



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

**DISEÑO DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL  
CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA  
ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**

**Jonathan Demetrio Padilla Álvarez**

Asesorado por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano

Guatemala, mayo de 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL  
CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA  
ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**JONATHAN DEMETRIO PADILLA ÁLVAREZ**

ASESORADO POR EL ING. SILVIO JOSÉ RODRÍGUEZ SERRANO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	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
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Córdoba Estrada
EXAMINADOR	Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
EXAMINADOR	Ing. Oscar Argueta Hernández
EXAMINADOR	Ing. Silvio José Rodríguez Serrano
SECRETARIO	Ing. Hugo 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 DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 03 de mayo de 2017.

**Jonathan Demetrio Padilla Álvarez**

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 07 de febrero de 2023  
REF.EPS.DOC.41.02.2023

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jonathan Demetrio Padilla Alvarez**, CUI 2226 31422 0103 y Registro Académico 200915694 de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, 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"

Ing. ~~Silvio José Rodríguez Serrano~~ Silvio José Rodríguez Serrano  
Asesor-Supervisor de EPS ASESOR - SUPERVISOR DE EPS  
Área de Ingeniería Civil Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS



c.c. Archivo  
SJRS/ra

Edificio de EPS, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, zona 12.  
Teléfono directo: 2442-3509

Universidad de San Carlos de  
Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Unidad de EPS

Guatemala, 10 de marzo de 2023  
REF.EPS.D.139.03.2023

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

Estimado Ingeniero Fuentes Roca:


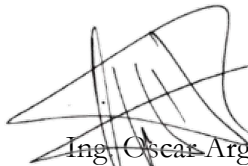
Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jonathan Demetrio Padilla Alvarez, CUI 2226 31422 0103 y Registro Académico 200915694**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Silvio José Rodríguez Serrano.

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

“Id y Enseñad a Todos”



Ing. Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS

OAH/ra

Guatemala, 14 marzo de 2023

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director Unidad de EPS  
Guatemala

Respetado Ingeniero:

Por este medio se informa, que se ha revisado el Informe final de EPS **“DISEÑO DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA”**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil, **Jonathan Demetrio Padilla Álvarez, Registro Académico: 2009156994**, quien contó con la asesoría del **Ing. Silvio José Rodríguez Serrano**.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca  
**Director de la Escuela Ingeniería Civil**





Guatemala, 13 de marzo 2023

Ingeniero  
Armando Fuentes Roca  
Director de la Escuela de Ingeniería Civil  
Escuela de Ingeniería Civil

Ingeniero Fuentes:

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 DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**”, del estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, **Jonathan Demetrio Padilla Álvarez, Registro Académico: 2009156994**, quien contó con la asesoría del **Ing. Silvio José Rodríguez Serrano**.

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

  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
U S A C  
Ing. Civil Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Jefe Del Departamento de Hidráulica

Cc: Estudiante xxxxxxxxxxxx  
Archivo

**Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco**  
**Coordinador del Departamento de Hidráulica**

Asesor  
Interesado







LNG.DIRECTOR.113.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 DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**, presentado por: **Jonathan Demetrio Padilla Álvarez**, 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, mayo de 2023



LNG.DECANATO.OI.431.2023

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 DE ESCUELA PRIMARIA DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA EL CERRITO Y DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA RABANALES, FRAIJANES, GUATEMALA**, presentado por: **Jonathan Demetrio Padilla Álvarez**, 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, mayo de 2023

AACE/gaoc

## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por haberme dado vida y bendecirme toda mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Elfego Padila y Rosa Álvarez, por su amor y apoyo incondicional, este triunfo también es suyo.
<b>Mi esposa</b>	Victoria Osorio, por brindarme su amor y apoyo incondicional.
<b>Mi hija</b>	Victoria Renata Padilla Osorio, por motivarme a concluir con esta meta y darme mucha felicidad.
<b>Mis hermanos</b>	Yeimi, Naiker y Elías Padilla Álvarez, por ser parte importante de mi vida y brindarme su apoyo y confianza.
<b>Mis tíos</b>	Por el cariño incondicional.
<b>Mi familia</b>	Por su amor, apoyo y comprensión.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi casa de estudios.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por formarme académica y profesionalmente.
<b>Mis catedráticos</b>	Por brindarme su total apoyo en la carrera.
<b>Asesor de tesis</b>	Por asesorarme durante la revisión del presente trabajo.
<b>Mis amigos</b>	Por su amistad, confianza y apoyo brindado.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN .....	1
1.1. Monografía del municipio de Fraijanes, Guatemala .....	1
1.1.1. Información general .....	1
1.1.1.1. Ubicación .....	2
1.1.1.2. Límites y colindancias.....	2
1.1.1.3. Topografía .....	4
1.1.1.4. Hidrografía .....	4
1.1.1.5. Clima .....	4
1.1.1.6. Población .....	5
1.1.2. Características de infraestructura .....	5
1.1.2.1. Vías de acceso .....	5
1.1.2.2. Servicio de agua .....	6
1.1.2.3. Servicio de drenajes .....	6
1.1.3. Características socioeconómicas .....	6
1.1.3.1. Actividad económica .....	7
1.1.3.2. Usos del suelo .....	7
1.1.3.3. Servicios públicos .....	7
1.1.3.4. Educación .....	7

1.2.	Descripción de las necesidades .....	8
1.3.	Priorización de las necesidades .....	8
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	9
2.1.	Diseño de escuela de educación primaria, aldea El Cerrito, Fraijanes, Guatemala .....	9
2.1.1.	Descripción del proyecto .....	9
2.1.2.	Espacio disponible .....	10
2.1.2.1.	Localización del terreno .....	10
2.1.2.2.	Topografía del terreno .....	10
2.1.3.	Estudio de suelos .....	11
2.1.4.	Diseño arquitectónico .....	11
2.1.4.1.	Requerimiento de áreas .....	11
2.1.4.2.	Distribución de espacios .....	12
2.1.4.3.	Alturas y cotas .....	12
2.1.5.	Diseño estructural .....	13
2.1.5.1.	Descripción del sistema a utilizar .....	13
2.1.5.2.	Predimensionamiento estructural .....	13
2.1.5.3.	Especificaciones materiales .....	14
2.1.5.4.	Cargas de diseño .....	15
2.1.6.	Análisis estructural .....	16
2.1.6.1.	Integración de cargas .....	16
2.1.6.2.	Peso total de módulos .....	16
2.1.6.3.	Corte basal .....	24
2.1.6.4.	Distribución de fuerzas sísmicas .....	27
2.1.6.5.	Fuerza sísmica por torsión .....	32
2.1.6.6.	Análisis de cargas aplicadas a los marcos por medio del método de Kani .....	59

2.1.6.7.	Diseño de elementos estructurales bajo condiciones críticas (módulo 2) .....	82
2.1.6.8.	Diseño de columna .....	84
2.1.6.9.	Diseño de viga .....	95
2.1.6.10.	Diseño de losa .....	101
2.1.6.11.	Diseño de módulo de gradas .....	107
2.1.6.12.	Diseño de cimientos .....	112
2.1.7.	Instalaciones eléctricas.....	115
2.1.8.	Instalaciones hidráulicas.....	115
2.1.9.	Planos constructivos.....	116
2.1.10.	Presupuesto del proyecto .....	116
2.1.11.	Evaluación de impacto ambiental .....	118
2.2.	Proyecto de red de alcantarillado sanitario, aldea Rabanales, Fraijanes, Guatemala .....	119
2.2.1.	Levantamiento topográfico .....	120
2.2.1.1.	Planimetría.....	121
2.2.1.2.	Altimetría.....	121
2.2.2.	Periodo de diseño.....	121
2.2.3.	Parámetros hidráulicos .....	121
2.2.3.1.	Velocidades de diseño recomendadas .....	122
2.2.3.2.	Pendientes.....	122
2.2.3.3.	Diámetros mínimos de tubería.....	123
2.2.3.4.	Profundidades mínimas de tubería ....	124
2.2.3.5.	Ancho de zanja .....	124
2.2.3.6.	Relación de diámetro y caudales.....	125
2.2.3.7.	Factor de retorno .....	126
2.2.3.8.	Fórmula de Manning .....	126
2.2.4.	Cálculo de población de diseño .....	127

2.2.5.	Dotación .....	127
2.2.6.	Determinación de caudales .....	127
2.2.6.1.	Caudal domiciliar (Q <sub>dom</sub> ).....	128
2.2.6.2.	Caudal comercial.....	128
2.2.6.3.	Caudal industrial.....	128
2.2.6.4.	Caudal de conexiones ilícitas .....	128
2.2.6.5.	Caudal de infiltración .....	129
2.2.6.6.	Caudal sanitario .....	129
2.2.7.	Caudal de diseño .....	130
2.2.8.	Factor de Harmond (F <sub>H</sub> ) .....	130
2.2.9.	Factor de caudal medio .....	130
2.2.10.	Cálculo del caudal de diseño.....	131
2.2.11.	Conexión domiciliar .....	131
2.2.12.	Pozos de visita .....	131
2.2.13.	Cotas Invert .....	133
2.2.14.	Disipador de energía .....	134
2.2.15.	Acometida domiciliar .....	135
2.2.16.	Caja o candela .....	135
2.2.17.	Tubería secundaria .....	135
2.2.18.	Localización de la descarga .....	136
2.3.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario .....	136
2.4.	Tratamiento .....	145
2.5.	Propuesta de operación y mantenimiento .....	145
2.5.1.	Conexión domiciliar .....	145
2.5.2.	Colector central .....	147
2.5.3.	Pozos de visita .....	148
2.6.	Evaluación de impacto ambiental.....	148
2.7.	Planos y detalles .....	150
2.8.	Presupuesto .....	150



2.9. Cronograma.....	151
CONCLUSIONES .....	153
RECOMENDACIONES.....	155
BIBLIOGRAFÍA.....	157
APÉNDICE.....	159



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de ubicación del municipio de Fraijanes, departamento de Guatemala .....	3
2.	Distribución de fuerzas sísmicas, módulo 1 .....	28
3.	Distribución de fuerzas sísmicas, módulo 2 .....	30
4.	Distribución de fuerzas sísmicas, módulo 3 .....	31
5.	Planta de módulo 1.....	33
6.	Planta de módulo 2.....	44
7.	Planta de módulo 3.....	53
8.	Valores de CV y CM por nivel, ubicación de nudos, módulo 1 .....	64
9.	Distribución de momentos, módulo 1 .....	67
10.	Diagrama de cargas axiales, módulo 1 .....	68
11.	Diagrama de cortantes, módulo 1.....	68
12.	Diagrama de momentos, módulo 1.....	69
13.	Valores de CV y CM por nivel, ubicación de nudos, módulo 2 .....	70
14.	Distribución de momentos, módulo 2 .....	74
15.	Diagrama de cargas axiales, módulo 2 .....	75
16.	Diagrama de cortantes, módulo 2.....	75
17.	Diagrama de momentos, módulo 2.....	76
18.	Valores de CV, CM por nivel y ubicación de nudos, módulo 3 .....	77
19.	Distribución de momentos, módulo 3 .....	80
20.	Diagrama de cargas axiales, módulo 3 .....	81
21.	Diagrama de cortantes, módulo 3.....	81
22.	Diagrama de momentos, módulo 3.....	82

23.	Dimensiones de marco crítico .....	83
24.	Cargas aplicadas a marco crítico .....	83
25.	Ubicación de columna crítica .....	85
26.	Dimensiones de columna .....	86
27.	Factores de mayorreo .....	92
28.	Diagrama de interacciones.....	93
29.	Diseño final de columna .....	95
30.	Ubicación de viga crítica .....	96
31.	Diseño final de viga.....	101
32.	Detalle de armado de losa .....	106
33.	Detalle de armado de gradas .....	111
34.	Detalle de estado de presiones de cimiento.....	113
35.	Detalle de armado de cimiento.....	115

## TABLAS

I.	División política del municipio de Fraijanes.....	1
II.	Capacidad óptima de alumnos por aula.....	12
III.	Recubrimientos para los elementos estructurales.....	15
IV.	Resumen de resultados de peso total por módulo .....	24
V.	Resumen de resultados de corte basal por módulo .....	27
VI.	Resultados de centro de masa por nivel, módulo 1 .....	36
VII.	Resultados de centro de rigidez por nivel, módulo 1.....	38
VIII.	Resultados de corte por torsión en primer nivel, módulo 1 .....	39
IX.	Resultados de corte por torsión en segundo nivel, módulo 1.....	41
X.	Resultados de carga sísmica por nivel y marco, módulo 1 .....	42
XI.	Resultados de corte por torsión en primer nivel, módulo 2 .....	49
XII.	Resultados de corte por torsión en segundo nivel, módulo 2.....	50
XIII.	Resultados de carga sísmica por nivel y marco, módulo 2 .....	51

XIV.	Resultados de corte por torsión en primer nivel, módulo 3.....	57
XV.	Resultados de corte por torsión en segundo nivel, módulo 3 .....	58
XVI.	Resultados de carga sísmica por nivel y marco, módulo 3.....	59
XVII.	Resultados de factores de contribución angular, módulo 1 .....	65
XVIII.	Resultados de primera iteración, módulo 1 .....	66
XIX.	Resultados de factores de contribución angular, módulo 2 .....	71
XX.	Resultados de primera iteración, módulo 2 .....	73
XXI.	Resultados de factores de contribución angular, módulo 3.....	78
XXII.	Resultados de primera iteración, módulo 3 .....	79
XXIII.	Opciones para acero de refuerzo de columna.....	87
XXIV.	Resultados de falla balanceada .....	89
XXV.	Resultados de falla a compresión.....	90
XXVI.	Resultados de falla a tensión .....	91
XXVII.	Resumen de cargas y momentos actuantes y reducidos .....	93
XXVIII.	Presupuesto de la escuela primaria en aldea El Cerrito.....	117
XXIX.	Impactos ambientales y medidas de mitigación en la.....	118
XXX.	Velocidades mínimas y máximas según tipo de tubería.....	122
XXXI.	Profundidad mínima de tubería PVC .....	124
XXXII.	Profundidad mínima de tubería de concreto.....	124
XXXIII.	Ancho de zanja.....	125
XXXIV.	Parámetros de diseño .....	136
XXXV.	Resumen de información de topografía y población,.....	137
XXXVI.	Resultados de población actual y futura.....	141
XXXVII.	Resultados de cálculo de caudales (L/s).....	142
XXXVIII.	Resultados de factor de flujo (Harmond) y factor de caudal medio ...	142
XXXIX.	Resultados de caudal máximo .....	143
XL.	Resultados de caudal y velocidad a sección llena .....	143
XLI.	Relaciones hidráulicas actuales y futuras.....	144
XLII.	Diámetros y pendientes por tramo del sistema de alcantarillado .....	144

XLIII.	Mantenimiento de conexión domiciliar .....	146
XLIV.	Mantenimiento del colector central.....	147
XLV.	Mantenimiento de pozos de visita .....	148
XLVI.	Impactos ambientales y medidas de mitigación en la construcción del sistema de alcantarillado.....	149
XLVII.	Presupuesto del sistema de alcantarillado en aldea Rabanales .....	150
XLVIII.	Cronograma de construcción del sistema de alcantarillado .....	151

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A</b>	Área
<b>CU</b>	Carga última
<b>CV</b>	Carga viva
<b>d</b>	Día
<b>hab</b>	Habitante
<b>h</b>	Hora
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>mca</b>	Metro por columna de agua
<b>mg/L</b>	Miligramos por litro
<b>M</b>	Momento
<b>Q</b>	Moneda de Guatemala (llamada quetzal).
<b>%</b>	Porcentaje
<b>”, pul</b>	Pulgadas
<b>Σ</b>	Sumatoria
<b>T</b>	Tiempo
<b>U</b>	Unidad
<b>V</b>	Volumen





## GLOSARIO

<b>Acero mínimo</b>	Cantidad de acero determinado por la sección y límite de fluencia del acero, necesario para evitar grietas por los cambios debidos a la temperatura.
<b>Carga</b>	Presión que ejerce una columna de líquido por unidad de área: se puede expresar en unidades de longitud.
<b>Caudal</b>	Se denomina caudal en hidrografía, hidrología y, en general, en geografía física, al volumen de agua que circula por el cauce de un río en un lugar y tiempo determinados. Se refiere fundamentalmente al volumen hidráulico de la escorrentía de una cuenca hidrográfica concentrada en el río principal de la misma.
<b>Cocode</b>	Consejo Comunitario de Desarrollo.
<b>Conexión domiciliar</b>	Tubería que conduce las aguas residuales desde el interior de la vivienda hasta el frente de esta, donde se encuentra la candela.
<b>Cota Invert</b>	Cota o altura de la parte inferior del tubo ya instalado.

<b>Corte basal</b>	Fuerza aplicada en la base de un edificio como producto de la acción de un sismo.
<b>Estación</b>	Cada uno de los puntos del polígono en que se coloca el instrumento topográfico, en cualquier operación de levantamiento planimétrico o de nivelación.
<b>Estribo</b>	Elemento de un miembro estructural que resiste el esfuerzo cortante.
<b>Factor de Harmond</b>	Factor de seguridad para las horas pico, está en relación con la población.
<b>Factor de rugosidad</b>	Factor que expresa qué tan lisa es una superficie.
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.
<b>INFOM</b>	Instituto de Fomento Municipal.
<b>Longitud de confinamiento</b>	Zona en un elemento estructural en donde se prevé confinamiento y que se produzcan los mayores esfuerzos de fluencia, por lo tanto debe ser una zona más dúctil.
<b>Longitud de desarrollo</b>	Es la mínima longitud de una varilla anclada al concreto, para evitar que falle por adherencia.

<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
<b>MARN</b>	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.
<b>Periodo de diseño</b>	Periodo de tiempo al cual el sistema prestará un servicio eficiente.
<b>Rigidez</b>	Resistencia de un elemento estructural a la deformación.
<b>Tirante</b>	Profundidad de flujo (agua).



## RESUMEN

El agua es un recurso natural limitado y un bien público fundamental para la vida y la salud, y es de vital importancia para el desarrollo de Guatemala. El uso de sistemas de bombeo debe optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico, para esto la participación de la ingeniería civil en los proyectos de hidráulica es sumamente importante.

El presente trabajo de graduación contiene el plan de trabajo de dos propuestas de proyectos ubicados en el territorio de Fraijanes, Guatemala, siendo el diseño de red de alcantarillado sanitario para la aldea Rabanales, y el diseño de una escuela de educación primaria para la aldea El Cerrito, como un aporte del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el diseño de ambos proyectos se consideraron aspectos técnicos tales como topografía, estudios de suelo, estadísticas poblacionales, ubicación y posibles limitantes. Se localizan, describen y delimitan las características del municipio de Fraijanes, y se plantea una propuesta de planificación y métodos de trabajo para cada proyecto.

El diseño del sistema de drenaje sanitario, que consta de red de drenaje sanitario, tuberías secundarias, conexiones domiciliarias y conexión hacia el colector principal, que conducirá a la planta de tratamiento, con una longitud total de 1 327 metros lineales, es un proyecto que busca satisfacer las necesidades básicas de los pobladores en lo que se refiere a saneamiento urbano.

En la aldea El Cerrito se cuenta con un terreno de 710 metros cuadrados en el que se propone un diseño de una escuela de educación primaria, la cual constaría de 10 aulas, 2 niveles, servicios sanitarios, aérea de recreación y oficinas para las secciones administrativas del establecimiento.

Para la realización de estos proyectos se tomarán como base las normas ACI, AGIES, AASHTO, Coguanor, entre otras.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar el diseño de la red de alcantarillado sanitario para la aldea Rabanales y el diseño de la escuela de educación primaria para la aldea El Cerrito, pertenecientes al municipio de Fraijanes del departamento de Guatemala.

### **Específicos**

1. Realizar una investigación monográfica de los lugares donde se llevarán a cabo los proyectos.
2. Proporcionar a la municipalidad el informe del diseño de red de alcantarillado sanitario para la aldea Rabanales y el del diseño de la escuela primaria para la aldea El Cerrito, Fraijanes, Guatemala.
3. Proporcionar a la municipalidad el juego de planos, presupuesto y cronograma del diseño de red de alcantarillado sanitario para la aldea Rabanales y del diseño de la escuela primaria para la aldea El Cerrito, Fraijanes, Guatemala.
4. Mejorar la condición de vida y salud de las personas de la aldea Rabanales con la implementación de la red de alcantarillado sanitario.

5. Beneficiar a los habitantes de la aldea El Cerrito con una escuela de educación primaria.
6. Proponer actividades de operación y mantenimiento para el proyecto de la red de alcantarillado.



## INTRODUCCIÓN

El municipio de Fraijanes, del departamento de Guatemala, está acelerando su desarrollo urbano desde años atrás y actualmente la población exige cada vez más mejoras a sus aldeas y caseríos, como parte de sus necesidades de salud, superación y, por ende, de una mejor vida. Por eso, debido a su extensión territorial y largos tramos entre fincas, existe mucha carencia de redes de drenaje sanitario en las comunidades y es por ello que el presente trabajo propone el diseño de un sistema de drenaje sanitario con el que se pretende formular una solución a la necesidad actual de la aldea Rabanales por la falta del servicio y que este permita evacuar las aguas residuales una manera adecuada para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comunidad.

Por otro lado, los habitantes de la aldea El Cerrito no cuentan con un espacio adecuado que les brinde acceso a educación primaria de una manera digna, que cubra las necesidades básicas estipuladas por el Ministerio de Educación del país. Debido a esto se propone el diseño de una escuela de educación primaria para dicha aldea, que se adecúe a las necesidades de la población y que cumpla con los requerimientos establecidos por normativas de diseño estructural, para garantizar la seguridad e integridad de las personas que darán uso de esta.



# 1. FASE DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Monografía del municipio de Fraijanes, Guatemala

A continuación se presenta información sobre aspectos generales, características de infraestructura y socioeconómicas del municipio de Fraijanes, departamento de Guatemala.

### 1.1.1. Información general

El municipio de Fraijanes se establece por Acuerdo Gubernativo del 23 de abril de 1925, la municipalidad es de segunda categoría, la división política del municipio se conforma por aldeas, caseríos y barrios, como se indica en la siguiente tabla:

Tabla I. **División política del municipio de Fraijanes**

Aldeas	Puerta del Señor
	El Cerrito
	Los Verdes
	Rabanales
	Lo de Diéguez
	Don Justo
	El Retiro

Continuación de la tabla I.

Caseríos	El Chocolate
	Canchón
	Pavón
	San Andrés Buena Vista
	Joya Verde
	Las Crucitas
	Montebello
	Los Cipreses
	Pueblo Viejo
Barrios	El Petencito
	Belice
	La Cuadra
	Pueblo Ralo

Fuente: elaboración propia.

#### **1.1.1.1. Ubicación**

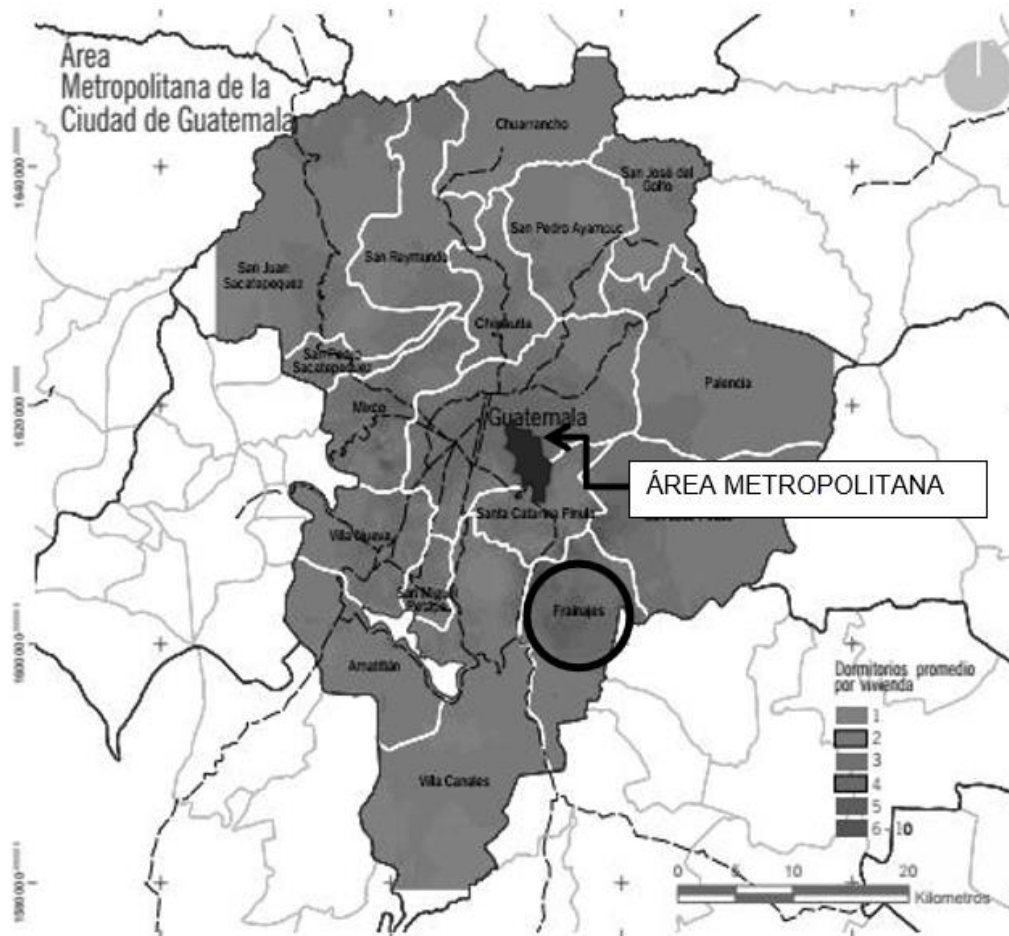
El municipio de Fraijanes se localiza en la parte sur del departamento de Guatemala, en la región I o región metropolitana, a una distancia de 23 km de la cabecera del departamento. Se ubica en latitud 14° 27' 25" y longitud 90° 26' 25", a una altura sobre el nivel del mar de 1 630 metros, cuenta con una extensión territorial de 96 kilómetros cuadrados.

#### **1.1.1.2. Límites y colindancias**

Sus colindancias son al norte con el municipio de Santa Catarina Pinula (Guatemala); al sur con los municipios de Barberena y San Cruz Naranjo (Santa

Rosa) y San José Pinula (Guatemala); al este con los municipios de Villa Canales y Santa Catarina Pinula (Guatemala).

Figura 1. **Mapa de ubicación del municipio de Fraijanes, departamento de Guatemala**



Fuente: elaboración propia.

### **1.1.1.3. Topografía**

La topografía del municipio de Fraijanes varía, la mayor parte de su territorio es quebrado (montañas Canchón y el Cerrito; los cerros El Cubilete, El Chocolate, Dolores y Los Guajes) y el resto es plana.

### **1.1.1.4. Hidrografía**

El municipio de Fraijanes se encuentra en el parteaguas de las cuencas de los ríos Los Esclavos y María Linda, y cuenta con los siguientes ríos: Aguacapa, Fraijanes, Las Cañas, Aguacapilla, El Chocolate, El Retiro, Lo de Diéguez, Los Encuentros, Los Verdes, Rustrián y Santa Isabel, considerándose los tres primeros como los más importantes.

También se pueden mencionar dos riachuelos: Del Cerrito y El Maguey, así como las quebradas de: El Ariete, El Botadero, El Cangrejal, El Chichicaste, El Faro, El Naranja, Honda, La Cuchilla, La Oscurana, la Perla y Las Lajas.

### **1.1.1.5. Clima**

En el municipio se marca un clima frío y templado, el viento sopla de norte a sur en la mayor parte de la región y el invierno abarca aproximadamente 126 días al año, con una precipitación pluvial de 1 237 54 mm, la temperatura máxima absoluta es de 20 °C, la mínima absoluta es de 8 °C, la insolación es de 196 horas, con presión atmosférica de 639, 4 mm hg.

#### **1.1.1.6. Población**

La información del censo del 2002 según el Instituto Nacional de Estadística INE, establece que la población era de 32 889 habitantes, con porcentajes similares entre hombres y mujeres, en donde el 36,6% habita en el área rural, y el 63,4 % en el área urbana<sup>1</sup>.

La población en el municipio es relativamente joven, las edades comprendidas entre los 0 y 19 años concentran el 43,4 %, las edades comprendidas entre los 20 a 49 años concentran el 42,8 %, el resto (13,8 %) son adultos.

#### **1.1.2. Características de infraestructura**

A continuación se describen aspectos de infraestructura del municipio de Fraijanes, así como los principales servicios municipales.

##### **1.1.2.1. Vías de acceso**

La principal vía de acceso para llegar al municipio de Fraijanes la constituye la carretera CA-1, proveniente de la ciudad capital. Para llegar a la cabecera municipal de Fraijanes se toma el entronque de la RN 02 ubicado en el kilómetro 18 de la ruta CA-01-OR, o bien la ruta departamental RD GUA-13 con dirección hacia el camino de terracería denominado CPR-GUA 22.

