia vertical desde el punto "A" hasta el eje del muro horizontal analizado [m]
- $R_{xE}$ : Rigidez de muro

Tabla V. **Cálculo de la componente Y del centro de corte de muros**

MURO	RxE	Yi	yi*RxE
1	0.002	1.5	0.002
3	0.030	0	0.000
5	0.002	1.5	0.002
<b>Σ RxE</b>	0.0329	<b>Σyi*RxE</b>	0.0048

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

Habiendo determinado los valores de requeridos en la tabla anterior y sustituyéndolos en la siguiente ecuación, se determinó la componente vertical del centro de corte de muros:

$$Y_{ccm} = \frac{\sum yi * RxE}{\sum RxE} \rightarrow \frac{0.0048}{0.0033} \rightarrow \mathbf{0.15m}$$

Para determinar la componente horizontal del centro de corte de muros, se debe de recurrir a emplear la siguiente ecuación:

$$X_{ccm} = \frac{\sum xi * RxE}{\sum RxE}$$

Donde:

- $X_{ccm}$ : Componente horizontal del centro de corte de muros [m]
- $xi$ : Distancia horizontal desde el punto "A" hasta el eje del muro vertical analizado [m]
- $RxE$ : Rigidez de muro

Tabla VI. **Cálculo de la componente X del centro de corte de muros**

MURO	RxE	xi	xi*RxE
2	0.019	0	0.0000
4	0.019	2	0.0374
<b>Σ RxE</b>	0.0374	Σyi*RxE	0.0374

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

Habiendo determinado los valores de requeridos en la tabla anterior y sustituyéndolos en la siguiente ecuación, se determinó la componente vertical del centro de corte de muros:

$$X_{ccm} = \frac{\sum xi * RxE}{\sum RxE} \rightarrow \frac{0.0374}{0.0374} \rightarrow 1.00$$

- Cálculo del centro de masa de muros

Posteriormente del cálculo de las componentes del centro de masa del muro. Al igual que el centro de corte de los muros, el centro de masa también cuenta con dos componentes.

Para determinar la componente vertical del centro de masa de muros, se debe de recurrir a emplear la siguiente ecuación:

$$Y_{cmm} = \frac{\sum l * y}{\sum l}$$

Donde:

- $Y_{cmm}$ : Componente horizontal del centro de masa de muros [m]

- $y$ : Distancia vertical desde el punto “A” hasta el centro del muro analizado [m]
- $l$ : Longitud a rostros externos de muro [m]

Para determinar la componente horizontal del centro de masa de muros, se debe de recurrir a emplear la siguiente ecuación:

$$X_{cmm} = \frac{\sum l * x}{\sum l}$$

Donde:

- $X_{cmm}$ : Componente horizontal del centro de masa de muros [m]
- $x$ : Distancia Horizontal desde el punto A hasta el centro del muro analizado [m]
- $l$ : Longitud a rostros externos de muro [m]

Tabla VII. **Cálculo de centros de masa de muros**

MURO	L(m)	xi	yi	xi*L	yi*L
1	0.58	0.25	1.50	0.145	0.87
2	1.65	0.00	0.75	0	1.2375
3	2.15	1.08	0.00	2.31125	0
4	1.65	2.00	0.75	3.3	1.2375
5	0.58	1.25	1.50	0.725	0.87
<b>Σ L</b>	6.61		<b>ΣL* x o y</b>	6.48125	4.215

Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.



Habiendo determinado los valores de requeridos en la tabla anterior y sustituyéndolos en las siguientes ecuaciones, fueron determinadas las dos componentes del centro de masa de los muros:

$$Y_{cmm} = \frac{\Sigma l * y}{\Sigma l} \rightarrow \frac{6.48125m^2}{6.61m} = 0.98m$$

$$X_{cmm} = \frac{\Sigma l * x}{\Sigma l} = \frac{4.215m^2}{6.61m} = 0.64m$$

Posteriormente se procedió a calcular el centro de masa de la losa superior por medio de ecuaciones de matemáticas y fueron obtenidos los siguientes resultados:

$$X_{cmLosa} = \frac{A * \frac{x}{2}}{A} \rightarrow \frac{4.35m^2 * \frac{2.35m}{2}}{4.35m} = 1.175m$$

$$Y_{cmLosa} = \frac{A * \frac{y}{2}}{A} \rightarrow \frac{4.35m^2 * \frac{1.85m}{2}}{4.35m} = 0.925m$$

- Integración de carga

Posteriormente a determinar los cálculos de los centros de masa y de cortes respectivos, se procede a realizar la integración de cargas, por lo cual, se realizó una tabla resumen con las propiedades de los materiales y espesores de estos:

Tabla VIII. **Propiedades de los materiales**

ELEMENTO	VALOR	Equivale	Equivale	Equivale
ESPESOR DE LOSA	10 cm	0.1 m	3.9370 Pulg	0.32 Pies

Continuación tabla VIII.

<b>ESPELOR DE ACABADOS</b>	<b>2 cm</b>	<b>0.02 m</b>	<b>0.7874 Pulg</b>	<b>0.06 Pies</b>
<b>ESPELOR DE PAÑUELOS</b>	5 cm	0.05 m	1.9685 Pulg	0.16 Pies
<b>ALTURA DE MURO</b>	250 cm	2.5 m	98.4252 Pulg	8.20 Pies
<b>ANCHO DE MURO</b>	20 cm	0.2 m	7.8740 Pulg	0.65 Pies
<b>F'M (RESISTENCIA)</b>	50 kg/cm <sup>2</sup>	500,000 kg/m <sup>2</sup>	711.2889 PSI	102425.60 Lb/ft <sup>2</sup>
<b>g MAMPOSTERIA</b>	0.0120 kg/cm <sup>2</sup>	120 kg/m <sup>2</sup>	0.5602 PSI	80.67 Lb/ft <sup>2</sup>
<b>g ACABADOS</b>	0.0013 kg/cm <sup>3</sup>	1250 kg/m <sup>3</sup>	0.5424 Lb/in <sup>3</sup>	78.10 Lb/ft <sup>3</sup>
<b>g PAÑUELOS</b>	0.0012 kg/cm <sup>3</sup>	1200 kg/m <sup>3</sup>	0.5207 Lb/in <sup>3</sup>	74.98 Lb/ft <sup>3</sup>
<b>g CONCRETO</b>	0.0024 kg/cm <sup>3</sup>	2400 kg/m <sup>3</sup>	1.0414 Lb/in <sup>3</sup>	149.96 Lb/ft <sup>3</sup>
<b>CARGA VIVA</b>	0.0200 kg/cm <sup>2</sup>	200 kg/m <sup>2</sup>	0.2845 PSI	40.97 Lb/ft <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Primero se procedió a realizar la integración de cargas de la losa, por lo que se realizó la siguiente tabla donde se integra la carga muerta:

Tabla IX. **Carga muerta de losa de caseta de bombeo**

ELEMENTO	ESPELOR (M)	g (KG/M <sup>3</sup> )	CARGA MUERTA LOSA	
			KG/M <sup>2</sup>	LB/FT <sup>2</sup>
LOSA	0.1	2400	240	49.19
ACABADOS	0.02	1250	25	5.12
PAÑUELOS	0.05	1200	60	12.30
		Σ CM	325.00	66.61

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Según el método simplificado para el diseño de mampostería, por criterio del diseñador al momento de calcular la carga muerta total (CMT), a la carga muerta integrada, se le puede agregar hasta un 25 % de la carga viva, por lo cual, por criterio propio del diseñador, se decidió por agregarle un 20 % de la carga viva y la ecuación quedo de la siguiente manera:

$$CMT = CM + 20 \% CV \rightarrow 325.00 \frac{Kg}{m^2} + 20 \% * \left( 200 \frac{Kg}{m^2} \right) = 365.00 \frac{Kg}{m^2}$$

Posteriormente, se procedió a determinar el peso de la losa, por medio de la siguiente ecuación:

$$W_{Losa} = CMT * Area \rightarrow 365 \frac{Kg}{m^2} * 4.35m^2 = 1,586.84 Kg \approx 3,498.98 Lb$$

Seguido, se procedió a calcular el peso total de los muros, para lo cual, se elaboró la siguiente tabla:

Tabla X. **Peso total de los muros**

MURO	L (m)	H(m)	Area(m <sup>2</sup> ) (L*H)	g MAMP (Kg/m <sup>2</sup> )	PESO DE MURO (A*g)	
					KG	LB
1	0.58	2.5	1.45	120	174	383.67
2	1.65	2.5	4.125	120	495	1091.475
3	2.15	2.5	5.375	120	645	1422.225
4	1.65	2.5	4.125	120	495	1091.475
5	0.58	2.5	1.45	120	174	383.67
<b>Σ L</b>	6.61			<b>Σ MUROS =WMUROS</b>	1983	4372.515

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Posteriormente se calculó el peso total de la losa más los muros, para los cual se obtuvo el siguiente resultado

$$WTOTAL = CMT + WMUROS \rightarrow 1,586.84 \text{ Kg} + 1,983 \text{ Kg} = 3,569.84 \text{ Kg}$$

- Corte Basal y Momentos de volteo

Finalmente se realizó el cálculo del corte basal de la estructura y el momento de volteo de la siguiente manera:

$$P = Cs * Wtotal \rightarrow 0.128 * 3,569.84 \text{ Kg} = 456.94 \text{ Kg} \approx 1,007.55 \text{ Lb}$$

$$MV = P * H \rightarrow 456.94 \text{ Kg} * 2.50\text{m} = 1,142.35 \text{ Kg} - \text{m}$$

- Cálculo de centro de masa Losa-Muro

Con los datos obtenidos recientemente, se logró obtener los resultados del centro de masa Losa-Muro partiendo de las siguientes expresiones:

$$X_{cmLM} = \frac{X_{cmMuros} * \sum WMuros + X_{cmLosas} * \sum WLosas}{\sum WMuros + \sum WLosas}$$

$$X_{cmLM} = \frac{0.95\text{m} * 1983.00 \text{ Kg} + 1.18\text{m} * 1,586.84 \text{ Kg}}{1983.00 \text{ Kg} + 1,586.84 \text{ Kg}} = 1.07\text{m}$$

$$Y_{cmLM} = \frac{Y_{cmMuros} * \sum WMuros + Y_{cmLosas} * \sum WLosas}{\sum WMuros + \sum WLosas}$$

$$Y_{cmLM} = \frac{0.64m * 1983.00 Kg + 0.93m * 1,586.84 Kg}{1983.00 Kg + 1,586.84 Kg} = 0.77m$$

- Cálculo de excentricidades

Seguido de encontrar los centros de masas unificados entre la losa y los muros, se determinaron las excentricidades tomando en cuenta el criterio de que en cada sentido se van a calcular dos excentricidades y se va a utilizar la que tenga el valor mayor en valor absoluto.

Se realizó el cálculo de las excentricidades del sismo en el sentido X, se realizó el cálculo de las excentricidades en Y debido a que estas son las que hacen momento al sentido X:

$$e'y = Y_{cmLM} - Y_{cc} \rightarrow 0.77m - 0.15m = 0.62m$$

$$e'y_{min} = 5 \% * LP \rightarrow 5 \% * 1.85m \rightarrow 0.09m$$

Por lo tanto, el valor de la excentricidad por fue de 0.62m

Se realizó el cálculo de las excentricidades del sismo en el sentido Y, se realizó el cálculo de las excentricidades en X debido a que estas son las que hacen momento al sentido Y:

$$e'x = X_{cmLM} - X_{cc} \rightarrow 1.07m - 1.00m = 0.07m$$

$$e'x_{min} = 5 \% * LP \rightarrow 5 \% * 2.35m \rightarrow 0.12m$$

Por lo tanto, el valor de la excentricidad por fue de 0.12 m

Después se calcularon los momentos que generan las excentricidades y el momento de volteo, por las siguientes expresiones:

$$Tpx = P * e'y \rightarrow 456.94 \text{ Kg} * 0.62\text{m} = 283.30 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$Tpy = P * e'x \rightarrow 456.94\text{Kg} * 0.12\text{m} = 54.83 \text{ Kg} - \text{m}$$

- Distribución de carga lateral

Con los datos obtenidos anteriormente, se procedió realizar la distribución de carga lateral para los muros en cada dirección, utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Fd_y = \frac{Ry * Py}{\sum Ry} \quad Fd_x = \frac{Rx * Px}{\sum Rx}$$

Donde:

- $Ry$  o  $Rx$ : Rigidez del muro
- $Py$  o  $Px$ : Momento producido por las excentricidades

$$Ft_y = \frac{Ry * Xcc}{Jp} * Tpy \quad Ft_x = \frac{Rx * Ycc}{Jp} * Tpx$$

Donde:

- $Ry$  o  $Rx$ : Rigidez del muro
- $Xcc$  o  $Ycc$ : Distancia entre el centro de corte y el centro del muro [m]
- $Tpx$  o  $Tpy$ : Momento producido por excentricidades [Kg-m]
- $Jp$ : Sumatoria del producto entre las rigideces con el cuadrado de  $Ycc$  o  $Xcc$  dependiendo del sentido ortogonal

Tabla XI. **Distribución de cargas laterales para muros en sentido vertical**

MURO	Ry	Xcc	Ry*(Xcc)^2	Fd(KG)	Ft (KG)	Fi (KG)
2	0.019	-1	0.0187	228.47	-22.85	205.62
4	0.019	1	0.0187	228.47	22.85	251.32

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla XII. **Distribución de cargas laterales para muros en sentido horizontal**

MURO	Rx	Ycc	Rx*(Ycc)^2	Fd(KG)	Ft (KG)	Fi (KG)
1	0.002	1.35	0.0029	22.42	14.10	36.52
3	0.030	-0.15	0.0007	412.10	-28.80	383.30
5	0.002	1.35	0.0029	22.42	14.10	36.52

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Distribución de momentos de volteo

Los momentos de volteo fueron calculados a partir de la siguiente expresión:

$$Mv = \frac{R}{\sum R} * Mvt$$

Donde:

- $Mv$ : Momento de volteo [Kg-m]
- $R$ : Rigidez del muro
- $Mvt$ : Momento de volteo total [Kg-m]

Tabla XIII. **Distribución del momento de volteo para muros en sentido vertical**

<b>MURO</b>	<b>R</b>	<b>Mv(KG-M)</b>
<b>2</b>	0.019	571.17
<b>4</b>	0.019	571.17
<b>Σ R</b>	0.0374	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Tabla XIV. **Distribución del momento de volteo para muros en sentido horizontal**

<b>MURO</b>	<b>R</b>	<b>Mv(KG-M)</b>
<b>1</b>	0.002	56.0542
<b>3</b>	0.030	1030.2397
<b>5</b>	0.002	56.0542
<b>Σ R</b>	0.0329	

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Cuadro resumen de cargas y momentos por muro

Tabla XV. **Tabla resumen de cargas y momentos por muro**

<b>MURO</b>	<b>CORTANTE (KG)</b>	<b>MOMENTO (KG-M)</b>
<b>1</b>	36.52	56.05
<b>2</b>	205.62	571.17
<b>3</b>	383.30	1030.24



Continuación tabla XV.

<b>4</b>	<b>251.32</b>	<b>571.17</b>
<b>5</b>	36.52	56.05

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Para diseñar los refuerzos que confinaran la mampostería se diseñó únicamente el muro más crítico por lo que el muro que se diseñara será el siguiente:

Tabla XVI. **Muro critico por diseñar**

<b>MURO</b>	<b>CORTANTE (KG)</b>	<b>MOMENTO (KG-M)</b>
<b>3</b>	383.30	1,030.24

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

- Diseño de refuerzo vertical (mochetas)

Tabla XVII. **Datos del muro critico**

<b>VARIABLE</b>	<b>VALOR</b>	<b>Equivale</b>	<b>Equivale</b>
<b>Longitud de muro (l)</b>	2.35 m	7.71 Pies	92.52 Pulg
<b>Ancho de muro (t)</b>	0.15 m	0.49 Pies	5.91 Pulg
<b>Ancho sólido efectivo rmeh</b>	6 Pulg	0.50 Pies	0.15 m
<b>Altura de muro (h)</b>	2.5 m	8.20 Pies	98.43 Pulg
<b>Peralte (d')</b>	6 Pulg	0.50 Pies	0.15 m

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Word.

Para el cálculo del refuerzo vertical (mochetas), fueron realizados los siguientes cálculos para determinar el área de acero requerida por medio de las siguientes expresiones:

$$F_s = 50 \% * F_y \rightarrow 2800 \frac{Kg}{cm^2} * 0.50 = 1,400.00 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$E_m = 900 * F'_m \rightarrow 900 * 50 \frac{Kg}{cm^2} = 45,000.00 \frac{Kg}{cm^2} \approx 640,050.45 PSI$$

$$E_s = 29 \times 10^6 PSI$$

$$n = \frac{E_s}{E_m} \rightarrow \frac{29 \times 10^6 PSI}{640,050.45 PSI} = 45.31$$

Con el valor de n despejado, se procede a calcular las fuerzas actuantes en el muro por medio de las siguientes expresiones:

$$f_a = \frac{P_{muro}}{L_{muro} * t_{muro}} \rightarrow \frac{0.85 KIP}{92.52 Pulg * 5.91 Pulg} = 0.0016 KSI$$

$$r = \frac{t_{muro}}{\sqrt{12}} \rightarrow \frac{5.91 Pulg}{\sqrt{12}} = 1.71 Pulg$$

$$\frac{h_{muro}}{r} \rightarrow \frac{98.43 Pulg}{1.71 Pulg} = 57.73$$

Debido a que el cociente entre la altura del muro y el radio de giro de este dio como resultado un valor menor a 99, el valor de Fa se calcula con la siguiente expresión:

$$F_a = 0.25f'm * \left[ 1 - \left( \frac{h}{140r} \right)^2 \right] \rightarrow 0.25 * (711.23 \text{ PSI}) * \left[ 1 - \left( \frac{98.43 \text{ Pulg}}{140 * 1.71 \text{ Pulg}} \right)^2 \right]$$

$$F_a = 147.58 \text{ PSI}$$

Seguido de encontrar el valor de la fuerza  $F_a$ , se procede a realizar el chequeo de  $F_b$ , el cual se realizó tomando en cuenta los siguientes parámetros:

$$F_b = \frac{f'm}{3} \rightarrow \frac{711.29 \text{ PSI}}{3} = 237.10 \text{ PSI}$$

$$f_b = F_b * \left[ 1.33 * \frac{f_a}{F_a} \right] \rightarrow 237.10 \text{ PSI} * \left[ 1.33 - \frac{1.56 \text{ PSI}}{147.58 \text{ PSI}} \right] = 312.84 \text{ PSI}$$

Debido a que el valor de  $f_a$  es menor al  $f_b$  los parámetros del método simplificado indico que no era necesario hacer un rediseño porque las presiones cumplen con los parámetros establecidos y se obtuvo el valor total de las presiones:

$$f_m = f_a + f_b \rightarrow 1.56 \text{ PSI} + 312.84 \text{ PSI} = 314.39 \text{ PSI}$$

Con el valor obtenido de la suma de las presiones, se puede obtener el valor de  $C$ , el cual ayudo a determinar si era requerido utilizar acero de refuerzo aplicando la siguiente ecuación:

$$C = 0.50 * kd * t * f_m \rightarrow 0.5 * 3.551 \text{ Pulg} * 5.91 \text{ Pulg} * 314.39 \text{ PSI} \approx 3.30 \text{ KIP}$$

$$T = C - P \rightarrow 3.30 \text{ KIP} - 0.85 \text{ KIP} = 2.45 \text{ KIP}$$

Debido a que el valor de T es mayor a cero, el método simplificado indica que es requerido colocar acero de refuerzo en las mochetas.

Por medio de la siguiente ecuación se puede determinar el esfuerzo que debe de soportar el área de acero:

$$f_s = \left[ \frac{1 - \frac{kd}{h_{muro}}}{\frac{kd}{h_{muro}}} \right] * n * f_m \rightarrow \left[ \frac{1 - \frac{3.551 \text{ Pulg}}{98.43 \text{ Pulg}}}{\frac{3.551 \text{ Pulg}}{98.43 \text{ Pulg}}} \right] * 45.31 * 314.39 \text{ PSI}$$

$$f_s = 380.28 \text{ KSI}$$

Con el esfuerzo que el área de acero debe de soportar previamente calculado, se procedió a determinar el área de acero requerida por medio de la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{T}{f_s} \rightarrow \frac{2.45 \text{ Kip}}{380.28 \text{ KSI}} = 0.0065 \text{ Pulg}^2$$

$$A_{sNo.3} = 0.1104 \text{ Pulg}^2$$

Debido a que el área de acero requerida es menor al área de acero de una varilla No.3, se propuso utilizar un armado de 4 No.3 para el armado longitudinal con estribos No.2 a cada 0.20m

- Diseño de refuerzo horizontal (soleras)

Una vez con el refuerzo vertical calculado, se procedió a calcular el refuerzo horizontal, por lo cual primero se calculó el cortante máximo del muro (Vd) con la siguiente ecuación:

$$Vd = 1.50 * V \rightarrow 845.17 \text{ Lb} * 1.50 = 1,267.75 \text{ Lb}$$

Posteriormente el método simplificado indica que se debe de calcular el valor del peralte efectivo del muro junto al valor de una variable "J"

$$d = L - d' \rightarrow 92.51 \text{ Pulg} - 6.00 \text{ Pulg} = 86.56 \text{ Pulg}$$

$$J = 1 - \left( \frac{kd}{\frac{h_{\text{muro}}}{3}} \right) \rightarrow 1 - \left( \frac{3.551 \text{ Pulg}}{\frac{98.43 \text{ Pulg}}{3}} \right) = 0.99$$

Posteriormente se calcula el valor del esfuerzo cortante actuante en el muro (Fv) por medio de la siguiente expresión:

$$Fv = 1.33(0.40 * \sqrt{f'm}) \rightarrow 1.33 * \left( 0.40 * \sqrt{50 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} \right) = 3.76 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \approx 53.49 \text{ PSI}$$

$$3.76 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} < 6.65 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \therefore \text{Cumple}$$

Debido a que el valor de Fv es menor al 6.65 Kg/cm<sup>2</sup> que dice la norma del método simplificado, se concluyó que las soleras se deben de armar con el acero mínimo de refuerzo.

Se propondrá colocar solera hidrofuga, solera intermedia y solera de corona por lo que las mochetas quedaron distanciadas por H/2:

El acero requerido para la solera se puede calcular por la siguiente expresión:

$$As = 0.0007 * \left(\frac{H}{2}\right) * Ancho \rightarrow 0.0007 * \left(\frac{4.10 Ft}{2} * \frac{12 Pulg}{1 Ft}\right) * 5.91 Pulg$$

$$As = 0.20 Pulg^2$$

Debido a que la solera se planteó colocarse con un block tipo U con dos varillas corridas No.3 se concluyó lo siguiente:

$$As2No3 = 0.22 Pulg^2$$

$$As = 0.20 Pulg^2$$

Debido a que el área requerida es menor aproximadamente al área propuesta, se concluyó que el armado de 2 No.3 con eslabones No.2 a cada 25 cumple con lo solicitado por el muro.

- Losas
  - Direcciones de refuerzo

Por medio de la siguiente expresión se puede obtener en cuantos sentidos se debe de reforzar una losa en función a su geometría:

$$m = \frac{a}{b} = \frac{Lado Corto}{Lado Largo}$$

Según los parámetros, si el valor de m es mayor o igual a 0.50, la losa se debe de reforzar en ambos sentidos y si el valor es menor a 0.50, la losa debe de ser reforzada en un sentido solamente.

Por lo tanto, se realizó el chequeo para una losa superior (porque todas son iguales) y para la losa inferior:

$$m_{LSuperior} = \frac{1.85m}{2.35m} \rightarrow 0.79 \geq 0.50 \therefore \text{Refuerzo en dos direcciones}$$

$$m_{LIinferior} = \frac{1.65m}{2.15m} \rightarrow 0.77 \geq 0.50 \therefore \text{Refuerzo en dos direcciones}$$

- Dimensionamiento

Para las losas que requieren refuerzo en ambos sentidos, Harry Parker (2008) en su Libro llamado *Diseño simplificado de concreto reforzado* planteo la siguiente forma para determinar el espesor de una losa:

$$t_i = \frac{\text{Perimetro de losa}}{180}$$

Por lo tanto, se realizó predimensionamiento para una losa superior (porque todas son iguales) y para la losa inferior:

$$t_{Superior} = \frac{1.85m + 2.35m + 1.85m + 2.35m}{180} = 0.05m \approx 0.10m$$

$$t_{inferior} = \frac{1.65m + 2.15m + 1.65m + 2.15m}{180} = 0.04m \approx 0.10m$$

Las losas fueron colocadas con 0.10m de refuerzo debido a que de esta forma se garantiza que el refuerzo este bien instalado y cumpla con su trabajo.

- Diseño de losa inferior

La caseta de bombeo cuenta con una losa superior que sirve como techo y una losa inferior que sirve como suelo.

- Integración de cargas

La integración de cargas es la base para poder diseñar una losa ya que con estas cargas se puede obtener el peralte y armado que soporten los requerimientos a los que la losa es sometida.

- ✓ Carga viva

Según la tabla 3.7.1-1 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018 se encontró el valor por utilizar de la carga viva, debido a que se contempla que esta losa sea únicamente para calcular los equipos necesarios para el control del bombeo, se prevé que esta losa también podrá ser utilizada como bodega de repuestos de la bomba por lo que, según la tabla previamente nombrada, una bodega minorista cuenta con la siguiente carga viva:

$$CV = 600 \frac{Kg}{m^2}$$

- ✓ Carga muerta

Se inició calculando el peso propio de la losa misma a la cual se le agrego una sobre carga como medida de seguridad.

$$CM = \left( (0.10m) * \left( 2,400.00 \frac{Kg}{m^3} \right) \right) + \left( 90 \frac{Kg}{m^2} \right)$$



$$CM = 330.00 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Carga última

Para la combinación de carga, se utilizó la combinación CR2 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018.

$$CR2 = 1.2CM + 1.6CV$$

$$CR2 = 1.2 \left( 330.00 \frac{Kg}{m^2} \right) + 1.6 \left( 600.00 \frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$W = CR2 = 396.00 \frac{Kg}{m^2} + 960.00 \frac{Kg}{m^2}$$

$$W = 1,356 \frac{Kg}{m^2}$$

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 1 debido a que la losa no es continua en ninguno de sus lados, se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,neg} = 0.000$$

$$C_{b,neg} = 0.000$$

Posteriormente para determinar los momentos positivos se debe de realizar las sumas entre el momento positivo ocasionado por la carga viva mayorada y por la carga muerta mayorada por serado en ecuaciones individuales.

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 1 ya que no es continua en ninguna de sus lados y se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,pos,CV} = 0.056$$

$$C_{b,pos,CV} = 0.023$$

$$C_{a,pos,CM} = 0.056$$

$$C_{b,pos,CM} = 0.023$$

Posteriormente se realizó el ejemplo de los cálculos para los cuales fueron utilizadas las constantes y ecuaciones recién nombrados:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} * W * l_a^2$$

$$M_{a,neg} = 0.000 * \left(1,356.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (1.65.00m)^2$$

$$M_{a,neg} = 0.000 Kg - m$$

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} * W * l_b^2$$

$$M_{b,neg} = 0.000 * \left(1,356.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (2.15m)^2$$

$$M_{b,neg} = 0.00 Kg - m$$

$$M_{a,pos} = C_{a,pos,CM} * W_{CM} * l_a^2 + C_{a,pos,CV} * W_{CV} * l_a^2$$

$$M_{a, pos} = 0.056 * \left( 396.00 \frac{Kg}{m^2} \right) * (1.65m)^2 + 0.056 * \left( 960.00 \frac{Kg}{m^2} \right) * (1.65m)^2$$

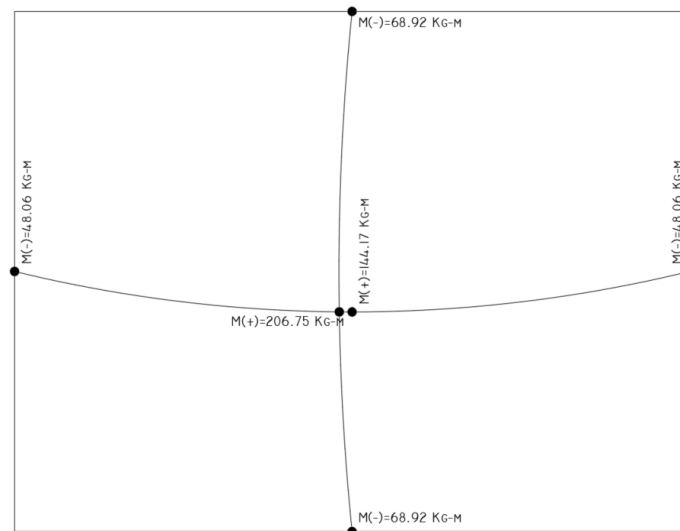
$$M_{a, pos} = 206.75 Kg - m$$

$$M_{b, pos} = C_{b, pos, CM} * W_{CM} * l_b^2 + C_{b, pos, CV} * W_{CV} * l_b^2$$

$$M_{b, pos} = 0.023 * \left( 396.00 \frac{Kg}{m^2} \right) * (2.15m)^2 + 0.023 * \left( 960.00 \frac{Kg}{m^2} \right) * (2.15m)^2$$

$$M_{b, pos} = 144.17 Kg - m$$

Figura 4. **Momentos actuantes en losa inferior de caseta de control**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

✓ Armado de losas

Para determinar el acero que refuerza la losa se calculó inicialmente el acero mínimo de refuerzo:

$$A_{s_{\text{mínimo}}} = 0.4 * \left( \frac{14.1}{F_y} \right) * b * d \rightarrow 0.4 * \left( \frac{14.1}{2810 \frac{Kg}{cm^2}} \right) * (100cm) * 5.00cm$$

$$A_{s_{\text{mínimo}}} = 1.00 \text{ cm}^2$$

Posteriormente proponiendo una varilla No.2 para el armado se calculó el espaciamiento máximo por medio de una regla de 3:

$$S = \frac{0.32 \text{ cm}^2 * 100cm}{1.00cm^2} \rightarrow 32.00cm$$

Debido a que el espaciamiento es superior a tres veces el espesor de la losa, se propuso un nuevo espaciamiento crítico equivalente a tres veces el espesor de la losa utilizando varilla de 3/8" en ambas direcciones:

$$A_s = \frac{0.32 \text{ cm}^2 * 100cm}{30.00 \text{ cm}} \rightarrow 2.38 \text{ cm}^2$$

Con la nueva área de acero se procedió a calcular el momento resistente del armado, el cual debe de ser mayor al momento máximo actuante producido por las cargas aplicadas sobre la losa:

$$M_r = 0.90 \left( A_s * F_y \left( d - \frac{A_s * F_y}{1.70 * f'_c * b} \right) \right)$$

$$M_r = 0.90 \left( 2.38 \text{cm}^2 * 2,810.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \left( 5 \text{cm} - \frac{2.38 \text{cm}^2 * 2810.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{1.70 * 281 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 100 \text{cm}} \right) \right)$$

$$M_r = 29,195 \text{ Kg} - \text{cm} \approx 291.95 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_r = 291.95 \text{ Kg} - \text{m} > M_{Max} = 206.75 \text{ Kg} - \text{m} \rightarrow \text{Cumple}$$

Debido a que el momento resistente es mayor al momento actuante, se concluyó que el armado propuesto es satisfactorio para las condiciones bajo las que esta se verá sometida.

- Diseño de losa superior

La caseta de bombeo cuenta con una losa superior que sirve como techo y una losa inferior que sirve como suelo.

- Integración de cargas

La integración de cargas es la base para poder diseñar una losa ya que con estas cargas se puede obtener el peralte y armado que soporten los requerimientos a los que losa es sometida.

- ✓ Carga viva

Según la tabla 3.7.1-1 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018 se encontró el valor por utilizar de la carga viva, debido a que se contempla que esta losa funcione como una cubierta que únicamente va a soportar su propio peso y las

respectivas instalaciones, se optó por colocar el valor de la carga viva de una cubierta pesada o azotea de concreto la cual cuenta con la siguiente carga viva:

$$CV = 200 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Carga muerta

Se inició calculando el peso propio de la losa misma a la cual se le agrego una sobre carga como medida de seguridad.

$$CM = \left( (0.10m) * \left( 2,400.00 \frac{Kg}{m^3} \right) \right) + \left( 90 \frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$CM = 330.00 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Carga última

Para la combinación de carga, se utilizó la combinación CR2 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018.

$$CR2 = 1.2CM + 1.6CV$$

$$CR2 = 1.2 \left( 330.00 \frac{Kg}{m^2} \right) + 1.6 \left( 200.00 \frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$W = CR2 = 396.00 \frac{Kg}{m^2} + 320.00 \frac{Kg}{m^2}$$

$$W = 716 \frac{Kg}{m^2}$$

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 1 debido a que la losa no es continua en ninguno de sus lados, se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,neg} = 0.000$$

$$C_{b,neg} = 0.000$$

Posteriormente para determinar los momentos positivos se debe de realizar las sumas entre el momento positivo ocasionado por la carga viva mayorada y por la carga muerta mayorada por serado en ecuaciones individuales.

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 1 ya que no es continua en ninguna de sus lados y se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,pos,CV} = 0.056$$

$$C_{b,pos,CV} = 0.023$$

$$C_{a,pos,CM} = 0.056$$

$$C_{b,pos,CM} = 0.023$$

Posteriormente se realizó el ejemplo de los cálculos para los cuales fueron utilizadas las constantes y ecuaciones recién nombrados:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} * W * l_a^2$$

$$M_{a,neg} = 0.000 * \left(716.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (1.85m)^2$$

$$M_{a,neg} = 0.000 Kg - m$$

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} * W * l_b^2$$

$$M_{b,neg} = 0.000 * \left(716.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (2.35m)^2$$

$$M_{b,neg} = 0.00 Kg - m$$

$$M_{a,pos} = C_{a,pos,CM} * W_{CM} * l_a^2 + C_{a,pos,CV} * W_{CV} * l_a^2$$

$$M_{a,pos} = 0.056 * \left(396.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (1.85m)^2 + 0.056 * \left(320.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (1.85m)^2$$

$$M_{a,pos} = 137.23 Kg - m$$

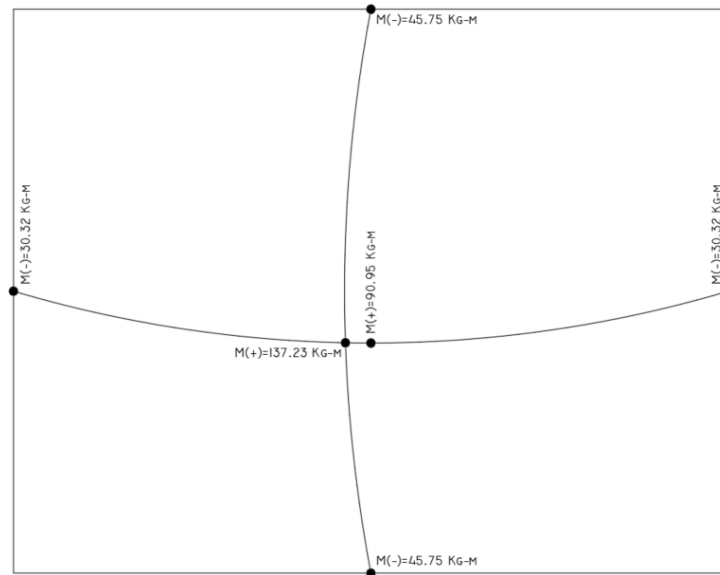
$$M_{b,pos} = C_{b,pos,CM} * W_{CM} * l_b^2 + C_{b,pos,CV} * W_{CV} * l_b^2$$

$$M_{b,pos} = 0.023 * \left(396.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (2.35m)^2 + 0.023 * \left(320.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (2.35m)^2$$

$$M_{b,pos} = 90.95 Kg - m$$



Figura 5. **Momentos actuantes en losa superior de caseta de control**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

- Armado de losas

Para determinar el acero que refuerza la losa se calculó inicialmente el acero mínimo de refuerzo:

$$A_{s_{\text{mínimo}}} = 0.4 * \left( \frac{14.1}{F_y} \right) * b * d \rightarrow 0.4 * \left( \frac{14.1}{2810.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} \right) * (100\text{cm}) * 5.00\text{cm}$$

$$A_{s_{\text{mínimo}}} = 1.00 \text{ cm}^2$$

Posteriormente proponiendo una varilla No.2 para el armado se calculó el espaciamiento máximo por medio de una regla de 3:

$$S = \frac{0.71 \text{ cm}^2 * 100\text{cm}}{1.00\text{cm}^2} \rightarrow 71.00\text{cm}$$

Debido a que el espaciamiento es superior a tres veces el espesor de la losa, se propuso un nuevo espaciamiento critico equivalente a 3 veces el espesor de la losa con varilla de 3/8" en ambas direcciones:

$$A_s = \frac{0.71\text{cm}^2 * 100\text{cm}}{30.00\text{cm}} \rightarrow 2.38 \text{ cm}^2$$

Con la nueva área de acero se procedió a calcular el momento resistente del armado, el cual debe de ser mayor al momento máximo actuante producido por las cargas aplicadas sobre la losa:

$$M_r = 0.90 \left( A_s * F_y \left( d - \frac{A_s * F_y}{1.70 * f'_c * b} \right) \right)$$

$$M_r = 0.90 \left( 2.38\text{cm}^2 * 2810 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \left( 5\text{cm} - \frac{2.38\text{cm}^2 * 2810 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{1.70 * 281 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 100\text{cm}} \right) \right)$$

$$M_r = 29,195 \text{ Kg} - \text{cm} \approx 291.95 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_r = 291.95 \text{ Kg} - \text{m} > M_{Max} = 137.23 \text{ Kg} - \text{m} \rightarrow \text{Cumple}$$

Debido a que el momento resistente es mayor al momento actuante, se concluyó que el armado propuesto es satisfactorio para las condiciones bajo las que esta se verá sometida.

### 2.1.7.5. Tanque de almacenamiento

Para este proyecto se cuentan con dos tanques de almacenamiento para poder abastecer en la red de distribución de agua potable, para efectos del cálculo se realizará el ejemplo llamado El Chorrón.

#### 2.1.7.5.1. Forma y tipo del tanque

El tanque de almacenamiento El Chorrón tendrá forma rectangular y será un tanque semienterrado.