La cabecera municipal se ubica a 24 km de la capital, de los cuales 18 son en la ruta Centroamericana CA-1 y los restantes 6,00 kilómetros en la ruta Nacional 2.

---

<sup>1</sup> Municipalidad de Fraijanes. *Plan de desarrollo municipal 2010*. págs. 12-13

### **1.1.2.2. Servicio de agua**

El abastecimiento de agua del total de viviendas formales se distribuye así: 82.9 % tienen el servicio y 17.1 % no lo tienen.

### **1.1.2.3. Servicio de drenajes**

En relación al sistema de disposición de excretas y aguas servidas, del total de viviendas el 97 % poseen servicio sanitario y el 3 % carecen de él.

### **1.1.3. Características socioeconómicas**

A continuación se describen aspectos socioeconómicos del municipio de Fraijanes, en el *Plan de desarrollo municipal 2010* se indica que:

La proporción de la población que vive en pobreza extrema es mínima (1.72 %); la pobreza general es del 21.0 %, lo que significa que de acuerdo a los compromisos de Estado contenidos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) ya se alcanzó la meta municipal que es de 3.4 % relacionado con la pobreza extrema<sup>2</sup>.

En el municipio las siguientes instituciones tienen representación: Instituto Guatemalteco de Seguridad Social, Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Ministerio de Educación, Policía Nacional Civil, entre otras. En el municipio existen Consejos Comunitarios de Desarrollo (Cocodes), además funciona un Comunde, desde donde se discuten y toman decisiones sobre el futuro del lugar.

---

<sup>2</sup> Municipalidad de Fraijanes. *Plan de desarrollo municipal 2010*. p. 54



### **1.1.3.1. Actividad económica**

En el municipio de Fraijanes, la agricultura, comercio e industria son las actividades económicas principales, la economía se basa en la producción agrícola de maíz, frijol y café en gran escala, la producción pecuaria es la crianza de cerdos y la avicultura, y en artesanía elaboran candelas y tejas de barro. El mercado laboral se da principalmente en la ciudad capital, ya que muchos pobladores se trasladan ahí para trabajar.

### **1.1.3.2. Usos del suelo**

Los usos de suelo son mixtos, ya que el municipio de Fraijanes presenta áreas de industrias, comercio, vivienda y cultivo.

### **1.1.3.3. Servicios públicos**

La mayoría de la población cuenta con los servicios de energía eléctrica (65 %) y calles en buen estado en un 75 %. El municipio cuenta con mercado municipal, puesto de salud en cada aldea, clínica del IGGS, hospital nacional, PNC, correo, servicios telefónicos, cementerio general y cementerio en cada aldea.

### **1.1.3.4. Educación**

De acuerdo con el Ministerio de Educación, el municipio de Fraijanes posee una tasa neta de escolaridad para el nivel primario de 94 1 %, para el nivel secundario 36 3 % y a nivel diversificado únicamente el 15 3 %. En la cabecera municipal se encuentran diferentes escuelas abiertas municipales,

donde se imparte cursos extracurriculares que comprenden música, lectura y pintura. También hay escuela de párvulos y primaria en cada aldea.

## **1.2. Descripción de las necesidades**

De acuerdo con la investigación realizada, las principales necesidades del municipio de Fraijanes se relacionan con la falta de instalaciones adecuadas para la educación de los jóvenes y niños, problemas con el manejo y disposición de aguas residuales, pavimentación de calles, entre otras.

## **1.3. Priorización de las necesidades**

Luego de la evaluación de las alternativas, conjuntamente con la municipalidad de Fraijanes y los comités de las aldeas, se decidió realizar los proyectos: *Diseño de escuela de educación primaria, aldea El Cerrito* y *Diseño de red de alcantarillado sanitario, aldea Rabanales*, los cuales contribuirán a mejorar las condiciones actuales en las dos aldeas.

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

### **2.1. Diseño de escuela de educación primaria, aldea El Cerrito, Fraijanes, Guatemala**

A continuación se presentan los criterios, cálculos y presupuesto necesarios para el diseño del edificio de la escuela de educación primaria, aldea El Cerrito, Fraijanes, Guatemala.

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

El proyecto se ubica en el municipio de Fraijanes, departamento de Guatemala, se basa en el diagnóstico municipal proporcionado por la Oficina Municipal de Planificación, donde se identifica la necesidad de la construcción de un edificio de dos niveles para su uso como establecimiento educativo del nivel primario.

Como sistema estructural se eligen marcos dúctiles unidos con nudos rígidos de concreto reforzado y losas planas de concreto reforzado. El modelo matemático de un marco rígido es una gráfica que representa tanto la forma como las cargas que soporta el marco, y sirve para hacer el análisis estructural del mismo.

## **2.1.2. Espacio disponible**

En la aldea El Cerrito se cuenta con un terreno de 710 metros cuadrados en el que se propone un diseño de una escuela de educación primaria, la cual constaría de 10 aulas, 2 niveles, servicios sanitarios, aérea de recreación y oficinas para las secciones administrativas del establecimiento.

### **2.1.2.1. Localización del terreno**

El terreno se ubica en el casco urbano de la aldea El Cerrito, con un área de 710 m<sup>2</sup>, en el sector se cuenta con los siguientes servicios:

- Abastecimiento de agua potable municipal.
- Conexión de drenajes pluviales y de aguas servidas a las redes municipales.
- Servicio de suministro de energía eléctrica.
- Servicio de telefonía.

### **2.1.2.2. Topografía del terreno**

Para los trabajos de topografía del proyecto, se realizó un levantamiento topográfico de primer orden con estación total. El levantamiento topográfico lo constituye la altimetría y la planimetría, las que son fundamentales para el diseño de cualquier proyecto.

### **2.1.3. Estudio de suelos**

El terreno donde se proyecta construir la escuela es plano, con el objetivo de conocer sus características se realizó un estudio de suelos a muestra inalterada de 1 pie<sup>3</sup> tomada en pozo a una profundidad de 2 5 m.

La muestra fue trasladada a laboratorio, donde se le realizó el ensayo de compresión triaxial, mediante la prueba de no consolidado y no drenado, el cual dio los parámetros de corte, ángulo de fricción interna y cohesión. El método utilizado para el cálculo del valor soporte ( $V_s = 41\ 663\ 10\ \text{kg/m}^2$ ) del suelo es el de Karl Terzaghi, que ha demostrado ser aproximado para todos los casos en el campo de su aplicación práctica.

### **2.1.4. Diseño arquitectónico**

El diseño y la distribución de los ambientes propuestos para establecimientos educativos se planificaron de manera funcional, además se ajustan a las necesidades existentes y al espacio disponible.

#### **2.1.4.1. Requerimiento de áreas**

Teniendo en cuenta el área del terreno y las necesidades de espacio por aula, se hace necesaria la construcción de un edificio de dos niveles. El área óptima por alumno es de 1,50 m<sup>2</sup>, pero si el espacio no lo permite se acepta un mínimo de 1,30 m<sup>2</sup>. La capacidad óptima de un salón de clases es de 30 alumnos, pero se permite un máximo de 40.

Tabla II. **Capacidad óptima de alumnos por aula**

<b>Nivel</b>	<b>Capacidad óptima (alumnos)</b>	<b>Capacidad máxima (alumnos)</b>
Preprimario	25	30
Primario	30	40

Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.4.2. Distribución de espacios**

La forma de los ambientes y su distribución dentro del edificio se hace de modo tradicional en edificios educativos. De acuerdo con el diseño de la escuela de educación primaria, que consta 10 aulas, 2 niveles, servicios sanitarios, aérea de recreación y oficinas administrativas, la distribución de ambientes para el edificio de dos niveles es la siguiente:

- Primer nivel: 4 aulas y corredor
- Segundo nivel: 4 aulas y corredor
- Módulo de gradas
- Tabiques de mampostería

#### **2.1.4.3. Alturas y cotas**

De acuerdo con las condiciones en la aldea El Cerrito y el tipo de edificio, se decide que todos los ambientes se diseñen para una altura de 3 00 metros

de piso a cielo, en todos los ambientes, para contar con las condiciones adecuadas de confort y circulación.

### **2.1.5. Diseño estructural**

Es el procedimiento mediante el cual se definen los elementos que integran a las estructuras en lo referente a materiales, dimensiones, uniones, detalles en general y su ubicación relativa en los edificios.

#### **2.1.5.1. Descripción del sistema a utilizar**

El análisis de marcos dúctiles unidos con nudos rígidos se hará por el método de Kani, que se basa en las características generales de la elástica con el fin de aprovechar al máximo los sistemas y elementos constructivos. Un marco dúctil se define como un sistema estructural que consta de vigas y columnas.

#### **2.1.5.2. Predimensionamiento estructural**

Predimensionar la estructura es dar medidas preliminares a los elementos que la constituyen, los cuales serán utilizados para soportar las cargas aplicadas. Para esto se puede recurrir a la experiencia en obras similares o utilizar métodos analíticos.

- Losas: se utilizó el método 3 del código ACI 318-05, en el que se usa como variable las dimensiones de la superficie de la losa y el tipo de apoyos que tiene. En este caso, todas las losas están apoyadas en los cuatro lados, se toma la losa crítica y el peralte resultante se usa en todas.

- Vigas principales: el código ACI 318-05, sección 21,3.1,3, indica que la dimensión mínima para elementos controlados por flexión no debe ser menor que  $0.3h$ .
- Columnas: el método que se utiliza para predimensionar las columnas determina la sección y se basa en la carga aplicada a esta. En este caso en particular, se desea guardar simetría en las dimensiones de la columna, se toma la columna crítica (la que soporta mayor carga) y las dimensiones resultantes se aplican a todas las demás.

### **2.1.5.3. Especificaciones materiales**

Los materiales principales usados en el sistema estructural de marcos dúctiles unidos con nudos rígidos de concreto reforzado y losas planas, son concreto y acero de refuerzo, con las siguientes propiedades físicas y mecánicas:

- Acero  $f_y = 2810 \text{ kg/cm}^2$
- Concreto  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$
- $E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \text{ kg/m}^2$

En el código ACI 318-05, sección 7,7.1, se indica que los recubrimientos para los elementos estructurales de concreto construido en sitio (no preesforzado), deben proporcionarse de acuerdo con los siguientes criterios:



Tabla III. **Recubrimientos para los elementos estructurales**

<b>Tipo de concreto</b>	<b>Recubrimiento mínimo (mm)</b>
a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
b) Concreto expuesto a suelo o a la intemperie: Barras nro. 19 a No. 57 Barras nro. 16, alambre MW200 o MD200 (16 mm de diámetro) y menores	50 40
c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo: Losas, muros, viguetas: Barras nro. 43 y No. 57 Barras nro. 36 y menores Vigas, columnas: armadura principal, estribos y espirales	40 20 40

Fuente: American Concrete Institute. *ACI 318-05: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-05) y Comentario (ACI 318SR-05)*. p. 94.

#### **2.1.5.4. Cargas de diseño**

Las estructuras están sometidas a cargas de diferente índole, para clasificarlas existen varios métodos. De acuerdo con las características y condiciones de servicio del edificio, en el diseño se consideraron las siguientes cargas aplicadas a los marcos dúctiles:

- **Cargas muertas:** son aquellas que se mantienen constantes en magnitud y fijas en posición durante la vida de la estructura, se calculan a partir de la configuración de diseño, de las dimensiones de la estructura y de la densidad del material.

- Cargas vivas consisten principalmente en cargas de ocupación en edificios, estas pueden estar total o parcialmente en su sitio o no estar presentes, y pueden cambiar su ubicación. Su magnitud y distribución son inciertas en un momento dado.
- Las cargas por sismo, su magnitud y distribución son inciertas en un momento dado, y deben calcularse.

### **2.1.6. Análisis estructural**

El análisis estructural determina mediante varios métodos las fuerzas y deformaciones internas que se producen en una estructura, debido a la aplicación de distintas cargas externas, como cargas por sismo, cargas vivas y cargas producidas por el propio peso de los elementos estructurales.

Para el análisis se utilizará el método de Kani, este se aplica en marcos simétricos y asimétricos sometidos a cargas horizontales.

#### **2.1.6.1. Integración de cargas**

A continuación se presenta la integración de cargas para los diferentes módulos de la estructura de acuerdo a la dirección de su aplicación.

#### **2.1.6.2. Peso total de módulos**

De acuerdo con los cálculos realizados, se determina el peso total de cada módulo.

- Módulo 1
  - Carga muerta primer nivel ( $W_{M1}$ )

Losa

Espesor = 0,15 m

L1 = 5 m

L2 = 16,52 m

Pe = 2400 kg/m<sup>3</sup>

$W = 0,15 \text{ m} * 5 \text{ m} * 16,52 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 = 29\ 746 \text{ kg}$

Viga

b = 0,30 m

h = 0,50 m

L = 48,04 m

Pe = 2400 kg/m<sup>3</sup>

$W = 0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 48,04 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 = 17\ 294 \text{ kg}$

Columnas

Cantidad 1 (0,30 x 0,30 m) = 6

Cantidad 2 (0,40 x 0,40 m) = 7

Área 1 = 0,09 m<sup>2</sup>

Área 2 = 0,16 m<sup>2</sup>

Altura = 3,95 m

Pe = 2400 kg/m<sup>3</sup>

$W = (6 * 0,09 \text{ m}^2 + 7 * 0,16 \text{ m}^2) * 3,95 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 = 15\ 736 \text{ kg}$

Muros

$$L = 48,04 \text{ m}$$

$$h = 3,95 \text{ m}$$

$$W_{\text{muro}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 48,04 \text{ m} * 3,95 \text{ m} * 150 \text{ kg/m}^2 = 28\,463 \text{ kg}$$

Sobrecarga

$$W_{\text{piso}} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{instalaciones}} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$L1 = 5 \text{ m}$$

$$L2 = 16,52 \text{ m}$$

$$W = 5 \text{ m} * 16,52 \text{ m} * (10 \text{ kg/m}^2 + 15 \text{ kg/m}^2) = 2\,065 \text{ kg}$$

Peso total de nivel 1

$$29\,746 \text{ kg} + 17\,294 \text{ kg} + 15\,736 \text{ kg} + 28\,463 \text{ kg} + 2\,065 \text{ kg} = 93\,294 \text{ kg}$$

Peso total de nivel 2 (nivel 2 = nivel 1)

$$93\,294 \text{ kg}$$

○ Carga viva de primer nivel

$$L1 = 5 \text{ m}$$

$$L2 = 16,52 \text{ m}$$

$$W_{\text{viva}} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 5 \text{ m} * 16,52 \text{ m} * 500 \text{ kg/m}^2 = 41\,300 \text{ kg}$$

- Carga viva de segundo nivel

$$L1 = 5 \text{ m}$$

$$L2 = 16,52 \text{ m}$$

$$W_{\text{techo}} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 5 \text{ m} * 16,52 \text{ m} * 120 \text{ kg/m}^2 = 9\,912 \text{ kg}$$

Peso total de módulo 1

$$P_{\text{total}} = 100 \% \text{ CM} + 25 \% \text{ CV}$$

$$P_{\text{total}} = 100 \% (93\,294 \text{ kg} + 93\,294 \text{ kg}) + 25 \% (41\,300 \text{ kg} + 9\,912 \text{ kg})$$

$$P_{\text{total}} = 199\,391 \text{ kg}$$

- Módulo 2

- Carga muerta de primer nivel

Losa

$$\text{Espesor} = 0,15 \text{ m}$$

$$L1 = 6,5 \text{ m}$$

$$L2 = 15,55 \text{ m}$$

$$P_e = 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 0,15 \text{ m} * 6,5 \text{ m} * 17,55 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3 = 41\,067 \text{ kg}$$

Viga

$$b = 0,30 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

$$L = 61,1 \text{ m}$$

$$P_e = 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 61,1 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3 = 21\,996 \text{ kg}$$

### Columnas

$$\text{Cantidad 1 ((0 30 x 0,30 m) = 8}$$

$$\text{Cantidad 2 (0 40 x 0 40 m) = 8}$$

$$\text{Área 1 = 0,09 m}^2$$

$$\text{Área 2 = 0,16 m}^2$$

$$\text{Altura = 3,95 m}$$

$$\text{Pe = 2 400 kg/m}^3$$

$$W = (8 * 0,09 \text{ m}^2 + 8 * 0,16 \text{ m}^2) * 3,95 \text{ m} * 2 400 \text{ kg/m}^3 = 18 960 \text{ kg}$$

### Muros

$$L = 61,1 \text{ m}$$

$$h = 3,95 \text{ m}$$

$$W_{\text{muro}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 61,1 \text{ m} * 3,95 \text{ m} * 150 \text{ kg/m}^2 = 36 201 \text{ kg}$$

### Sobrecarga

$$W_{\text{piso}} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{instalaciones}} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$L1 = 6,5 \text{ m}$$

$$L2 = 17,55 \text{ m}$$

$$W = 6,5 \text{ m} * 17,55 \text{ m} * (10 \text{ kg/m}^2 + 15 \text{ kg/m}^2) = 2 851 \text{ kg}$$

### Peso total de nivel 1

$$41 067 \text{ kg} + 21 996 \text{ kg} + 18 960 \text{ kg} + 36 201 \text{ kg} + 2 851 \text{ kg} = 121 075 \text{ kg}$$

### Peso total de nivel 2 (nivel 2 = nivel 1)

$$121 075 \text{ kg}$$

- Carga viva de primer nivel

$$L1 = 6,5 \text{ m}$$

$$L2 = 17,55 \text{ m}$$

$$W_{\text{viva}} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 6,5 \text{ m} * 17,55 \text{ m} * 500 \text{ kg/m}^2 = 57\,037 \text{ kg}$$

- Carga viva de segundo nivel

$$L1 = 6,5 \text{ m}$$

$$L2 = 17,55 \text{ m}$$

$$W_{\text{techo}} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 6,5 \text{ m} * 17,55 \text{ m} * 120 \text{ kg/m}^2 = 13\,689 \text{ kg}$$

Peso total de módulo 2

$$P_{\text{total}} = 100 \% \text{ CM} + 25\% \text{ CV}$$

$$P_{\text{total}} = 100 \% (121\,075\text{kg} + 121\,075\text{kg}) + 25 \% (57\,037\text{kg} + 13\,689 \text{ kg})$$

$$P_{\text{total}} = 259\,831 \text{ kg}$$

- Módulo 3

- Carga muerta de primer nivel

Losa

$$\text{Espesor} = 0,15 \text{ m}$$

$$L1 = 6,5 \text{ m}$$

$$L2 = 14,4 \text{ m}$$

$$P_e = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 0,15 \text{ m} * 6,5 \text{ m} * 14,4 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3 = 33\,696 \text{ kg}$$

### Viga

$$b = 0,30 \text{ m}$$

$$h = 0,50 \text{ m}$$

$$L = 54,8 \text{ m}$$

$$Pe = 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$W = 0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 54,8 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3 = 19\,728 \text{ kg}$$

### Columnas

$$\text{Cantidad 1 (0,30 x 0,30 m)} = 10$$

$$\text{Cantidad 2 (0,40 x 0,40 m)} = 4$$

$$\text{Área 1} = 0,09 \text{ m}^2$$

$$\text{Área 2} = 0,16 \text{ m}^2$$

$$\text{Altura} = 3,95 \text{ m}$$

$$Pe = 2400 \text{ kg/m}^3$$

$$W = (10 * 0,09 \text{ m}^2 + 4 * 0,16 \text{ m}^2) * 3,95 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3 = 14\,599 \text{ kg}$$

### Muros

$$L = 54,8 \text{ m}$$

$$h = 3,95 \text{ m}$$

$$W_{\text{muro}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 54,8 \text{ m} * 3,95 \text{ m} * 150 \text{ kg/m}^2 = 32\,469 \text{ kg}$$

### Sobrecarga

$$W_{\text{piso}} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{instalaciones}} = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$L1 = 6,5 \text{ m}$$

$$L2 = 14,4 \text{ m}$$

$$W = 6,5 \text{ m} * 14,4 \text{ m} * (10 \text{ kg/m}^2 + 15 \text{ kg/m}^2) = 2\,340 \text{ kg}$$



Peso total de nivel 1

$$33\,696\text{ kg} + 19\,728\text{ kg} + 14\,599\text{ kg} + 32\,469\text{ kg} + 2\,340\text{ kg} = 102\,832\text{ kg}$$

Peso total de nivel 2 (nivel 2 = nivel 1)

$$102\,832\text{ kg}$$

- Carga viva de primer nivel

$$L1 = 6,5\text{ m}$$

$$L2 = 14,4\text{ m}$$

$$W_{\text{viva}} = 500\text{ kg/m}^2$$

$$W = 6,5\text{ m} * 14,4\text{ m} * 500\text{ kg/m}^2 = 46\,800\text{ kg}$$

- Carga viva de segundo nivel

$$L1 = 6,5\text{ m}$$

$$L2 = 14,4\text{ m}$$

$$W_{\text{techo}} = 120\text{ kg/m}^2$$

$$W = 6,5\text{ m} * 14,4\text{ m} * 120\text{ kg/m}^2 = 11\,232\text{ kg}$$

Peso total de módulo 3

$$P_{\text{total}} = 100\% \text{ CM} + 25\% \text{ CV}$$

$$P_{\text{total}} = 100\% (102\,832\text{kg} + 102\,832\text{kg}) + 25\% (46\,800\text{ kg} + 11\,232\text{kg})$$

$$P_{\text{total}} = 220\,172\text{ kg}$$

Tabla IV. **Resumen de resultados de peso total por módulo**

<b>Módulo No.</b>	<b>Valor de peso total (kg)</b>
Módulo 1	199 391
<b>Módulo 2</b>	<b>259 831</b>
Módulo 3	220 172

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.6.3. Corte basal**

A continuación se presentan los cálculos necesarios para determinar el valor del corte basal en la estructura.

- Determinación del coeficiente sísmico (NSE 2)

Departamento: Guatemala

Municipio: Fraijanes

Clasificación de obra: importante

Nivel de protección: E

$I_0 = 4$

$S_{cr} = 1,5$

$S_{1r} = 0,55$

- Período fundamental de vibración

$K_t = 0,047$

$h_n = 7,9$

$x = 0,9$

$$T_a = K_t * (h_n)^x = 0,047 * 7,9^{(0,9)}$$

$$T_a = 0,30 \text{ segundos}$$

- Reducción del espectro

$$S_{cr} = 1,5$$

$$F_a = 1$$

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a = 1,5 * 1$$

$$S_{cs} = 1,5$$

$$S_{1r} = 0,55$$

$$F_v = 1,5$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v = 0,55 * 1,5$$

$$S_{1s} = 0,825$$

- Periodo de transición

$$S_{1s} = 0,825$$

$$S_{cs} = 1,5$$

$$T_s = 0,825/1,5$$

$$T_s = 0,55$$

- Espectros genéricos

$$S_a(T)1 = 1,5$$

$$S_a(T)2 = 1 * S_{1s} = 1 * 0,55$$

$$S_a(T)2 = 0,55$$

Se toma el mayor  $S_a(T)1 = 1,5$

- Coeficiente sísmico

$$S_a(T) = 1,5$$

$$R = 8$$

$$B_d = 1$$

$$C_s = S_a(T)/(R*B_d) = 1,5 / (8*1)$$

$$C_s = 0,19$$

- Corte basal para cada módulo

$$V_s = C_s * W_s$$

Módulo 1

$$V_{s1} = 0,19 * 199\,391 \text{ kg}$$

$$V_{s1} = 37\,884 \text{ kg}$$

$$V_{s1} = 37,88 \text{ toneladas}$$

Módulo 2

$$V_{s2} = 0,19 * 259\,831 \text{ kg}$$

$$V_{s2} = 49\,367 \text{ kg}$$

$$V_{s2} = 49,37 \text{ toneladas}$$

Módulo 3

$$V_{s3} = 0,19 * 220\,172 \text{ kg}$$

$$V_{s3} = 41\,832 \text{ kg}$$

$$V_{s3} = 41,83 \text{ Ton}$$

Tabla V. **Resumen de resultados de corte basal por módulo**

<b>Módulo No.</b>	<b>Valor de corte basal (Ton)</b>
Módulo 1	37,88
<b>Módulo 2</b>	<b>49,37</b>
Módulo 3	41,83

Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.6.4. Distribución de fuerzas sísmicas**

A continuación se presentan los cálculos realizados para determinar la distribución de las fuerzas sísmicas en la estructura:

- Módulo 1

$$W_{\text{nivel 1}} = 100 \% (93\,294 \text{ kg}) + 25 \% (41\,300 \text{ kg}) = 103\,619 \text{ kg}$$

$$W_{\text{nivel 2}} = 100 \% (93\,294 \text{ kg}) + 25 \% (9\,912 \text{ kg}) = 95\,772 \text{ kg}$$

$$H_{\text{nivel 1}} = 3,95 \text{ m} \quad H_{\text{nivel 2}} = 7,90 \text{ m}$$

$$K = 1 \text{ porque el periodo es menor a } 0,5 \text{ segundos}$$

$$C_{yx} = \frac{W_{\text{nivel}} * H_{\text{nivel}}^k}{\sum W_{\text{nivel}} * H_{\text{nivel}}^k}$$

$$C_{yx1} = \frac{(103\,619 \text{ kg} * 3,95^1)}{(103\,619 \text{ kg} * 3,95^1 + 95\,772 \text{ kg} * 7,90^1)}$$

$$C_{yx1} = 0,35$$

$$C_{yx2} = \frac{(95\,772 \text{ kg} * 7,90^1)}{(103\,619 \text{ kg} * 3,95^1 + 95\,772 \text{ kg} * 7,90^1)} =$$

$$C_{yx2} = 0,65$$

- Fuerza sísmica de nivel 1

$$F = C_{yx} * V_{s1} = 0,35 * 37,88 \text{ Ton} = 13,26 \text{ Ton}$$

$$F_{1x} = 13,26 / 5 = 2,65 \text{ Ton}$$

$$F_{1y} = 13,26 / 3 = 4,42 \text{ Ton}$$

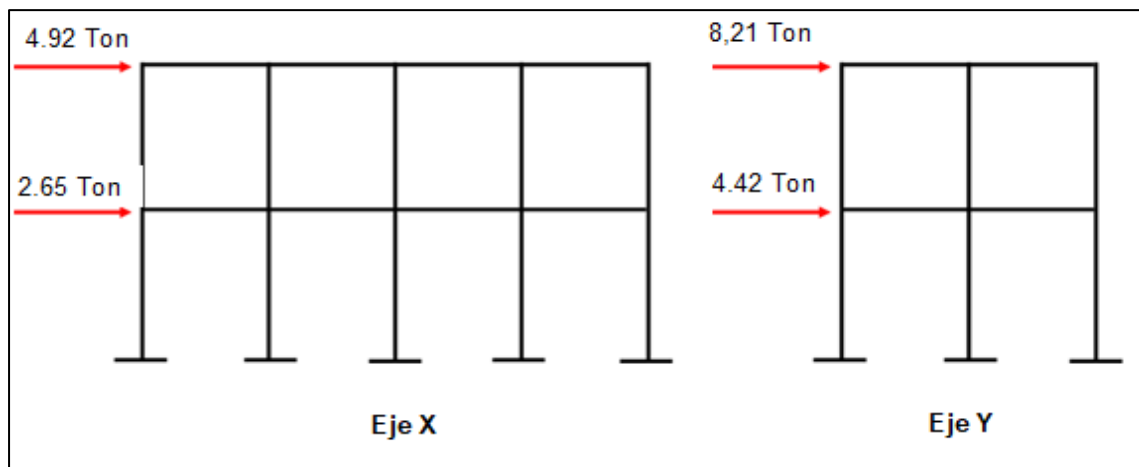
- Fuerza sísmica de nivel 2

$$F = C_{yx} * V_{s1} = 0,65 * 37,88 \text{ Ton} = 24,62 \text{ Ton}$$

$$F_{2x} = 24,62 / 5 = 4,92 \text{ Ton}$$

$$F_{2y} = 24,62 / 3 = 8,21 \text{ Ton}$$

Figura 2. **Distribución de fuerzas sísmicas, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Módulo 2

$$W_{\text{nivel 1}} = 100 \% (121\ 075 \text{ kg}) + 25 \% (57\ 037 \text{ kg}) = 135\ 334 \text{ kg}$$

$$W_{\text{nivel 2}} = 100 \% (121\ 075 \text{ kg}) + 25 \% (13\ 689 \text{ kg}) = 124\ 497 \text{ kg}$$

Hnivel 1 = 3,95 m   Hnivel 2 = 7,90 m

K = 1 porque el período es menor a 0,5 segundos

$$C_{yx} = W_{\text{nivel}} * H_{\text{nivel}}^k / \sum W_{\text{nivel}} * H_{\text{nivel}}^k$$

$$C_{yx1} = (135\,334 \text{ kg} * 3,95^1) / (135\,334 \text{ kg} * 3,95^1 + 124\,497 \text{ kg} * 7,90^1)$$

$$C_{yx1} = 0,35$$

$$C_{yx2} = (124\,497 \text{ kg} * 7,90^1) / (135\,334 \text{ kg} * 3,95^1 + 124\,497 \text{ kg} * 7,90^1)$$

$$C_{yx2} = 0,65$$

○ Fuerza sísmica de nivel 1

$$F = C_{yx} * V_{s1} = 0,35 * 49,37 \text{ Ton} = 17,28 \text{ Ton}$$

$$F_{1x} = 17,28 / 3 = 5,76 \text{ Ton}$$

$$F_{1y} = 17,28 / 6 = 2,88 \text{ Ton}$$

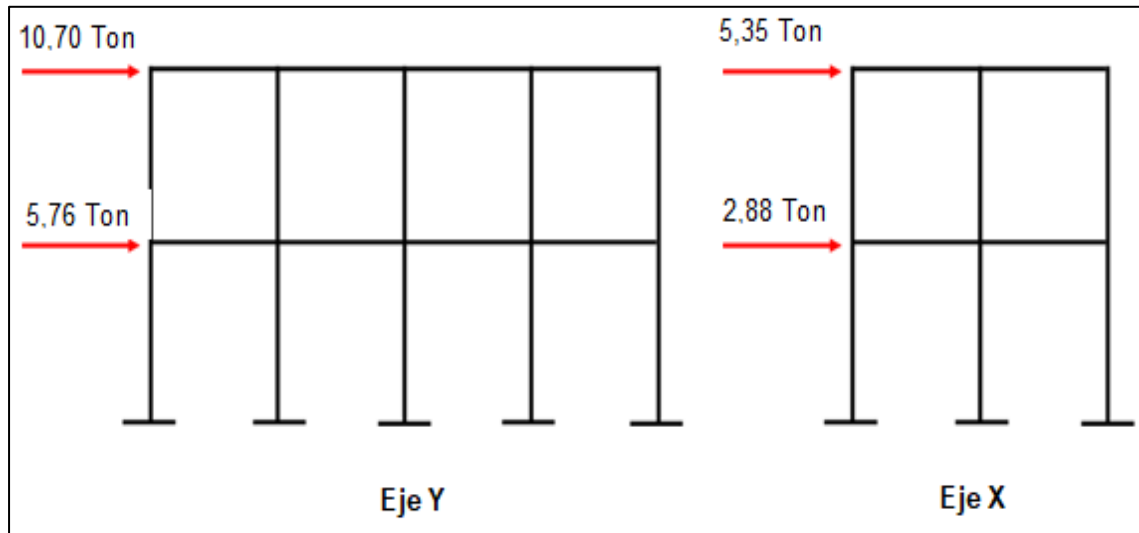
○ Fuerza sísmica de nivel 2

$$F = C_{yx} * V_{s1} = 0,65 * 49,37 \text{ Ton} = 32,09 \text{ Ton}$$

$$F_{2x} = 32,09 / 3 = 10,70 \text{ Ton}$$

$$F_{2y} = 32,09 / 6 = 5,35 \text{ Ton}$$

Figura 3. **Distribución de fuerzas sísmicas, módulo 2**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Módulo 3

$$W_{\text{nivel 1}} = 100 \% (102\ 832 \text{ kg}) + 25 \% (46\ 800 \text{ kg}) = 114\ 532 \text{ kg}$$

$$W_{\text{nivel 2}} = 100 \% (102\ 832 \text{ kg}) + 25 \% (11\ 232 \text{ kg}) = 105\ 640 \text{ kg}$$

$$H_{\text{nivel 1}} = 3,95 \text{ m} \quad H_{\text{nivel 2}} = 7,90 \text{ m}$$

$K = 1$  porque el periodo es menor a 0,5 segundos

$$C_{yx} = \frac{W_{\text{nivel}} \cdot H_{\text{nivel}}^k}{\sum W_{\text{nivel}} \cdot H_{\text{nivel}}^k}$$

$$C_{yx1} = \frac{(114\ 532 \text{ kg} \cdot 3,95^1)}{(114\ 532 \text{ kg} \cdot 3,95^1 + 105\ 640 \text{ kg} \cdot 7,90^1)}$$

$$C_{yx1} = 0,35$$

$$C_{yx2} = \frac{(105\ 640 \text{ kg} \cdot 7,90^1)}{(114\ 532 \text{ kg} \cdot 3,95^1 + 105\ 640 \text{ kg} \cdot 7,90^1)}$$

$$C_{yx2} = 0,65$$



- Fuerza sísmica de nivel 1

$$F = C_{yx} * V_{s1} = 0,35 * 41,83 \text{ Ton} = 14,65 \text{ Ton}$$

$$F_{1x} = 14,65 / 3 = 4,88 \text{ Ton}$$

$$F_{2y} = 14,65 / 5 = 2,93 \text{ Ton}$$

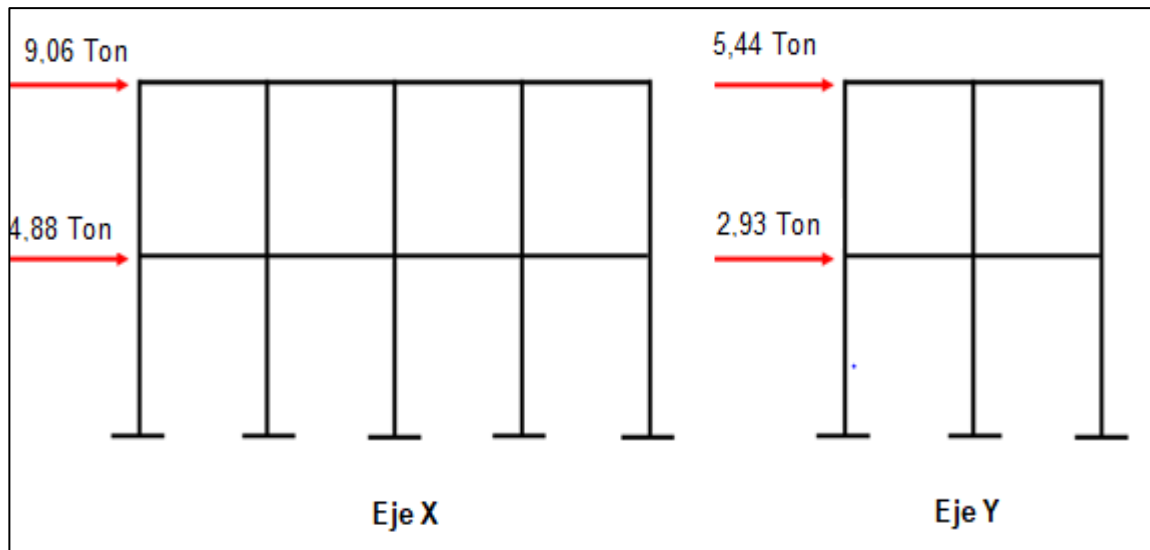
- Fuerza sísmica de nivel 2

$$F = C_{yx} * V_{s1} = 0,65 * 41,83 \text{ Ton} = 27,19 \text{ Ton}$$

$$F_{2x} = 27,19 / 3 = 9,06 \text{ Ton}$$

$$F_{2y} = 27,19 / 5 = 5,44 \text{ Ton}$$

Figura 4. **Distribución de fuerzas sísmicas, módulo 3**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 2.1.6.5. Fuerza sísmica por torsión

A continuación se presentan los resultados del cálculo de la fuerza sísmica por torsión en cada nivel de la estructura.

- Módulo 1

Datos:

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_{\text{techo}} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{viva}} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{muros}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Columnas 1} = 0,30 * 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Columna 2} = 0,40 * 0,40 \text{ m}$$

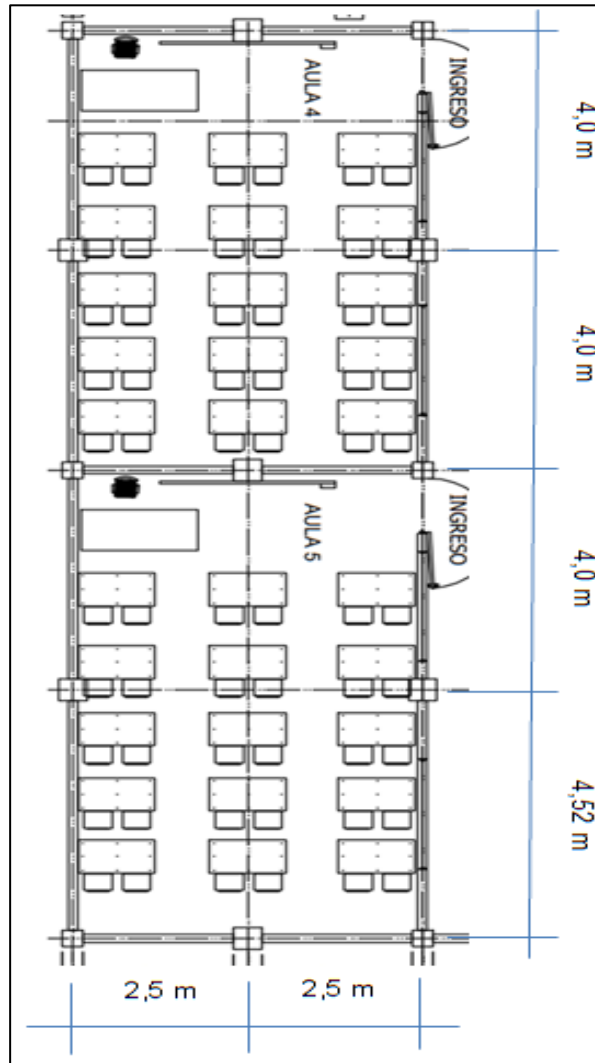
$$\text{Fuerza sísmica de primer nivel} = 4,42 \text{ Ton}$$

$$\text{Fuerza sísmica de segundo nivel} = 8,21 \text{ Ton}$$

$$H1 = 3,95 \text{ m}$$

$$H2 = 3,95 \text{ m}$$

Figura 5. **Planta de módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Centro geométrico

$$\bar{X} = \frac{4 * 5 * 2 + 4 * 5 * 6 + 4 * 5 * 10 + 4,52 * 5 * 14,26}{4 * 5 + 4 * 5 + 4 * 5 + 4,52 * 5} = 8,26 \text{ metros}$$

$$\bar{Y} = \frac{4 * 5 * 2,5 + 4 * 5 * 2,5 + 4 * 5 * 2,5 + 4,52 * 5 * 2,5}{4 * 5 + 4 * 5 + 4 * 5 + 4,52 * 5} = 2,5 \text{ metros}$$

- Integración de carga muerta y carga viva

Peso muerto

Losas 1 2 y 3

$$\text{Losa}_{1,2,3} = 20 \text{ m}^2 * 0,15 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 = 7\ 200 \text{ kg}$$

$$\text{Sobrecarga} = 20 \text{ m}^2 * 25 \text{ kg/m}^2 = 500 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = 7\ 700 \text{ kg}$$

Losa 4

$$\text{Losa} = 22,6 \text{ m}^2 * 0,15 \text{ m} * 2400 \text{ kg/m}^3 = 8\ 136 \text{ kg}$$

$$\text{Sobrecarga} = 22,6 \text{ m}^2 * 25 \text{ kg/m}^2 = 565 \text{ kg}$$

$$\text{Total} = 8\ 701 \text{ kg}$$

Peso vivo

Primer nivel

Losas 1 2 y 3

$$\text{Losa}_{1,2,3} = 20 \text{ m}^2 * 500 \text{ kg/m}^2 = 10\ 000 \text{ kg}$$

$$\text{Losa 4} = 22,6 \text{ m}^2 * 500 \text{ kg/m}^2 = 11\ 300 \text{ kg}$$

Segundo nivel

Losas 1 2 y 3

$$\text{Losa}_{1,2,3} = 20 \text{ m}^2 * 120 \text{ kg/m}^2 = 2\ 400 \text{ kg}$$

$$\text{Losa 4} = 22,6 \text{ m}^2 * 120 \text{ kg/m}^2 = 2\ 712 \text{ kg}$$

- Peso total

$$W_t = W_{CM} + W_{CV}$$

Primer nivel

Losas 1, 2 y 3

$$W_{t_{1,2,3}} = 7\,700 \text{ kg} + 10\,000 \text{ kg} = 17\,700 \text{ kg}$$

Losa 4

$$W_{t_4} = 8\,701 \text{ kg} + 11\,300 \text{ kg} = 20\,001 \text{ kg}$$

Segundo nivel

Losas 1, 2 y 3

$$W_{t_{1,2,3}} = 7\,700 \text{ kg} + 2\,400 \text{ kg} = 10\,100 \text{ kg}$$

Losa 4

$$W_{t_4} = 8\,701 \text{ kg} + 2\,712 \text{ kg} = 11\,413 \text{ kg}$$

- Peso vivo

Primer nivel

Losas 1 2 y 3

$$\text{Losa}_{1,2,3} = 20 \text{ m}^2 * 500 \text{ kg/m}^2 = 10\,000 \text{ kg}$$

$$\text{Losa 4} = 22,6 \text{ m}^2 * 500 \text{ kg/m}^2 = 11\,300 \text{ kg}$$

Segundo nivel

Losas 1 2 y 3

$$\text{Losa}_{1,2,3} = 20 \text{ m}^2 * 120 \text{ kg/m}^2 = 2\,400 \text{ kg}$$

$$\text{Losa 4} = 22,6 \text{ m}^2 * 120 \text{ kg/m}^2 = 2\,712 \text{ kg}$$

- Peso total

$$W_t = W_{CM} + W_{CV}$$

Primer nivel

Losas 1, 2 y 3

$$W_{t_{1,2,3}} = 7\,700 \text{ kg} + 10\,000 \text{ kg} = 17\,700 \text{ kg}$$

Losa 4

$$W_{t_4} = 8\,701 \text{ kg} + 11\,300 \text{ kg} = 20\,001 \text{ kg}$$

Segundo nivel

Losas 1, 2 y 3

$$W_{t_{1,2,3}} = 7\,700 \text{ kg} + 2\,400 \text{ kg} = 10\,100 \text{ kg}$$

Losa 4

$$W_{t_4} = 8\,701 \text{ kg} + 2\,712 \text{ kg} = 11\,413 \text{ kg}$$

- Centro de masa

Debe tomarse en cuenta la siguiente tabla:

Tabla VI. **Resultados de centro de masa por nivel, módulo 1**

<b>Primer nivel en X</b>				
No. Losa	$W_{TOTAL}$	L	$W*L$	
1	17 700	2	35 400	
2	17 700	6	106 200	
3	17 700	10	177 000	
4	20 001	14 26	285 214 26	Cmx
	73 101		603 814 26	8 26
<b>Primer nivel en Y</b>				
No. Losa	$W_{TOTAL}$	L	$W*L$	
1	17 700	2 5	44 250	
2	17 700	2 5	44 250	
3	17 700	2 5	44 250	
4	20 001	2 5	50 002 5	Cmy
	73 101		182 752 5	2 50

Continuación de la tabla VI.

Segundo nivel en X				
No. Losa	W <sub>TOTAL</sub>	L	W*L	
1	10 100	2	20 200	
2	10 100	6	60 600	
3	10 100	10	101 00	
4	11 413	14 26	50 002 5	Cmx
	41 713		344 549 38	8 26

Segundo nivel en Y				
No. Losa	W <sub>TOTAL</sub>	L	W*L	
1	10 100	2 5	25 250	
2	10 100	2 5	25 250	
3	10 100	2 5	25 250	
4	11 413	2 5	25 523 5	Cmy
	41 713		104 282 5	2 50

Fuente: elaboración propia.

- Rigidez en columnas

Primer nivel:

$$K_c = \frac{1}{\frac{4200(395)^3}{12(15\ 100\sqrt{280})\left(\frac{1}{12}(30)(30)^3\right)} + \frac{1,2(4200)(395)}{(30*30)(0,4*15\ 100\sqrt{280})}} = 0,78\text{ cm}^{-1}$$

Segundo nivel:

$$K_c = \frac{1}{\frac{8210(395)^3}{3(15\ 100\sqrt{280})\left(\frac{1}{12}(30)(30)^3\right)} + \frac{1,2(8210)(395)}{(30*30)(0,4*15\ 100\sqrt{280})}} = 0,10\text{ cm}^{-1}$$

- Centro de rigidez  $K_m = \# \text{COL} * K_c$

Tabla VII. **Resultados de centro de rigidez por nivel, módulo 1**

<b>Primer nivel en X</b>						
Marco	# COL	Kc	Km	L	Km * L	
4	2	0,78	1,5600	0	0,0000	
6	2	0,78	1,5600	4	6,2400	
7	2	0,78	1,5600	8	12,4800	
8	2	0,78	1,5600	12	18,7200	
9	2	0,78	1,5600	16,52	25,7712	CRx
			7,80		63,21	8,104

<b>Primer nivel en Y</b>						
Marco	# COL	Kc	Km	L	Km * L	
A	5	0,78	3,9000	0	0,0000	
B	3	0,78	2,3400	2,5	5,8500	
D	5	0,78	3,9000	5	19,5000	CRy
			10,14		25,35	2,5

<b>Segundo nivel en X</b>						
Marco	# COL	Kc	Km	L	Km * L	
4	2	0,1	0 200	0	0,0000	
6	2	0,1	0 200	4	0,8000	
7	2	0,1	0,200	8	1,6000	
8	2	0,1	0,200	12	2,4000	
9	2	0,1	0,200	16,52	3,3040	CRx
			1,00		8,10	8,104

<b>Segundo nivel en Y</b>						
Marco	# COL	Kc	Km	L	Km * L	
A	5	0,1	0 500	0	0,0000	
B	3	0,1	0 300	2,5	7,500	
D	5	0,1	0 500	5	2,500	CRy
			1,30		3,25	2,5

Fuente: elaboración propia.



Tabla VIII. **Resultados de corte por torsión en primer nivel, módulo 1**

<b>Primer nivel en X</b>									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
4	0,98	0,02	-8,26	84,00	-0,17	1,36	840,00	-201,77	638,23
	-0,67	0,02	-8,26	84,00	-0,17	1,36	840,00	137,94	977,94
6	0,98	0,02	-4,26	84,00	-0,09	0,36	840,00	-104,06	735,94
	-0,67	0,02	-4,26	84,00	-0,09	0,36	840,00	71,14	911,14
7	0,98	0,02	-0,26	84,00	-0,01	0,00	840,00	-6,35	833,65
	-0,67	0,02	-0,26	84,00	-0,01	0,00	840,00	4,34	844,34
8	0,98	0,02	3,74	84,00	0,07	0,28	840,00	91,36	931,36
	-0,67	0,02	3,74	84,00	0,07	0,28	840,00	-62,46	777,54
9	0,98	0,02	8,26	84,00	0,17	1,36	840,00	201,77	1041,77
	-0,67	0,02	8,26	84,00	0,17	1,36	840,00	-137,94	702,06
		0,10				3,37			

<b>Primer nivel en Y</b>									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
A	0,25	0,05	-2,50	210	-0,13	0,31	1615,38	-208,33	1407,05
	-25,00	0,05	-2,50	210	-0,13	0,31	1615,38	20833,33	22448,72
B	0,25	0,03	0,00	126	0,00	0,00	969,23	0,00	969,23
	-25,00	0,03	0,00	126	0,00	0,00	969,23	0,00	969,23
D	0,25	0,05	2,50	210	0,13	0,31	1615,38	208,33	1823,72
	-25,00	0,05	2,50	210	0,13	0,31	1615,38	-20833,33	19217,95
		0,13				0,63			

Fuente: elaboración propia.

- Excentricidades directas

$$e_x = |C_{mx} - CR_x|$$

$$e_y = |C_{my} - CR_y|$$

Primer nivel

$$e_x = |8,26 - 8,10| = 0,16$$

$$e_y = |2,50 - 2,50| = 0$$

Segundo nivel

$$e_x = |8,26 - 8,10| = 0,16$$

$$e_y = |2,50 - 2,50| = 0$$

- Excentricidades accidentales

Primer nivel

$$e_{1x} = 0,16 + 0,05 * 16,52 = 0,98$$

$$e_{2x} = 0,16 - 0,05 * 16,52 = - 0,67$$

$$e_{1y} = 0 + 0,05 * 5 = 0,25$$

$$e_{2y} = 0 - 0,05 * 5 = - 0,25$$

Segundo nivel

$$e_{1x} = 0,16 + 0,05 * 16,52 = 0,98$$

$$e_{2x} = 0,16 - 0,05 * 16,52 = - 0,67$$

$$e_{1y} = 0 + 0,05 * 5 = 0,25$$

$$e_{2y} = 0 - 0,05 * 5 = - 0,25$$

- Corte por torsión

Debe observarse la siguiente tabla:

Tabla IX. Resultados de corte por torsión en segundo nivel, módulo 1

Segundo nivel en X									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
4	0,98	0,16	-8,26	1280,76	-1,29	10,64	3284,00	-787,80	2496,20
	-0,67	0,16	-8,26	1280,76	-1,29	10,64	3284,00	538,60	3822,60
6	0,98	0,16	-4,26	1280,76	-0,66	2,83	3284,00	-406,30	2877,70
	-0,67	0,16	-4,26	1280,76	-0,66	2,83	3284,00	277,78	3561,78
7	0,98	0,16	-0,26	1280,76	-0,04	0,01	3284,00	-24,80	3259,20
	-0,67	0,16	-0,26	1280,76	-0,04	0,01	3284,00	16,95	3300,95
8	0,98	0,16	3,74	1280,76	0,58	2,18	3284,00	356,71	3640,71
	-0,67	0,16	3,74	1280,76	0,58	2,18	3284,00	-243,87	3040,13
9	0,98	0,16	8,26	1280,76	1,29	10,64	3284,00	787,80	4071,80
	-0,67	0,16	8,26	1280,76	1,29	10,64	3284,00	-538,60	2745,40
		0,78				26,31			

Segundo nivel en Y									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
A	0,25	0,39	-2,50	3201,9	-0,98	2,44	3170,20	-410,08	2760,12
	-25,00	0,39	-2,50	3201,9	-0,98	2,44	3170,20	41007,94	44178,14
B	0,25	0,23	0,00	1921,14	0,00	0,00	1902,12	0,00	1902,12
	-25,00	0,23	0,00	1921,14	0,00	0,00	1902,12	0,00	1902,12
D	0,25	0,39	2,50	3201,9	0,98	2,44	3170,20	410,08	3580,28
	-25,00	0,39	2,50	3201,9	0,98	2,44	3170,20	-41007,94	37837,74
		1,01				4,88			

Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Resultados de carga sísmica por nivel y marco, módulo 1

<b>Carga sísmica por nivel y marco</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Marco</b>	<b>Fuerza (kg)</b>	<b>Fuerza (Ton)</b>
<b>1</b>	4	977,94	0,98
	6	911,14	0,91
	7	844,34	0,84
	8	931,36	0,93
	9	1041,77	1,04
	A	22448,72	22,45
	B	969,23	0,97
	D	19217,95	19,22
<b>2</b>	4	3822,60	3,82
	6	3561,78	3,56
	7	3300,95	3,30
	8	3640,71	3,64
	9	4071,80	4,07
	A	44178,14	44,18
	B	1902,12	1,90
	D	37837,74	37,84

Fuente: elaboración propia.

- Módulo 2

Datos:

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_{\text{techo}} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{viva}} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{muros}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Columnas 1} = 0,30 * 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Columna 2} = 0,40 * 0,40 \text{ m}$$

Fuerza sísmica de primer nivel = 5,76 Ton

Fuerza sísmica de segundo nivel = 10,70 Ton

$$H1 = 3,10 \text{ m}$$

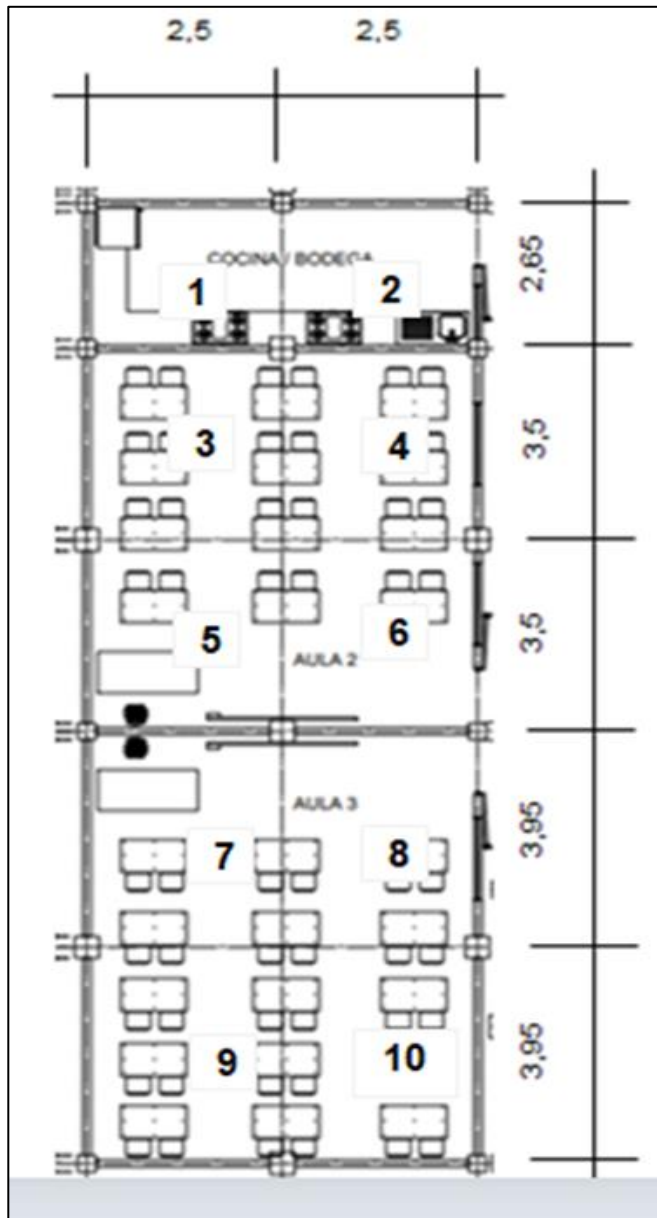
$$H2 = 3,10 \text{ m}$$

- Centro geométrico

$$\bar{X} = 2,50 \text{ metros}$$

$$\bar{Y} = 9,85 \text{ metros}$$

Figura 6. **Planta de módulo 2**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

○ Integración de CM y CV

Peso muerto

Losa 1 y 2

Total = 5 101 kg

Losa 3, 4, 5 y 6

Total = 6 738 kg

Losa 7, 8, 9 y 10

Total = 7 026 kg

Peso vivo

Primer nivel

Losa 1 y 2

Total = 6 625 kg

Losa 3, 4, 5 y 6

Total = 8 750 kg

Losa 7, 8, 9 y 10

Total = 9 125 kg

Segundo nivel

Losa 1 y 2

Total = 1 590 kg

Losa 3, 4, 5 y 6

Total = 2 100 kg

Losa 7, 8, 9 y 10

Total = 2 190 kg

Peso total

$W_t = W_{CM} + W_{CV}$

Primer nivel

Losa 1 y 2

Wt = 11 726 kg

Losa 3, 4, 5 y 6

Wt = 15 488 kg

Losa 7, 8, 9 y 10

Wt kg = 16 151 kg

Segundo nivel

Losa 1 y 2

Wt = 6 691 kg

Losa 3, 4, 5 y 6

Wt = 8 838 kg

Losa 7 y 8

Wt = 9 216 kg

○ Centro de masa

Primer nivel

Cmx = 2,50

Cmy = 8,94

Segundo nivel

Cmx = 2,50

Cmy = 8,95



- Rigidez en columnas

Primer nivel

$$K_c = 1,16 \text{ cm}^{-1}$$

Segundo nivel

$$K_c = 0,16 \text{ cm}^{-1}$$

- Centro de rigidez

Primer nivel

$$CR_x = 2,50$$

$$CR_y = 9,28$$

Segundo nivel

$$CR_x = 2,50$$

$$CR_y = 9,28$$

- Excentricidades directas

Primer nivel

$$e_x = 0$$

$$e_y = 0,34$$

Segundo nivel

$$e_x = 0$$

$$e_y = 0,33$$

- Excentricidades accidentales

Primer nivel

$$e1x = 0 + 0,05 * 5 = 0,25$$

$$e2x = 0 - 0,05 * 5 = - 0,25$$

$$e1y = 0,34 + 0,05 * 17,55 = 1,22$$

$$e2y = 0,34 - 0,05 * 17,55 = - 0,54$$

Segundo nivel

$$e1x = 0 + 0,05 * 5 = 0,25$$

$$e2x = 0 - 0,05 * 5 = - 0,25$$

$$e1y = 0,33 + 0,05 * 17,55 = 1,21$$

$$e2y = 0,33 - 0,05 * 17,55 = - 0,55$$

Tabla XI. Resultados de corte por torsión en primer nivel, módulo 2

Primer nivel en X									
EJE	E	Km/10	Di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
1	0,25	0,70	-2,50	4032	-1,75	4,38	2167,74	-288,00	1879,74
	-25,00	0,70	-2,50	4032	-1,75	4,38	2167,74	288,00	2455,74
2	0,25	0,46	0,00	2649,6	0,00	0,00	1424,52	0,00	1424,52
	-25,00	0,46	0,00	2649,6	0,00	0,00	1424,52	0,00	1424,52
3	0,25	0,70	2,50	4032	1,75	4,38	2167,74	288,00	2455,74
	-25,00	0,70	2,50	4032	1,75	4,38	2167,74	-288,00	1879,74
		1,86				8 75			