#### 2.1.7.5.2. Volumen del tanque

El volumen del que debe de ser capaz un tanque es un volumen compensador, este volumen es aquel que debe de ingresar al sistema al momento de las horas de consumo pico.

$$Q_{DMed} = 5.55 \frac{Lt}{S} * \frac{1m^3}{1000 Lt} * \frac{86,400 S}{1 Dia} = 479.41 \frac{m^3}{Dia}$$

Según indican las guías de diseño del INFOM, al no contar con un estudio de demanda de caudales, el diseñador debe de asumir un valor entre 25 % a 40 % del caudal medio diario para sistemas por gravedad y de 40 % a 65 % para sistemas por bombeo. En este caso, asumiremos 40 % del caudal medio diario para el El Chorrón, el que se abastece de una forma por bombeo y 25 % para el tanque Mingo Bran que se abastece por gravedad.

$$v_{MedDia} = Q_{DMed} * 40 \%$$

$$v_{MedDia} = 479.41 \frac{m^3}{Dia} * 40 \%$$

$$v_{MedDia} = 191.76 \frac{m^3}{Dia}$$

### 2.1.7.5.3. Diseño del tanque

Debido al volumen del tanque no es posible utilizar dimensiones típicas, por lo que es necesario calcular los elementos estructurales que puedan satisfacer las demandas requeridas.

- Dimensionamiento del tanque

Al proponer un tanque con distribución rectangular, debemos de determinar las dimensiones de la longitud, altura y ancho que garanticen las condiciones solicitadas.

- Relación Largo: ancho (L: A)

Según las guías de diseño de INFOM & UNEPAR, los tanques rectangulares deben de guardar una relación entre 1.50:1 hasta 2:1, por lo cual para este proyecto los tanques fueron diseñados con una relación de 2:1

- Cálculo del ancho (A)

Para el caso del tanque El Chorrón se propuso una altura de diseño de 3.00 m.

$$Vol = L * A * H$$

Sabiendo que entre el largo y el ancho existe una relación de 2:1 por lo tanto, se obtuvo la siguiente expresión:

$$L = 2A$$

La expresión del largo en función al ancho es sustituida en la ecuación del volumen y podemos despejar el valor del ancho teórico del tanque:

$$Vol = L * A * H$$

$$191.76 \frac{m^3}{Dia} = (2A) * A * (3.00m)$$

$$A = \sqrt{\frac{191.76 \frac{m^3}{Dia}}{2 * 3.00m}}$$

$$A = 5.65m \approx 6.00m$$

- Cálculo de la longitud (L)

Luego de determinar el valor del ancho, se recurrió a la relación que existía entre el largo y el ancho para poder determinar el largo:

$$L = 2A$$

$$L = 2(6.00m)$$

$$L = 12.00m$$

Para el diseño del tanque se le agregaron 0.30m por debajo de la tubería de salida con la finalidad que estos almacenen los sedimentos para dirigirlos a la llave de piso y

limpieza para que solamente salga agua limpia como también se agregaron 0.30 m en la parte superior de esta manera se puede inspeccionar el interior del tanque.

- Diseño de vigas

Las vigas son elementos estructurales horizontales que buscan transportar las cargas aplicadas sobre las losas hacia las columnas.

- Predimensionamiento

El predimensionamiento de elementos estructurales sirve como punto de partida para proponer dimensiones de los elementos, las cuales se comprueban próximamente.

- Altura de viga

Según la tabla 9.3.1.1 del ACI318-14 se puede calcular la altura de la viga, se puede asumir que la viga será simplemente apoyada por lo cual se puede decir que la altura se puede calcular con la siguiente expresión:

$$H = \frac{l}{16} = \frac{6.00m}{16} = 0.375m \approx 0.35m$$

- Base de viga

Según el inciso 9.4.3.2 del código ACI318-14 la base crítica para una viga se puede expresar en con la siguiente expresión:

$$B = \frac{H}{2} = \frac{0.35m}{2} = 0.175m \approx 0.20m$$

- Propiedades de los materiales por utilizar
  - $F'c$ : 281 Kg/cm<sup>2</sup>
  - $Fy$ : 4200 Kg/cm<sup>2</sup> – Grado 60
- Integración de cargas

La integración de cargas en vigas son un parámetro sumamente importante ya que son las que soportan cargas verticales y de muros.

- Carga viva

Según la tabla 3.7.1-1 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018 se encontró el valor por utilizar de la carga viva, debido a que el tanque se diseña para que tenga acceso por la losa superior que es sostenida por las vigas, se seleccionó como una azotea de corte de concreto con acceso por lo cuanto el valor de la carga viva es de:

$$CV = \left( 2 * \left( \frac{1}{2} * (6.00m + 3.00m) * 1.50m \right) \right) * 200 \frac{Kg}{m^2}$$

$$CV = 2,700.00 Kg$$

- Carga Muerta

La carga muerta es aquella que, si se puede calcular con exactitud que la componen los pesos propios de la estructura, acabados entre otros.

- ✓ Peso propio

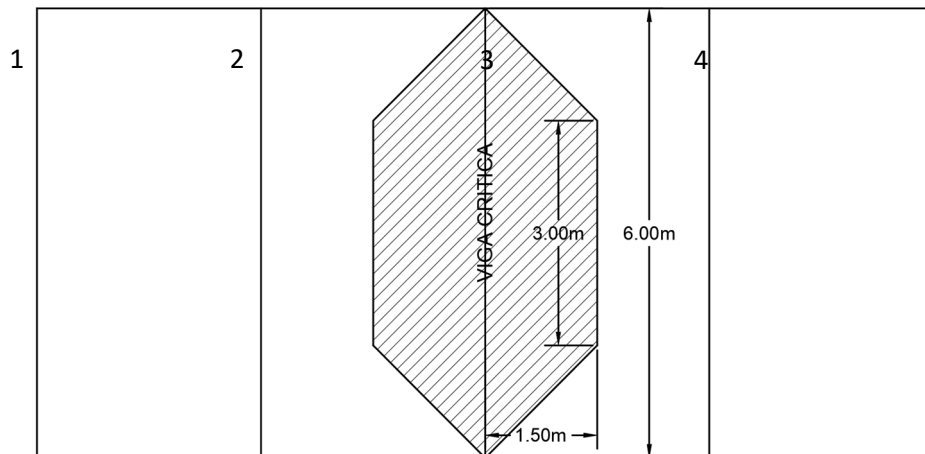
$$P.P. = B * H * L * \gamma_{\text{Concreto}}$$

$$P.P. = (0.20m) * (0.35m) * (6.00m) * \left(2,400.00 \frac{Kg}{m^3}\right)$$

$$P.P. = 1,008.00 Kg$$

✓ Losa

Figura 6. Área tributaria de la viga crítica



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

$$Losa = A_{\text{Tributaria}} * t_{\text{Losa}} * \gamma_{\text{Concreto}}$$

$$Losa = \left(2 * \left(\frac{1}{2} * (6.00m + 3.00m) * 1.50m\right)\right) * 0.10m * 2,400.00 \frac{Kg}{m^3}$$

$$Losa = 3,240.00 Kg$$



- ✓ Carga muerta total

$$CM = P.P. + Losa$$

$$CM = 1,008.00 \text{ Kg} + 3,240.00 \text{ Kg} = 4,248.00 \text{ Kg}$$

- Carga última

Para la combinación de carga, se utilizó la combinación CR2 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018.

$$CR2 = 1.2CM + 1.6CV$$

$$CU = CR2 = 1.2(4,248.00 \text{ Kg}) + 1.6(2,700.00 \text{ Kg})$$

$$CU = 5,097.60 \text{ Kg} + 4,320.00 \text{ Kg}$$

$$CU = 9,417.60 \text{ Kg}$$

- Carga distribuida

$$W = \frac{CU}{L} \rightarrow \frac{9,417.60 \text{ Kg}}{6.00 \text{ m}} = 1,569.60 \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

- Momentos últimos en vigas

Los momentos últimos son aquellos que se obtienen mediante la combinación de las cargas.

✓ Momentos positivos

Según las condiciones del proyecto y aplicando el método de momentos por coeficientes del ACI, se concluyó que las vigas se ajustan al rango de El extremo discontinuo no está restringido, dicha categoría dice que el momento positivo se expresa por la siguiente ecuación:

$$M(+)=\frac{W * L^2}{11} \rightarrow \frac{(1,569.60 \text{ Kg}) * (6.00\text{m})^2}{11} = 5,136.87 \text{ Kg} - m$$

✓ Momentos negativos

Según las condiciones del proyecto y aplicando el método de momentos por coeficientes del ACI, se concluyó que las vigas se ajustan al rango de Miembros construidos monolíticamente con viga dintel de apoyo, dicha categoría dice que el momento negativo se expresa por la siguiente ecuación:

$$M(-)=\frac{W * L^2}{24} \rightarrow \frac{(1,569.60 \text{ Kg}) * (6.00\text{m})^2}{24} = 2,354.40 \text{ Kg} - m$$

○ Armado a Flexión

El armado a flexión que se encuentra de forma longitudinal en las vigas, este armado soporta los momentos a flexión en la viga.

▪ Datos generales

- ✓ Base (B): 20.00cm
- ✓ Altura (H): 35.00cm
- ✓ F'c: 281.00 Kg/cm<sup>2</sup> – 4000 PSI

- ✓  $F_y$ : 4,200.00 Kg/cm<sup>2</sup> – Grado 60
- ✓ Hierro Longitudinal: 5/8
- ✓ Hierro Transversal: 2/8
- ✓ Recubrimiento: 1" = 2.54cm
- ✓ Peralte efectivo (d): 31.03cm

- Cama Superior

Para determinar el área de acero se utilizó el método iterativo, para este método se debe de iniciar asumiendo un valor de  $a$  el cual se puede ver en el ejemplo que se plasmó a continuación:

$$a = 0.10 * H$$

$$a = 0.10 * (0.35m)$$

$$a_1 = 0.035m \approx 3.50cm$$

Posteriormente se calculó una primera área de acero, a partir de la siguiente expresión:

$$AS_1 = \frac{M(-)}{F_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \rightarrow \frac{2,354.40 \text{ Kg} - m * \frac{100.00cm}{1.00m}}{4,200.00 \frac{Kg}{cm^2} * \left(31.03cm - \frac{3.50cm}{2}\right)} = 2.13cm^2$$

Posteriormente se debe recalcular un nuevo valor de "a", a partir de la siguiente expresión:

$$a_2 = \frac{AS * F_y}{0.85 * f'c * b} \rightarrow \frac{(2.13cm^2) * \left(4,200.00 \frac{Kg}{cm^2}\right)}{0.85 * 281 \frac{Kg}{cm^2} * 20.00cm} = 1.87cm$$

Posteriormente se calculó una segunda área de acero, a partir del nuevo valor calculado de a, a partir de la siguiente expresión:

$$AS2 = \frac{M(-)}{F_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \rightarrow \frac{2,354.40 \text{ Kg} - m * \frac{100.00 \text{ cm}}{1.00 \text{ m}}}{4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \left(31.03 \text{ cm} - \frac{1.87 \text{ cm}}{2}\right)} = 2.07 \text{ cm}^2$$

Posteriormente se debe recalcular un nuevo valor de “a”, a partir de la siguiente expresión:

$$a3 = \frac{AS * F_y}{0.85 * f'c * b} \rightarrow \frac{(2.07 \text{ cm}^2) * \left(4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}\right)}{0.85 * 281 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 20.00 \text{ cm}} = 1.82 \text{ cm}$$

Posteriormente se calculó una segunda área de acero, a partir del nuevo valor calculado de a, a partir de la siguiente expresión:

$$AS3 = \frac{M(-)}{F_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \rightarrow \frac{2,354.40 \text{ Kg} - m * \frac{100.00 \text{ cm}}{1.00 \text{ m}}}{4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \left(31.03 \text{ cm} - \frac{1.82 \text{ cm}}{2}\right)} = 2.07 \text{ cm}^2$$

Debido a que ya quedo dos veces seguidas la misma área de acero, se detienen las iteraciones y se asume que esa es el área de acero teórica final y se procedió a calcular el número de varillas que equivale el área de acero calculada:

$$\#Varillas = \frac{As}{A_{de\ varilla}} \rightarrow \frac{2.07 \text{ cm}^2}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{5}{8} * 2.54 \text{ cm}\right)^2} = 1.30 \text{ Varillas} \approx 2 \text{ Varillas}$$

Posteriormente fueron calculadas las cuantillas de hierro, las cuales son la cuantillas mínima, balanceada y máxima.

$$\rho_{min} = \frac{14.1}{Fy} = \frac{14.1}{4,200.00 \frac{Kg}{cm^2}} = 0.34 \%$$

$$\rho_{balanceado} = 0.85 * \left( \frac{f'c}{Fy} \right) * \left( \frac{6090}{Fy + 6090} \right)$$

$$\rho_{balanceado} = 0.85 * \left( \frac{281.00 \frac{Kg}{cm^2}}{4,200.00 \frac{Kg}{cm^2}} \right) * \left( \frac{6090}{4,200.00 \frac{Kg}{cm^2} + 6090} \right) = 3.37 \%$$

$$\rho_{Maximo} = 0.50 * \rho_{balanceado} \rightarrow 0.50 * 3.37 \% = 1.68 \%$$

$$\rho_{Viga} = \frac{As}{b * d} = \frac{2 * \frac{\pi}{4} \left( \frac{5}{8} * 2.54cm \right)^2}{(20.00cm) * (31.03cm)} = 0.64 \%$$

$$\rho_{Maximo} < \rho_{Viga} < \rho_{Maximo} \rightarrow 0.34 \% < 0.64 \% < 1.68 \%$$

Debido a que la cuantía actuante de la viga se encuentra dentro del rango máximo y mínimo, se concluyó que el armado en la cama superior es aceptable.

- Cama Inferior

Para determinar el área de acero se utilizó el método iterativo, para este método se debe de iniciar asumiendo un valor de  $a$  el cual se puede ver en el ejemplo que se plasmó a continuación:

$$a = 0.10 * H$$

$$a = 0.10 * (0.35m)$$

$$a1 = 0.035m \approx 3.50cm$$

Posteriormente se calculó una primera área de acero, a partir de la siguiente expresión:

$$AS1 = \frac{M(+)}{Fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \rightarrow \frac{5,136.87 \text{ Kg} - m * \frac{100.00cm}{1.00m}}{4,200.00 \frac{Kg}{cm^2} * \left(31.03cm - \frac{3.50cm}{2}\right)} = 4.64cm^2$$

Posteriormente se debe recalcular un nuevo valor de "a", a partir de la siguiente expresión:

$$a2 = \frac{AS * Fy}{0.85 * f'c * b} \rightarrow \frac{(4.64cm^2) * \left(4,200.00 \frac{Kg}{cm^2}\right)}{0.85 * 281 \frac{Kg}{cm^2} * 20.00cm} = 4.08cm$$

Posteriormente se calculó una segunda área de acero, a partir del nuevo valor calculado de a, a partir de la siguiente expresión:

$$AS2 = \frac{M(+)}{Fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \rightarrow \frac{5,136.87 \text{ Kg} - m * \frac{100.00cm}{1.00m}}{4,200.00 \frac{Kg}{cm^2} * \left(31.03cm - \frac{4.08cm}{2}\right)} = 4.69cm^2$$

Posteriormente se debe recalcular un nuevo valor de a, a partir de la siguiente expresión:

$$a3 = \frac{AS * Fy}{0.85 * f'c * b} \rightarrow \frac{(4.69cm^2) * \left(4,200.00 \frac{Kg}{cm^2}\right)}{0.85 * 281 \frac{Kg}{cm^2} * 20.00cm} = 4.12cm$$

Posteriormente se calculó una segunda área de acero, a partir del nuevo valor calculado de a, a partir de la siguiente expresión:

$$AS3 = \frac{M(+)}{F_y * \left(d - \frac{a}{2}\right)} \rightarrow \frac{5,136.87 \text{ Kg} - m * \frac{100.00 \text{ cm}}{1.00 \text{ m}}}{4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * \left(31.03 \text{ cm} - \frac{4.12 \text{ cm}}{2}\right)} = 4.69 \text{ cm}^2$$

Debido a que ya quedo dos veces seguidas la misma área de acero, se detienen las iteraciones y se asume que esa es el área de acero teórica final y se procedió a calcular el número de varillas que equivale el área de acero calculada:

$$\#Varillas = \frac{As}{A_{de\ varilla}} \rightarrow \frac{4.69 \text{ cm}^2}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{5}{8} * 2.54 \text{ cm}\right)^2} = 2.95 \text{ Varillas} \approx 3 \text{ Varillas}$$

Posteriormente fueron calculadas las cuantillas de hierro, las cuales son la cuantilla mínima, balanceada y máxima.

$$\rho_{min} = \frac{14.1}{F_y} = \frac{14.1}{4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} = 0.34 \%$$

$$\rho_{balanceado} = 0.85 * \left(\frac{f'c}{F_y}\right) * \left(\frac{6090}{F_y + 6090}\right)$$

$$\rho_{balanceado} = 0.85 * \left(\frac{281.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}\right) * \left(\frac{6090}{4,200.00 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} + 6090}\right) = 3.37 \%$$

$$\rho_{Maximo} = 0.50 * \rho_{balanceado} \rightarrow 0.50 * 3.37\% = 1.68 \%$$

$$\rho_{Viga} = \frac{As}{b * d} = \frac{3 * \frac{\pi}{4} \left(\frac{5}{8} * 2.54 \text{ cm}\right)^2}{(20.00 \text{ cm}) * (31.03 \text{ cm})} = 0.96 \%$$

$$\rho_{Maximo} < \rho_{Viga} < \rho_{Maximo} \rightarrow 0.34 \% < 0.96 \% < 1.68 \%$$

Debido a que la cuantía actuante de la viga se encuentra dentro del rango máximo y mínimo, se concluyó que el armado en la cama superior es aceptable.

- Armado a corte

El armado a corte es de suma importancia en una viga ya que este armado va perpendicular al armado longitudinal ya que busca soportar los esfuerzos cortantes en una viga.

- Zona central

Primero se calculó el cortante resistente del concreto a través de la siguiente expresión:

$$VC = 0.33 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$VC = 0.33 * \sqrt{281.00 \frac{Kg}{cm^2}} * 20.00cm * 31.03cm$$

$$VC = 3,433.18 Kg$$

Posteriormente se calcula el cortante unitario del concreto por medio de la siguiente expresión:

$$VUC = 0.75 * 0.53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$VUC = 0.75 * 0.53 * \sqrt{281.00 \frac{Kg}{cm^2}} * 20.00cm * 31.03cm$$



$$VUC = 4,135.42 \text{ Kg}$$

Debido a que el valor del cortante unitario del concreto es mayor al cortante resistente, se debe de colocar una zona de confinamiento a los extremos de la viga, la zona central de la viga se debe de armar con estribos No.2 con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{d}{4} \rightarrow \frac{31.03cm}{4} = 7.75cm$$

Con el espaciamiento calculado, se obtuvo que en la zona central de la viga se arma con Estribos No.2 a cada 7.75 cm

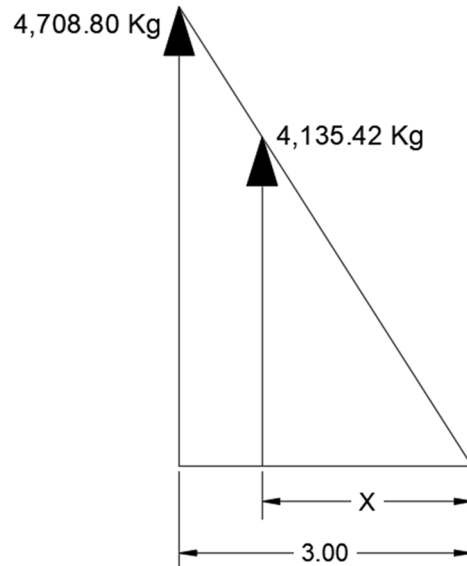
- Armado en zona de confinamiento

Primero se calculó el alcance en la viga de la zona central, para determinar la ubicación del cortante resistente del concreto para determinar la longitud de la zona de confinamiento

El cortante en el apoyo de la viga se puede calcular con la siguiente expresión:

$$V = \frac{W * L}{2} \rightarrow \frac{1,569.60 \frac{Kg}{m} * 6.00m}{2} = 4,708.80 \text{ Kg}$$

Figura 7. **Ubicación del límite de la zona central de la viga**



Fuente: elaboración propia, realizado en AutoCad

Se realizó una regla de tres para determinar el valor de X, como se ve a continuación:

$$\frac{4,708.80 \text{ Kg}}{3.00\text{m}} = \frac{4,135.42}{X} \rightarrow 2.65\text{m}$$

Asumiendo que el primer estribo se debe de colocar a 5.00cm a partir del apoyo, la longitud libre para la zona de confinamiento para cada lado de la viga es de:

$$L_{conf} = 3.00\text{m} - 2.65\text{m} - 0.05\text{m} = 0.30\text{m}$$

Para calcular el número de estribos en la zona de confinamiento o bien el espaciamiento entre ellos, se realizaron los siguientes cálculos y utilizar las siguientes expresiones matemáticas:

$$V_{cm} = \phi 0.53 \sqrt{f'c} \rightarrow 0.75 * 0.53 * \sqrt{281.00 \frac{Kg}{cm^2}} = 6.66 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$V_a = \frac{V_u}{b * d} \rightarrow \frac{4,708.80 Kg}{(20.00cm) * (31.03cm)} = 7.58 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$S = \frac{AVfy}{(V_a - V_{cm}) * b} \rightarrow \frac{0.64cm^2 * 4,200.00 \frac{Kg}{cm^2}}{\left(7.58 \frac{kg}{cm^2} - 6.66 \frac{kg}{cm^2}\right) * 20.00cm} = 144.34cm$$

Debido a que el espaciamiento entre los estribos en la zona de confinamiento, por criterio propio, se ha decidido por colocar 3 Estribos No.2 a cada 10cm para esta zona.

- Diseño de muros

Los muros de los tanques que se proponen serán realizados de concreto armado sobre una losa de cimentación.

- Datos de diseño

- Altura interna del muro: 3.60 m
- Altura del agua: 3.30 m
- Largo interno: 6.00 m
- Largo externo: 12.00 m
- Peso específico del agua: 1,000.00 Kg/m<sup>3</sup>

- Resistencia del concreto  $f'c$ : 210.00 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Resistencia del acero  $F_y$ : 4,200.00 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Recubrimiento: 5.00 cm
  - Espesor del muro: 0.25 m
- Cara interior

El rostro interno de los tanques de almacenamiento es aquel que se encuentra en contacto con el agua.

- Empuje proporcionado por el agua

$$Empuje = \frac{1}{2} * \gamma_{H_2O} * (H_{H_2O})^2 \rightarrow \frac{1}{2} * \left(1,000.00 \frac{Kg}{m^3}\right) * (3.30m)^2 = 5,445.00 \frac{Kg}{m}$$

- Cortante mayorado ocasionado por el agua

$$V = 1.40 * (Empuje) \rightarrow 1.40 * \left(5,445.00 \frac{Kg}{m}\right) = 7,623.00 \frac{Kg}{m}$$

- Cortantes del concreto

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * 100cm * d$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{281.00 \frac{Kg}{cm^2}} * 100cm * 19.21cm = 14,754.11 \frac{Kg}{m}$$

$$V_{cFactorado} = \phi * V_c$$

$$V_{cFactorado} = 0.75 * 14,754.11 \frac{Kg}{m} = 11,065.58 \frac{Kg}{m}$$

Ya que el cortante que soporta el agua es menor al cortante resistente del concreto, se concluyó que el ancho del muro cumple con lo demandado.

- Momento flector proporcionado por el agua

$$M = \frac{\text{Empuje} * H_{H2O}}{3} \rightarrow \frac{5,445.00 \frac{Kg}{m} * 3.30m}{3} = 5989.50 Kg - m/m$$

$$M_{Mayorado} = 1.40 * M = 1.40 * 5,989.50Kg - \frac{m}{m} = 8,385.30 Kg - m/m$$

- Refuerzo a flexión

Utilizando el método iterativo para determinar el área de acero por flexión, la cual fue ejemplificada en el cálculo del acero a flexión de las vigas, se determinó el área de acero requerida de 12.51 cm<sup>2</sup>

$$\#Varillas = \frac{As}{Avarilla} = \frac{12.51 \text{ cm}^2}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{6}{8} * 2.54cm \right)^2} \rightarrow 6.32 \text{ Varilla} \approx 7 \text{ Varillas}$$

$$S = \frac{100cm}{7 \text{ Varillas}} \rightarrow 14.29cm \rightarrow 15.00cm$$

Por lo tanto, se concluyó en que el armado de flexión se debe de hacer con Varillas No. 6 a cada 15 cm.

- Acero por temperatura

$$As_{Temp} = 0.002 * b * h \rightarrow 0.002 * 100cm * 25cm = 5.00cm^2$$

$$\#Varillas = \frac{As}{Avarilla} = \frac{5.00 \text{ cm}^2}{\frac{\pi}{4} \left(\frac{4}{8} * 2.54\text{cm}\right)^2} = 3.95 \text{ Varillas} \approx 4 \text{ Varillas}$$

$$S = \frac{100\text{cm}}{4 \text{ Varillas}} \rightarrow 25.00\text{cm}$$

Por lo tanto, se concluyó en que el armado de flexión se debe de hacer con Varillas No. 4 a cada 25 cm.

- Cara exterior

El rostro externo de los tanques de almacenamiento es aquel que se encuentra en contacto con el suelo.

- Empuje proporcionado por el suelo

Para iniciar los cálculos se calculó el coeficiente activo de Rankine, para el cual se asumió un ángulo de fricción interna del suelo de 29.33° y utilizando la siguiente ecuación matemática:

$$K_a = \frac{1 - \text{Sen}\phi}{1 + \text{Sen}\phi} \rightarrow \frac{1 - \text{Sen}(29.33^\circ)}{1 + \text{Sen}(29.33^\circ)} = 0.34242693$$

Posteriormente se calculó el empuje ocasionado por el suelo, para dicho cálculo, se asumió un valor de 1,800.00 Kg/m<sup>3</sup> para el peso específico del suelo, dicho empuje se ejemplifico a continuación:

$$E_{Suelo} = \frac{1}{2} * \gamma_{Suelo} * (H_{Ext})^2 * K_a$$

$$E_{Suelo} = \frac{1}{2} * \left(1,800.00 \frac{Kg}{m^3}\right) * (3.80m)^2 * 0.34242693 = 4,450.18 \frac{Kg}{m}$$

$$E_{SueloMayorado} = 1.6 * E_{Suelo} \rightarrow 1.60 * 4,450.18 \frac{Kg}{m} = 7,120.29 \frac{Kg}{m}$$

Para revisar si el muro también soporta el empuje del suelo, se calculó el valor del cortante resistente del concreto.

$$V_c = 0.53 * \sqrt{f'c} * 100cm * d$$

$$V_c = 0.53 * \sqrt{281.00 \frac{Kg}{cm^2}} * 100cm * 19.21cm = 14,754.11 \frac{Kg}{m}$$

$$V_{cFactorado} = \phi * V_c$$

$$V_{cFactorado} = 0.75 * 14,754.11 \frac{Kg}{m} = 11,065.58 \frac{Kg}{m}$$

Ya que el cortante que soporta el agua es menor al cortante resistente del concreto, se concluyó que el ancho del muro cumple con lo demandado.

- Momento flector proporcionado por el suelo

$$M_{Suelo} = \frac{E_{Suelo} * H_{Suelo}}{3} \rightarrow \frac{4,450.18 \frac{Kg}{m} * 3.80m}{3} = 5,636.89 \frac{Kg - m}{m}$$

$$M_{SueloMayorado} = 1.60 * M = 1.60 * 5,636.89 \frac{Kg - m}{m} = 9,019.02 \frac{Kg - m}{m}$$

- Acero de refuerzo por flexión

Utilizando el método iterativo para determinar el área de acero por flexión, la cual fue ejemplificada en el cálculo del acero a flexión de las vigas, se determinó el área de acero requerida de  $13.54 \text{ cm}^2$

$$\#Varillas = \frac{As}{Avarilla} = \frac{13.51 \text{ cm}^2}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{6}{8} * 2.54 \text{ cm} \right)^2} \rightarrow 6.84 \text{ Varillas} \approx 7 \text{ Varillas}$$

$$S = \frac{100 \text{ cm}}{7 \text{ Varillas}} \rightarrow 14.29 \text{ cm} \rightarrow 15.00 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se concluyó en que el armado de flexión se debe de hacer con Varillas No. 6 a cada 15 cm.

- Acero por temperatura

$$As_{Temp} = 0.002 * b * h \rightarrow 0.002 * 100 \text{ cm} * 25 \text{ cm} = 5.00 \text{ cm}^2$$

$$\#Varillas = \frac{As}{Avarilla} = \frac{5.00 \text{ cm}^2}{\frac{\pi}{4} \left( \frac{4}{8} * 2.54 \text{ cm} \right)^2} = 3.95 \text{ Varillas} \approx 4 \text{ Varillas}$$

$$S = \frac{100 \text{ cm}}{4 \text{ Varillas}} \rightarrow 25.00 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se concluyó en que el armado de flexión se debe de hacer con Varillas No. 4 a cada 25 cm.

- Diseño de losas



En los tanques de almacenamiento se encuentran tres tipos de losas como lo serían las losas superiores y la losa inferior de cimentación.

- Direcciones de refuerzo

Por medio de la siguiente expresión se puede obtener en cuantos sentidos se debe de reforzar una losa en función a su geometría:

$$m = \frac{a}{b} = \frac{\text{Lado Corto}}{\text{Lado Largo}}$$

Según los parámetros, si el valor de m es mayor o igual a 0.50, la losa se debe de reforzar en ambos sentidos y si el valor es menor a 0.50, la losa debe de ser reforzada en un sentido solamente.

Por lo tanto, se realizó el chequeo para una losa superior (porque todas son iguales) y para la losa inferior:

$$m_{LSuperior} = \frac{3.00m}{6.00m} \rightarrow 0.50 \geq 0.50 \therefore \text{Refuerzo en dos direcciones}$$

$$m_{LInferior} = \frac{6.00m}{12.00m} \rightarrow 0.50 \geq 0.50 \therefore \text{Refuerzo en dos direcciones}$$

- Dimensionamiento

Para las losas que requieren refuerzo en ambos sentidos, Harry Parker (2008) en su Libro llamado *Diseño simplificado de concreto reforzado* planteo la siguiente forma para determinar el espesor de una losa:

$$t_i = \frac{\text{Perimetro de losa}}{180}$$

Por lo tanto, se realizó predimensionamiento para una losa superior (porque todas son iguales) y para la losa inferior:

$$t_{\text{superior}} = \frac{3.00m + 3.00m + 6.00m + 6.00m}{180} = 0.10m$$

$$t_{\text{inferior}} = \frac{6.00m + 6.00m + 12.00m + 12.00m}{180} = 0.20m$$

- Superiores

Las losas superiores son aquellas que se encuentran como cubierta del tanque las cuales son las losas centrales y de extremo.

- Integración de cargas

La integración de cargas en losas son un parámetro sumamente importante ya que son las que soportan cargas verticales.

- ✓ Carga viva

Según la tabla 3.7.1-1 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018 se encontró el valor por utilizar de la carga viva, debido a que el tanque se diseña para que tenga acceso por la losa superior que es sostenida por las vigas, se seleccionó como una azotea de corte de concreto con acceso por lo tanto el valor de la carga viva es de:

$$CV = 200 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Carga muerta

Se inició calculando el peso propio de la losa misma a la cual se le agrego una sobre carga como medida de seguridad.

$$CM = \left( (0.10m) * \left( 2,400.00 \frac{Kg}{m^3} \right) \right) + \left( 90 \frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$CM = 330.00 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Carga última

Para la combinación de carga, se utilizó la combinación CR2 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018.

$$CR2 = 1.2CM + 1.6CV$$

$$CR2 = 1.2 \left( 330.00 \frac{Kg}{m^2} \right) + 1.6 \left( 200.00 \frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$W = CR2 = 396.00 \frac{Kg}{m^2} + 320.00 \frac{Kg}{m^2}$$

$$W = 716 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Método 3 ACI para cálculo de momentos actuantes

Para el cálculo de momentos, se contemplan una serie de ecuaciones, tanto para el momento positivo como para el momento negativo de la losa, este método permite

determinar los momentos actuantes que se producen en las franjas centrales de las losas por analizar debido a las cargas aplicadas.

Basado en la ilustración 4, se puede determinar que, por simetría en las losas superiores, existen dos tipos de losas distintas las cuales son la losa 1 y 4 las cuales se denominaron como Losas laterales y la losa 2 y 3 las cuales se denominaron como Losas centrales.

- Cálculo de momentos para Losa Lateral

Para calcular el refuerzo de la losa primero recurrió a recurrir al valor de  $m$  que indico el sentido de los refuerzos, dicho valor fue calculado con anterioridad:

$$m = \frac{\text{Lado Corto}}{\text{Lado Largo}} = \frac{a}{b} = \frac{3.00m}{6.00m} = 0.50$$

Posteriormente en las tablas de los coeficientes, las cuales se encuentran en el anexo 4, se obtuvieron las siguientes expresiones matemáticas para calcular los momentos negativos:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} * W * l_a^2$$

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} * W * l_b^2$$

Donde:

- ✓  $M_{a,neg}$ : Momento negativo en lado corto
- ✓  $M_{b,neg}$ : Momento negativo en lado largo
- ✓  $C_{a,neg}$ : Coeficiente para momento negativo en lado corto para  $W$  última.

- ✓  $W$ : Carga última
- ✓  $C_{b,neg}$ : Coeficiente para momento negativo en lado largo para  $W$  última.
- ✓  $l_a$ : Longitud del lado menor
- ✓  $l_b$ : Longitud del lado mayor

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 6 ya que es continua de lado largo y se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,neg} = 0.097$$

$$C_{b,neg} = 0.000$$

Posteriormente para determinar los momentos positivos se debe de realizar las sumas entre el momento positivo ocasionado por la carga viva mayorada y por la carga muerta mayorada.

Posteriormente en las tablas de los coeficientes, las cuales se encuentran adjuntas en el anexo 4, se obtuvieron las siguientes expresiones matemáticas para calcular los momentos positivos ocasionados por la suma de la carga viva y muerta:

$$M_{a,pos} = C_{a,pos,CM} * W_{CM} * l_a^2 + C_{a,pos,CV} * W_{CV} * l_a^2$$

$$M_{b,pos} = C_{b,pos,CM} * W_{CM} * l_b^2 + C_{b,pos,CV} * W_{CV} * l_b^2$$

Donde:

- ✓  $M_{a,pos}$ : Momento positivo en lado corto
- ✓  $M_{b,pos}$ : Momento negativo en lado largo

- ✓  $C_{a,pos,CM}$ : Coeficiente para momento positivo en lado corto por carga muerta mayorada.
- ✓  $C_{b,pos,CM}$ : Coeficiente para momento positivo en lado largo por carga muerta mayorada.
- ✓  $W_{CM}$ : Carga muerta mayorada
- ✓  $W_{CV}$ : Carga viva mayorada
- ✓  $l_a$  : Longitud del lado menor
- ✓  $l_b$  : Longitud del lado mayor
- ✓  $C_{a,pos,CV}$ : Coeficiente para momento positivo en lado corto por carga viva mayorada.
- ✓  $C_{b,pos,CV}$ : Coeficiente para momento positivo en lado largo por carga muerta mayorada.

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 6 ya que es continua de lado largo y se obtienen las siguientes constantes para los momentos positivos:

$$C_{a,pos,CV} = 0.078$$

$$C_{b,pos,CV} = 0.005$$

$$C_{a,pos,CM} = 0.061$$

$$C_{b,pos,CM} = 0.003$$

Posteriormente se realizó el ejemplo de los cálculos para los cuales fueron utilizadas las constantes y ecuaciones recién nombrados:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} * W * l_a^2$$

$$M_{a,neg} = 0.097 * \left(716 \frac{Kg}{m^2}\right) * (3.00m)^2$$

$$M_{a,neg} = 625.07 \text{ Kg} - m$$

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} * W * l_b^2$$

$$M_{b,neg} = 0.000 * \left(716 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (3.00\text{m})^2$$

$$M_{b,neg} = 0.00 \text{ Kg} - m$$

$$M_{a,pos} = C_{a,pos,CM} * W_{CM} * l_a^2 + C_{a,pos,CV} * W_{CV} * l_a^2$$

$$M_{a,pos} = 0.061 * \left(396.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (3.00\text{m})^2 + 0.078 * \left(320.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (3.00\text{m})^2$$

$$M_{a,pos} = 442.04 \text{ Kg} - m$$

$$M_{b,pos} = C_{b,pos,CM} * W_{CM} * l_b^2 + C_{b,pos,CV} * W_{CV} * l_b^2$$

$$M_{b,pos} = 0.003 * \left(396.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (6.00\text{m})^2 + 0.005 * \left(320.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (6.00\text{m})^2$$

$$M_{b,pos} = 100.37 \text{ Kg} - m$$

- Cálculo de momentos para Losa Central

Para calcular el refuerzo de la losa primero recurrió a recurrir al valor de m que indico el sentido de los refuerzos, dicho valor fue calculado con anterioridad:

$$m = \frac{\text{Lado Corto}}{\text{Lado Largo}} = \frac{a}{b} = \frac{3.00\text{m}}{6.00\text{m}} = 0.50$$

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 5 ya que es continua de ambos lados largos y discontinua de los lados cortos, se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,neg} = 0.090$$

$$C_{b,neg} = 0.000$$

Posteriormente para determinar los momentos positivos se debe de realizar las sumas entre el momento positivo ocasionado por la carga viva mayorada y por la carga muerta mayorada por serado en ecuaciones individuales.