Primer nivel en Y									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
A	1,22	0,23	-9,85	1324,80	-2,27	22,32	960,00	-310,64	649,36
	-0,54	0,23	-9,85	1324,80	-2,27	22,32	960,00	137,49	1097,49
B	1,22	0,23	-5,90	1324,80	-1,36	8,01	960,00	-186,07	773,93
	-0,54	0,23	-5,90	1324,80	-1,36	8,01	960,00	82,36	1042,36
C	1,22	0,23	-1,95	1324,80	-0,45	0,87	960,00	-61,50	898,50
	-0,54	0,23	-1,95	1324,80	-0,45	0,87	960,00	27,22	987,22
G	1,22	0,23	1,55	1324,80	0,36	0,55	960,00	48,88	1008,88
	-0,54	0,23	1,55	1324,80	0,36	0,55	960,00	-21,64	938,36
H	1,22	0,23	5,05	1324,80	1,16	5,87	960,00	159,26	1119,26
	-0,54	0,23	5,05	1324,80	1,16	5,87	960,00	-70,49	889,51
I	1,22	0,23	7,70	1324,80	1,77	13,64	960,00	242,83	1202,83
	-0,54	0,23	7,70	1324,80	1,77	13,64	960,00	-107,48	852,52
		1,38				51,25			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultados de corte por torsión en segundo nivel, módulo 2**

<b>Segundo nivel en X</b>									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
1	0,25	0,10	-2,50	1070	-0,25	0,63	4115,38	-535,00	3580,38
	-0,25	0,10	-2,50	1070	-0,25	0,63	4115,38	535,00	4650,38
2	0,25	0,06	0,00	642	0,00	0,00	2469,23	0,00	2469,23
	-0,25	0,06	0,00	642	0,00	0,00	2469,23	0,00	2469,23
3	0,25	0,10	2,50	1070	0,25	0,63	4115,38	535,00	4650,38
	-0,25	0,10	2,50	1070	0,25	0,63	4115,38	-535,00	3580,38
		0 26				1 25			

<b>Segundo nivel en Y</b>									
EJE	E	Km/10	Di	Km * F	Km * di	Km * di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs + Vt
A	1,21	0,03	-9,85	342,40	-0,32	3,10	1802,11	-572,36	1229,75
	-0,55	0,03	-9,85	342,40	-0,32	3,10	1802,11	260,16	2062,27
B	1,21	0,03	-5,90	342,40	-0,19	1,11	1802,11	-342,83	1459,27
	-0,55	0,03	-5,90	342,40	-0,19	1,11	1802,11	155,83	1957,94
C	1,21	0,03	-1,95	342,40	-0,06	0,12	1802,11	-113,31	1688,80
	-0,55	0,03	-1,95	342,40	-0,06	0,12	1802,11	51,50	1853,61
G	1,21	0,03	1,55	342,40	0,05	0,08	1802,11	90,07	1892,17
	-0,55	0,03	1,55	342,40	0,05	0,08	1802,11	-40,94	1761,17
H	1,21	0,03	5,05	342,40	0,16	0,82	1802,11	293,44	2095,55
	-0,55	0,03	5,05	342,40	0,16	0,82	1802,11	-133,38	1668,72
I	1,21	0,03	7,70	342,40	0,25	1,90	1802,11	447,43	2249,53
	-0,55	0,03	7,70	342,40	0,25	1,90	1802,11	-203,38	1598,73
		0 19				7 13			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIII. Resultados de carga sísmica por nivel y marco, módulo 2

<b>Carga sísmica por nivel y marco</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Marco</b>	<b>Fuerza (kg)</b>	<b>Fuerza (Ton)</b>
<b>1</b>	1	2 455,74	2,46
	2	1 424,52	1,42
	3	2 455,74	2,46
	A	1 097,49	1,10
	B	1 042,36	1,04
	C	987,22	0,99
	G	1 008,88	1,01
	H	1 119,26	1,12
	I	1 202,83	1,20
<b>2</b>	1	4 650,38	4,65
	2	2 469,23	2,47
	3	4 650,38	4,65
	A	2 062,27	2,06
	B	1 957,94	1,96
	C	1 853,61	1,85
	G	1 892,17	1,89
	H	2 095,55	2,10
	I	2 249,53	2,25

Fuente: elaboración propia.

- Módulo 3

Datos:

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$W_{\text{techo}} = 120 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{viva}} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$W_{\text{muros}} = 150 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Columnas 1} = 0,30 * 0,30 \text{ m}$$

$$\text{Columna 2} = 0,40 * 0,40 \text{ m}$$

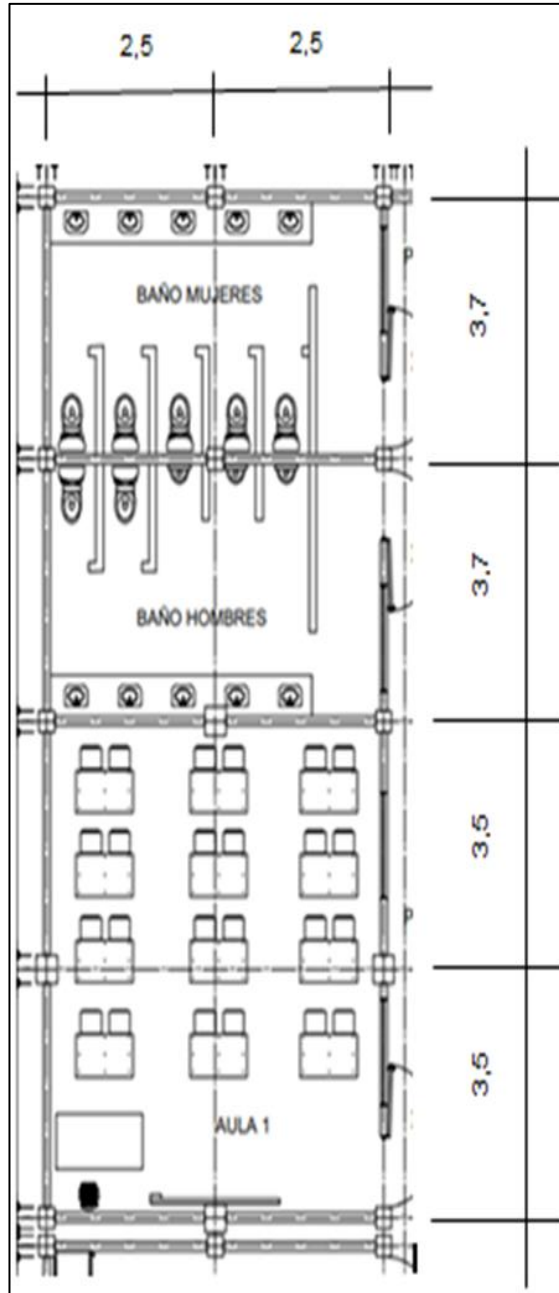
Fuerza sísmica en primer nivel = 4,88 Ton

Fuerza sísmica en segundo nivel = 9,06 Ton

$$H1 = 3,10 \text{ m}$$

$$H2 = 3,10 \text{ m}$$

Figura 7. **Planta de módulo 3**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Centro geométrico

$$\bar{X} = 2,50 \text{ m}$$

$$\bar{Y} = 7,0 \text{ m}$$

- Integración de CM Y CV

Peso muerto

Losa 1, 2, 3 y 4

Total = 3 561 kg

Losa 5, 6, 7 y 8

Total = 3 369 kg

Peso vivo

Primer nivel

Losa 1, 2, 3 y 4

Total = 4 625 kg

Losa 5, 6, 7 y 8

Total = 4 375 kg

Segundo nivel

Losa 1, 2, 3 y 4

Total = 1 100 kg

Losa 5, 6, 7 y 8

Total = 1 050 kg

Peso total

$$W_t = W_{CM} + W_{CV}$$



Primer nivel

Losa 1, 2, 3 y 4

Wt = 8 186 kg

Losa 5, 6, 7 y 8

Wt = 7 744 kg

Segundo nivel

Losa 1, 2, 3 y 4

Wt = 4 671 kg

Losa 5, 6, 7 y 8

Wt = 4 419 kg

○ Centro de masa

Primer nivel

Cmx = 2,50

Cmy = 7,00

Segundo nivel

Cmx = 2,50

Cmy = 7,00

○ Rigidez en columnas

Primer nivel

$K_c = 1,37 \text{ cm}^{-1}$

Segundo nivel

$K_c = 0,19 \text{ cm}^{-1}$

- Centro de rigidez

Primer nivel

$$CR_x = 2,50$$

$$CR_y = 6,86$$

Segundo nivel

$$CR_x = 2,50$$

$$CR_y = 6,86$$

- Excentricidades directas

Primer nivel

$$e_x = 0$$

$$e_y = 0,14$$

Segundo nivel

$$e_x = 0$$

$$e_y = 0,14$$

- Excentricidades accidentales

Primer nivel

$$e_{1x} = 0 + 0,05 * 5 = 0,25$$

$$e_{2x} = 0 - 0,05 * 5 = - 0,25$$

$$e_{1y} = 0,14 + 0,05 * 14,4 = 0,86$$

$$e_{2y} = 0,14 - 0,05 * 14,4 = - 0,58$$

Segundo nivel

$$e1x = 0 + 0,05 * 5 = 0,25$$

$$e2x = 0 - 0,05 * 5 = - 0,25$$

$$e1y = 0,14 + 0,05 * 14,4 = 0,86$$

$$e2y = 0,14 - 0,05 * 14,4 = - 0,58$$

Tabla XIV. Resultados de corte por torsión en primer nivel, módulo 3

Primer,nivel,en,X									
EJE	E	Km/10	Di	Km * F	Km * di	Km*di^2	Vs	Vt	Vs + Vt
1	0,25	0,69	-2,50	6 251,4	-1,73	4,31	3 239,07	-452,74	2 786,33
	-0,25	0,69	-2,50	6 251,4	-1,73	4,31	3 239,07	452,74	3 691,80
2	0,25	0,55	0,00	4 983	0,00	0,00	2 581,87	0,00	2 581,87
	-0,25	0,55	0,00	4 983	0,00	0,00	2 581,87	0,00	2 581,87
3	0,25	0,69	2,50	6 251,4	1,73	4,31	3 239,07	452,74	3 691,80
	-0,25	0,69	2,50	6 251,4	1,73	4,31	3 239,07	-452,74	2 786,33
		1,93				8,63			

Primer nivel en Y									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km * di^2	Vs	Vt	Vs + Vt
K	0,86	0,41	-7,00	3 714,60	-2,87	20,09	1 944,82	-436,24	1 508,57
	-0,58	0,41	-7,00	3 714,60	-2,87	20,09	1 944,82	294,21	2 239,03
L	0,86	0,41	-3,50	3 714,60	-1,44	5,02	1 944,82	-218,12	1 726,69
	-0,58	0,41	-3,50	3 714,60	-1,44	5,02	1 944,82	147,11	2 091,92
M	0,86	0,41	0,00	3 714,60	0,00	0,00	1 944,82	0,00	1 944,82
	-0,58	0,41	0,00	3 714,60	0,00	0,00	1 944,82	0,00	1 944,82
N	0,86	0,27	3,70	2 446,20	1,00	3,70	1 280,73	151,85	1 432,58
	-0,58	0,27	3,70	2 446,20	1,00	3,70	1 280,73	-102,41	1 178,32
O	0,86	0,41	7,40	3 714,60	3,03	22,45	1 944,82	461,17	2 405,99
	-0,58	0,41	7,40	3 714,60	3,03	22,45	1 944,82	-311,02	1 633,79
	0,86	0,41	-7,00	3 714,60	-2,87	20,09	1 944,82	-436,24	1 508,57
		1,91				51,26			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XV. Resultados de corte por torsión en segundo nivel, módulo 3

Segundo nivel en X									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km*di^2	Vs	Vt	Vs + Vt
1	0,25	0,10	-2,50	488	-0,25	0,63	1 742,86	-244,00	1 498,86
	-0,25	0,10	-2,50	488	-0,25	0,63	1 742,86	244,00	1 986,86
2	0,25	0,08	0,00	390,4	0,00	0,00	1 394,29	0,00	1 394,29
	-0,25	0,08	0,00	390,4	0,00	0,00	1 394,29	0,00	1 394,29
3	0,25	0,10	2,50	488	0,25	0,63	1 742,86	244,00	1 986,86
	-0,25	0,10	2,50	488	0,25	0,63	1 742,86	-244,00	1 498,86
		0,28				1,25			

Segundo nivel en Y									
EJE	E	Km/10	di	Km * F	Km * di	Km*di^2	Vs	Vt	Vs + Vt
K	0,86	0,06	-7,00	292,80	-0,42	2,94	1 045,71	-234,71	811,01
	-0,58	0,06	-7,00	292,80	-0,42	2,94	1 045,71	158,29	1 204,01
L	0,86	0,06	-3,50	292,80	-0,21	0,74	1 045,71	-117,35	928,36
	-0,58	0,06	-3,50	292,80	-0,21	0,74	1 045,71	79,15	1 124,86
M	0,86	0,06	0,00	292,80	0,00	0,00	1 045,71	0,00	1 045,71
	-0,58	0,06	0,00	292,80	0,00	0,00	1 045,71	0,00	1 045,71
N	0,86	0,04	3,70	195,20	0,15	0,55	697,14	82,71	779,85
	-0,58	0,04	3,70	195,20	0,15	0,55	697,14	-55,78	641,36
O	0,86	0,06	7,40	292,80	0,44	3,29	1 045,71	248,12	1 293,83
	0,58	0,06	7,40	292,80	0,44	3,29	1 045,71	-167,34	878,38
	0,86	0,06	-7,00	292,80	-0,42	2,94	1 045,71	-234,71	811,01
		0,28				7,51			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Resultados de carga sísmica por nivel y marco, módulo 3**

<b>Carga sísmica por nivel y marco</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Marco</b>	<b>Fuerza (kg)</b>	<b>Fuerza (Ton)</b>
<b>1</b>	1	3 691,80	3,69
	2	2 581,87	2,58
	3	3 691,80	3,69
	K	2 239,03	2,24
	L	2 091,92	2,09
	M	1 944,82	1,94
	N	1 432,58	1,43
	O	2 405,99	2,41
<b>2</b>	1	1 986,86	1,99
	2	1 394,29	1,39
	3	1 986,86	1,99
	K	1 204,01	1,20
	L	1 124,86	1,12
	M	1 045,71	1,05
	N	779,85	0,78
	O	1 293,83	1,29

Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.6.6. Análisis de cargas aplicadas a los marcos por medio del método de Kani**

Para realizar el análisis estructural se utilizó el método numérico de Kani, para lo cual se deben calcular los siguientes valores.

- Cálculo de momentos fijos ( $MF_{ik}$ ), que se calculan cuando existen cargas verticales.
- Cálculo de momento de sujeción ( $M_s$ ), que se calculan cuando hay cargas verticales.

$$M_s = \sum MF_{ik}$$

- Determinación de fuerzas de sujeción ( $H$ ), que se calculan cuando se hace el análisis de las fuerzas horizontales aplicadas al marco dúctil unido con nudos rígidos.

$$H = FM_{\text{nivel}_h} \text{ (fuerzas por marco del nivel } n, \text{ del análisis sísmico)}$$

- Cálculo de la fuerza cortante en el piso ( $Q_n$ ), que se calcula cuando se hace el análisis con las fuerzas horizontales aplicadas al marco dúctil unido con nudos rígidos.

$$Q_n = \sum H$$

- Cálculo de momentos de piso ( $M_n$ ), que se calculan cuando se hace el análisis con las fuerzas horizontales aplicadas al marco dúctil unido con nudos rígidos.

$$M_n = \frac{Q_n * h_n}{3} \quad h_n = \text{Altura del piso "n"}$$

- Cálculo de rigidez de los elementos ( $K_{ik}$ ):

$$K_{ik} = \frac{I}{L_{ik}}$$

**I** inercia de elemento.  
**K** longitud de elemento.

- Cálculo de factores de giro o coeficientes de reparto ( $\mu_{ik}$ ):

$$\mu_{ik} = -\frac{1}{2} * \frac{K_{ik}}{\sum K_{in}}$$

- Cálculo de factores de corrimiento ( $V_{ik}$ ), que se calculan cuando hay ladeo causado por asimetría en la estructura o cuando se hace el análisis con las fuerzas horizontales aplicadas al marco dúctil unido con nudos rígidos.

$$V = -\frac{3}{2} * \frac{K_{ik}}{\sum K_{in}}$$

- Cálculo de iteraciones e influencias de giro ( $M'_{ik}$ )

$$M'_{ik} = \mu_{ik} (M_s + \sum M'_{in}) \quad \text{sin ladeo}$$

$$M'_{ik} = \mu_{ik} (M_s + \sum M'_{in} + M''_{in}) \quad \text{con ladeo}$$

- Cálculo de iteraciones e influencias de desplazamiento ( $M''_{ik}$ ), que se calculan cuando existe ladeo.

$$M''_{ik} = V_{ik} \left( \sum (M'_{ik} + M'_{ki}) \right) \quad \text{ladeo por asimetría}$$

$$M''_{ik} = V_{ik} (M_n + \sum (M'_{ik} + M'_{ki})) \quad \text{ladeo por fuerzas horizontales}$$

- Cálculo de momentos finales en el extremo de cada barra ( $M_{ik}$ )

$$M_{ik} = MF_{ik} + 2M'_{ik} + M'_{ki} \quad \text{sin ladeo}$$

$$M_{ik} = MF_{ik} + 2M'_{ik} + M'_{ki} + M''_{ik} \quad \text{con ladeo}$$

- Cálculo de los momentos positivos en vigas ( $M_{ik(+)}$ )

$$M_{ik(+)} = \frac{WL^2}{8} - \frac{M_{i(-)} + M_{k(+)}}{2}$$

Donde:

$M_{i(-)}$  = momento negativo de la viga en el extremo del lado izquierdo

$M_{k(-)}$  = momento negativo de la viga en el extremo del lado derecho

#### 1.1.1.1. Análisis estructural marcos

De acuerdo con los criterios y cálculos anteriores, se determinan los valores necesarios para el análisis estructural de cada módulo con el método de Kani. Al final se utilizarán los valores del módulo más crítico para el diseño de los elementos estructurales.



### Módulo 1:

- Cálculo de cargas últimas (CV + CM): a continuación se presenta el marco típico del módulo 1 en el sentido y – y, donde se indican las dimensiones y los valores de carga última en kg/m de cada nivel, también se identifican y ubican los nudos de la estructura.

Segundo nivel

$$CM = 1\,882,45 \text{ kg/m}$$

$$CV = 200 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de Servicio} = 1\,882,45 + 200 = 2\,082,45 \text{ kg/m}$$

$$U = 1,7 (1\,882,45) + 1,4 (200) / 2\,082,45 = 1,67$$

$$\text{Carga última} = 1,67 (2\,082,45) = 3\,477,69 \text{ kg/m}$$

Primer nivel

$$CM = 1\,882,45 \text{ kg/m}$$

$$CV = 833,33 \text{ kg/m}$$

$$\text{Carga de servicio} = 1\,882,45 + 833,33 = 2\,715,78 \text{ kg/m}$$

$$U = 1,7 (1\,882,45) + 1,4 (833,33) / 2\,715,78 = 1,61$$

$$\text{Carga última} = 1,61 (2\,715,78) = 4\,372,41 \text{ kg/m}$$

- Cálculo de rigideces

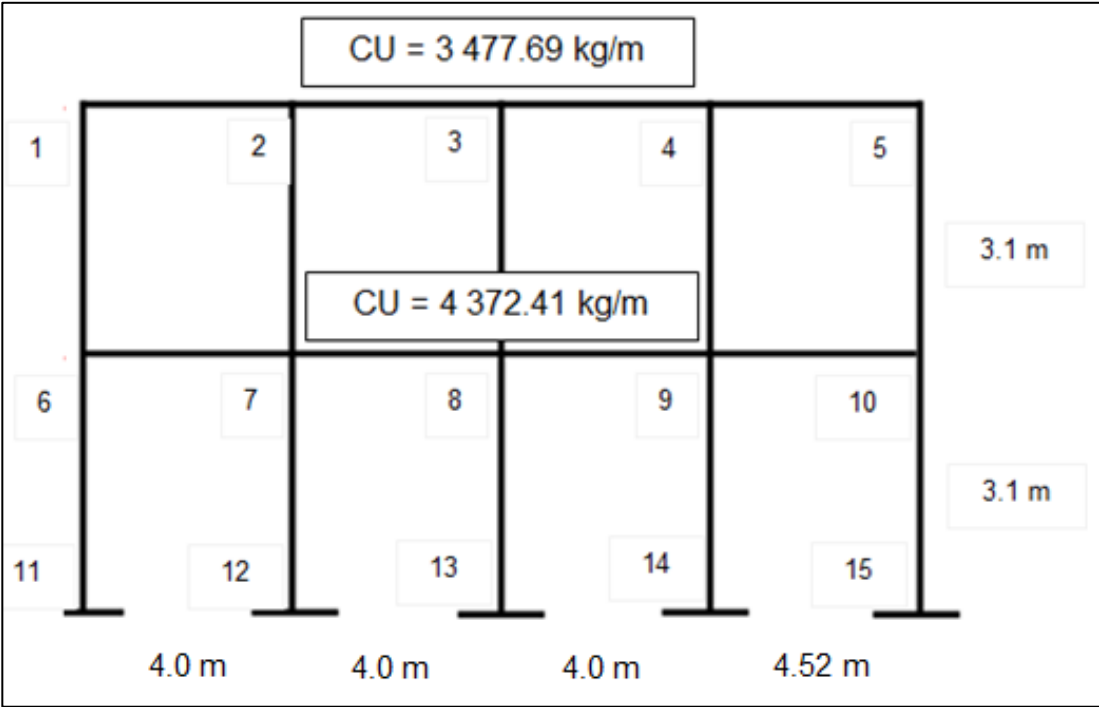
$$R = 1/L$$

$$R (\text{columnas}) = 1/3,10 = 0,32$$

$$R (\text{vigas 1}) = 1/4 = 0,25$$

$$R (\text{vigas 2}) = 1/4,52 = 0,22$$

Figura 8. Valores de CV y CM por nivel, ubicación de nudos, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Cálculo de factores de contribución angular

Debe observarse la siguiente tabla:

Tabla XVII. Resultados de factores de contribución angular, módulo 1

<p>Nudo 1</p> $K1\ 2 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,32) = - 0,22$ $K1\ 6 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,32) = - 0,28$	<p>Nudo 2 = 3</p> $K2\ 1 = K3\ 2 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32) = - 0,15$ $K2\ 3 = K3\ 4 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32) = - 0,15$ $K2\ 7 = K3\ 8 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,25 + 0,32) = - 0,20$
<p>Nudo 4</p> $K4\ 3 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,22 + 0,32) = - 0,16$ $K4\ 5 = -0,5 * (0,22 / 0,25 + 0,22 + 0,32) = - 0,14$ $K4\ 9 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,22 + 0,32) = - 0,20$	<p>Nudo 5</p> $K5\ 4 = -0,5 * (0,22 / 0,22 + 0,32) = - 0,20$ $K5\ 10 = -0,5 * (0,32 / 0,22 + 0,32) = - 0,30$
<p>Nudo 6</p> $K6\ 1 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K6\ 7 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$ $K6\ 11 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$	<p>Nudo 7 = 8</p> $K7\ 6 = K8\ 7 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K7\ 8 = K8\ 9 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K7\ 2 = K8\ 3 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K7\ 12 = K8\ 13 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$
<p>Nudo 9</p> $K9\ 8 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K9\ 10 = -0,5 * (0,22 / 0,25 + 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,10$ $K9\ 4 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K9\ 14 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$	<p>Nudo 10</p> $K10\ 9 = -0,5 * (0,22 / 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K10\ 5 = -0,5 * (0,32 / 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,19$ $K10\ 15 = -0,5 * (0,32 / 0,22 + 0,32 + 0,32) = - 0,19$
<p>Nudo 11 = 12 = 13 = 14 = 15                      K = -0,5</p>	

Fuente: elaboración propia.

- Momentos de empotramiento

Segundo nivel

$$M (\text{vigas 1}) = 3\ 477,69 * 4^2 / 12 = 4\ 636,92 \text{ kg-m}$$

$$M (\text{vigas 2}) = 3\ 477,69 * 4,52^2 / 12 = 5\ 920,88 \text{ kg-m}$$

Primer nivel

$$M (\text{vigas 1}) = 4\ 372,41 * 4^2 / 12 = 5\ 829,88 \text{ kg-m}$$

$$M (\text{vigas 2}) = 4\ 372,41 * 4,52^2 / 12 = 7\ 444,17 \text{ kg-m}$$

- Iteraciones: se realizan hasta obtener valores de datos repetidos, es posible ver resultados de iteraciones en el diagrama de distribución de momentos.

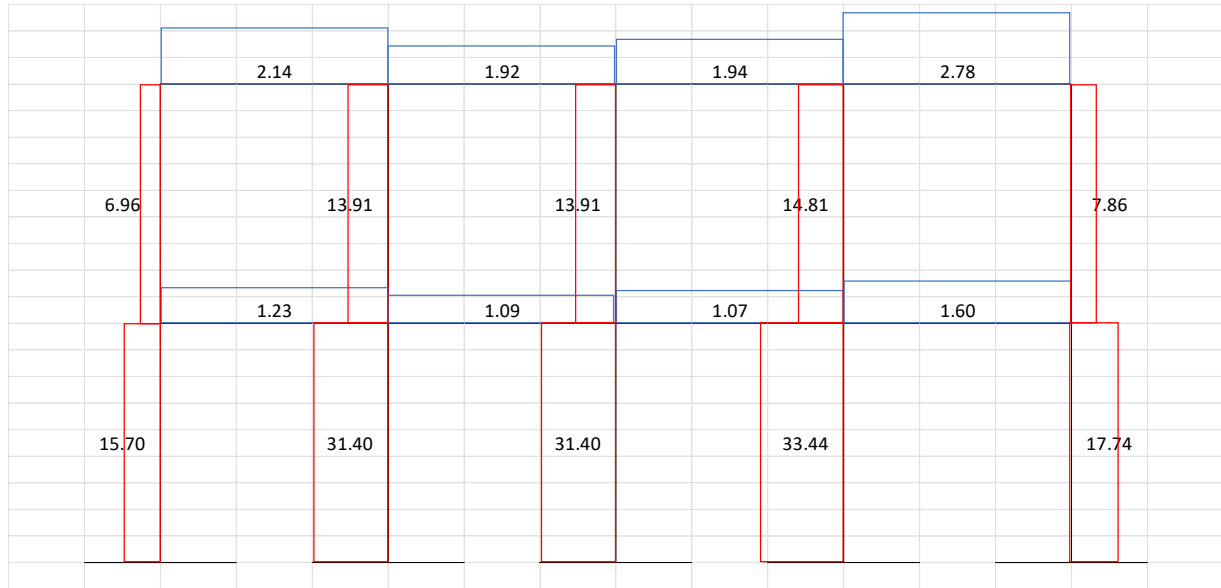
Tabla XVIII. **Resultados de primera iteración, módulo 1**

<p>Nudo 1</p> $4,64 * -0,22 = -1,02$ $4,64 * -0,28 = -1,30$	<p>Nudo 2</p> $[-4,64 + (-1,02)] * -0,15 = 0,85$ $[-4,64 + (-1,02)] * -0,15 = 0,85$ $[-4,64 + (-1,02)] * -0,20 = 1,13$
<p>Nudo 3</p> $[4,64 + (0,85)] * -0,15 = -0,82$ $[4,64 + (0,85)] * -0,15 = -0,82$ $[4,64 + (0,85)] * -0,20 = -1,10$	<p>Nudo 4</p> $[-4,64 + (-0,82)] * -0,16 = 0,87$ $[-4,64 + (-0,82)] * -0,14 = 0,76$ $[-4,64 + (-0,82)] * -0,20 = 1,09$
<p>Nudo 5</p> $[5,92 + (0,76)] * -0,20 = -1,34$ $[5,92 + (0,76)] * -0,35 = -2,01$	<p>Nudo 6</p> $[5,83 + (0,58)] * -0,14 = -0,72$ $[5,83 + (0,58)] * -0,18 = -0,92$ $[5,83 + (0,58)] * -0,18 = -0,92$
<p>Nudo 7</p> $[-5,83 + (-0,59)] * -0,11 = 0,58$ $[-5,83 + (-0,59)] * -0,11 = 0,58$ $[-5,83 + (-0,59)] * -0,14 = 0,74$ $[-5,83 + (-0,59)] * -0,14 = 0,74$	<p>Nudo 8</p> $[5,83 + (0,65)] * -0,11 = -0,59$ $[5,83 + (0,65)] * -0,11 = -0,59$ $[5,83 + (0,65)] * -0,14 = -0,75$ $[5,83 + (0,65)] * -0,14 = -0,75$
<p>Nudo 9</p> $[-5,83 + (-0,65)] * -0,10 = 0,54$ $[-5,83 + (-0,65)] * -0,12 = 0,65$ $[-5,83 + (-0,65)] * -0,14 = 0,75$ $[-5,83 + (-0,65)] * -0,14 = 0,75$	<p>Nudo 10</p> $[7,44 + (-2,01)] * -0,19 = -1,03$ $[7,44 + (-2,01)] * -0,12 = -0,65$ $[7,44 + (-2,01)] * -0,19 = -1,03$

Fuente: elaboración propia.