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 5 ya que es continua de lado largo y se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,pos,CV} = 0.067$$

$$C_{b,pos,CV} = 0.004$$

$$C_{a,pos,CM} = 0.039$$

$$C_{b,pos,CM} = 0.001$$

Posteriormente se realizó el ejemplo de los cálculos para los cuales fueron utilizadas las constantes y ecuaciones recién nombrados:

$$M_{a,neg} = C_{a,neg} * W * l_a^2$$

$$M_{a,neg} = 0.090 * \left(716 \frac{Kg}{m^2}\right) * (3.00m)^2$$



$$M_{a,neg} = 579.96 \text{ Kg} - m$$

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} * W * l_b^2$$

$$M_{b,neg} = 0.000 * \left(716 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (3.00\text{m})^2$$

$$M_{b,neg} = 0.00 \text{ Kg} - m$$

$$M_{a,pos} = C_{a,pos,CM} * W_{CM} * l_a^2 + C_{a,pos,CV} * W_{CV} * l_a^2$$

$$M_{a,pos} = 0.039 * \left(396.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (3.00\text{m})^2 + 0.067 * \left(320.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (3.00\text{m})^2$$

$$M_{a,pos} = 331.96 \text{ Kg} - m$$

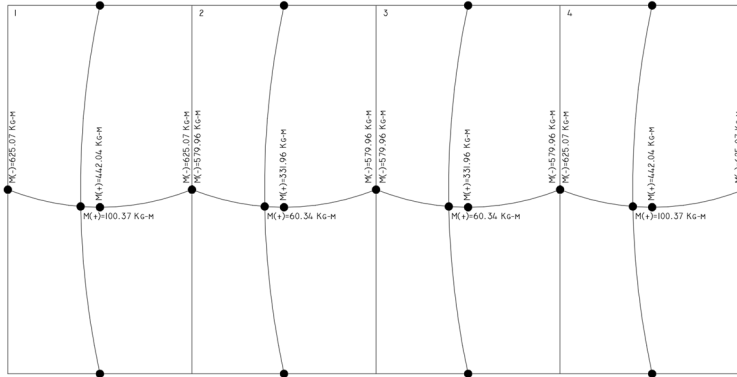
$$M_{b,pos} = C_{b,pos,CM} * W_{CM} * l_b^2 + C_{b,pos,CV} * W_{CV} * l_b^2$$

$$M_{b,pos} = 0.001 * \left(396.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (6.00\text{m})^2 + 0.004 * \left(320.00 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}\right) * (6.00\text{m})^2$$

$$M_{b,pos} = 60.34 \text{ Kg} - m$$

- Balanceo de momentos

Figura 8. **Momentos sin balancear en losas superiores**

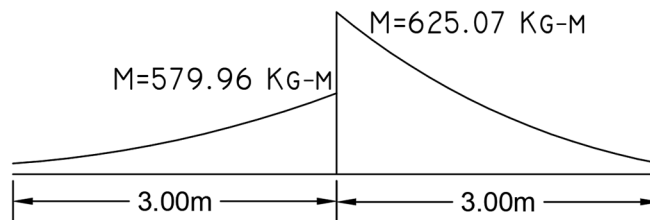


Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad

Por simetría de las losas, se determinó que se pueden balancear únicamente las losas 2 y 3 al igual que las losas 3 y 4.

Primero se optó por balancear las losas 3 y 4 debido a que el balanceo es más crítico debido a que los momentos que actúan en la intercara entre ambas losas son distintos debido a sus condiciones de continuidad:

Figura 9. **Momentos sin balancear entre losas 3 y 4**



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

Para conocer el método de balanceo de momentos se calculó la siguiente desigualdad:

$$0.80 * M_2 > M_1 \rightarrow \text{Balanceo por metodo de rigidences}$$

$$0.80 * M_2 \leq M_1 \rightarrow \text{Balanceo por promedio aritmetico}$$

Donde:

- $M_2$ : Momento mayor [Kg-m]
- $M_1$ : Momento menor [Kg-m]

Por lo tanto, se aplicó dicha desigualdad y se determinó el método para el balanceo de momentos entre estas losas, el cual fue:

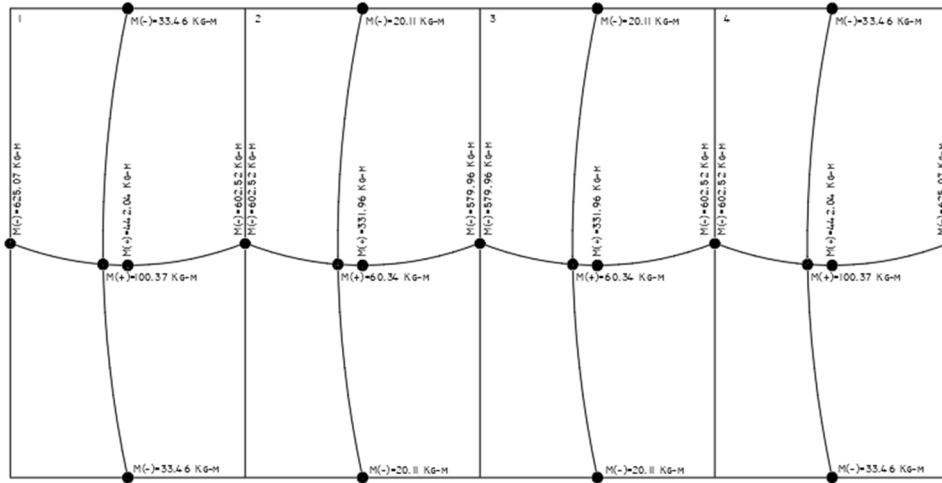
$$0.80 * M_2 \rightarrow 0.80 * 625.07 \text{ Kg} - m = 500.06 \leq 579.96 \text{ Kg} - m$$

En vista al resultado que se obtuvo, el método que se utilizó para el balanceo de momentos fue el promedio aritmético, como se calculó a continuación:

$$M_{\text{Balanceado}} = \frac{M_1 + M_2}{2} = \frac{625.07 \text{ Kg} - m + 579.96 \text{ Kg} - m}{2} = 602.52 \text{ Kg} - m$$

Debido a que en la intercara ente las losas 2 y 3 cuentan con el mismo momento actuante, se concluyó que, aunque se realice el balanceo por promedio aritmético o por método de rigideces, el resultado iba a ser el mismo por lo que se concluyó en que el momento entre esas losas ya se encontraba balanceado con un valor de 579.96 Kg-m.

Figura 10. Momentos balanceados



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

- Armado de losas

Para determinar el acero que refuerza la losa se calculó inicialmente el acero mínimo de refuerzo, se propuso utilizar varillas grado 40:

$$A_{s_{\text{minimo}}} = 0.4 * \left( \frac{14.1}{F_y} \right) * b * d \rightarrow 0.4 * \left( \frac{14.1}{2810 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} \right) * (100\text{cm}) * 7.50\text{cm}$$

$$A_{s_{\text{minimo}}} = 1.51 \text{ cm}^2$$

Posteriormente proponiendo una varilla No.3 para el armado se calculó el espaciamiento máximo por medio de una regla de 3:

$$S = \frac{0.71 \text{ cm}^2 * 100\text{cm}}{1.51\text{cm}^2} \rightarrow 47.34\text{cm}$$

Debido a que el espaciamiento es superior a tres veces el espesor de la losa, se propuso un nuevo de 0.20 m, por lo que se calculó la nueva área de acero para este espaciamiento:

$$A_s = \frac{0.71 \text{ cm}^2 * 100\text{cm}}{0.20\text{cm}} \rightarrow 3.56 \text{ cm}^2$$

Con la nueva área de acero se procedió a calcular el momento resistente del armado, el cual debe de ser mayor al momento máximo actuante producido por las cargas aplicadas sobre la losa:

$$M_r = 0.90 \left( A_s * F_y \left( d - \frac{A_s * F_y}{1.70 * f'c * b} \right) \right)$$

$$M_r = 0.90 \left( 2.38\text{cm}^2 * 4,200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \left( 7.50\text{cm} - \frac{2.38\text{cm}^2 * 4200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{1.70 * 281 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 100\text{cm}} \right) \right)$$

$$M_r = 64,763.71 \text{ Kg} - \text{cm} \approx 647.64 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_r = 647.64 \text{ Kg} - \text{m} > M_{Max} = 625.07 \text{ Kg} - \text{m} \rightarrow \text{Cumple}$$

Debido a que el momento resistente es mayor al momento actuante, se concluyó que el armado propuesto es satisfactorio para las condiciones bajo las que esta se verá sometida.

Debido a que el valor de m es exactamente 0.50 y está al límite entre una losa reforzada en uno o en ambos sentidos, se debe de calcular el acero únicamente a tensión para conocer si solamente este refuerzo es capaz de ayudar a la losa a resistir las cargas o se debe de utilizar el área de acero calculada previamente:

$$As_t = 0.002 * 100cm * 5cm \rightarrow 1.00cm^2$$

Con el acero por tensión calculado, se procede a calcular el espaciamiento que este requiere:

$$S As_t = \frac{0.71 cm^2 * 100cm}{1.00cm^2} = 71.00cm$$

A partir del distanciamiento previamente calculado para el acero a tensión, se determinó que debido a que excede el espaciamiento máximo equivalente a tres veces el espesor de la losa, se concluyó que el acero con el que se armara la losa es el que se calculó inicialmente con No.3 a cada 20cm debido a que el acero por tensión por sí solo no es capaz de sostener cumplir las condiciones que demanda el sistema, por lo que a este será acompañado de bastones y rieles.

- Losa inferior

La losa inferior es la losa que debe de soportar el agua y está en contacto con el suelo.

- Integración de cargas

La integración de cargas en losas son un parámetro sumamente importante ya que son las que soportan cargas verticales.

- ✓ Carga viva

Por criterios propios se optó por no colocar carga viva debido a que se estima que aun cuando este tanque se encuentre vacío, nunca se le demandara tanto como cuando este se encuentre lleno de agua.

✓ Carga muerta

Se inició calculando el peso propio de la losa misma a la cual se le agrego una sobre carga como medida de seguridad y el peso del agua que esta soportara cuando este a máxima capacidad.

$$CM = \left( (0.20m) * \left( 2,400.00 \frac{Kg}{m^3} \right) \right) + \left( 90 \frac{Kg}{m^2} \right) + \left( 3.30m * 1000 \frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$CM = 3870.00 \frac{Kg}{m^2}$$

✓ Carga última

Para la combinación de carga, se utilizó la combinación CR2 de la Norma de Seguridad Estructural NSE 2-2018.

$$CR2 = 1.2CM + 1.6CV$$

$$CR2 = 1.2 \left( 3,870.00 \frac{Kg}{m^2} \right) + 1.6 \left( 0.00 \frac{Kg}{m^2} \right)$$

$$W = CR2 = 4,644.00 \frac{Kg}{m^2} + 0.00 \frac{Kg}{m^2}$$

$$W = 4,644.00 \frac{Kg}{m^2}$$

- Cálculo de momentos para losa inferior.

Para calcular el refuerzo de la losa primero recurrió a recurrir al valor de  $m$  que indico el sentido de los refuerzos, dicho valor fue calculado con anterioridad:

$$m = \frac{\text{Lado Corto}}{\text{Lado Largo}} = \frac{a}{b} = \frac{6.00m}{12.00m} = 0.50$$

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 1 debido a que la losa no es continua en ninguno de sus lados, se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,neg} = 0.000$$

$$C_{b,neg} = 0.000$$

Posteriormente para determinar los momentos positivos se debe de realizar las sumas entre el momento positivo ocasionado por la carga viva mayorada y por la carga muerta mayorada por serado en ecuaciones individuales.

Debido a las condiciones de continuidad que presentan las tablas del método 3 del ACI, se concluyó que la losa es Tipo 1 ya que no es continua en ninguna de sus lados y se obtienen las siguientes constantes para los momentos negativos:

$$C_{a,pos,CV} = 0.095$$

$$C_{b,pos,CV} = 0.006$$

$$C_{a,pos,CM} = 0.095$$

$$C_{b,pos,CM} = 0.006$$

Posteriormente se realizó el ejemplo de los cálculos para los cuales fueron utilizadas las constantes y ecuaciones recién nombrados:



$$M_{a,neg} = C_{a,neg} * W * l_a^2$$

$$M_{a,neg} = 0.000 * \left(4,644.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (6.00m)^2$$

$$M_{a,neg} = 0.000 Kg - m$$

$$M_{b,neg} = C_{b,neg} * W * l_b^2$$

$$M_{b,neg} = 0.000 * \left(4,644.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (6.00m)^2$$

$$M_{b,neg} = 0.00 Kg - m$$

$$M_{a,pos} = C_{a,pos,CM} * W_{CM} * l_a^2 + C_{a,pos,CV} * W_{CV} * l_a^2$$

$$M_{a,pos} = 0.095 * \left(4,644.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (6.00m)^2 + 0.095 * \left(0.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (6.00m)^2$$

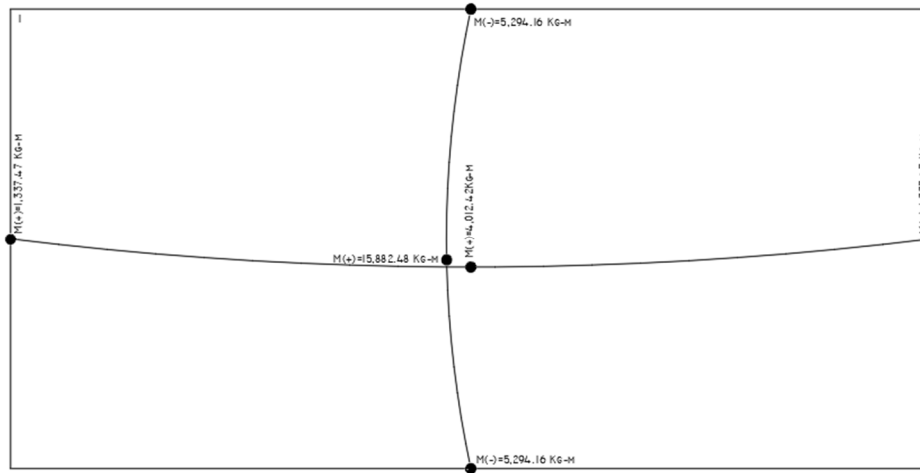
$$M_{a,pos} = 15,882.48 Kg - m$$

$$M_{b,pos} = C_{b,pos,CM} * W_{CM} * l_b^2 + C_{b,pos,CV} * W_{CV} * l_b^2$$

$$M_{b,pos} = 0.006 * \left(4,644.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (12.00m)^2 + 0.006 * \left(0.00 \frac{Kg}{m^2}\right) * (12.00m)^2$$

$$M_{b,pos} = 4,012.42 Kg - m$$

Figura 11. Momentos actuantes en losa inferior



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad

- Armado de losas

Para determinar el acero que refuerza la losa se calculó inicialmente el acero mínimo de refuerzo por lo que se propuso varillas grado 60:

$$A_{s_{\text{minimo}}} = 0.4 * \left( \frac{14.1}{F_y} \right) * b * d \rightarrow 0.4 * \left( \frac{14.1}{4200 \frac{Kg}{cm^2}} \right) * (100cm) * 15.00cm$$

$$A_{s_{\text{minimo}}} = 2.01 \text{ cm}^2$$

Posteriormente proponiendo una varilla No.6 para el armado se calculó el espaciamiento máximo por medio de una regla de 3:

$$S = \frac{1.27 \text{ cm}^2 * 100cm}{2.01cm^2} \rightarrow 63.18 \text{ cm}$$

Debido a que el espaciamiento es superior a tres veces el espesor de la losa, se propuso un nuevo espaciamiento de 8.00cm, este espaciamiento se propuso para que el momento resistente sea mayor al actuante y siempre manteniendo que el tamaño de los agregados para que estos se pudieran desplazar sin problema:

$$A_s = \frac{1.27 \text{ cm}^2 * 100\text{cm}}{0.08\text{cm}} \rightarrow 35.63 \text{ cm}^2$$

Con la nueva área de acero se procedió a calcular el momento resistente del armado, el cual debe de ser mayor al momento máximo actuante producido por las cargas aplicadas sobre la losa:

$$M_r = 0.90 \left( A_s * F_y \left( d - \frac{A_s * F_y}{1.70 * f'_c * b} \right) \right)$$

$$M_r = 0.90 \left( 35.63\text{cm}^2 * 4,200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \left( 15\text{cm} - \frac{35.63\text{cm}^2 * 4200 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}{1.70 * 281 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} * 100\text{cm}} \right) \right)$$

$$M_r = 1,598,313.26 \text{ Kg} - \text{cm} \approx 15,983.13 \text{ Kg} - \text{m}$$

$$M_r = 15,983.13 \text{ Kg} - \text{m} > M_{Max} = 15,882.48 \text{ Kg} - \text{m} \rightarrow \text{Cumple}$$

Debido a que el momento resistente es mayor al momento actuante, se concluyó que el armado propuesto es satisfactorio para las condiciones bajo las que esta se verá sometida.

Debido a que el valor de m es exactamente 0.50 y está al límite entre una losa reforzada en uno o en ambos sentidos, se debe de calcular el acero únicamente a tensión

para conocer si solamente este refuerzo es capaz de ayudar a la losa a resistir las cargas o se debe de utilizar el área de acero calculada previamente:

$$As_t = 0.002 * 100cm * 15cm \rightarrow 3.00cm^2$$

Con el acero por tensión calculado, se procede a calcular el espaciamiento que este requiere:

$$S As_t = \frac{1.27 cm^2 * 100cm}{3.00cm^2} = 42.33cm$$

A partir del distanciamiento previamente calculado para el acero a tensión, se determinó que debido a que excede el espaciamiento máximo equivalente a tres veces el espesor de la losa, se concluyó que el acero con el que se armara la losa es el que se calculó inicialmente con No.6 a cada 8.00cm debido a que el acero por tensión por sí solo no es capaz de sostener cumplir las condiciones que demanda el sistema, por lo que a este será acompañado de bastones y rieles.

#### **2.1.7.6. Desinfección y tratamiento del agua**

Para desinfectar el agua se utilizará un método químico, utilizando un producto a base de cloro. Para esto se requerirá de un alimentador automático de tricloro, que funciona a base de tabletas de tricloro, que son una forma de presentación del cloro. Dichas tabletas tendrán una presentación de 200 gramos, con una solución de cloro al 90 % y 10 % de estabilizador, con dimensiones de 4 pulgadas de diámetro y una pulgada de espesor. Estas tabletas se disuelven en agua en reposo a una velocidad de 15 gramos por día. Se realizó el ejemplo del cálculo de pastillas de tricloro para el tanque el chorrón.

Para determinar la cantidad de litros a tratar utilizaremos el caudal de conducción durante un día, el cual asciende a 575,424.00 Lt/día., en la siguiente fórmula para hipocloritos:

$$Gt = \frac{C * M * D}{\% CL}$$

Donde

- *Gt*: Gramos de tricloro
- *C*: Miligramos por litro (0.07 – 0.15 %)
- *D*: Número de días
- % *CL*: Contenido de cloro

Para este proyecto, se propuso utilizar una cantidad de 0.10 % de miligramos por litro y pastillas con un contenido de cloro del 90 %, por lo que fueron obtenidos los siguientes resultados:

$$Gt = \frac{C * M * D}{\% CL} \rightarrow \frac{(0.07 \%) * \left(575,424 \frac{Lt}{Dia}\right) * (30 Dias)}{0.90} = 13,427 Gramos$$

Con la cantidad de tricloro requerida al mes, se procedió a determinar el número de pastillas por adquirir por mes y por día:

$$\#Pastillas = \frac{13,427 Gramos de tricloro}{200 Gramos por pastilla de tricloro}$$

$$\#Pastillas = 68 \frac{Pastillas}{Mes} \approx 17 \frac{Pastillas}{Semana}$$

### **2.1.7.7. Red de distribución**

Una red de distribución es un conjunto de tuberías y accesorios cuya finalidad es transportar el agua desde un tanque de almacenamiento hasta la acometida domiciliar o un llena cantaros.

#### **2.1.7.7.1. Tipos de redes**

Una red de distribución puede ser abierta, cerrada o mixtas, las redes abiertas se utilizan en la mayoría de los casos en zonas donde las viviendas están dispersas, los circuitos cerrados son aplicables en urbanizaciones con una planificación establecida y los circuitos mixtos son los más utilizados ya que es la unión entre ambos tipos de red.

- Cerradas

En este tipo de red, se logra la conformación de mallas o circuitos a través de la interconexión entre los ramales de la Red de Distribución de Agua Potable.

- Abiertas

Este tipo de red de distribución se caracteriza por una tubería de distribución principal (la tubería de distribución de mayor diámetro) cuyos ramales terminarán en puntos ciegos, es decir, sin interacción con otras tuberías en la misma red de distribución de agua potable incluso.

#### **2.1.7.7.2. Diseño de la red**

Para esta sección se realizó el ejemplo de los cálculos correspondientes al Ramal E del proyecto.