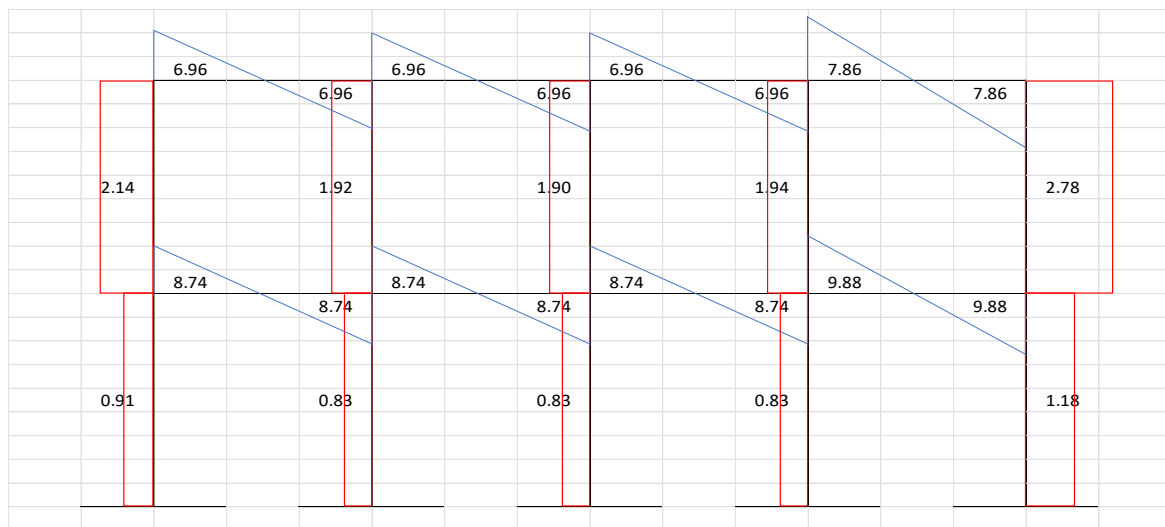


Figura 10. Diagrama de cargas axiales, módulo 1



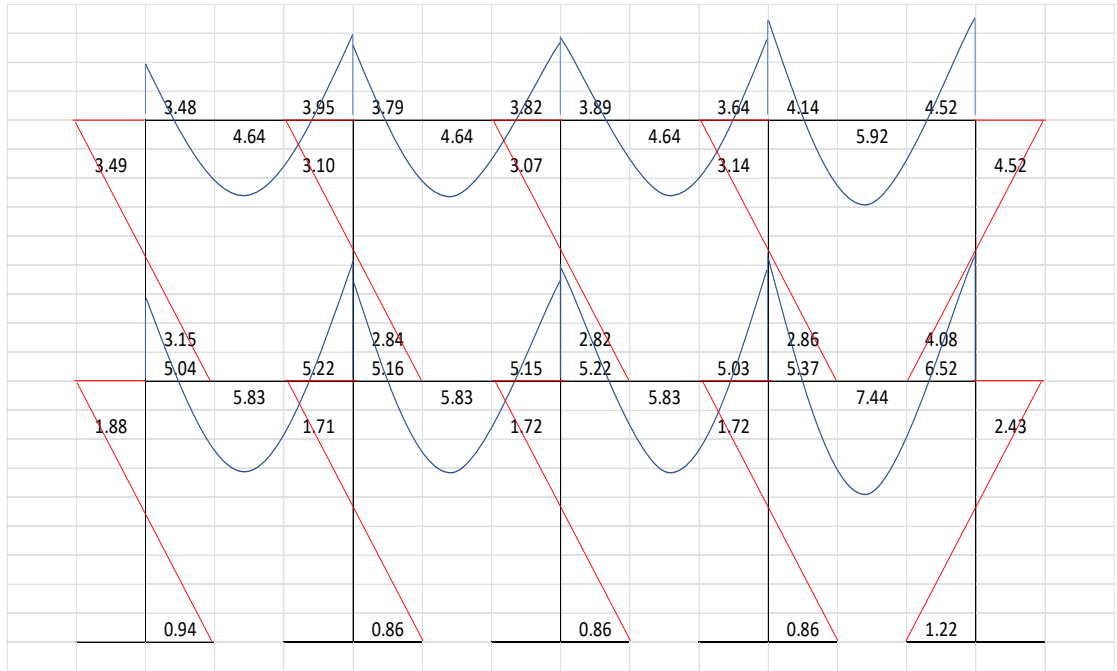
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 11. Diagrama de cortantes, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 12. Diagrama de momentos, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Módulo 2:

- Cálculo de cargas últimas (CV + CM): a continuación se presenta el marco típico del módulo 2 en el sentido y – y, donde se indican las dimensiones y los valores de carga última en kg/m de cada nivel, también se identifican y ubican los nudos de la estructura.

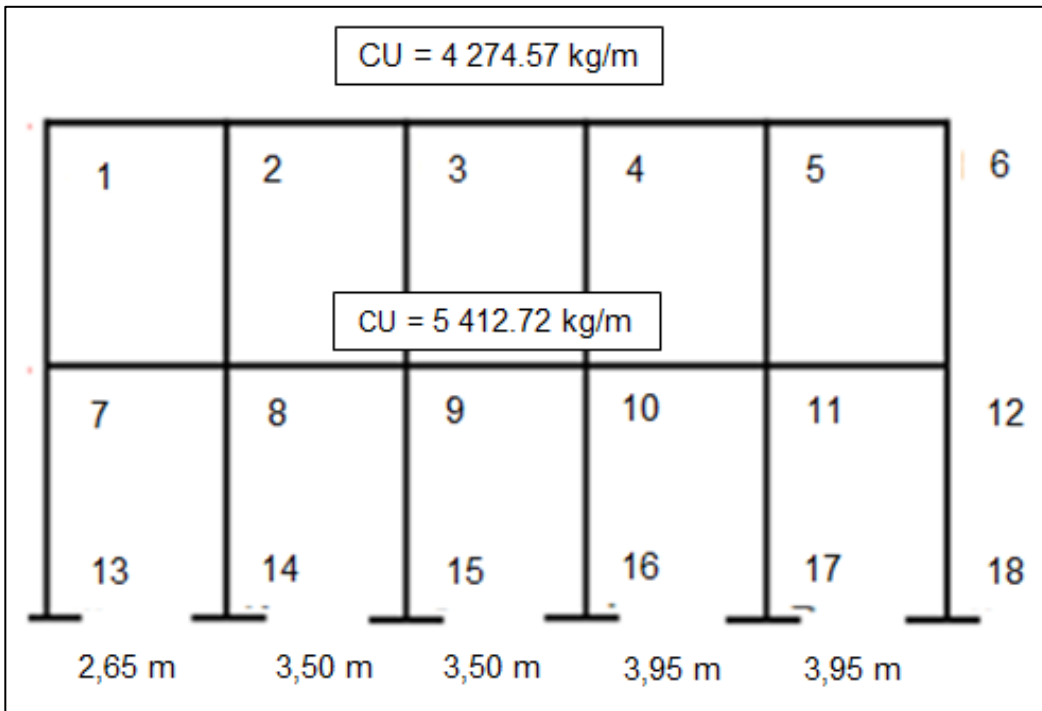
Segundo nivel:

$$\text{Carga última} = 1,67 (2\ 082,45) = 4\ 274,57 \text{ kg/m}$$

Primer nivel

$$\text{Carga última} = 1,61 (2\ 715,78) = 5\ 412,72 \text{ kg/m}$$

Figura 13. Valores de CV y CM por nivel, ubicación de nudos, módulo 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Cálculo de rigideces

$$R = 1/L$$

$$R (\text{columnas}) = 0,32$$

$$R (\text{vigas 1}) = 0,38$$

$$R (\text{vigas 2}) = 0,29$$

$$R (\text{vigas 2}) = 0,25$$

- Cálculo de factores de contribución angular: ver resultados de iteraciones en el diagrama de distribución de momentos.



Tabla XIX. Resultados de factores de contribución angular, módulo 2

<p>Nudo 1</p> $K1\ 2 = -0,5 * (0,38 / 0,38 + 0,32) = - 0,23$ $K1\ 7 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,32) = - 0,27$	<p>Nudo 2</p> $K2\ 1 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,38 + 0,32) = - 0,19$ $K2\ 3 = -0,5 * (0,38 / 0,29 + 0,38 + 0,32) = - 0,15$ $K2\ 8 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,38 + 0,32) = - 0,16$
<p>Nudo 3</p> $K3\ 2 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,29 + 0,32) = - 0,15$ $K3\ 4 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,29 + 0,32) = - 0,15$ $K3\ 9 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,29 + 0,32) = - 0,20$	<p>Nudo 4</p> $K4\ 3 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,29 + 0,32) = - 0,15$ $K4\ 5 = -0,5 * (0,29 / 0,25 + 0,29 + 0,32) = - 0,16$ $K4\ 10 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,29 + 0,32) = - 0,19$
<p>Nudo 5</p> $K5\ 4 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32) = - 0,15$ $K5\ 6 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32) = - 0,15$ $K5\ 11 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,25 + 0,32) = - 0,20$	<p>Nudo 6</p> $K6\ 5 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,32) = - 0,23$ $K6\ 12 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,32) = - 0,27$
<p>Nudo 7</p> $K7\ 1 = -0,5 * (0,38 / 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,16$ $K7\ 8 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$ $K7\ 13 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,16$	<p>Nudo 8</p> $K8\ 7 = -0,5 * (0,38 / 0,38 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K8\ 9 = -0,5 * (0,29 / 0,38 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K8\ 2 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K8\ 14 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$
<p>Nudo 9</p> $K9\ 8 = -0,5 * (0,38 / 0,38 + 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K9\ 10 = -0,5 * (0,38 / 0,38 + 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K9\ 3 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,13$ $K9\ 15 = -0,5 * (0,32 / 0,38 + 0,38 + 0,32 + 0,32) = - 0,13$	<p>Nudo 10</p> $K10\ 9 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K10\ 11 = -0,5 * (0,25 / 0,29 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K10\ 4 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K10\ 16 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$
<p>Nudo 11</p> $K11\ 10 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K11\ 12 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K11\ 5 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K11\ 17 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$	<p>Nudo 12</p> $K12\ 11 = -0,5 * (0,25 / 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K12\ 6 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$ $K12\ 18 = -0,5 * (0,32 / 0,25 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$
<p>Nudo 13 = 14 = 15 = 16 = 17 = 18      K = -0,5</p>	

Fuente: elaboración propia.

- Momentos de empotramiento

Segundo nivel

$$M (\text{vigas } 1) = 2\,501,51 \text{ kg-m}$$

$$M (\text{vigas } 2) = 4\,363,62 \text{ kg-m}$$

$$M (\text{vigas } 3) = 5\,557,83 \text{ kg-m}$$

Primer nivel

$$M (\text{vigas } 1) = 3\,167,57 \text{ kg-m}$$

$$M (\text{vigas } 2) = 5\,525,49 \text{ kg-m}$$

$$M (\text{vigas } 3) = 7\,037,66 \text{ kg-m}$$

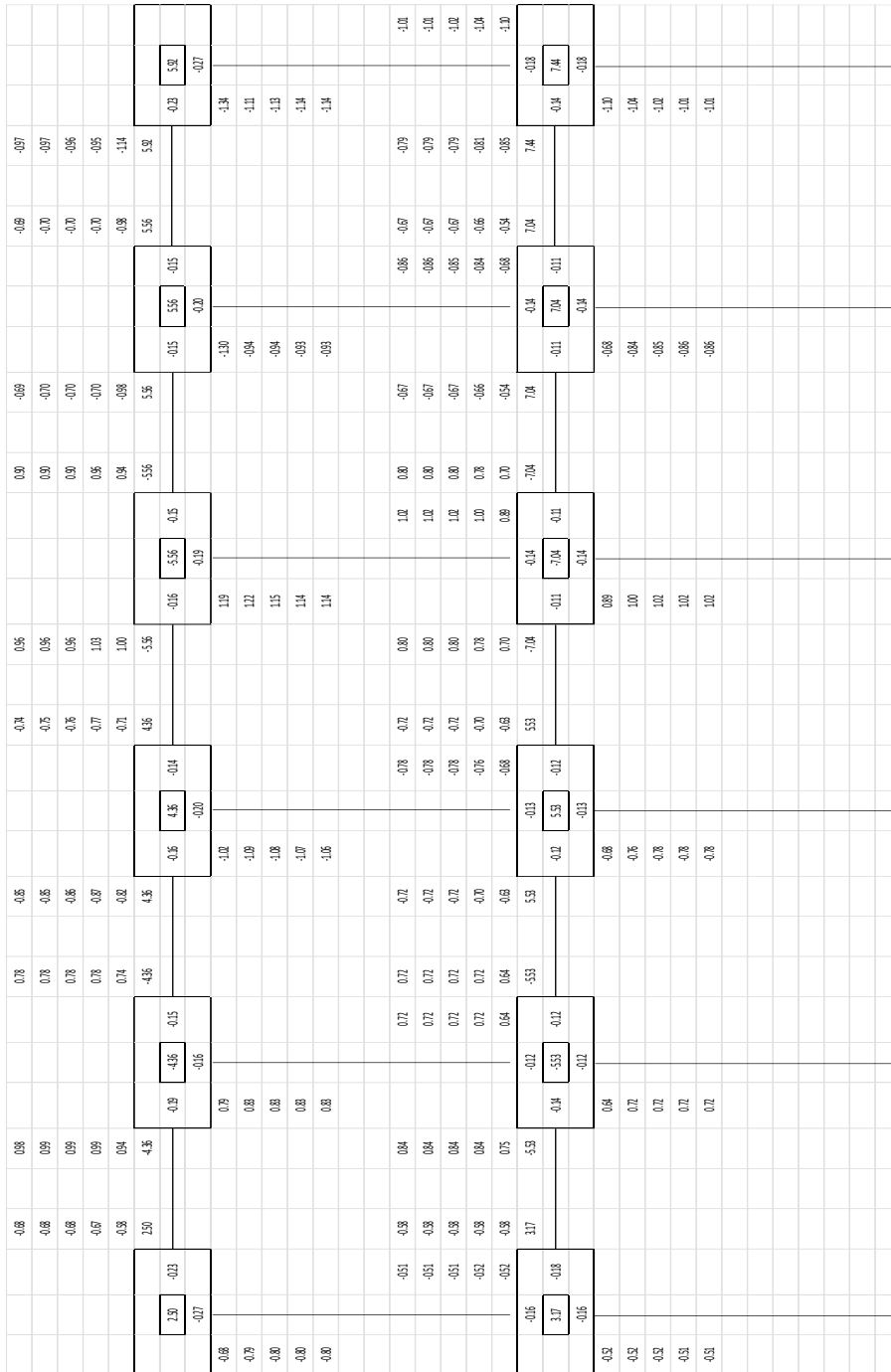
- Iteraciones: se realizan hasta obtener valores de datos repetidos, es posible ver resultados de iteraciones en el diagrama de distribución de momentos.

Tabla XX. Resultados de primera iteración, módulo 2

<p>Nudo 1</p> $2,50 * -0,23 = -0,58$ $2,50 * -0,27 = -0,68$	<p>Nudo 2</p> $[-4,36 + (-0,58)] * -0,19 = 0,94$ $[-4,36 + (-0,58)] * -0,15 = 0,74$ $[-4,36 + (-0,58)] * -0,16 = 0,79$
<p>Nudo 3</p> $[4,36 + (0,74)] * -0,15 = -0,77$ $[4,36 + (0,74)] * -0,15 = -0,77$ $[4,36 + (0,74)] * -0,20 = -1,02$	<p>Nudo 4</p> $[-5,56 + (-0,77)] * -0,16 = 1,01$ $[-5,56 + (-0,77)] * -0,15 = 0,95$ $[-5,56 + (-0,77)] * -0,19 = 1,20$
<p>Nudo 5</p> $[5,56 + (0,95)] * -0,15 = -0,98$ $[5,56 + (0,95)] * -0,15 = -0,98$ $[5,56 + (0,95)] * -0,20 = -1,30$	<p>Nudo 6</p> $[-5,92 + (-0,98)] * -0,23 = 1,59$ $[-5,92 + (-0,98)] * -0,27 = 1,86$
<p>Nudo 7</p> $[3,17 + (0,75)] * -0,16 = -0,52$ $[3,17 + (0,75)] * -0,18 = -0,58$ $[3,17 + (0,75)] * -0,16 = -0,52$	<p>Nudo 8</p> $[-5,53 + (-0,63)] * -0,12 = 0,64$ $[-5,53 + (-0,63)] * -0,14 = 0,75$ $[-5,53 + (-0,63)] * -0,12 = 0,64$ $[-5,53 + (-0,63)] * -0,12 = 0,64$
<p>Nudo 9</p> $[5,53 + (0,72)] * -0,12 = -0,63$ $[5,53 + (0,72)] * -0,12 = -0,63$ $[5,53 + (0,72)] * -0,13 = -0,68$ $[5,53 + (0,72)] * -0,13 = -0,68$	<p>Nudo 10</p> $[7,44 + (-2,01)] * -0,19 = -1,03$ $[7,44 + (-2,01)] * -0,12 = -0,65$ $[7,44 + (-2,01)] * -0,19 = -1,03$
<p>Nudo 11</p> $[7,04 + (0,78)] * -0,11 = -0,72$ $[7,04 + (0,78)] * -0,11 = -0,72$ $[7,04 + (0,78)] * -0,14 = -0,91$ $[7,04 + (0,78)] * -0,14 = -0,91$	<p>Nudo 12</p> $[-7,44 + (1,86)] * -0,18 = 1,00$ $[-7,44 + (1,86)] * -0,14 = 0,78$ $[-7,44 + (1,86)] * -0,18 = 1,00$

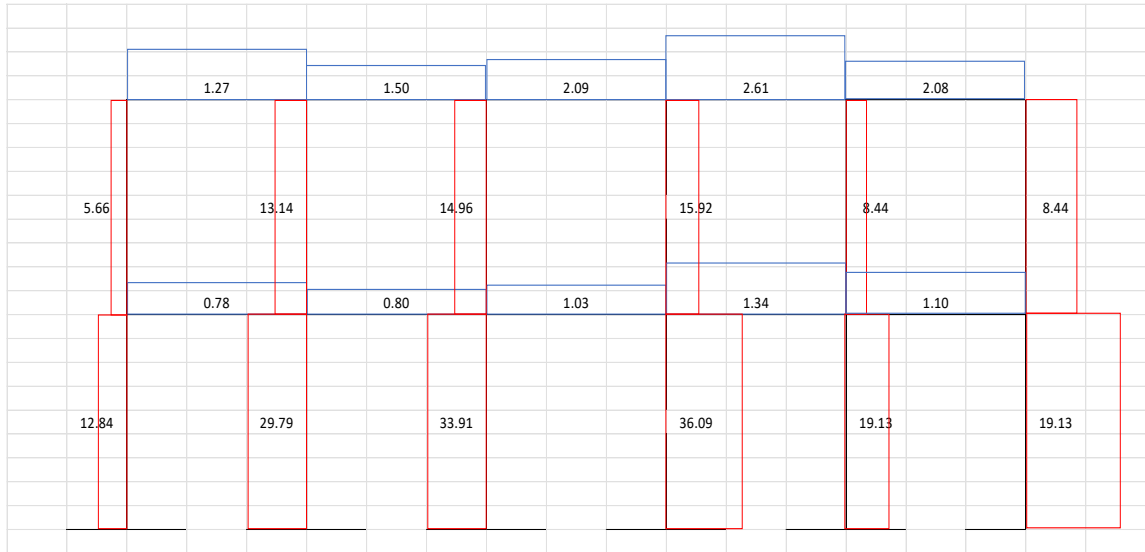
Fuente: elaboración propia.

Figura 14. Distribución de momentos, módulo 2



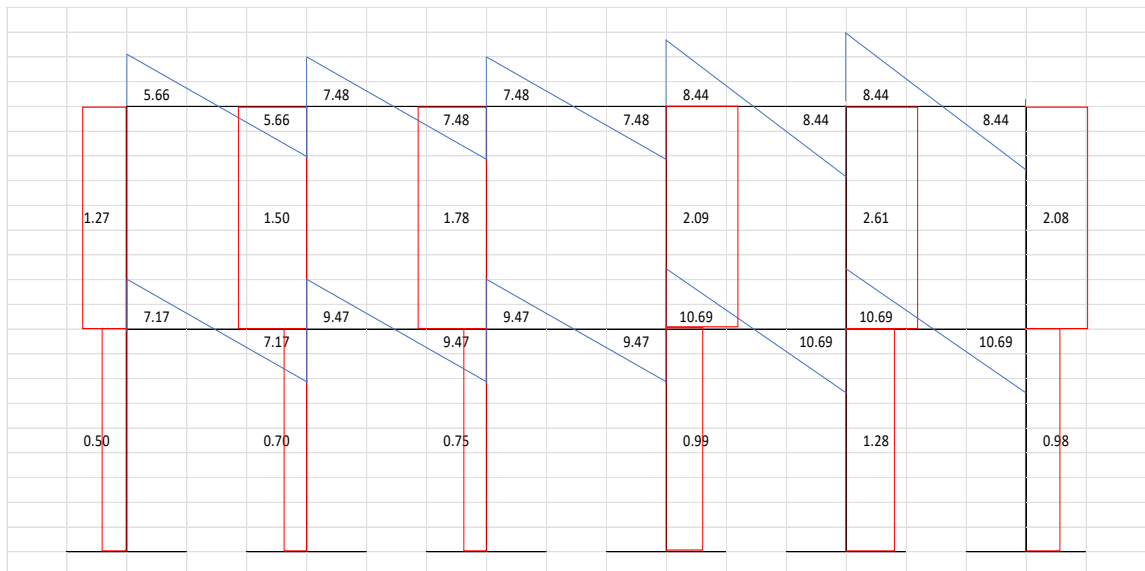
Fuente: elaboración propia.

Figura 15. Diagrama de cargas axiales, módulo 2



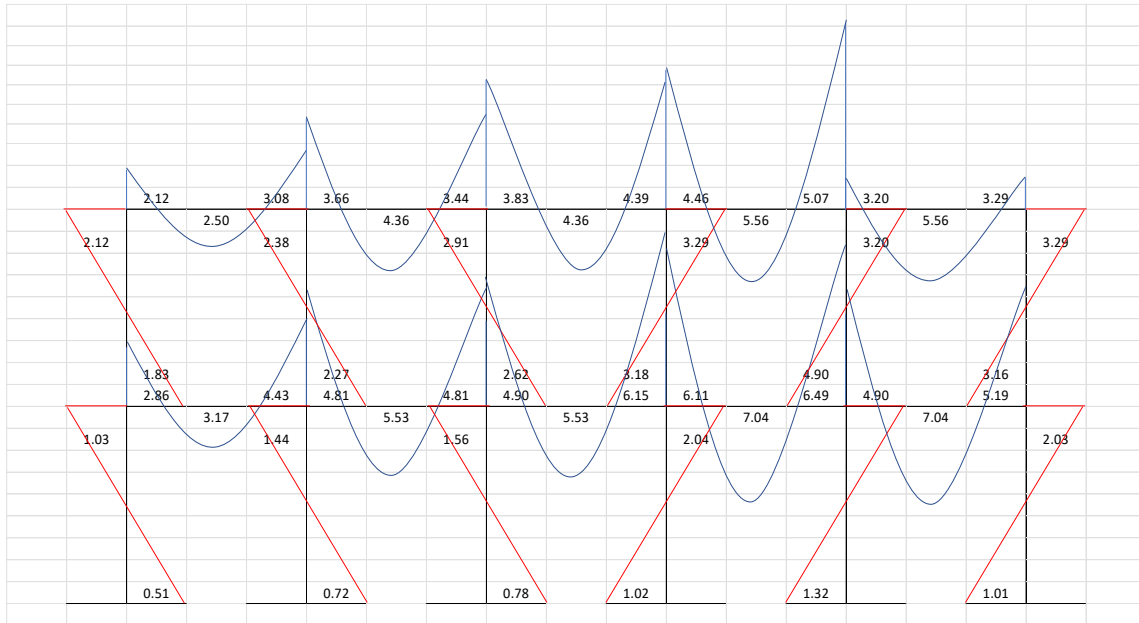
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 16. Diagrama de cortantes, módulo 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 17. Diagrama de momentos, módulo 2



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### Módulo 3:

- Cálculo de cargas últimas (CV + CM): a continuación se presenta el marco típico del módulo 3 en el sentido y – y, donde se indican las dimensiones y los valores de carga última en kg/m de cada nivel, también se identifican y ubican los nudos de la estructura.

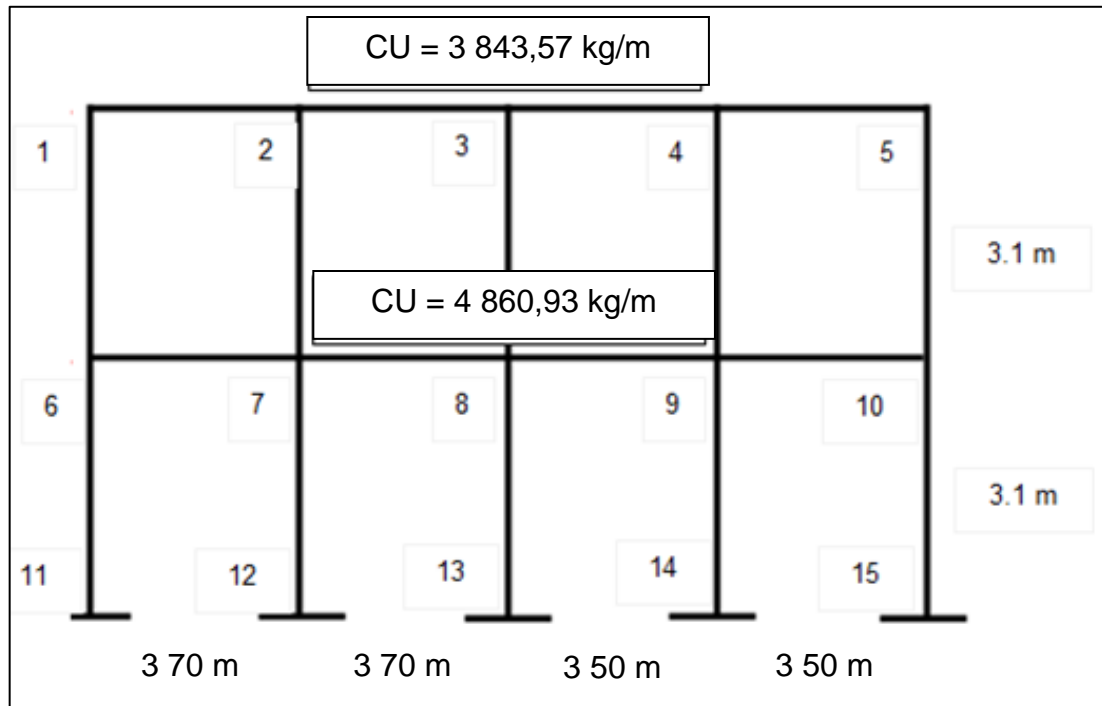
Segundo nivel

$$\text{Carga última} = 1,67 (2\ 082,45) = 3\ 443,57 \text{ kg/m}$$

Primer nivel

$$\text{Carga última} = 1,61 (2\ 715,78) = 4\ 372,41 \text{ kg/m}$$

Figura 18. Valores de CV, CM por nivel y ubicación de nudos, módulo 3



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Cálculo de rigideces

$$R = 1/L$$

$$R (\text{columnas}) = 0,32$$

$$R (\text{vigas 1}) = 0,27$$

$$R (\text{vigas 2}) = 0,29$$

- Cálculo de factores de contribución angular: ver resultados de iteraciones en el diagrama de distribución de momentos.