- Diámetro teórico de tubería

Partiendo de la ecuación de Hazen & Williams adaptada para determinar el diámetro teórico y sustituyendo los datos que tenemos en las variables respectivas. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D., se obtuvo el siguiente resultado:

$$\phi = \left( \frac{1743.811 * (L) * (Q)^{1.85}}{(C)^{1.85} * Hf} \right)^{\frac{1}{4.87}}$$

$$\phi = \left( \frac{1743.811 * (842.20m * 1.05) * \left(1.73 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (39.13m)} \right)^{\frac{1}{4.87}} = \mathbf{1.61''}$$

Como no existe un diámetro comercial con un diámetro interno de 1.61 pulgadas exactas, se recurrió a combinar tubería de distintos diámetros, se utilizó tubería de 1 ½" con un diámetro interno de 1.75 pulgadas y una tubería 1 ¼" con un diámetro interno de 1.53 pulgadas. Estos diámetros han sido obtenidos de las especificaciones técnicas de tubería PVC de la cama comercial AMANCO.

- Pérdidas de carga

A partir de la ecuación de Hazen & Williams y sustituyendo los datos que tenemos en las variables respectivas. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D, se obtuvo el siguiente resultado para cada diámetro analizado:

$$Hf_{\phi=1\frac{1}{2}''} = \frac{1743.811 * (842.20m * 1.05) * \left(1.73 \frac{Lt}{s}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (1.75'')^{4.87}} = 26.02m$$

$$Hf_{\phi 2=1\frac{1}{4}"} = \frac{1743.811 * (842.20m * 1.05) * \left(1.73 \frac{Lt}{S}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (1.53")^{4.87}} = 50.29m$$

- Longitudes de diseño de tubería

Debido a que se realizó combinación de tuberías de distintos diámetros, se requiere calcular la longitud precisa que debe tener cada tubería, por lo tanto, se aplicaron las ecuaciones respectivas para obtener las siguientes longitudes. Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$L_2 = (842.20m * 1.05) \left(\frac{39.13m - 26.02m}{50.29m - 26.02m}\right) = 477.78m$$

$$L_1 = (842.20m * 1.05) - 477.78 = 406.53m$$

- Pérdidas reales ocasionadas por la tubería

Utilizando la ecuación de Hazen & Williams en la cual se sustituyeron los valores de L1 y L2 en las respectivas ecuaciones Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D, se obtuvieron los valores de las pérdidas reales para cada diámetro:

$$Hf_{\phi 1=1\frac{1}{2}"} = \frac{1743.811 * (406.53m) * \left(1.73 \frac{Lt}{S}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (1.75")^{4.87}} = 11.96m$$

$$Hf_{\phi 2=1\frac{1}{4}"} = \frac{1743.811 * (477.78m) * \left(1.73 \frac{Lt}{S}\right)^{1.85}}{(150)^{1.85} * (1.53")^{4.87}} = 27.17m$$

$$Hf_{\phi 1=1\frac{1}{2}"} + Hf_{\phi 2=1\frac{1}{4}"} = 11.96m + 27.17m = 39.13m$$



Debido a que la suma de la pérdida de ambas tuberías cumplió con ser igual a la diferencia de niveles entre la llegada y la salida, se interpretó que el diseño resulta aceptable.

- Límites de velocidad

Según las guías de diseño de INFOM & UNEPAR (2011), para tuberías forzadas en conducción o distribución de agua potable, deben de contar con una velocidad mínima de 0.40 m/s esto con la finalidad de que los sedimentos que puedan ir ingresando a la red no se vayan acumulando y que con el paso del tiempo esto produzca un taponamiento como también se estipula una velocidad máxima de 3.00 m/s esto con la finalidad que el contacto existente entre el agua y la tubería no desgasten a una tasa elevada el material y que ocasiona fallas en la red con el paso del tiempo. La velocidad del flujo a través del sistema se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$V = \frac{1.974 * Q}{\phi_i^2}$$

Donde:

- $V$ : Velocidad del flujo [m/s]
- $Q$ : Caudal de diseño del tramo [m<sup>3</sup>/s]
- $\phi_i$ : Diámetro interno del tramo [Pulgadas]

Debido a que el ramal analizado cuenta con una combinación de tubería de distintos diámetros se debe de calcular la velocidad para cada uno de los distintos diámetros presentes en el tramo, Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

$$V_{1\frac{1}{2}"} = \frac{1.974 * \left(1.73 \frac{Lt}{s}\right)}{(1.75")^2} = 1.11 \text{ m/s}$$

$$V_{1\frac{1}{4}"} = \frac{1.974 * \left(1.73 \frac{Lt}{s}\right)}{(1.53")^2} = 1.46 \text{ m/s}$$

Como ambas velocidades se encuentran dentro del rango de velocidades admisible por las guías de diseño, se interpretó que el diseño es aceptable.

- Presiones de servicio

Según las guías de diseño de INFOM & UNEPAR, la presión en todo durante todo momento de la distribución se debe de encontrar entre los 10mca y los 60mca, esta es el resultado de efectuar la diferencia entre el nivel piezométrico y el nivel del terreno, Se realizará el ejemplo para el cálculo del ramal D.

- Cota piezométrica

El nivel piezométrico en el sistema es la presión dinámica máxima en cualquier punto de la línea de conducción o distribución que alcanzará la columna de agua si se coloca un manómetro en ese punto. Es equivalente a la altura de la superficie del agua en el punto de salida, menos la pérdida de carga por fricción que ocurre dentro de la distancia que los separa. La cota piezométrica en puntos de inicio de un sistema como lo serian: tanques, CRP y captaciones en equivalente a la cota del terreno ya que se encuentra a presión atmosférica.

- Presiones de servicio en la red

Se realizó el ejemplo del ramal D del proyecto

$$CP_D = 1,375.58m \text{ (Dato Calculado)}$$

$$P_D = CP_D - CT_D \rightarrow 1,375.58m - 1,356.53m = 19.05m$$

$$CP_{E258} = CP_D - HF_{D-E258} \rightarrow 1,375.58m - 39.13m = 1,336.45m$$

$$P_D = CP_{E258} - CT_{E258} \rightarrow 1,336.45m - 1,317.40 = 19.05m$$

Debido a que la presión en ambos puntos del ramal queda dentro del rango de presiones admisibles que inician las guías, se puede ver que el diseño del ramal superó los distintos chequeos y se concluyó que el diseño del ramal es correcto y cumple con todos los parámetros requeridos.

#### **2.1.7.8. Obras hidráulicas**

Las obras hidráulicas son obras complementarias a un sistema de abastecimiento, con estas obras ayudamos a que el sistema se comporte según el diseñador lo necesite o bien ayuda a los operarios a realizar obras de mantenimiento o reparaciones al sistema.

##### **2.1.7.8.1. Cajas rompe presión**

Las cajas rompen presión (CRP) son obras complementarias cuya función es hacer caer drásticamente la línea piezométrica en un punto en específico hasta llevar la presión en dicho punto únicamente al valor de la presión atmosférica logrando que a partir de ese punto se pueda reiniciar las presiones en el sistema. Este tipo de obras de arte se pueden utilizar únicamente en líneas de conducción por gravedad y en redes de distribución abiertas.

Por ejemplo, se decidió en realizar los cálculos correspondientes de la caja rompe presión Tipo 4, debido a que es la única por la que circula en caudal completo de todo el sistema:

Las cajas rompen presión parten del concepto de conservación de la energía de Bernoulli, sin embargo, las guías de diseño indican que existen ciertos parámetros mínimos por cumplir:

$$H_t = H + BL + A$$

Donde:

- $H_t$ : Altura total de la caja [m]
- $H$ : Altura de requerida para romper la presión [m] = 0.40m (Mínimo)
- $BL$ : Borde libre [m] = 0.40m (Dato fijo)
- $A$ : Altura entre el fondo de la caja y la tubería de salida = 0.10 (Dato fijo)

La caja rompe presión se diseña a partir del caudal de día máximo que circula por el sistema y de la tubería de salida del sistema por lo que primero se debe de calcular la velocidad de flujo y por principio de continuidad se puede despejar la siguiente expresión:

$$V = 1.9735 * \frac{Q}{(\phi_{\text{interno de salida}})^2} \rightarrow 1.9735 * \frac{22.19 \frac{Lt}{s}}{(5.14 \text{ Pulg})^2} \rightarrow 1.66 \frac{m}{s}$$

Posteriormente el valor de la velocidad del flujo fue sustituido en la ecuación de la altura de carga requerida para romper la presión:

$$H = 1.56 * \frac{V^2}{2 * g} \rightarrow 1.56 * \frac{\left(1.66 \frac{m}{s}\right)^2}{2 * 9.81 \frac{m}{s^2}} \rightarrow 0.22m$$

Debido a que la altura de carga es menor a la altura mínima se decidió por utilizar para el resto de los cálculos el valor de la altura mínima que era de 0.40 m para el valor de la altura de carga para romper la presión.

Con el valor de H obtenido, se realizó el cálculo de la altura total de la caja por medio de la expresión explicada con anterioridad:

$$H_t = H + BL + A \rightarrow 0.40m + 0.40m + 0.10m$$
$$H_t = 0.90m$$

Debido a que el área transversal lo dejan a criterio del diseñador para que tenga facilidades en el proceso constructivo se optó por colocar un ancho y un largo de 1.00 m x 1.00 m para que el operario tenga buen rango de movimiento al momento de elaborarla construcción de la caja rompe presión.

#### **2.1.7.9. Elaboración de Planos**

Los planos planta-perfil de los distintos tramos del proyecto al igual que los detalles de las distintas obras complementarias fueron elaborados por medio del *software* Autodesk Civil 3D versión 2022, los planos del proyecto se pueden encontrar en la sección de apéndices del presente informe.

#### **2.1.7.10. Integración del presupuesto**

La integración del presupuesto fue desarrollada mediante los renglones de trabajo unitarios los cuales están organizado según la cronología propuesta para la ejecución del proyecto.

Tabla XVIII. Cuadro de renglones finales del proyecto

No.	DESCRIPCIÓN	U	CANT	P,U (Q)	P. T (Q)
<b>1</b>	<b>OBRAS Y TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
1.01	Estudio Topográfico	m	14,690.0	Q4.12	Q60,522.80
			0		
1.02	Demolición de pavimento franja ancho promedio de 0.25 m	m	12,145.9	Q36.67	Q445,333.33
			3		
<b>2</b>	<b>LÍNEA DE CONDUCCIÓN</b>				
2.01	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 4" x 160 PSI Línea de conducción	m	986.50	Q248.45	Q245,098.02
2.02	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 3" x 160 PSI Línea de conducción	m	1,823.10	Q184.40	Q336,183.37
2.03	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 2.50" x 160 PSI Línea de conducción	m	468.30	Q173.54	Q81,267.70
2.04	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 2" x 160 PSI Línea de conducción	m	8.90	Q212.33	Q1,889.72
2.05	Válvula de aire de 3/4" + Caja de protección prefabricada para válvulas para línea de conducción	u	4.00	Q1,018.7	Q4,075.06
				7	
2.06	Válvula de limpieza 2" + caja de protección prefabricada para válvulas para conducción	u	3.00	Q1,498.2	Q4,494.85
				8	

Continuación de la tabla XVIII.

<b>3 LÍNEA DE IMPULSIÓN</b>					
<b>3.01</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 6" x 160 PSI Línea de impulsión	m	170.00	Q234.89	Q39,931.29
<b>4 RED DE DISTRIBUCIÓN</b>					
<b>4.01</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 6" x 160 PSI en Red de distribución	m	22.00	Q1,097.6 2	Q24,147.57
<b>4.02</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 5" x 160 PSI en Red de distribución	m	1,045.00	Q317.16	Q331,437.16
<b>4.03</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 4" x 160 PSI en Red de distribución	m	1,110.00	Q202.37	Q224,634.47
<b>4.04</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 3" x 160 PSI en Red de distribución.	m	295.00	Q204.68	Q60,381.22
<b>4.05</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 2.50" x 160 PSI en Red de distribución	m	925.00	Q145.97	Q135,020.59
<b>4.06</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 2" x 160 PSI en Red de distribución	m	910.00	Q125.33	Q114,053.58
<b>4.07</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 1-1/2" x 160 PSI en Red de distribución	m	1,465.00	Q117.83	Q172,615.96

Continuación de la tabla XVIII.

<b>4.08</b>	<b>Suministro e Instalación de tubería de PVC en 1-1/4" x 160 PSI</b>	<b>m</b>	<b>2,950.00</b>	<b>Q101.06</b>	<b>Q298,139.33</b>
<b>4.09</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 1" x 160 PSI para Red de distribución	m	2,195.00	Q101.23	Q222,204.58
<b>4.10</b>	Suministro e Instalación de tubería de PVC en 3/4" x 315 PSI para red de distribución	m	330.00	Q98.89	Q32,632.76
<b>4.11</b>	Válvula de compuerta de 6" + caja de protección	u	1.00	Q4,343.5 1	Q4,343.51
<b>4.12</b>	Válvula de compuerta de 5" + caja de protección	u	3.00	Q3,454.2 8	Q10,362.85
<b>4.13</b>	Válvula de compuerta de 4" + caja de protección	u	4.00	Q2,593.3 9	Q10,373.56
<b>4.14</b>	Válvula de compuerta de 3" + caja de protección	u	6.00	Q1,937.0 5	Q11,622.32
<b>4.15</b>	Válvula de compuerta de 2 1/2" + caja de protección	u	2.00	Q1,914.3 0	Q3,828.59
<b>4.16</b>	Válvula de compuerta de 2" + caja de protección	u	2.00	Q1,367.5 2	Q2,735.04
<b>4.17</b>	Válvula de compuerta de 1 1/2" + caja de protección	u	6.00	Q1,066.5 0	Q6,399.02
<b>4.18</b>	Válvula de compuerta de 1 1/4" + caja de protección	u	11.00	Q936.61	Q10,302.66
<b>4.19</b>	Válvula de compuerta de 1" + caja de protección	u	7.00	Q938.86	Q6,572.01
<b>4.20</b>	Válvula de compuerta de 3/4" + caja de protección	u	1.00	Q1,676.5 7	Q1,676.57



Continuación de la tabla XVIII.

<b>5</b>	<b>OBRAS DE ARTE</b>				
<b>5.01</b>	Caja rompe presión tipo 1	u	1.00	Q8,982.9	Q8,982.94
				4	
<b>5.02</b>	Caja rompe presión tipo 2	u	2.00	Q9,073.1	Q18,146.22
				1	
<b>5.03</b>	Caja rompe presión tipo 3	u	1.00	Q14,676.	Q14,676.87
				87	
<b>5.04</b>	Caja rompe presión tipo 4	u	1.00	Q9,438.5	Q9,438.55
				5	
<b>5.05</b>	Caja unificadora de caudales	u	1.00	Q12,525.	Q12,525.53
				53	
<b>6</b>	<b>TANQUES DE DISTRIBUCION</b>				
<b>6.01</b>	Tanque de distribución “el chorrón”	u	1.00	Q416,180	Q416,180.46
				.46	
<b>6.02</b>	Tanque de distribución “mingo bran”	u	1.00	Q488,311	Q488,311.54
				.54	
<b>7</b>	<b>CONEXIONES PEDIALES</b>				
<b>7.01</b>	Conexiones domiciliare (incluye chorro)	u	592.00	Q602.72	Q356,810.24
<b>8</b>	<b>OBRAS Y TRABAJOS FINALES</b>				
<b>8.01</b>	Reposición de pavimento de concreto t= 0.10 m de f’c 4 ksi.+ base de selecto t= 0.20 m	m	12,145.9	Q130.90	Q1,589,951.
			3		38
<b>9</b>	<b>SUMINISTRO E INSTALACION DE SISTEMA DE CLORACION DE PASTILLA + CAJA DE PROTECCION PREFABRICADA</b>				
<b>9.01</b>	Suministro e instalación de sistema de cloración de pastilla + caja de protección prefabricada	u	2.00	Q4,149.0	Q8,298.10
				5	

Continuación de la tabla XVIII

**10 SUMINISTRO E INSTALACION DE CASETA DE CONTROL DE BOMBEO.**

<b>10.01</b>	Suministro e instalación de caseta de control de bombeo.	u	1.00	Q12,915.16	Q12,915.16
				16	
<b>TOTAL</b>				<b>Q5,838,516.</b>	<b>48</b>

Fuente: elaboración propia, realizado con Microsoft Excel.

**2.1.7.11. Cronograma de ejecución**

El cronograma de ejecución fue planteado para ser un proyecto multianual por lo que se ajustó el proyecto para un periodo de dos años y medio con sin trabajar los meses de diciembre de cada año de ejecución.





## CONCLUSIONES

1. Por medio de las visitas de campo realizadas al inicio de la confección del proyecto se determinó que la falta de agua potable ha producido que las áreas con elevación más bajas del cantón Agua Tibia no sean completamente higiénicas, sus vías de accesos no son formales a su totalidad debido a que solamente se puede acceder a pie o moto y como resultado la misma carencia de agua potable en el cantón Agua Tibia hacen que las personas no cuenten con las precauciones sanitarias necesarias para cuidarse apropiadamente del COVID-19 y esto produce que la mayoría de las personas que se efectúan las distintas pruebas para detectar dicha enfermedad pertenecen al cantón Agua Tibia.
2. Comparando los resultados obtenidos del diseño hidráulico con las guías de diseño se determinó que el diseño propuesto de la nueva red de distribución de agua potable para el cantón Agua Tibia cumple con los distintos todos los chequeos de dichas guías mencionan y se concluye que el diseño propuesto es adecuado para las condiciones que solicita el cantón Agua Tibia.
3. Con el desarrollo del proyecto debido que el agua potable llegara a las viviendas con la velocidad y presión apropiada se determinó que las personas podrán gozar de una mejor nivel de higiene por lo que la tasa de contagios de COVID-19 en el cantón disminuirán ya que las personas tendrán mejores precauciones sanitarias, el cantón tendrá más desarrollo por lo que sus vías de acceso serán más formales con el paso del tiempo, por lo que se concluye que el proyecto ayudara de manera integral a largo plazo al cantón Agua Tibia.



## RECOMENDACIONES

1. Educar y hacer conciencia a los usuarios para que hagan uso adecuado del agua potable con la finalidad de que el proyecto cumpla sin problemas con su período de diseño e inclusive pueda durar más con el apoyo de las personas.
2. Capacitar a los operarios y de las distintas llaves de compuerta que se encuentran distribuidas a lo largo del proyecto con la finalidad de que estas puedan durar lo previsto y no que por una mala práctica estas fallen o se reviente alguna tubería debido a un golpe de ariete que pueda ser evitable con un cierre o apertura correcta de las llaves.
3. Hacer exámenes de la calidad de agua de manera continua en puntos aleatorios de la red, con la finalidad de observar si el agua cumple sigue siendo potable en los puntos más alejados de la red.
4. Capacitar operarios para que periódicamente les den mantenimiento y limpieza a los tanques de distribución y obras de arte con la finalidad de garantizar en todo momento su correcto funcionamiento.