Tabla XXI. Resultados de factores de contribución angular, módulo 3

<p>Nudo 1</p> $K1\ 2 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,32) = - 0,23$ $K1\ 6 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,32) = - 0,27$	<p>Nudo 2 = 3</p> $K2\ 1 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,27 + 0,32) = - 0,16$ $K2\ 3 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,27 + 0,32) = - 0,16$ $K2\ 7 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,27 + 0,32) = - 0,18$
<p>Nudo 4</p> $K4\ 3 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,29 + 0,32) = - 0,16$ $K4\ 5 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,29 + 0,32) = - 0,16$ $K4\ 9 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,29 + 0,32) = - 0,18$	<p>Nudo 5</p> $K5\ 4 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,32) = - 0,23$ $K5\ 10 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,32) = - 0,27$
<p>Nudo 6</p> $K6\ 1 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K6\ 7 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$ $K6\ 11 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,18$	<p>Nudo 7</p> $K7\ 6 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K7\ 8 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,11$ $K7\ 2 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K7\ 12 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,27 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$
<p>Nudo 8</p> $K8\ 7 = -0,5 * (0,27 / 0,27 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K8\ 9 = -0,5 * (0,29 / 0,27 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K8\ 3 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,13$ $K8\ 13 = -0,5 * (0,32 / 0,27 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,13$	<p>Nudo 9</p> $K9\ 8 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,12$ $K9\ 10 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,10$ $K9\ 4 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$ $K9\ 14 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,14$
<p>Nudo 10</p> $K10\ 9 = -0,5 * (0,29 / 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,16$ $K10\ 5 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,17$ $K10\ 15 = -0,5 * (0,32 / 0,29 + 0,32 + 0,32) = - 0,17$	<p>Nudo 11 = 12 = 13 = 14 = 15    K = -0,5</p>

Fuente: elaboración propia.

- Momentos de empotramiento

Segundo nivel

M (vigas 1) = 4 383,87 kg-m

M (vigas 2) = 3 923,64 kg-m

Primer nivel

M (vigas 1) = 5 545,51 kg-m

M (vigas 2) = 4 962,20 kg-m



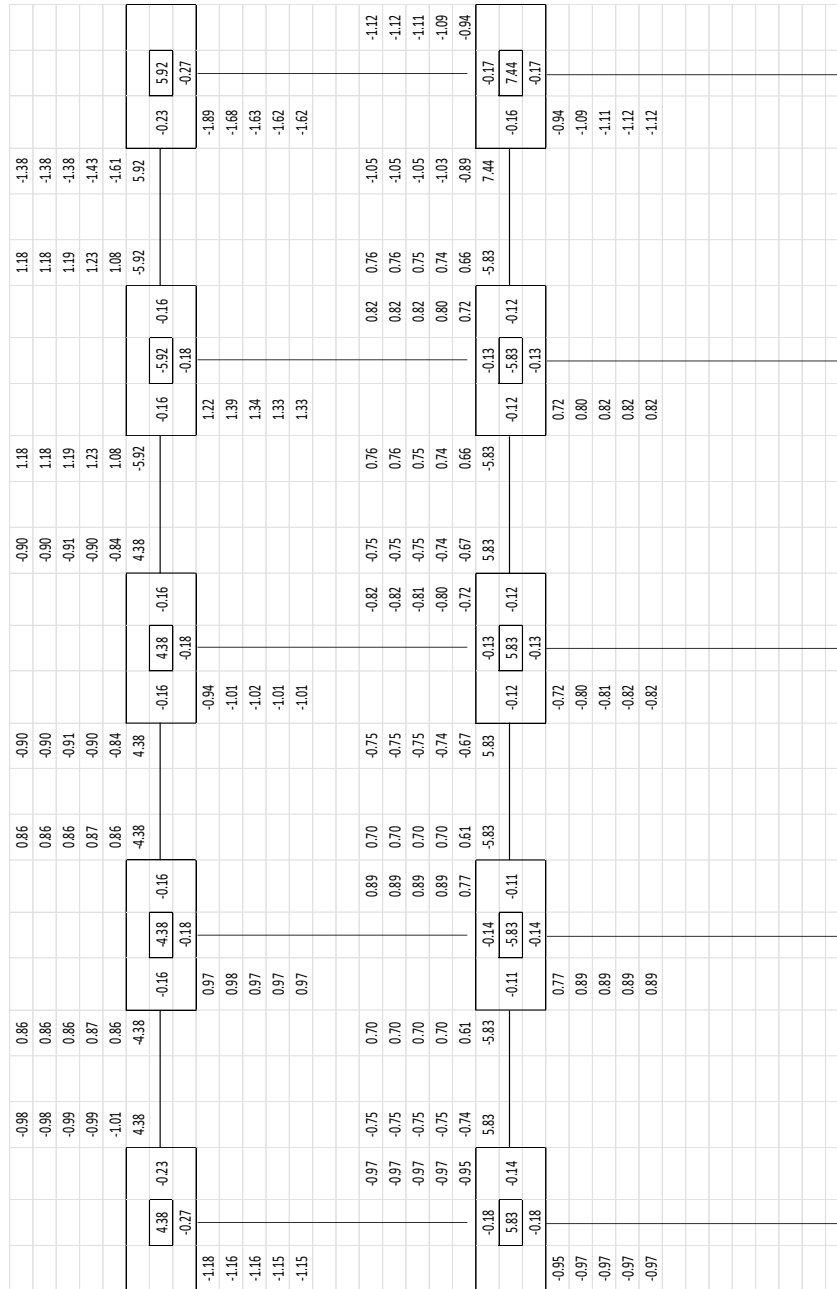
- Iteraciones: se realizan hasta obtener valores de datos repetidos, es posible ver resultados de iteraciones en el diagrama de distribución de momentos.

Tabla XXII. **Resultados de primera iteración, módulo 3**

<p>Nudo 1</p> $4,38 * -0,23 = -1,01$ $4,38 * -0,27 = -1,18$	<p>Nudo 2</p> $[-4,38 + (-1,01)] * -0,16 = 0,88$ $[-4,38 + (-1,01)] * -0,16 = 0,88$ $[-4,38 + (-1,01)] * -0,18 = 0,98$
<p>Nudo 3</p> $[4,38 + (0,86)] * -0,16 = -0,84$ $[4,38 + (0,86)] * -0,16 = -0,84$ $[4,38 + (0,86)] * -0,18 = -0,94$	<p>Nudo 4</p> $[-5,92 + (-0,84)] * -0,16 = 1,08$ $[-5,92 + (-0,84)] * -0,16 = 1,08$ $[-5,92 + (-0,84)] * -0,18 = 1,22$
<p>Nudo 5</p> $[5,92 + (1,08)] * -0,23 = -1,61$ $[5,92 + (1,08)] * -0,27 = -1,89$	<p>Nudo 6</p> $[5,83 + (0,61)] * -0,14 = -0,74$ $[5,83 + (0,61)] * -0,18 = -0,95$ $[5,83 + (0,61)] * -0,18 = -0,95$
<p>Nudo 7</p> $[-5,83 + (-0,67)] * -0,11 = 0,61$ $[-5,83 + (-0,67)] * -0,11 = 0,61$ $[-5,83 + (-0,67)] * -0,14 = 0,77$ $[-5,83 + (-0,67)] * -0,14 = 0,77$	<p>Nudo 8</p> $[5,83 + (0,66)] * -0,12 = -0,67$ $[5,83 + (0,66)] * -0,12 = -0,67$ $[5,83 + (0,66)] * -0,13 = -0,72$ $[5,83 + (0,66)] * -0,13 = -0,72$
<p>Nudo 9</p> $[-5,83 + (-0,89)] * -0,12 = 0,66$ $[-5,83 + (-0,89)] * -0,12 = 0,66$ $[-5,83 + (-0,89)] * -0,13 = 0,72$ $[-5,83 + (-0,89)] * -0,13 = 0,72$	<p>Nudo 10</p> $[7,44 + (-1,89)] * -0,17 = -0,94$ $[7,44 + (-1,89)] * -0,16 = -0,89$ $[7,44 + (-1,89)] * -0,17 = -0,94$

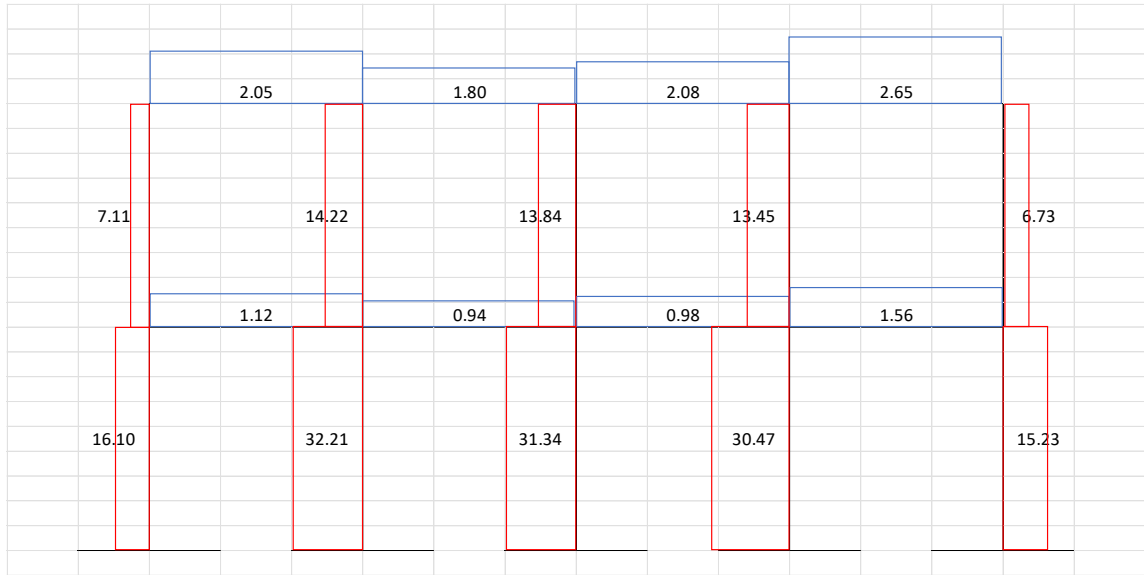
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Distribución de momentos, módulo 3



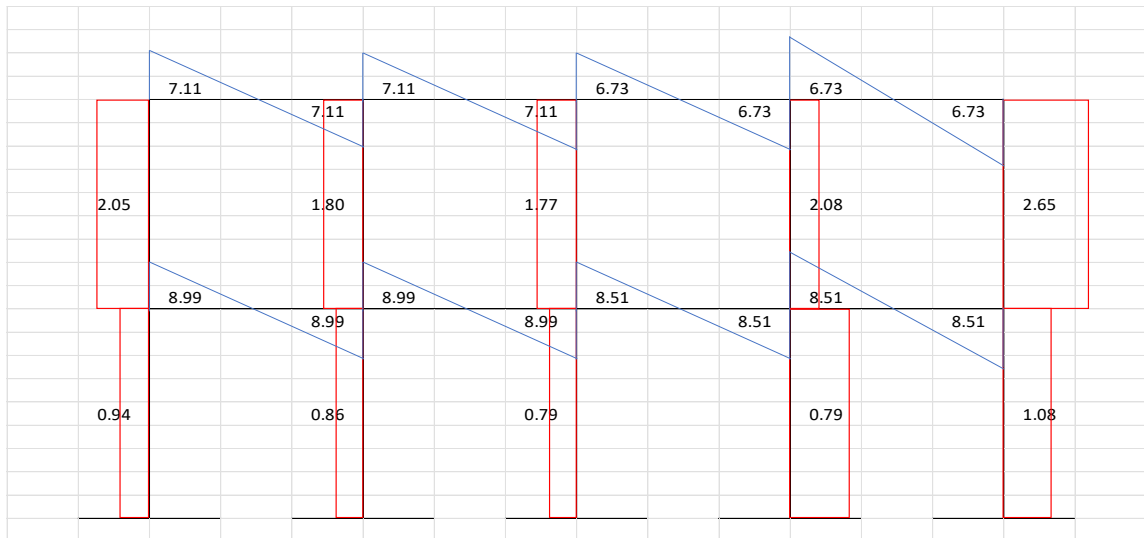
Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Diagrama de cargas axiales, módulo 3



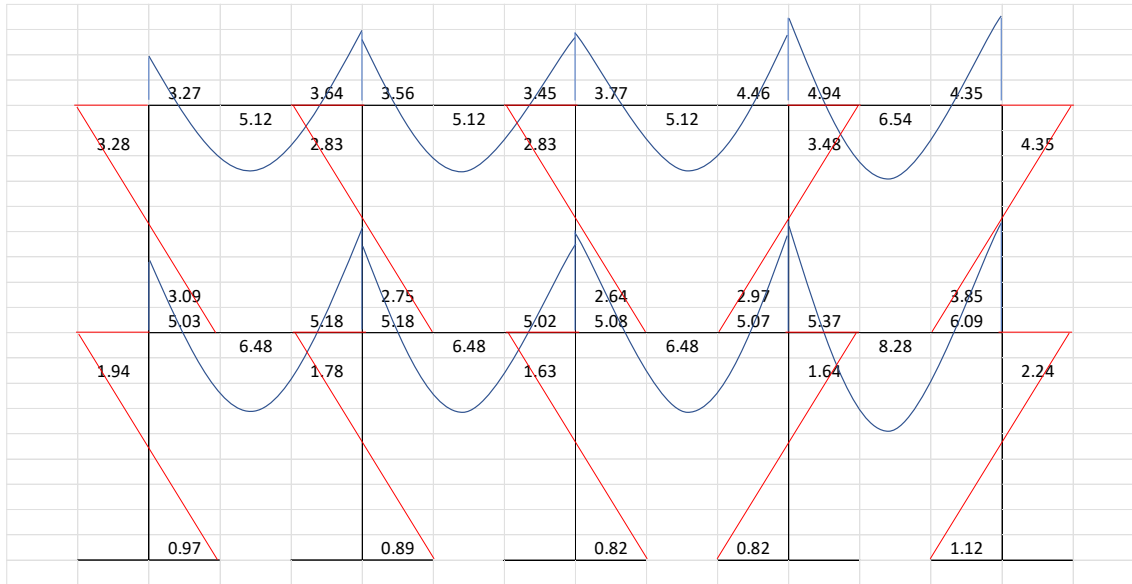
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 21. Diagrama de cortantes, módulo 3



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 22. Diagrama de momentos, módulo 3

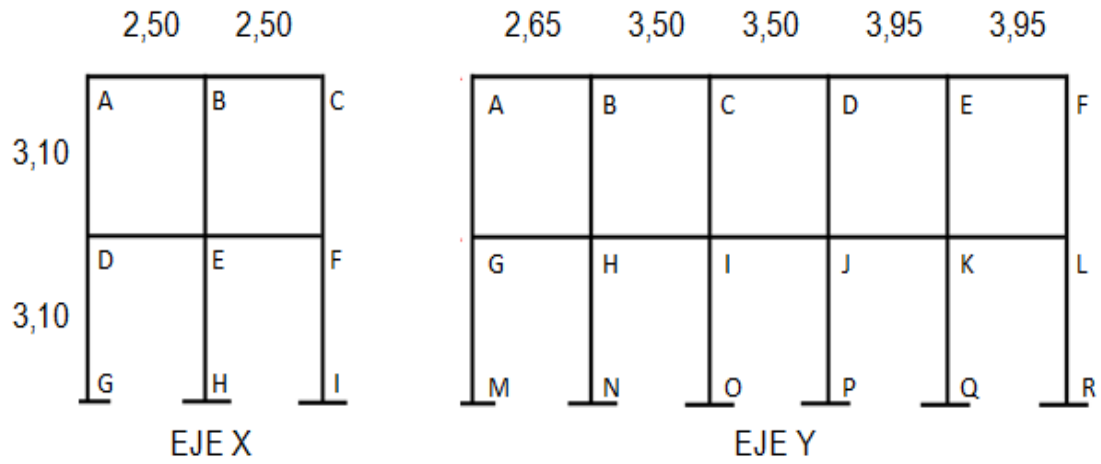


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 2.1.6.7. Diseño de elementos estructurales bajo condiciones críticas (módulo 2)

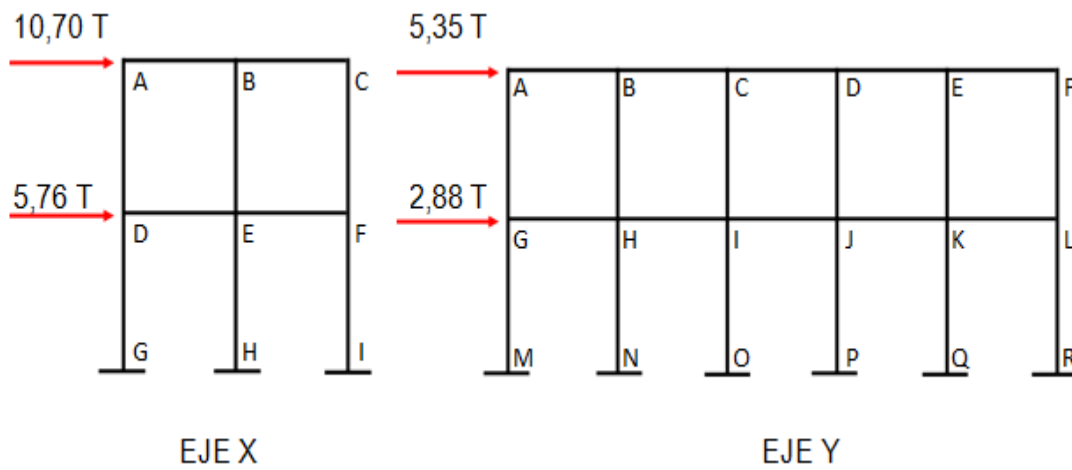
El diseño estructural consiste en determinar las características principales de los elementos estructurales, como dimensiones, tipo y cantidad de acero de refuerzo, forma, entre otras.

Figura 23. Dimensiones de marco crítico



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Figura 24. Cargas aplicadas a marco crítico



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 2.1.6.8. Diseño de columna

Se realizará el análisis por el método de interacciones, este consiste en determinar momentos y cargas axiales actuantes sobre la columna analizando distintos puntos de la sección.

Se determina el valor del  $C_b$  y respecto a él se calculan cargas y momentos para valores de  $C$  mayores y menores al  $C_b$ , luego se grafican los puntos calculados para obtener el diagrama normal. Con el factor de reducción se obtiene el diagrama reducido y por último se calcula la carga axial sobre la columna y el momento producto de la relación sísmica y se grafica dicho punto comparando su ubicación con los dos diagramas y, si se encuentra dentro de ambos diagramas, el diseño de la columna se considera funcional.

- Ubicación

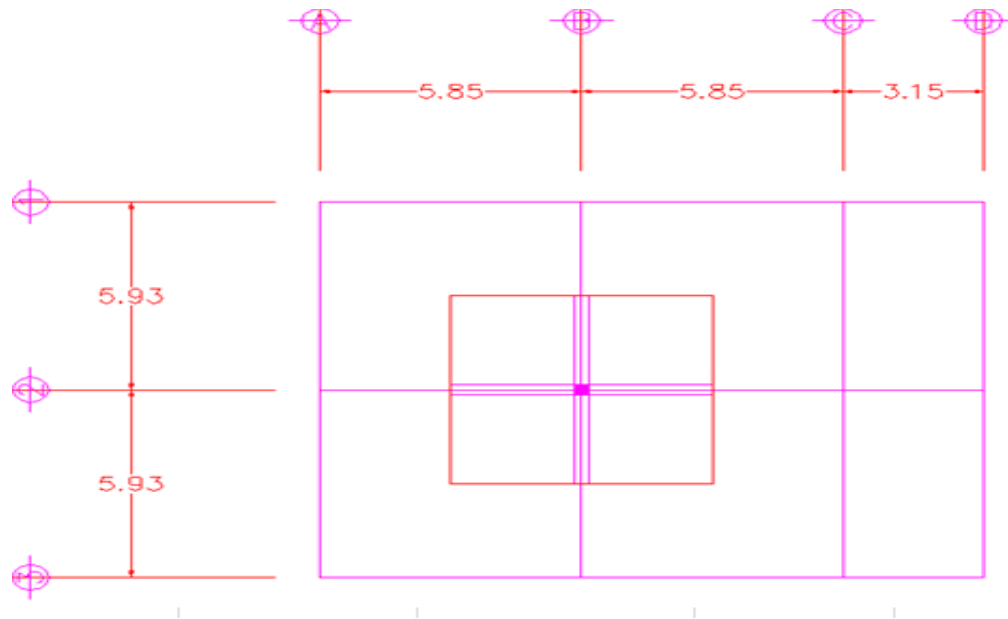
Módulo = 1

Eje X = B

Eje Y = 7

Área tributaria = 10 m<sup>2</sup>

Figura 25. **Ubicación de columna crítica**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Especificaciones de materiales

$$f_y = G60 (60\ 000\ \text{PSI}) = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$$

$$f'_c = 4\ 000\ \text{PSI} = 280\ \text{kg/cm}^2$$

- Especificaciones técnicas

Coefficiente de reducción para LRFD = 0,65 (columna cuadrada)

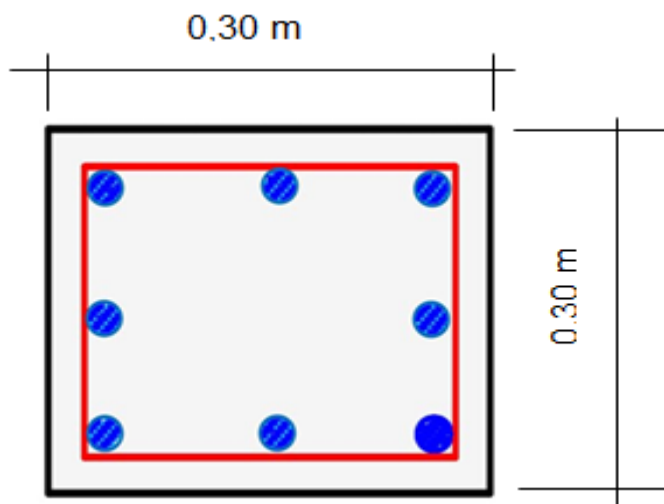
Dimensiones menores = 30 x 30 cm

Área mínima = 900 cm<sup>2</sup>

Relación B/h ≥ 0 4

- Dimensiones de columna:  
30 cm x 30 cm  
Área gruesa = 900 cm<sup>2</sup>  
Altura = 3 0 m

Figura 26. **Dimensiones de columna**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Refuerzo longitudinal

Acero a utilizar:

$$A_s = 1 \% A_G = 1 \% (900 \text{ cm}^2) = 9 \text{ cm}^2$$



Tabla XXIII. **Opciones para acero de refuerzo de columna**

Nro. de varilla	Área (cm <sup>2</sup> )	Cantidad de varillas
No. 4	1,27	15
No. 5	1,98	10
No. 6	2,85	8

Nota: se utilizarán 8 varillas nro. 6 como refuerzo longitudinal.

Fuente: elaboración propia.

- Peralte efectivo (d)

Recubrimiento = 4 cm

Acero longitudinal = nro. 6

Acero transversal = nro. 3

$$d = 30 - (4 + 3/8 (2,54) + 3/4 (2,54) * 0,5$$

$$d = 24 \text{ 10 cm}$$

$$d' = 5 \text{ 90 cm}$$

- Procedimiento de cálculo de columna propuesta

- Carga axial pura

$$P = (AG - A_s) (0,85 f'c) + A_s f_y$$

$$P = (900 - (2,85 * 8)) (0,85 * 280) + (2,85 * 8) * 4200$$

$$P = 304 \text{ 533,6 / 1000} = 304,53 \text{ Ton}$$

$$\phi P = 0,80 * 304,53 = 243,63 \text{ Ton}$$

$$M = 0 \text{ T - m}$$

$$\phi M = 0 \text{ T - m}$$

- Falla balanceada Cb

$$Cb = (6120 + d) / (6120 + fy)$$

$$Cb = (6120 + 24,10) / (6120 + 4200)$$

$$Cb = 14,29 \text{ cm}$$

$$Es1 = 0,003 (C - d') / C \quad fs1 = Es1 * (2,04 * 10^6)$$

$$Es1 = 0,003 (14,29 - 5,90) / 14,29 = 0,0017$$

$$fs1 = 0,0017 * (2,04 * 10^6) = 3\,468 \text{ kg/cm}^2$$

$$Es2 = 0,003 (h/2 - C) / C \quad fs2 = Es2 * (2,04 * 10^6)$$

$$Es2 = 0,003 (15 - 14,29) / 14,29 = 0,0001$$

$$fs2 = 0,0001 * (2,04 * 10^6) = 204 \text{ kg/cm}^2$$

$$Es3 = 0,003 (d - C) / C \quad fs3 = Es3 * (2,04 * 10^6)$$

$$Es3 = 0,003 (24,10 - 14,29) / 14,29 = 0,0020$$

$$fs3 = 0,0020 * (2,04 * 10^6) = 4\,080 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla XXIV. Resultados de falla balanceada

Fibra	Resistencia	Área	R * A / 1000
Concreto	0,85 * 280	0,85 * 14,29 * 30	86,73
As1	3 468	3 * 2,85	29,65
As2	204	2 * 2,85	- 1,16
As3	4 080	3 * 2,85	- 34,88
P (Ton)			80,34
$\Phi$ P (Ton)			52,22

FIBRA	P	L	P * L / 100
Concreto	86,73	15 – 0,85 * 14,29 * 0,5	7,74
As1	29,65	15 – 5,90	2,69
As2	1,16	15 – 15	0
As3	34,88	24,10 – 15	3,17
M (T – m)			13,6
$\Phi$ M (T – m)			8,84

Fuente: elaboración propia.

- Falla a compresión

$$C > C_b \quad C = 20 \text{ cm} > 14,29 \text{ cm}$$

Tabla XXV. Resultados de falla a compresión

Fibra	Resistencia	Área	R * A / 1000
Concreto	0,85 * 280	0,85 * 20 * 30	121,38
As1	4 200	3 * 2,85	35,91
As2	1 428	2 * 2,85	8 14
As3	1 224	3 * 2,85	- 10,47
P (Ton)			154,96
$\Phi$ P (Ton)			100,72

Fibra	P	L	P * L / 100
Concreto	121,38	15 – 0,85 * 20 * 0,5	7,88
As1	35,91	15 – 5,90	3,27
As2	8 14	15 – 15	0
As3	10,47	24,10 – 15	0,95
M (T – m)			12,1
$\Phi$ M (T – m)			7,87

Fuente: elaboración propia.

- Falla a tensión

$$C < C_b \quad C = 10 \text{ cm} < 14,29 \text{ cm}$$

Tabla XXVI. Resultados de falla a tensión

Fibra	Resistencia	Área	R * A / 1000
Concreto	0,85 * 280	0,85 * 20 * 30	60,69
As1	2 448	3 * 2,85	20,93
As2	3 060	2 * 2,85	- 17,44
As3	4 200	3 * 2,85	- 35,91
P (Ton)			28,27
Φ P (Ton)			18,38

Fibra	P	L	P * L / 100
Concreto	121,38	15 – 0,85 * 20 * 0,5	6,52
As1	35,91	15 – 5,90	1,90
As2	8 14	15 – 15	0
As3	10,47	24,10 – 15	3,27
M (T – m)			11,69
Φ M (T – m)			7,60

Fuente: elaboración propia.

○ Integración de carga axial

Peso propio = $0,30 * 0,30 * 3,10 * 2400 / 1000 =$	0,67 Ton
Losa = $10 * 0,15 * 2400 / 1000 =$	3,60 Ton
Viga = $(4 + 2,5) * 0,3 * 0,5 * 2400 / 1000 =$	2,34 Ton
Muros = $6,5 * 3,10 * 150 / 1000 =$	3,02 Ton
Sobrecarga = $10 * 25 / 1000 =$	0,25 Ton
Acabados = $10 * 110 / 1000 =$	1,10 Ton
CM =	10,98 Ton

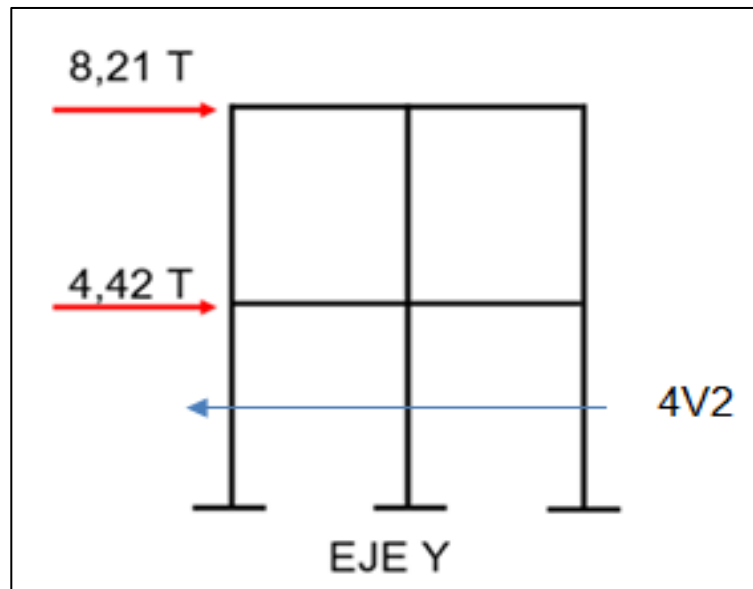
$$CV = 10 * 500 / 1000 = 5 \text{ Ton}$$

Factores de mayorero

$$P = 1,2 \text{ CM} + 1,6 \text{ CV}$$

$$P = 2 * (1,2 (10,98) + 1,6 (5)) = 42,35 \text{ Ton}$$

Figura 27. Factores de mayorero



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

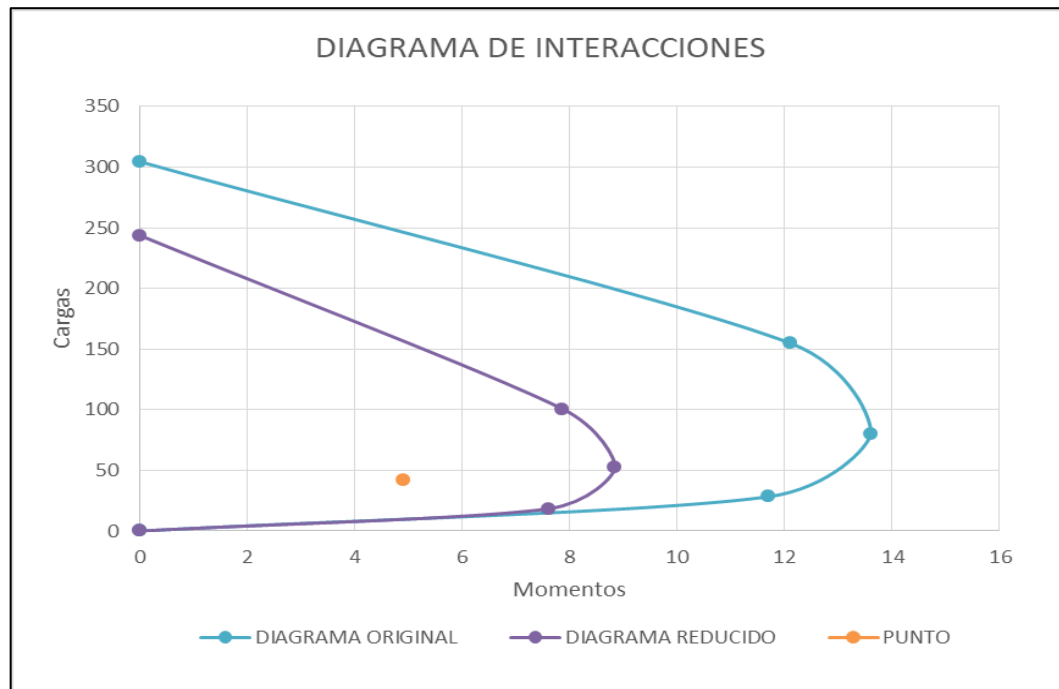
$$M = (8,21 + 4,42) / 4 = 3,16 \text{ Ton} * 3,10 / 2 = 4,89 \text{ Ton}$$

Tabla XXVII. **Resumen de cargas y momentos actuantes y reducidos**

	M (T - m)	P (Ton)	$\Phi M$ (T - m)	$\Phi P$ (Ton)
Carga axial pura	0	304,53	0	243,62
Compresión	12,1	154,96	7,86	100,72
Balanceada	13,6	80,34	8,84	52,22
Tensión	11,69	28,27	7,6	18,38
Punto	4,89	42,34		

Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Diagrama de interacciones**



Fuente: elaboración propia.

Nota: debido a que las dimensiones para la columna propuesta (30 cm x 30 cm) y su porcentaje de acero (1 %) se encuentran dentro de ambos diagramas (original y reducido), se le califica como apta y funcional para soportar las cargas gravitacionales y sísmicas actuantes.

Refuerzo transversal

Estribos nro. 3

Espaciamiento mínimo =  $h/2 = 30 / 2 = 15$  cm

Longitud de confinamiento ( $l_o$ )

$H = 310$  cm

a.  $H/6 = 310 / 6 = 51,67$  cm = 52 cm

b.  $18 * 2,54 = 45,72$  cm = 46 cm

Espaciamiento

$h/4 = 30 / 4 = 7,5$  cm = 8 cm

$6 * \# / 8 * 2,54 = 6 * 8/8 * 2,54 = 15,24$  cm

$4 + (14 - h/2,54) / 3 * 2,54 = 15,35$  cm

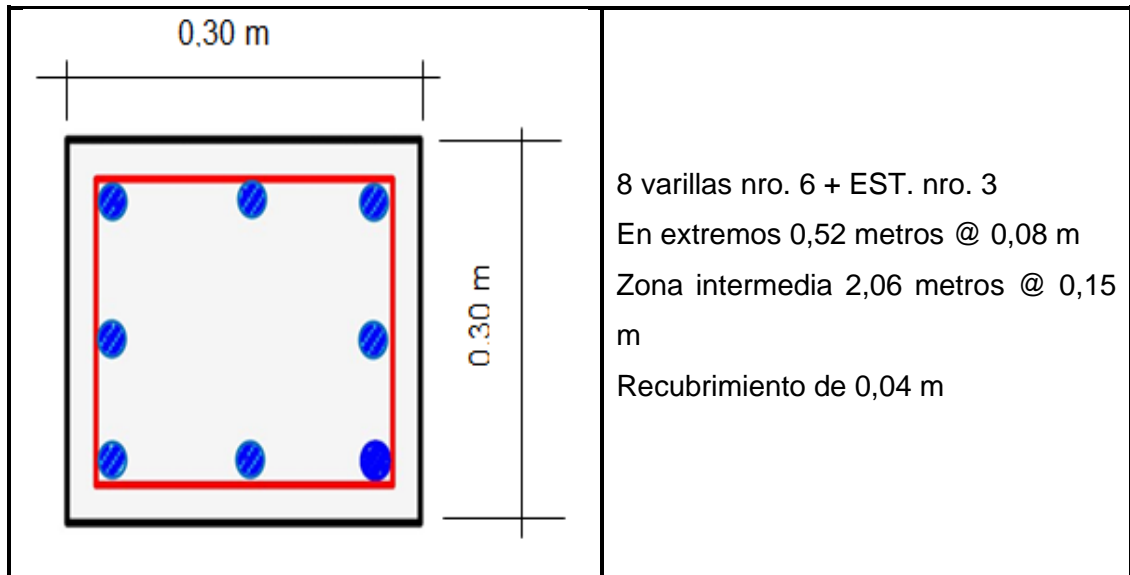
Resto de columna

$L = h - 2 (l_o) = 310 - 2 (52) = 206$  cm

Espaciamiento =  $h/2 = 30 / 2 = 15$  cm



Figura 29. **Diseño final de columna**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 2.1.6.9. **Diseño de viga**

A continuación, se presenta el procedimiento y los cálculos para el diseño de la viga.

- Ubicación

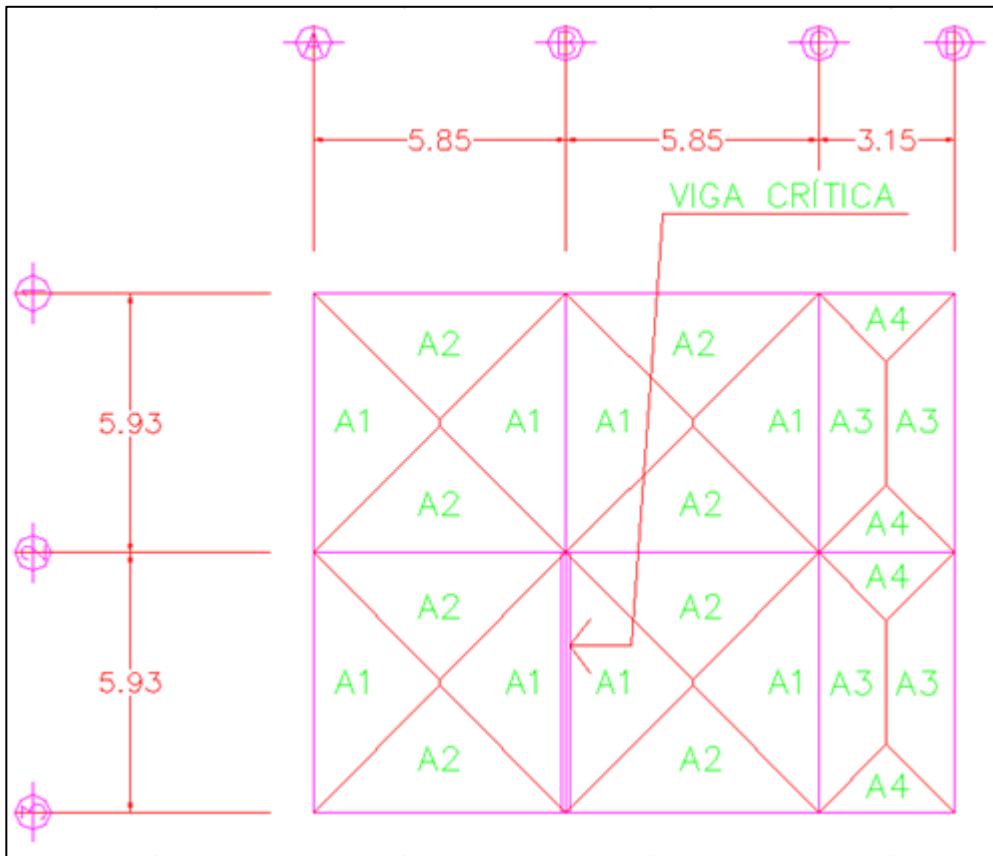
Módulo = 1

Tramo A-D

Eje Y = 8

Área tributaria = 10 metros cuadrados

Figura 30. Ubicación de viga crítica



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

- Especificaciones de materiales

$$f_y = G60 (60\ 000\ \text{PSI}) = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$$

$$f'_c = 4\ 000\ \text{PSI} = 280\ \text{kg/cm}^2$$

- Especificaciones técnicas

Base mínima = 25 cm

Relación  $b/h = 1/2 \leq b/h \leq 3/4$

- Dimensiones de viga:

30 cm x 50 cm

Área Gruesa = 1500 cm<sup>2</sup>

L = 5 m

- Procedimiento de cálculo de viga propuesta

- Integración de cargas

Peso propio =  $0,30 * 0,50 * 5 * 2\ 400 / 1\ 000 = 1,80$  Ton

Losa =  $10 * 0,15 * 2400 / 1\ 000 = 3,60$  Ton

Muros =  $5 * 3,10 * 150 / 1\ 000 = 2,33$  Ton

Sobrecarga =  $10 * 25 / 1\ 000 = 0,25$  Ton

Acabados =  $10 * 110 / 1\ 000 = 1,10$  Ton

CM = 9,08 Ton

CV =  $10 * 500 / 1\ 000 = 5$  Ton

CU = 1,2 CM + 1,6 CV

CU = 1,2 (9,08 / 5) + 1,6 (5 / 5)

CU = 3,78 Ton/m

- Momentos

M (-) =  $wL^2 / 9 = 3,78 * 5^2 / 9 = 10,5$  Ton – m

M (+) =  $wL^2 / 14 = 3,78 * 5^2 / 14 = 6,75$  Ton – m

- Peralte efectivo (d)

Recubrimiento = 4 cm

Acero longitudinal = No. 5

Acero transversal = No. 3

$$d = 50 - (4 + 3/8 (2,54) + 5/8 (2,54) * 0,5$$

$$d = 44,25 \text{ cm}$$

$$d' = 5,75 \text{ cm}$$

- Interacciones para determinar el área de acero

$$a = (A_s f_y) / (0,85 * f'_c * b) \quad A_s = M / (\phi * f_y * (d - a/2))$$

Momento (-)

Se escoge un valor de "a" teórico = 10 % h = 10 % \* 50 = 5

$$a = 5$$

$$A_s = (10,5 * 100\,000) / (0,9 * 4\,200 * (44,25 - 5/2)) = 6,65 \text{ cm}^2$$

$$a = (6,65 * 4\,200) / (0,85 * 280 * 30) = 3,91$$

$$A_s = (10,5 * 100\,000) / (0,9 * 4\,200 * (44,25 - 3,91/2)) = 6,57 \text{ cm}^2$$

$$a = (6,57 * 4\,200) / (0,85 * 280 * 30) = 3,86$$

$$A_s = (10,5 * 100\,000) / (0,9 * 4\,200 * (44,25 - 3,86/2)) = 6,56 \text{ cm}^2$$

$$a = (6,56 * 4\,200) / (0,85 * 280 * 30) = 3,86$$

$$A_s = (10,5 * 100\,000) / (0,9 * 4\,200 * (44,25 - 3,86/2)) = 6,56 \text{ cm}^2$$

Nota: luego de 4 iteraciones, el valor de a (6,56 cm<sup>2</sup>) da igual que el valor del A<sub>s</sub>, se toma este valor de A<sub>s</sub> para el momento negativo.

$$\%As = 6,56 \text{ cm}^2 / (30 * 50) = 0,0044 * 100 = 0,43 \%$$

$$\%As_{min} = 0,33 \%$$

$$\%As_{max} = 0,75 \%$$

$$\%As > \%As_{min} \quad 0,43 \% > 0,33 \%$$

$$\%As < \%As_{max} \quad 0,43 \% < 0,75 \%$$

$$6,56 \text{ cm}^2 / 2,85 \text{ cm}^2 = 2,30 = 3 \text{ varillas No. 6}$$

Momento (+)

Se escoge un valor de "a"

$$a = 5$$

$$As = (6,75 * 100\,000) / (0,9 * 4200 * (44,25 - 5/2)) = 4,28 \text{ cm}^2$$

$$a = (4,28 * 4200) / (0,85 * 280 * 30) = 2,52$$

$$As = 4,15 \text{ cm}^2$$

$$a = 2,44$$

$$As = 4,15 \text{ cm}^2$$

$$a = 2,44$$

$$As = 4,15 \text{ cm}^2$$

Nota: luego de 4 iteraciones, el valor de a (4 15 cm<sup>2</sup>) da igual que el valor del As, se toma este valor de As para el momento positivo.

$$\%As = 4,15 \text{ cm}^2 / (30 * 50) = 0,0027 * 100 = 0,27 \%$$

$$\%As_{min} = 0,33 \%$$

$$\%As > \%As_{min} \quad 0,43 \% > 0,33 \%$$

Debido a que no cumple con el mínimo, se puede usar cualquier porcentaje dentro de lo permitido.

$$0,35 \% * (30 * 50) = 5,25 \text{ cm}^2$$

$$5,25 \text{ cm}^2 / 2,85 \text{ cm}^2 = 1,84 = 2 \text{ varillas nro. 6}$$

Refuerzo transversal

Estribos de acero nro. 3

Longitud de confinamiento ( $l_o$ )

$$h = 50 \text{ cm}$$

$$l_o = 2 (50) = 100 \text{ cm}$$

Espaciamiento

$$h/4 = 50 / 4 = 12,5 \text{ cm}$$

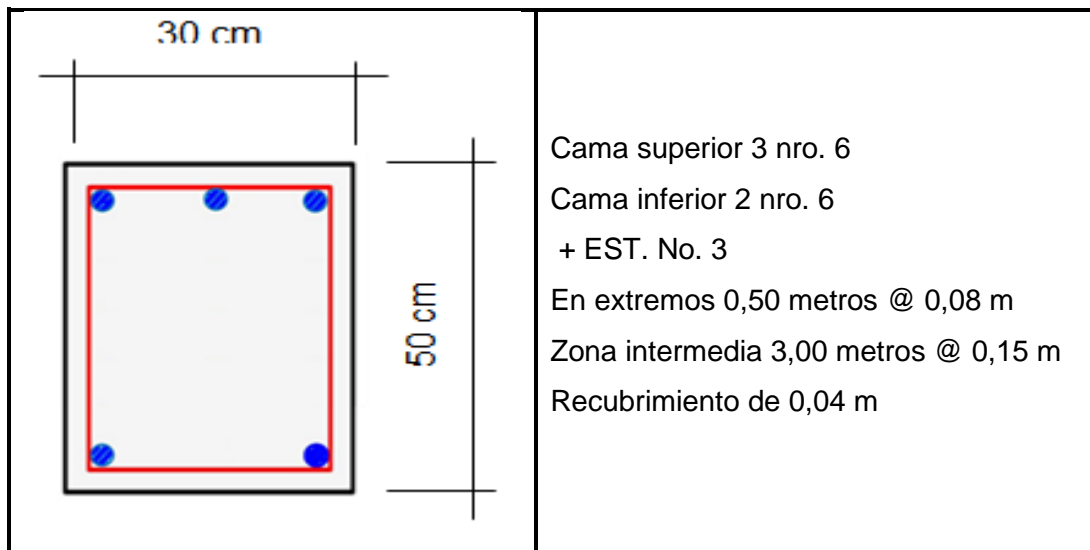
$$6 * \# / 8 * 2,54 = 6 * 4/8 * 2,54 = 7,62 \text{ cm} = 8 \text{ cm}$$

Resto de viga

$$L = LT - 2 (l_o) = 500 - 2 (50) = 300 \text{ cm}$$

$$\text{Espaciamiento} = 15 \text{ cm}$$

Figura 31. **Diseño final de viga**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

#### 2.1.6.10. **Diseño de losa**

A continuación se presenta el procedimiento y los cálculos para el diseño de la losa.

- Ubicación

Módulo = 1

Tramo A-D

Eje Y = 8

t = 11 cm

Área tributaria = 22,60 m<sup>2</sup>

- Especificaciones de materiales

$$f_y = G60 (60\ 000\ \text{PSI}) = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$$

$$f'_c = 4\ 000\ \text{PSI} = 280\ \text{kg/cm}^2$$

- Especificaciones técnicas

Espesor mínimo = 0,09 metros

- Dimensiones de losa:

$$L_{\text{largo}} = 5\ \text{m}$$

$$L_{\text{corto}} = 4,52\ \text{m}$$

- Cálculo

- Relación  $L_{\text{largo}} / L_{\text{corto}}$

$L_{\text{min}} / L_{\text{max}} > 0,5$  Losa en 2 sentidos

$L_{\text{min}} / L_{\text{max}} \leq 0,5$  Losa en 1 sentido

$4,52 / 5 = 0,90 > 0,5$  Losa en 2 sentidos

- Peralte

$$t = \text{perímetro} / 180$$

$$\text{Perímetro} = 2(4,52) + 2(5) = 19,04\ \text{metros}$$

$$t = 19,04 / 180 = \underline{0,11\ \text{cm}}$$



- Peralte efectivo

$$d = t - r - D/2$$

$$d = 11 - 2 - 0,95/2$$

$$d = 8,53 \text{ cm}$$

- Verificación de rigideces

Vigas = 30 x 50 cm

Losa = 11 cm

$$h1 = 11 \text{ cm}$$

$$h2 = 39 \text{ cm}$$

$$b + 2 h2 \leq b + 8 h1$$

$$30 + 2 (39) \leq 30 + 8 (11)$$

$$30 + 78 \leq 30 + 88$$

$$108 \leq 128 \quad \text{Cumple}$$

- Momento de inercia

$$I1 = 1/12 (500)(11)^3 = 55 458,33 \text{ cm}^4 \quad (\text{losa})$$

$$I1 = 1/12 (452)(11)^3 = 50 134,33 \text{ cm}^4 \quad (\text{losa})$$

$$I3 = 1/12 (30)(50)^3 = 312 500 \text{ cm}^4 \quad (\text{viga})$$

- Relación de *alpha*

$$\alpha1 = E * I \text{ viga} / E * I \text{ losa} = 312 500 / 55 458,33 = 5,63$$

$$\alpha2 = 312 500 / 50 134,33 = 6,22$$

$$\text{Promedio } \alpha = (5,63 + 6,22) / 2 = 5,93$$

○ Verificación de peralte

$$5,93 > 2$$

$$h = l_n * (0,8 + f_y / 200\ 000) / (36 + 9\beta)$$

$$l_n = 5\text{ m}$$

$$\beta = 5 / 4,52 = 1,11$$

$$h = 500 * (0,8 + 2\ 800 / 200\ 000) / (36 + 9 * 1,11)$$

$$h = 8,85\text{ cm} < h\text{ propuesto}$$

$$8,71\text{ cm} < 11\text{ cm}\text{ Cumple}$$

○ Integración de cargas

$$\text{Peso propio} = 0,30 * 0,50 * 5 * 2\ 400 / 1000 = 1,80\text{ Ton}$$

$$\text{Losa} = 10 * 0,15 * 2\ 400 / 1000 = 3,60\text{ Ton}$$

$$\text{Muros} = 5 * 3,10 * 150 / 1\ 000 = 2,33\text{ Ton}$$

$$\text{Sobrecarga} = 10 * 25 / 1\ 000 = 0,25\text{ Ton}$$

$$\text{Acabados} = 10 * 110 / 1\ 000 = 1,10\text{ Ton}$$

$$\text{CM} = \underline{9,08\text{ Toneladas}}$$

$$\text{CV} = 10 * 500 / 1\ 000 = \underline{5\text{ Ton}}$$

$$\text{CU} = 1,2\text{ CM} + 1,6\text{ CV}$$

$$\text{CU} = 1,2 (9,08 / 5) + 1,6 (5 / 5)$$

$$\text{CU} = 3,78\text{ Ton/m}$$

○ Momentos

$$M (-) = WL^2 / 9 = 3,78 * 5^2 / 9 = 10,5\text{ Ton - m}$$

$$M (+) = wL^2 / 14 = 3,78 * 5^2 / 14 = 6,75\text{ Ton - m}$$

- Acero mínimo

$$A_{\text{min}} = 0,0020 A_g$$

$$A_{\text{min}} = 0,0020 * (500 * 11) = 11 \text{ cm}^2$$

- Espaciamiento

$$\text{Área de varilla nro. 3} = 0,71 \text{ cm}^2$$

$$S = 100 * A / A_{\text{min}} = 100 * 0,71 / 11 = 6,45 \text{ cm}$$

- Acero  $L_{\text{corto}}$

$$452 \text{ cm} - 2 (2\text{cm}) = 448 \text{ cm}$$

$$448 / S = 448 / 6,45 = 69,45 + 1 = 70,45 = 71 \text{ varillas nro. 3}$$

Espaciamiento real

$$S_{\text{real}} = 452 \text{ cm} / 71 \text{ varillas} = 6,37 \text{ cm}$$

Armado  $L_{\text{corto}}$

Varillas = 71

L = 4,52 metros

$$\text{Bastón} = L/4 = 4,52 / 4 = 1,13 \text{ m}$$

$$\text{Tensión} = L/5 = 4,52 / 5 = 0,90 \text{ m}$$

$$\text{Riel} = L = 4,52 \text{ m}$$

- Acero  $L_{\text{largo}}$

$$500 \text{ cm} - 2 (2 \text{ cm}) = 496 \text{ cm}$$

$$496 / S = 496 / 6,45 = 76,89 + 1 = 77,89 = 78 \text{ varillas nro. 3}$$

Espaciamiento real

$$S_{\text{real}} = 496 \text{ cm} / 78 \text{ varillas} = 6,36 \text{ cm}$$

Armado  $L_{\text{largo}}$

Varillas = 78

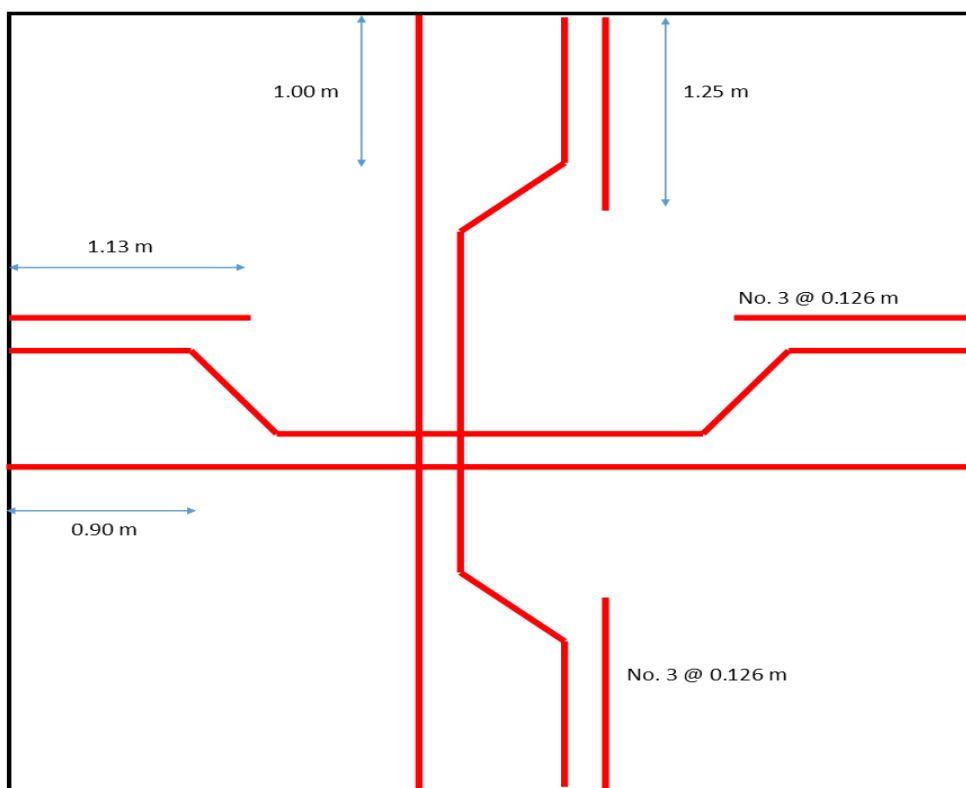
$L = 5,00 \text{ m}$

Bastón =  $L/4 = 5 / 4 = 1,25 \text{ m}$

Tensión =  $L/5 = 5 / 5 = 1,00 \text{ m}$

Riel =  $L = 5,00 \text{ m}$

Figura 32. **Detalle de armado de losa**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 2.1.6.11. Diseño de módulo de gradas

A continuación se presentan los cálculos para el diseño y cálculo del módulo de gradas:

- Ubicación

Módulo = 1

Altura = 3,10 m

Tipo U

- Especificaciones de materiales

$f_y = G60 (60\ 000\ \text{PSI}) = 4\ 200\ \text{kg/cm}^2$

$f'c = 4\ 000\ \text{PSI} = 280\ \text{kg/cm}^2$

- Especificaciones técnicas

Huella (H) mínima = 22 cm

Contrahuella (Ch) máxima = 20 cm

- Dimensiones:

H = 28 cm

Ch = 17 cm

- Cantidad de gradas:

$n = \text{altura} / \text{CH} = 3,10 / 0,17 = 18,24 = 19\ \text{gradas}$

- Distribución:

$$(n - 1) / 2 = (19 - 1) / 2 = 18 / 2 = 9 \text{ gradas}$$

9 gradas

1 descanso

9 gradas

Total: 18 gradas

- Diseño

- Espesor de escalera

$$t = Ln / 20 = (9 \cdot 0,28 + 2) / 20 = 4,52 / 20 = 0,23 \text{ cm}$$

$$t = Ln / 25 = 4,52 / 25 = 0,18 \text{ cm}$$

$$t \text{ promedio} = 0,23 + 0,18 = 0,41 / 2 = 0,20 \text{ cm}$$

- Pendiente de la escalera

$$\theta = \cos^{-1} (H / (H^2 + CH^2))$$

$$\theta = \cos^{-1} (0,28 / \sqrt{(0,28^2 + 0,17^2)})$$

$$\theta = 31^\circ$$

- Integración de cargas

Garganta

$$PP = 2 \text{ 400 kg/m}^3 \cdot 2 \text{ m} \cdot 0,28 \text{ m} / 1 \text{ 000 kg} = 1,24 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Viva} = 500 \text{ kg/m}^2 \cdot 2 \text{ m} / 1 \text{ 000 kg} = 1 \text{ Ton/m}$$

$$1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV} = 1,4 \cdot 1,24 + 1,7 \cdot 1 = 3,44 \text{ Ton/m}$$