## REFERENCIAS

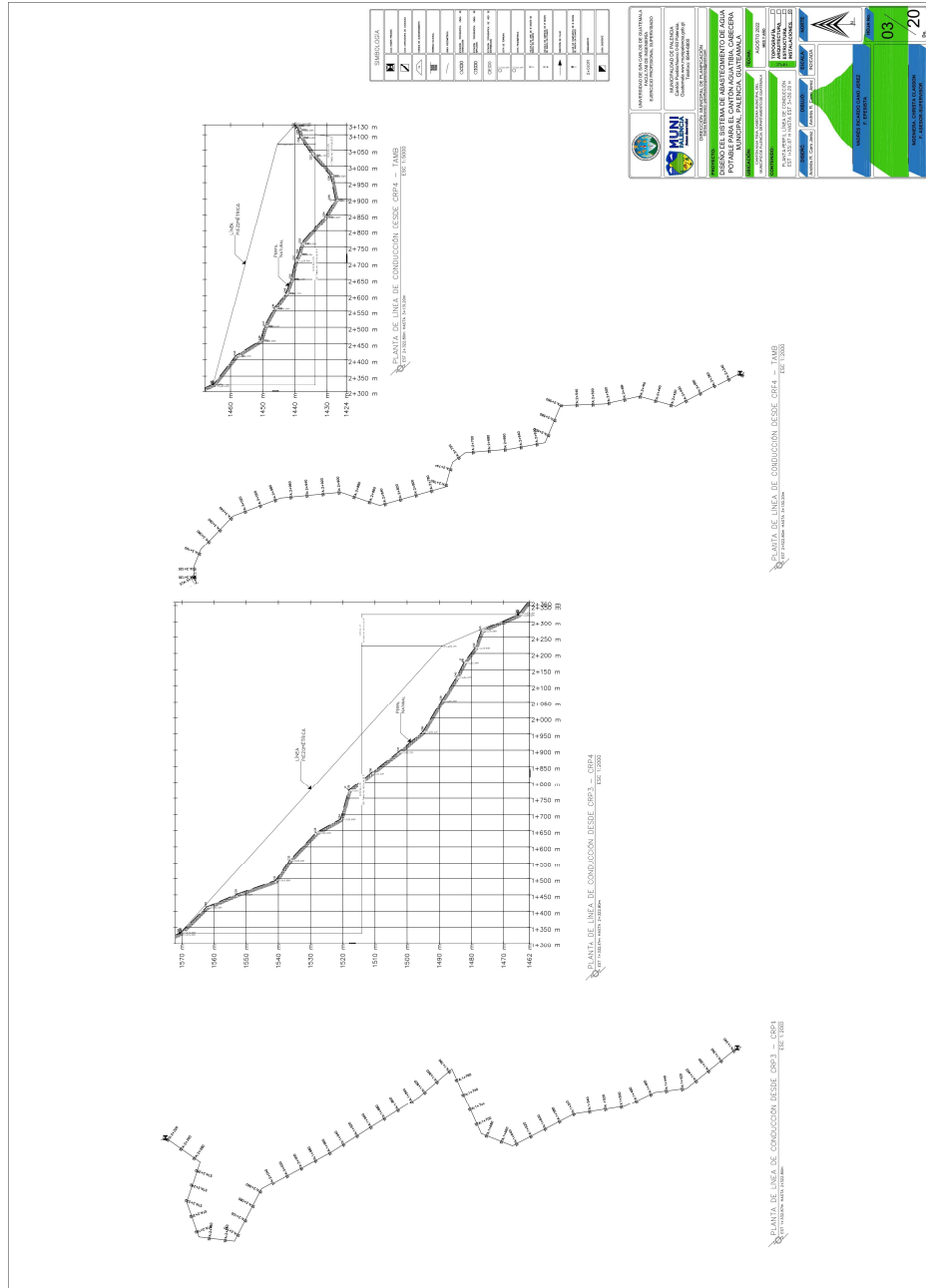
1. Aguilar, P. (2007). *Apuntes sobre el curso de Ingeniería Sanitaria 1* (tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos, Guatemala.
2. American Concrete Institute (2014). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural* (ACI 318S-14). Indiana: ACI. Autor.
3. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2018). *Demandas estructurales y Condiciones de sitio*. Guatemala: AGIES. Autor.
4. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (2019). *Requisitos prescriptivos para viviendas y edificaciones menores de uno y dos niveles* (AGIES 4-10). Guatemala: AGIES. Autor.
5. Comisión Guatemalteca de normas (2013). *Agua para consumo humano (agua potable) Especificaciones* (NTG 29001). Guatemala: COGUANOR. Autor.
6. Instituto Nacional de Fomento Municipal, Unidad Nacional Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (1997). *Guía para el diseño de abastecimiento de agua potable a zonas rurales*. Guatemala: INFOM & UNEPAR. Autor.
7. Instituto Nacional de Fomento Municipal, Unidad Nacional Ejecutora del Programa de Acueductos Rurales (2011). *Guía de normas sanitarias para el diseño de sistemas rurales de abastecimiento de agua para consumo humano*. Guatemala: INFOM & UNEPAR. Autor.

8. Instituto de Fomento de Hipotecas Aseguradas (2011). *Normas de planificación y construcción del FHA*. Guatemala: FHA. Autor.
9. Monzón, H (2014). *Manual del diseño Sismo-Resistente Simplificado de mampostería de block de concreto* (AGIES DSE 4.1.). Guatemala, Guatemala: AGIES.
10. Nilson, A.H. (2001). *Diseño de estructuras de concreto* (3ra edición). Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
11. Parker, H y Ambrose, J. (2008). *Diseño Simplificado de concreto reforzado* (4ta edición). Ciudad de México, México: Limusa Wiley.





### Apéndice 3. Plano Planta – Perfil línea de conducción



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.























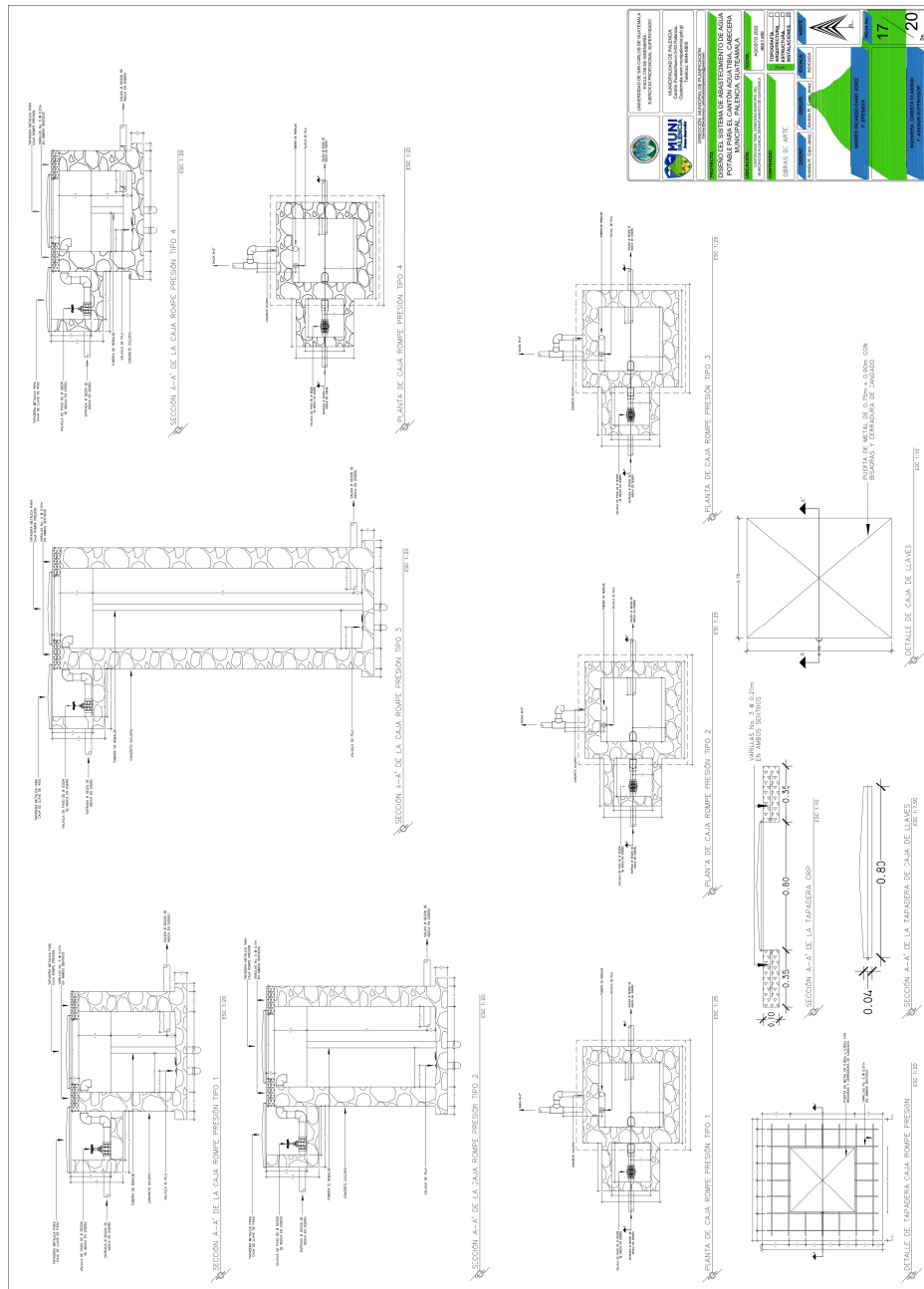






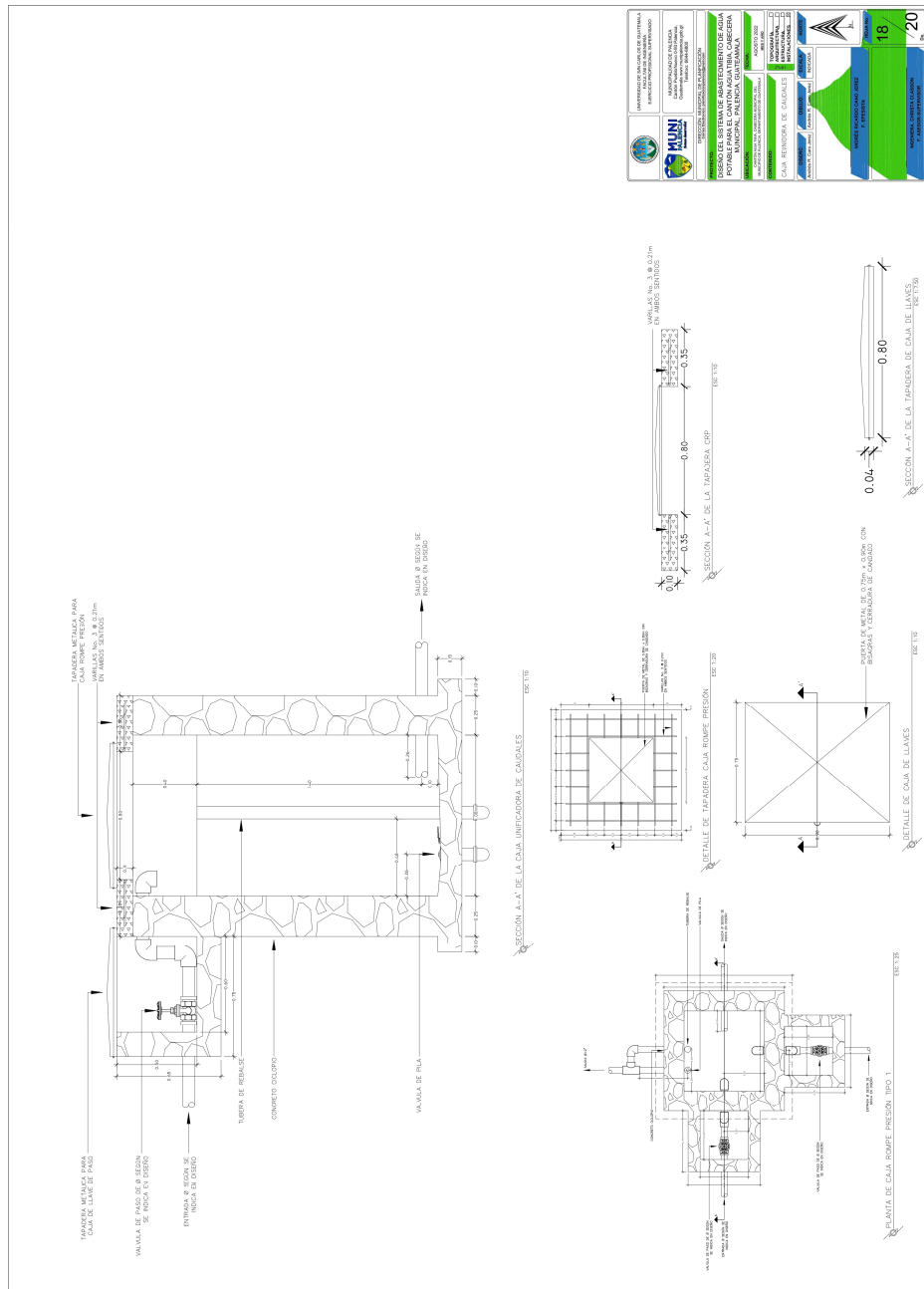


## Apéndice 17. Detalles de Obras de arte



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.

## Apéndice 18. Detalles de Caja unificadora de caudales



Fuente: elaboración propia, realizado con AutoCad.





# ANEXOS

## Anexo 1. Resultados de los análisis de laboratorio para muestra de agua tomada en tanque de almacenamiento El Chorrón

9a avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
informacion@ecoquimsa.com.gt | ecoquimsa.com | (502) 2322 3600

**líderes en  
ambiente**



### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Andres Cano  
Dirección: 16 avenida A 3-97, zona 15, colonia EL Maestro, Jardines de Minerva

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Casco Urbano de Palencia Muestra simple o compuesta: Simple  
Referencia cliente: El Chorrón Responsable del muestreo: CLIENTE  
Fecha de monitoreo: 12 de agosto de 2022 Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Hora de monitoreo: 10:30 Recipiente utilizado: Plástico y bolsa estéril  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano Método de preservación: INS04-MUE  
Código de muestra: 22-4987-1  
Lote: 22-4987

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 12 de agosto de 2022  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:20  
Fecha de informe: 08 de septiembre de 2022

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Cibro Residual	mg/L - Cl <sub>2</sub>	0.05	< 0.05	0.5	1.0	Spectroquant® Merck 14838
Ciornos <sup>(4)</sup>	mg/L - Cl <sup>-</sup>	0.4	2.6	100.0	250.0	Spectroquant® Merck 14897
Color <sup>(4)</sup>	u Pt/Co	1	5	5.0	35.0	STM 2120 C
Conductividad	µS/cm @ 25°C	0.1	120.3	750	1,500	STM 2510 B
Nitratos <sup>(4)</sup>	mg/L - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.14	< 0.14	---	50.0	Spectroquant® Merck 14773
Nitritos <sup>(4)</sup>	mg/L - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.024	< 0.024	---	3.0	Spectroquant® Merck 14776
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	Organoléptico
pH	---	0.01	6.66	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	STM 4500-H <sup>+</sup> B
Sulfatos <sup>(4)</sup>	mg/L - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	4	100.0	250.0	Spectroquant® Merck 02637
Turbiedad	UNT	0.5	< 0.5	5.0	15.0	STM 2130 B
Coliformes totales <sup>(4)</sup>	NMP/100mL	1.1	< 1.1	---	< 1.1	STM 9221 B
<i>Escherichia coli</i> <sup>(4)</sup>	NMP/100mL	1.1	< 1.1	---	< 1.1	STM 9222 J

(1) mg/L = ppm; u Pt/Co = unidades Platino Cobalto; µS/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad; NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (COGUANOR NT G 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NT G/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.



  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Cecilia de León Arriola  
Ingeniera Química  
Colegiada No. 2827

Laboratorio ECOQUIMSA  
9a Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco  
Colonia Alvarado  
PEX: (502) 2322-3600  
ecoquimsa.com  
ECOQUIMSA  
Ingeniería Química

Continuación del anexo 1.

9a avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 informacion@ecoquimsa.com.gt | ecoquimsa.com | (502) 2322 3600

**líderes en  
 ambiente**



**INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS**

**Datos del Cliente**

Cliente: Andres Cano  
 Dirección: 16 avenida A 3-97, zona 15, colonia EL Maestro, Jardines de Minerva

**Datos de la muestra**

Lugar de muestreo: Casco Urbano de Palencia Muestra simple o compuesta: Simple  
 Referencia cliente: El Chorrón Responsable del muestreo: CLIENTE  
 Fecha de monitoreo: 12 de agosto de 2022 Temperatura de almacenaje: 5 °C  
 Hora de monitoreo: 10:30 Recipiente utilizado: Plástico  
 Tipo de muestra: Agua para consumo humano Método de preservación: INS04-MUE  
 Código de muestra: 22-4987-1  
 Lote: 22-4987

**Datos de Laboratorio**

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 12 de agosto de 2022  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:20  
 Fecha de informe: 08 de septiembre de 2022

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	0.622	6.76	75.0	150.0	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.080	< 0.080	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.038	2.35	50.0	100.0	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.027	< 0.027	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L - CaCO <sub>3</sub>	1.71	26.60	100.0	500.0	STM 2340 B

(1) mg/L = ppm.

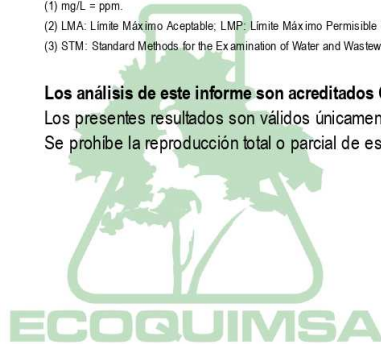
(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.



  
 Laboratorio ECOQUIMSA  
 Cesar de León Arredondo  
 Ingeniero Químico  
 Colegiado No. 2827

Laboratorio ECOQUIMSA  
 9a Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco  
 Colonia Alvarado  
 PBX: (502) 2322-3600  
 ECOQUIMSA  
 Ecoquimsa.com

Fuente: Laboratorio ECOQUIMSA. (2022). *Informes de resultados (NTG 29001)*.



## Anexo 2. Resultados de los análisis de laboratorio para muestra de agua tomada en tanque de almacenamiento Mingo Bran

9a avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 informacion@ecoquimsa.com.gt | ecoquimsa.com | (502) 2322 3600

**líderes en  
ambiente**



### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Andres Cano  
 Dirección: 16 avenida A 3-97, zona 15, colonia EL Maestro, Jardines de Minerva

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Casco Urbano de Palencia Muestra simple o compuesta: Simple  
 Referencia cliente: Tanque 2 Mingo Bran Responsable del muestreo: CLIENTE  
 Fecha de monitoreo: 12 de agosto de 2022 Temperatura de almacenaje: 5 °C  
 Hora de monitoreo: 10:45 Recipiente utilizado: Plástico y bolsa estéril  
 Tipo de muestra: Agua para consumo humano Método de preservación: INS04-MUE  
 Código de muestra: 22-4986-1  
 Lote: 22-4986

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 12 de agosto de 2022  
 Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:20  
 Fecha de informe: 08 de septiembre de 2022

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Cloro Residual	mg/L - Cl <sub>2</sub>	0.05	< 0.05	0.5	1.0	Spectroquant® Merck 14826
Cloruros <sup>(4)</sup>	mg/L - Cl <sup>-</sup>	0.4	5.9	100.0	250.0	Spectroquant® Merck 14897
Color <sup>(4)</sup>	u Pt-Co	1	5	5.0	35.0	STM 2120 C
Conductividad	µS/cm @ 25°C	0.1	136.9	750	1,500	STM 2510 B
Nitratos <sup>(4)</sup>	mg/L - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.14	14.52	---	50.0	Spectroquant® Merck 14773
Nitritos <sup>(4)</sup>	mg/L - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.024	< 0.024	---	3.0	Spectroquant® Merck 14776
Olor	---	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	Organoleptico
pH	---	0.01	7.16	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5	STM 4500-H <sup>+</sup> B
Sulfatos <sup>(4)</sup>	mg/L - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2	7	100.0	250.0	Spectroquant® Merck 02537
Turbiedad	UNT	0.5	1.0	5.0	15.0	STM 2130 B
Coliformes totales <sup>(4)</sup>	NMP/100mL	1.1	16.0	---	< 1.1	STM 9221 B
<i>Escherichia coli</i> <sup>(4)</sup>	NMP/100mL	1.1	< 1.1	---	< 1.1	STM 9222 J

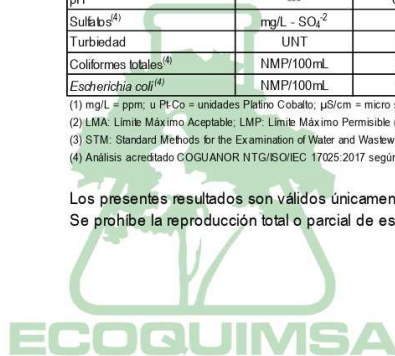
(1) mg/L = ppm; u Pt-Co = unidades Platino Cobalto; µS/cm = micro siemens por centímetro; Unt = unidades de turbiedad; NMP/100mL = Número más probable por 100 mililitros.

(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

(4) Análisis acreditado COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.  
 Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.



  
 Laboratorio ECOQUIMSA  
 Calle de La Esperanza  
 Ingenieros Químicos  
 Colegiado No. 2827

Laboratorio ECOQUIMSA  
 Av. Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco  
 Colonia Alvarado  
 PBX: (502) 2322-3600  
 Ecoquimsa.com

## Continuación del anexo 2.

9a avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
informacion@ecoquimsa.com.gt | ecoquimsa.com | (502) 2322 3600

líderes en  
ambiente



### INFORME DE RESULTADOS DE ANÁLISIS

#### Datos del Cliente

Cliente: Andres Cano  
Dirección: 16 avenida A 3-97, zona 15, colonia EL Maestro, Jardines de Minerva

#### Datos de la muestra

Lugar de muestreo: Casco Urbano de Palencia Muestra simple o compuesta: Simple  
Referencia cliente: Tanque 2 Mingo Bran Responsable del muestreo: CLIENTE  
Fecha de monitoreo: 12 de agosto de 2022 Temperatura de almacenaje: 5 °C  
Hora de monitoreo: 10:45 Recipiente utilizado: Plástico  
Tipo de muestra: Agua para consumo humano Método de preservación: INS04-MUE  
Código de muestra: 22-4986-1  
Lote: 22-4986

#### Datos de Laboratorio

Fecha de recepción de la muestra por el laboratorio: 12 de agosto de 2022  
Hora de recepción de la muestra por el laboratorio: 19:20  
Fecha de informe: 08 de septiembre de 2022

Análisis	Dimensional <sup>(1)</sup>	Límite de Detección	Resultados	LMA <sup>(2)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>	Método de análisis <sup>(3)</sup>
Calcio	mg/L - Ca	0.622	7.87	75.0	150.0	STM 3111 B
Hierro	mg/L - Fe	0.080	< 0.080	0.3	---	STM 3111 B
Magnesio	mg/L - Mg	0.038	2.45	50.0	100.0	STM 3111 B
Manganeso	mg/L - Mn	0.027	< 0.027	0.1	0.4	STM 3111 B
Dureza	mg/L - CaCO <sub>3</sub>	1.71	29.80	100.0	500.0	STM 2340 B

(1) mg/L = ppm.

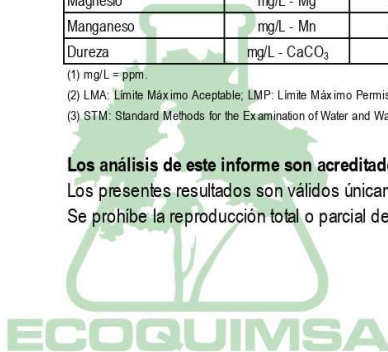
(2) LMA: Límite Máximo Aceptable; LMP: Límite Máximo Permissible (COGUANOR NTG 29 001).

(3) STM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition 2017.

Los análisis de este informe son acreditados COGUANOR NTG/ISO/IEC 17025:2017 según OGA-LE-051-13.

Los presentes resultados son válidos únicamente para la muestra tomada y recibida en la fecha indicada.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización de ECOQUIMSA.



  
Laboratorio ECOQUIMSA  
Celia de Celia Arredondo  
Ingeniero Químico  
Código 010-2322

Laboratorio ECOQUIMSA  
9a Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco  
Cobos Alvarado  
PBX: (502) 2322-3600  
Ecoquimsa.com  
Ecoquimsa.com

2/2

Fuente: Laboratorio ECOQUIMSA. (2022). *Informes de resultados (NTG 29001)*.

### Anexo 3. Resultados de los análisis de laboratorio para muestra de agua tomada en tanque de almacenamiento El Chorrón

9a avenida 3-08 zona 2 Colonia Alvarado, Mixco, Guatemala  
 informacion@ecoquimsa.com.gt | ecoquimsa.com | (502) 2322 3600

líderes en  
 ambiente



Guatemala, 12 de septiembre de 2022

Señor  
 Andrés Cano  
 Presente

Estimado:

Se muestra a continuación los resultados de análisis de sus muestras tomadas en el Casco Urbano de Palencia, en El Chorrón y Tanque 2 Mingo Bran, consignados en los informes con número de lote 22-4986 y 4987. Estos resultados se comparan con los límites máximos aceptables y permisibles de la norma COGUANOR NTG 29 001 – Agua para consumo humano (Agua potable).

Análisis	Dimensional	Resultados El Chorrón	Resultados Tanque 2 Mingo Bran	LMA	LMP
Cloro Residual (in-situ)	mg/L - Cl <sub>2</sub>	≤ 0.05	≤ 0.05	0.5	1.0
Cloruros	mg/L - Cl <sup>-</sup>	2.6	5.9	100.0	250.0
Color	u Pt-Co	5	5	5.0	35.0
Conductividad	µS/cm @ 25°C	120.3	136.9	750	1,500
Nitratos	mg/L - NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	< 0.14	14.52	---	50.0
Nitritos	mg/L - NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	< 0.024	< 0.024	---	3.0
Olor	---	No rechazable	No rechazable	No rechazable	No rechazable
pH	---	6.66	7.16	7.0 - 7.5	6.5 - 8.5
Sulfatos	mg/L - SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	4	7	100.0	250.0
Turbiedad	UNT	< 0.5	1.0	5.0	15.0
Coliformes totales	NMP/100mL	< 1.1	16.0	---	< 1.1
Escherichia coli	NMP/100mL	< 1.1	< 1.1	---	< 1.1
Calcio	mg/L - Ca	6.76	7.87	75.0	150.0
Hierro	mg/L - Fe	< 0.080	< 0.080	0.3	---
Magnesio	mg/L - Mg	2.35	2.45	50.0	100.0
Manganeso	mg/L - Mn	< 0.027	< 0.027	0.1	0.4
Dureza	mg/L - CaCO <sub>3</sub>	26.60	29.80	100.0	500.0

Le manifestamos que, al comparar los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados con la norma COGUANOR NTG 29 001, el parámetro Cloro residual y coliformes totales; no cumple con la norma nacional vigente, pues se encuentra por arriba del LMP.

Sin otro particular, le reiteramos que para ECOQUIMSA es un gusto atenderles.

Atentamente,



Laboratorio ECOQUIMSA  
 9a. Avenida 3-08 Zona 2 de Mixco  
 Colonia Alvarado  
 PBX: (502) 2322-3600  
 Ecoquimsa.com

Laboratorio ECOQUIMSA

Fuente: Laboratorio ECOQUIMSA. (2022). *Informes de resultados (NTG 29001)*.

Anexo 4. Tablas de coeficientes para método 3 del ACI para determinar momentos en losas con armado en dos sentidos

Relación $m = \frac{l_a}{l_b}$	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1.00	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.045 0.045	0.076	0.050 0.050	0.075	0.071	0.071	0.033 0.061	0.061 0.033
0.95	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.050 0.041	0.072	0.055 0.045	0.079	0.075	0.067	0.038 0.056	0.065 0.029
0.90	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.055 0.037	0.070	0.060 0.040	0.080	0.079	0.062	0.043 0.052	0.068 0.025
0.85	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.060 0.031	0.065	0.066 0.034	0.082	0.083	0.057	0.049 0.046	0.072 0.021
0.80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.065 0.027	0.061	0.071 0.029	0.083	0.086	0.051	0.055 0.041	0.075 0.017
0.75	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.069 0.022	0.056	0.076 0.024	0.085	0.088	0.044	0.061 0.036	0.078 0.014
0.70	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.074 0.017	0.050	0.081 0.019	0.086	0.091	0.038	0.068 0.029	0.081 0.011
0.65	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.077 0.014	0.043	0.085 0.015	0.087	0.093	0.031	0.074 0.024	0.083 0.008
0.60	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.081 0.010	0.035	0.089 0.011	0.088	0.095	0.024	0.080 0.018	0.085 0.006
0.55	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.084 0.007	0.028	0.092 0.008	0.089	0.096	0.019	0.085 0.014	0.086 0.005
0.50	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
$C_{a, neg}$ $C_{b, neg}$		0.086 0.006	0.022	0.094 0.006	0.090	0.097	0.014	0.089 0.010	0.088 0.003

Continuación del anexo 4.

Relación	Caso1	Caso2	Caso3	Caso4	Caso5	Caso6	Caso7	Caso8	Caso9
$l_b$	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
1.00	$C_{a,d,t}$ 0.036	0.018	0.018	0.027	0.027	0.033	0.027	0.020	0.023
	$C_{b,d,t}$ 0.036	0.018	0.027	0.027	0.018	0.027	0.033	0.023	0.020
0.95	$C_{a,d,t}$ 0.040	0.020	0.021	0.030	0.028	0.036	0.031	0.022	0.024
	$C_{b,d,t}$ 0.033	0.016	0.025	0.024	0.015	0.024	0.031	0.021	0.017
0.90	$C_{a,d,t}$ 0.045	0.022	0.025	0.033	0.029	0.039	0.035	0.025	0.026
	$C_{b,d,t}$ 0.029	0.014	0.024	0.022	0.013	0.021	0.028	0.019	0.015
0.85	$C_{a,d,t}$ 0.050	0.024	0.029	0.036	0.031	0.042	0.040	0.029	0.028
	$C_{b,d,t}$ 0.026	0.012	0.022	0.019	0.011	0.017	0.025	0.017	0.013
0.80	$C_{a,d,t}$ 0.056	0.026	0.034	0.039	0.032	0.045	0.045	0.032	0.029
	$C_{b,d,t}$ 0.023	0.011	0.020	0.016	0.009	0.015	0.022	0.015	0.010
0.75	$C_{a,d,t}$ 0.061	0.028	0.040	0.043	0.033	0.048	0.051	0.036	0.031
	$C_{b,d,t}$ 0.019	0.009	0.018	0.013	0.007	0.012	0.020	0.013	0.007
0.70	$C_{a,d,t}$ 0.068	0.030	0.046	0.046	0.035	0.051	0.058	0.040	0.033
	$C_{b,d,t}$ 0.016	0.007	0.016	0.011	0.005	0.009	0.017	0.011	0.006
0.65	$C_{a,d,t}$ 0.074	0.032	0.054	0.050	0.036	0.054	0.065	0.044	0.034
	$C_{b,d,t}$ 0.013	0.006	0.014	0.009	0.004	0.007	0.014	0.009	0.005
0.60	$C_{a,d,t}$ 0.081	0.034	0.062	0.053	0.037	0.056	0.073	0.048	0.036
	$C_{b,d,t}$ 0.010	0.004	0.011	0.007	0.003	0.006	0.012	0.007	0.004
0.55	$C_{a,d,t}$ 0.088	0.035	0.071	0.056	0.038	0.058	0.081	0.052	0.037
	$C_{b,d,t}$ 0.008	0.003	0.009	0.005	0.002	0.004	0.009	0.005	0.003
0.50	$C_{a,d,t}$ 0.095	0.037	0.080	0.059	0.039	0.061	0.089	0.056	0.038
	$C_{b,d,t}$ 0.006	0.002	0.007	0.004	0.001	0.003	0.007	0.004	0.002



Continuación del anexo 4.

Relación $m = \frac{l}{b}$	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9
1.00	$C_{a,H}$ 0.036	$C_{a,H}$ 0.027	$C_{a,H}$ 0.027	$C_{a,H}$ 0.032	$C_{a,H}$ 0.032	$C_{a,H}$ 0.035	$C_{a,H}$ 0.032	$C_{a,H}$ 0.028	$C_{a,H}$ 0.030
	$C_{b,H}$ 0.036	$C_{b,H}$ 0.027	$C_{b,H}$ 0.032	$C_{b,H}$ 0.032	$C_{b,H}$ 0.027	$C_{b,H}$ 0.032	$C_{b,H}$ 0.035	$C_{b,H}$ 0.030	$C_{b,H}$ 0.028
0.95	$C_{a,H}$ 0.040	$C_{a,H}$ 0.030	$C_{a,H}$ 0.031	$C_{a,H}$ 0.035	$C_{a,H}$ 0.034	$C_{a,H}$ 0.038	$C_{a,H}$ 0.036	$C_{a,H}$ 0.031	$C_{a,H}$ 0.032
	$C_{b,H}$ 0.033	$C_{b,H}$ 0.025	$C_{b,H}$ 0.029	$C_{b,H}$ 0.029	$C_{b,H}$ 0.024	$C_{b,H}$ 0.029	$C_{b,H}$ 0.032	$C_{b,H}$ 0.027	$C_{b,H}$ 0.025
0.90	$C_{a,H}$ 0.045	$C_{a,H}$ 0.034	$C_{a,H}$ 0.035	$C_{a,H}$ 0.039	$C_{a,H}$ 0.037	$C_{a,H}$ 0.042	$C_{a,H}$ 0.040	$C_{a,H}$ 0.035	$C_{a,H}$ 0.036
	$C_{b,H}$ 0.029	$C_{b,H}$ 0.022	$C_{b,H}$ 0.027	$C_{b,H}$ 0.026	$C_{b,H}$ 0.021	$C_{b,H}$ 0.025	$C_{b,H}$ 0.029	$C_{b,H}$ 0.024	$C_{b,H}$ 0.022
0.85	$C_{a,H}$ 0.050	$C_{a,H}$ 0.037	$C_{a,H}$ 0.040	$C_{a,H}$ 0.043	$C_{a,H}$ 0.041	$C_{a,H}$ 0.046	$C_{a,H}$ 0.045	$C_{a,H}$ 0.040	$C_{a,H}$ 0.039
	$C_{b,H}$ 0.026	$C_{b,H}$ 0.019	$C_{b,H}$ 0.024	$C_{b,H}$ 0.023	$C_{b,H}$ 0.019	$C_{b,H}$ 0.022	$C_{b,H}$ 0.026	$C_{b,H}$ 0.022	$C_{b,H}$ 0.020
0.80	$C_{a,H}$ 0.056	$C_{a,H}$ 0.041	$C_{a,H}$ 0.045	$C_{a,H}$ 0.048	$C_{a,H}$ 0.044	$C_{a,H}$ 0.051	$C_{a,H}$ 0.051	$C_{a,H}$ 0.044	$C_{a,H}$ 0.042
	$C_{b,H}$ 0.023	$C_{b,H}$ 0.017	$C_{b,H}$ 0.022	$C_{b,H}$ 0.020	$C_{b,H}$ 0.016	$C_{b,H}$ 0.019	$C_{b,H}$ 0.023	$C_{b,H}$ 0.019	$C_{b,H}$ 0.017
0.75	$C_{a,H}$ 0.061	$C_{a,H}$ 0.045	$C_{a,H}$ 0.051	$C_{a,H}$ 0.052	$C_{a,H}$ 0.047	$C_{a,H}$ 0.055	$C_{a,H}$ 0.056	$C_{a,H}$ 0.049	$C_{a,H}$ 0.046
	$C_{b,H}$ 0.019	$C_{b,H}$ 0.014	$C_{b,H}$ 0.019	$C_{b,H}$ 0.016	$C_{b,H}$ 0.013	$C_{b,H}$ 0.016	$C_{b,H}$ 0.020	$C_{b,H}$ 0.016	$C_{b,H}$ 0.013
0.70	$C_{a,H}$ 0.068	$C_{a,H}$ 0.049	$C_{a,H}$ 0.057	$C_{a,H}$ 0.057	$C_{a,H}$ 0.051	$C_{a,H}$ 0.060	$C_{a,H}$ 0.063	$C_{a,H}$ 0.054	$C_{a,H}$ 0.050
	$C_{b,H}$ 0.016	$C_{b,H}$ 0.012	$C_{b,H}$ 0.016	$C_{b,H}$ 0.014	$C_{b,H}$ 0.011	$C_{b,H}$ 0.013	$C_{b,H}$ 0.017	$C_{b,H}$ 0.014	$C_{b,H}$ 0.011
0.65	$C_{a,H}$ 0.074	$C_{a,H}$ 0.053	$C_{a,H}$ 0.064	$C_{a,H}$ 0.062	$C_{a,H}$ 0.055	$C_{a,H}$ 0.064	$C_{a,H}$ 0.070	$C_{a,H}$ 0.059	$C_{a,H}$ 0.054
	$C_{b,H}$ 0.013	$C_{b,H}$ 0.010	$C_{b,H}$ 0.014	$C_{b,H}$ 0.011	$C_{b,H}$ 0.009	$C_{b,H}$ 0.010	$C_{b,H}$ 0.014	$C_{b,H}$ 0.011	$C_{b,H}$ 0.009
0.60	$C_{a,H}$ 0.081	$C_{a,H}$ 0.058	$C_{a,H}$ 0.071	$C_{a,H}$ 0.067	$C_{a,H}$ 0.059	$C_{a,H}$ 0.068	$C_{a,H}$ 0.077	$C_{a,H}$ 0.065	$C_{a,H}$ 0.059
	$C_{b,H}$ 0.010	$C_{b,H}$ 0.007	$C_{b,H}$ 0.011	$C_{b,H}$ 0.009	$C_{b,H}$ 0.007	$C_{b,H}$ 0.008	$C_{b,H}$ 0.011	$C_{b,H}$ 0.009	$C_{b,H}$ 0.007
0.55	$C_{a,H}$ 0.088	$C_{a,H}$ 0.062	$C_{a,H}$ 0.080	$C_{a,H}$ 0.072	$C_{a,H}$ 0.063	$C_{a,H}$ 0.073	$C_{a,H}$ 0.085	$C_{a,H}$ 0.070	$C_{a,H}$ 0.063
	$C_{b,H}$ 0.008	$C_{b,H}$ 0.006	$C_{b,H}$ 0.009	$C_{b,H}$ 0.007	$C_{b,H}$ 0.005	$C_{b,H}$ 0.006	$C_{b,H}$ 0.009	$C_{b,H}$ 0.007	$C_{b,H}$ 0.006
0.50	$C_{a,H}$ 0.095	$C_{a,H}$ 0.066	$C_{a,H}$ 0.088	$C_{a,H}$ 0.077	$C_{a,H}$ 0.067	$C_{a,H}$ 0.078	$C_{a,H}$ 0.092	$C_{a,H}$ 0.076	$C_{a,H}$ 0.067
	$C_{b,H}$ 0.006	$C_{b,H}$ 0.004	$C_{b,H}$ 0.007	$C_{b,H}$ 0.005	$C_{b,H}$ 0.004	$C_{b,H}$ 0.005	$C_{b,H}$ 0.007	$C_{b,H}$ 0.005	$C_{b,H}$ 0.004

Fuente: Nilson, A. H. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*.