Descanso

$$PP = 2\,400 \text{ kg/m}^3 * 2 \text{ m} * 0,20 \text{ m} / 1\,000 \text{ kg} = 0,96 \text{ Ton/m}$$

$$\text{Viva} = 500 \text{ kg/m}^2 * 2 \text{ m} / 1\,000 \text{ kg} = 1 \text{ Ton/m}$$

$$1,4 \text{ CM} + 1,7 \text{ CV} = 1,4 * 0,96 + 1,7 * 1 = 3,04 \text{ Ton/m}$$

$$L_{\text{garganta}} = 2,52 \text{ m}$$

$$L_{\text{descanso}} = 2 \text{ m}$$

Carga puntual en garganta

$$P = W * L = 3,44 \text{ Ton/m} * 2,52 = 8,67 \text{ Ton}$$

Carga puntual en descanso

$$P = W * L = 3,04 \text{ Ton/m} * 2 = 6,08 \text{ Ton}$$

○ Fuerza cortante

$$V_b = [8,67 (2,52/2) + 6,08 (2,52 + 2/2)] / (2,52 + 2) = 7,15 \text{ Ton}$$

$$V_a = 8,67 + 6,08 - 7,15 = 7,6 \text{ Ton}$$

$$V_{\text{max}} = 7,6 \text{ Ton}$$

$$x = ?$$

$$V_x = 7,6 - 3,44x = 0 \quad x = 2,21 \text{ m}$$

○ Momento

$$M_x = 7,6 x - 3,44/2 x^2$$

$$M_x = 7,6 (2,21) - 3,44/2 (2,21)^2$$

$$M_x = 8,40 \text{ Ton - m}$$

- Verificación por corte

$$V_n = V_{\max} - W * d$$

$$V_n = 7,6 - 3,44 * 0,17$$

$$V_n = 7,02 \text{ Ton} / 0,85$$

$$V_n = 8,26 \text{ Ton}$$

$$V = 0,53 * \sqrt{f'_c} * b * d$$

$$V = 0,53 * \sqrt{280} * 17 * 200 / 1\ 000 = 30,15 \text{ Ton}$$

$$V_n < V$$

$$8,26 \text{ Ton} < 30,15 \text{ Ton} \quad \text{Cumple}$$

- Acero longitudinal

$$M_u = 8,40 * 10^5 = 840\ 000 \text{ kg-cm}$$

$$A_s = M_u / (\phi * f_y * (d - a/2))$$

$$A_s = 840\ 000 / (0,9 * 4\ 200 * (17 - 1,7/2))$$

$$A_s = 13,70 \text{ cm}^2$$

$$\text{Número de varillas} = 13,70 / 1,27 = 11 \text{ varillas}$$

$$\text{Espaciamiento} = (200 - 2(3\text{cm})) / (11 - 1)$$

$$\text{Espaciamiento} = 20 \text{ cm}$$

$$\text{Varillas de } \frac{1}{2}'' @ 0,20 \text{ m}$$



- Bastones

$$A_s = 13,70 / 2 = 6,85 \text{ cm}^2$$

$$\text{Número de varillas} = 6,85 / 0,71 = 10 \text{ varillas}$$

$$\text{Espaciamiento} = (200 - 2 (3\text{cm})) / (10 - 1)$$

$$\text{Espaciamiento} = 20 \text{ cm}$$

Varillas de 3/8" @ 0,20 m

- Acero por contracción

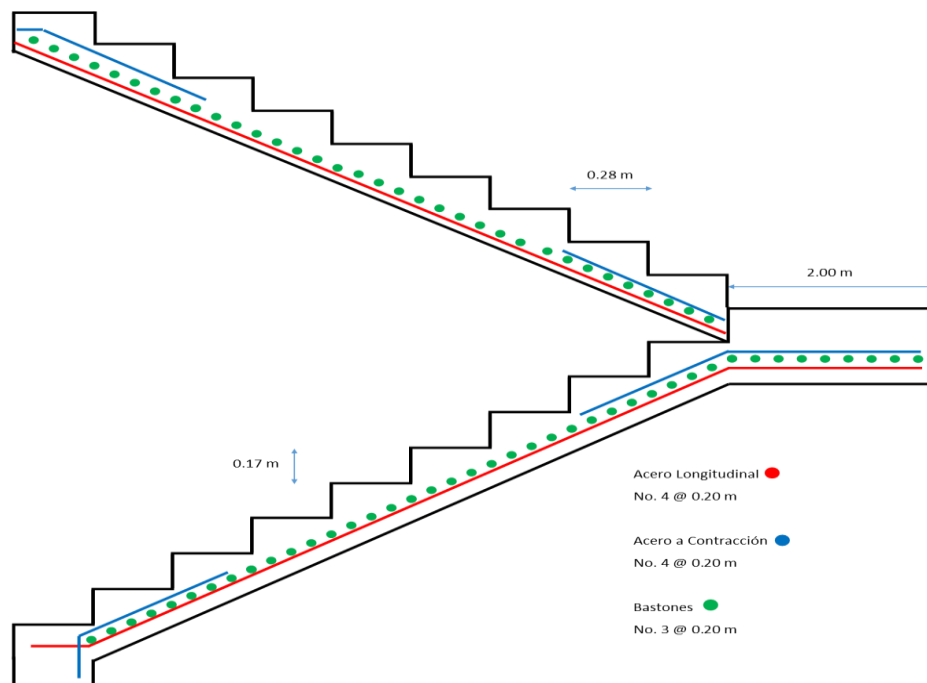
$$A_s = 0,0018 * b * d$$

$$A_s = 0,0018 * 200 * 17$$

$$A_s = 6,12 \text{ cm}^2$$

Varillas de 1/2" @ 0,20 m

Figura 33. **Detalle de armado de gradas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### 2.1.6.12. Diseño de cimientos

Los cimientos son elementos estructurales destinados a recibir las cargas propias y las aplicaciones exteriores a las mismas. Estos a su vez transmiten la acción de las cargas sobre el suelo.

A continuación se presentan los cálculos realizados para el diseño del cimiento:

CM = Carga muerta

CM = 31 498,85 kg

CM = 31,50 Ton

CV = Carga viva

Momento CM = Ton-m

Momento CV = Ton-m

$f'c = 281 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4\,200 \text{ kg/cm}^2$

$q_{\text{admisible}} =$  Estudio de suelos

$q_{\text{admisible}} = 24\,900 \text{ kg/m}^2$

Columna =  $0,30 \times 0,30 \text{ m}^2$

Lado 1 de columna = 0,30 m

Lado 2 de columna = 0,30 m

Área de columna =  $0,09 \text{ m}^2$

Desplante = 1,30 m

$$\gamma_{\text{suelo}} = 1\,600 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\text{concreto}} = 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Recubrimiento} = 0,08 \text{ m}$$

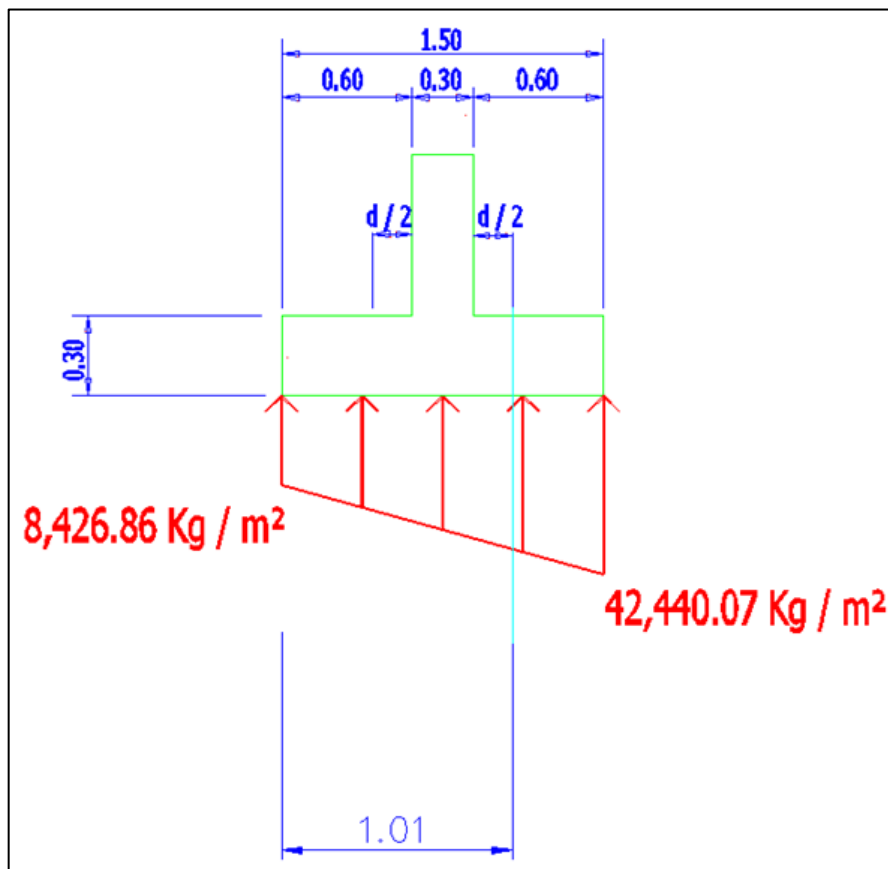
$$t = 0,30 \text{ m}$$

$$d = t - r = 0,22 \text{ m}$$

$$q_e = q_{\text{admisible}} - ((\gamma_c) \times (t) + (\gamma_s)(\text{desplante} - t))$$

$$q_e = 22\,580 \text{ kg/m}^2$$

Figura 34. **Detalle de estado de presiones de cimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Área de zapata m<sup>2</sup>

Lado 1= 1,50 m.

Lado 1= 150,0 cm

Zapata= 1,50 X 1,50 m<sup>2</sup>

Área de zapata= 2,25 m<sup>2</sup>

e = Momentos / Cargas

$e = (1,2 \text{ M.CV} + 1,6 \text{ M.CM}) / (1,2 \text{ CV.} + 1,6 \text{ CM})$

Pu = Carga puntual

$Pu = 1,2 \text{ CM} + 1,6 \text{ CV}$

$Pa = (Pu / \text{Área de zapata}) \times (1 \pm ((6 \times e) / \text{Lado 1})) \text{ kg/m}^2$

$Pa = (Pu / \text{Área de zapata}) \times (1 + ((6 \times e) / \text{Lado 1})) \text{ kg/m}^2$

$Ap = \text{área de zapata} - (\text{Lado columna} + d)^2$

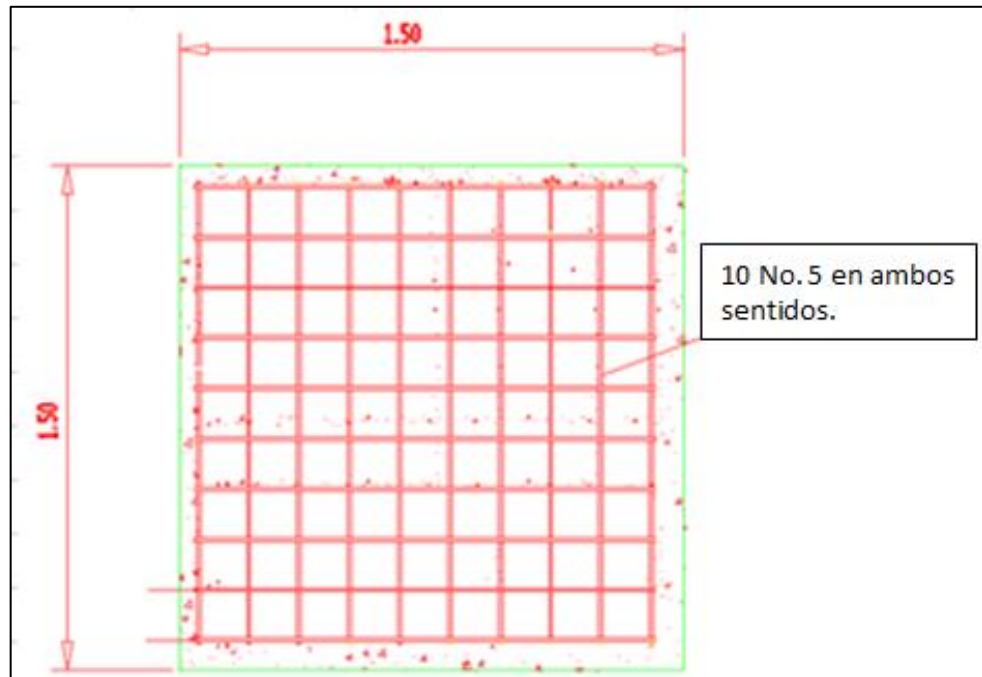
$Ap = 1,98 \text{ m}^2$

$Ap = 2,00 \text{ m}^2$

$L = 0,60 + 0,30 + d / 2$

$L = 1,01 \text{ m}$

Figura 35. **Detalle de armado de cimiento**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

### **2.1.7. Instalaciones eléctricas**

Para conocer las instalaciones eléctricas del edificio de la escuela primaria para la aldea el Cerrito es necesario ver el detalle en planos.

### **2.1.8. Instalaciones hidráulicas**

Las instalaciones hidráulicas y sanitarias del edificio de la escuela primaria para la aldea El Cerrito consisten en red de tuberías, drenaje pluvial y sanitario. Es necesario ver detalle en planos.

### **2.1.9. Planos constructivos**

Los planos para el edificio de la escuela primaria para la aldea El Cerrito incluyen: planta de conjunto, plano de armado de losas, plano de corte de muros, armado típico de gradas, detalle de armado transversal y longitudinal de columnas, planta de cimientos y distribución de columnas (ver apéndices).

### **2.1.10. Presupuesto del proyecto**

El presupuesto se elaboró con base en precios unitarios, tomando como base los precios de los materiales disponibles en el municipio de Fraijanes más la mano de obra, y para los indirectos se aplicó el 5 %.

Tabla XXVIII. Presupuesto de la escuela primaria en aldea El Cerrito

No.	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	P.U.	TOTAL
1	Limpia y Chapeo	m <sup>2</sup>	350.00	Q 17.76	Q 6,216.00
2	Trazo	m <sup>2</sup>	320.00	Q 19.42	Q 6,214.40
3	Bodega y Guardiania	m <sup>2</sup>	60.00	Q 156.25	Q 9,375.00
4	zapata Z1	unidad	8.00	Q 6,912.04	Q 55,296.32
5	Zapata Z2	Unidad	36.00	Q 3,648.90	Q 131,360.40
6	Cimiento corrido	ml	187.38	Q 525.76	Q 98,516.62
7	Muro de cimentación	m <sup>2</sup>	187.38	Q 393.00	Q 73,640.34
8	Solera de Humedad	ml	187.38	Q 206.00	Q 38,600.28
9	Columna Tipo C-1	Unidad	10.00	Q 6,808.68	Q 68,086.80
10	Columna Tipo C-2	Unidad	16.00	Q 1,988.10	Q 31,809.54
11	Columna Tipo C-3	Unidad	19.00	Q 859.16	Q 16,323.96
12	Levantado de Block	m <sup>2</sup>	900.00	Q 164.88	Q 148,390.32
13	Solera Intermedia 1	ml	187.38	Q 400.00	Q 74,952.00
14	Solera Intermedia 2	ml	187.38	Q 400.00	Q 74,952.00
15	Dintel de Puertas	ml	11.35	Q 411.00	Q 4,664.85
16	Losa	m <sup>2</sup>	319.67	Q 1,569.79	Q 501,814.31
17	Piso	m <sup>2</sup>	740.00	Q 286.47	Q 211,985.57
18	Gradas	m <sup>2</sup>	14.00	Q 2,851.74	Q 39,924.39
19	Portón de Metal 2.78 m. x 3.10 m.	Unidad	1.00	Q 16,534.60	Q 16,534.60
20	Puerta de Metal 2.10 m. x 2.40 m.	Unidad	2.00	Q 6,844.08	Q 13,688.17
21	Puerta de Metal 1.00 m. x 2.20 m.	Unidad	16.00	Q 3,266.94	Q 52,271.00
22	Puerta de Metal 0.90 m. x 2.20 m.	Unidad	1.00	Q 2,532.55	Q 2,532.55
23	Ventana de Metal 2.00 m. x 1.04 m.	Unidad	10.00	Q 1,669.15	Q 16,691.51
24	Ventana de Metal 1.00 m. x 1.04 m.	Unidad	2.00	Q 417.29	Q 834.58
25	Repello	m <sup>2</sup>	2650.00	Q 63.19	Q 167,457.45
26	Cernido vertical	m <sup>2</sup>	2650.00	Q 48.68	Q 128,989.79
27	Azulejo	m <sup>2</sup>	104.46	Q 293.35	Q 30,642.87
28	Instalaciones Hidraulicas	Global	1.00	Q 39,061.17	Q 39,061.17
29	Drenajes pluviales y aguas negras	Global	1.00	Q 47,327.16	Q 47,327.16
30	Instalaciones Eléctricas Iluminación	Global	1.00	Q 36,422.12	Q 36,422.12
31	Instalaciones Eléctricas Fuerza	Global	1.00	Q 32,179.13	Q 32,179.13
32	Banqueta	m <sup>3</sup>	21.00	Q 2,448.86	Q 51,426.09
33	Pintura dos manos	m <sup>2</sup>	1800.00	Q 46.57	Q 83,828.30
34	Supervisión	Global	1.00	Q 22,916.67	Q 22,916.67
<b>TOTAL</b>					<b>Q 2,334,926.25</b>

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.11. Evaluación de impacto ambiental

Es un instrumento técnico-legal de carácter predictivo que sirve para identificar y evaluar los impactos ambientales del proyecto, así como para presentar las medidas de mitigación necesarias para su desarrollo.

El proyecto está en el área urbana de la aldea El Cerrito, por lo que los impactos a la flora y fauna son poco significativos, además los niveles de ruido y vibración durante la construcción del edificio se mantendrán dentro de los límites establecidos.

Tabla XXIX. **Impactos ambientales y medidas de mitigación en la construcción del edificio**

<b>Sistema ambiental afectado</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
Sistema atmosférico	Emisión de partículas en suspensión y polvo	Riego durante la excavación y movimiento de materiales.
	Emisión de gases	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mantenimiento del equipo y maquinaria a utilizar.</li></ul>
Sistema hídrico*	Consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uso adecuado.</li><li>• Reducir pérdidas.</li></ul>
	Generación de aguas residuales	Manejo y disposición adecuados de las aguas residuales.



Continuación de la tabla XXIX.

<b>Sistema ambiental afectado</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
Sistema lítico y edáfico	Cambios en el uso del suelo por construcción	Manejo y disposición del material de desperdicio. Compactación y nivelación adecuada en áreas de relleno.
	Generación de desechos sólidos	Manejo y disposición final de los desechos generados, de acuerdo a lo establecido.
Sistema biótico	Riesgos a salud y seguridad	Uso de baños portátiles. Uso de equipo de protección personal.
	Alteración del paisaje	Implementación de área verde y siembra de árboles y arbustos adecuados.

Fuente: elaboración propia.

## **2.2. Proyecto de red de alcantarillado sanitario, aldea Rabanales, Fraijanes, Guatemala**

El proyecto consiste en el diseño del sistema de alcantarillado sanitario, aplicando las normas del INFOM. El sistema consistirá en red principal de colectores, pozos de visita y conexiones domiciliarias para la aldea Rabanales, Fraijanes, Guatemala. El colector central de PVC conducirá las aguas servidas hasta el área donde se les dará tratamiento antes de ser liberadas al cuerpo receptor.

### **2.2.1. Levantamiento topográfico**

Para el estudio de la topografía del lugar se trabajó una poligonal abierta, el método que se utilizó fue el de conservación de azimut con vuelta de campana. En la primera estación se registró el azimut y a partir de esta orientación se midió el azimut de la segunda estación y así sucesivamente hasta terminar el trabajo.

Para el trabajo de topografía se utilizó el siguiente equipo:

- Estación total marca Nikon DTM 322
- Trípode
- Prismas
- Estadales
- Estacas
- Clavos de lámina
- Pintura
- Cinta métrica

#### **2.2.1.1. Planimetría**

Es la parte de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana.

#### **2.2.1.2. Altimetría**

Es la rama de la topografía que estudia el conjunto de métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o cota de cada punto respecto de un plano de referencia.

#### **2.2.2. Periodo de diseño**

Es el tiempo durante el cual el sistema funcionará de forma eficiente. De acuerdo con las normas del INFOM, este periodo puede ir de 20 a 30 años, se deben tomar en cuenta diversos factores como: tendencia de crecimiento poblacional, calidad de los materiales a utilizar, posibilidades para la obtención del financiamiento y tasas de interés.

Para este proyecto se determinó un periodo de diseño de 22 años, que incluye el tiempo de gestión y construcción necesarios.

#### **2.2.3. Parámetros hidráulicos**

Son los valores de los parámetros de diseño incluidos en las normas de diseño del sistema del alcantarillado sanitario.

### 2.2.3.1. Velocidades de diseño recomendadas

Las velocidades en el flujo están en función de la pendiente del terreno, el diámetro de la tubería y la clase de tubería utilizada. La velocidad se determina por medio de la ecuación de Manning y las relaciones hidráulicas  $v/V$ , donde  $v$  es la velocidad del flujo y  $V$  es la velocidad del flujo a sección llena.

Las velocidades en el flujo deben tener un máximo y mínimo, lo cual evita la generación de erosiones y sedimentos en la tubería. Para el presente diseño se estableció una velocidad mínima de 0.50 m/s,

La velocidad máxima del flujo evita que el material de la misma se erosione, para el presente diseño se estableció una velocidad mínima de 0.30 m/s.

Tabla XXX. Velocidades mínimas y máximas según tipo de tubería

Tipo de alcantarillado	Tubería PVC		Tubería de cemento	
	Vel. Mínima	Vel. Máxima	Vel. Mínima	Vel. Máxima
Sanitario	0,6 m/s	4 m/s	0,6 m/s	3 m/s

Fuente: Instituto de Fomento Municipal. *Velocidades según tipo de tubería. s/p*

### 2.2.3.2. Pendientes

La pendiente de la tubería se debe adaptar en lo posible a la pendiente del terreno, esto con el objetivo de reducir costos de excavación, estará en función de que cumpla con las relaciones hidráulicas y velocidades permitidas.

Para el cálculo de la pendiente natural del terreno se usa la siguiente fórmula:

$$\%S = \frac{CTI - CTF}{D} * 100$$

Donde:

Porcentaje de pendiente de terreno (%S)

Cota inicial del terreno (CTI)

Cota final del terreno (CTF)

Distancia horizontal entre cota inicial y cota final (D)

Según especificaciones de diseño de velocidad se puede utilizar pendiente mínima de 0.1 %, siempre y cuando cumpla con la velocidad mínima.

En las conexiones domiciliarias el diámetro mínimo será de 4 plg, con una pendiente mínima de 2 % y una máxima de 6 % y que forme un ángulo horizontal, con respecto a la línea central, de aproximadamente 45 grados, en el sentido de la corriente del mismo.

En áreas donde la pendiente del terreno es mínima se recomienda acumular mayor cantidad de caudales para generar mayor velocidad.

### **2.2.3.3. Diámetros mínimos de tubería**

Para alcantarillado sanitario el diámetro mínimo es 6" para PVC y de 8" para tubería de concreto. Para el drenaje pluvial se manejan diámetros mínimos de 8" para tubería de PVC y 10" de concreto. Para las conexiones domiciliarias el diámetro mínimo con tubería de cemento es de 6" y de 4" para PVC.

#### 2.2.3.4. Profundidades mínimas de tubería

La profundidad debe garantizar que la tubería tenga un recubrimiento mínimo y adecuado para no ser dañada por el paso de vehículos y peatones, se determina en función de las cotas Invert. Se debe chequear la siguiente tabla:

Tabla XXXI. Profundidad mínima de tubería PVC

Diámetros	6"	8"	10"	12"	15"	18"	24"	36"	42"	48"
Tránsito liviano	60 cms	60 cms	90 cms	90 cms	90 cms	90 cms	90 cms	100 cms	100 cms	120 cms
Tránsito pesado	90 cms	90 cms	90 cms	110 cms	110 cms	120 cms	120 cms	120 cms	140 cms	140 cms

Fuente: Instituto de Fomento Municipal. *Norma ASTM F-949. s/p*

Tabla XXXII. Profundidad mínima de tubería de concreto

Diámetros	6"	8"	10"	12"	15"	18"	24"	36"	42"	48"
Tránsito liviano	117 cms	122 cms	128 cms	134 cms	140 cms	149 cms	165 cms	170 cms	175 cms	180 cms
Tránsito pesado	137 cms	142 cms	148 cms	154 cms	160 cms	169 cms	185 cms	200 cms	205 cms	215 cms

Fuente: Instituto de Fomento Municipal. *Profundidad de tubería. s/p*

#### 2.2.3.5. Ancho de zanja

El ancho de zanja a utilizar para la instalación de la red está en función del diámetro de tubería, sirve como referencia para determinar cuánto será el volumen de excavación.

Tabla XXXIII. **Ancho de zanja**

<b>Ø Tubería</b>	<b>Ancho de zanja</b>
6	0 55
8	0 62
10	0 67
12	0 75
15	0 8
18	0 9
24	1 1
27	1 16
30	1 25
33	1 35
36	1 45
42	1 55
48	1 8
54	2 0
60	2 2

Fuente: Amanco. *Manual de diseño. s/p*

### **2.2.3.6. Relación de diámetro y caudales**

La relación de diámetros y caudales ( $d/D$ ) no deberá ser mayor a 0 75, ni menor a 0 10 del diámetro interno de la tubería. El caudal de diseño debe ser menor al caudal a sección llena en el colector, esto es para que la tubería funcione como canal abierto, en el cual circula el flujo por acción de la gravedad

sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera.

### **2.2.3.7. Factor de retorno**

Es el porcentaje de agua que después de ser utilizada se devuelve al drenaje, como se mencionó anteriormente está en función de las costumbres sociales de la población. Dicho factor debe estar entre los siguientes valores.

$$0.70 \leq FDR \leq 0.85$$

Para este proyecto se utilizará un valor de factor de retorno de 0.80.

### **2.2.3.8. Fórmula de Manning**

Se basa en condiciones de flujo constante, a pesar de que la mayoría de sistemas de drenaje funcionan con caudales variables. También se diseña asumiendo que el flujo se conduce a través de canales abiertos y, si esta última condición no se cumple, se dice que la tubería trabaja bajo presión interna.

La ecuación de Manning para determinar la velocidad del flujo dentro de la tubería (conductos circulares) es:

$$V = \frac{0,03429 * D^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n}$$

Donde:

V = velocidad de flujo a sección llena (m/s)

D = diámetro de la sección circular (metros)



S = pendiente de la gradiente hidráulica (m / m)

n = coeficiente de rugosidad de Manning

0,014 para tubos de concreto

0,009 para tubos de PVC

#### **2.2.4. Cálculo de población de diseño**

Para el cálculo de población de la aldea Rabanales se utilizará el método geométrico.

$$P_F = P_0 * (1 + r)^n$$

Donde:

Población futura ( $P_F$ ) = nro. de habitantes

Población actual ( $P_0$ ) = 3 150 nro. de habitantes

Tasa de crecimiento poblacional (R) = 3 %

Periodo de diseño (N) = 22 años

Densidad de población por vivienda = 6 habitantes

#### **2.2.5. Dotación**

De acuerdo con las características de la zona donde se ubica el proyecto, así como según información proporcionada por la municipalidad, la dotación a utilizar en el diseño es de 120 L/hab/día.

#### **2.2.6. Determinación de caudales**

Para el cálculo de los caudales se consideran los valores de población y habitantes por vivienda, así como información de la aldea, con lo que se

determina el valor del caudal sanitario (caudal domiciliar, caudal comercial, caudal industrial, caudal de infiltración y caudal ilegal).

#### **2.2.6.1. Caudal domiciliar (Qdom)**

Es el agua potable que ha sido utilizada en una vivienda por distintos usos domésticos y se descarga como agua residual, la que tiene que ser conducida hacia la red del sistema de alcantarillado. Se calcula para cada uno de los tramos de diseño con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{domiciliar}} = \frac{\text{No. Habitantes} * \text{Dotacion} * \text{FR}}{86400}$$

#### **2.2.6.2. Caudal comercial**

Corresponde al agua desechada por el comercio existente en la comunidad. Para este proyecto, debido a que actualmente no hay comercios, se establece un caudal de 0 15 L/s.

#### **2.2.6.3. Caudal industrial**

Corresponde al agua desechada por las industrias existentes en la comunidad, la determinación de estos caudales varía por la dotación y la función de cada industria, para este proyecto su valor es cero.

#### **2.2.6.4. Caudal de conexiones ilícitas**

Es el aporte de aguas pluviales al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de conexiones erradas de bajantes de tejados y patios. Existen

varios métodos para calcular dicho caudal. Para este proyecto se considera como el 10 % del caudal domiciliar

$$Q_{\text{conexiones ilícitas}} = 0,13 \text{ L/s} * 10\% = 0,013 \text{ L/s}$$

#### **2.2.6.5. Caudal de infiltración**

Para el cálculo del caudal de infiltración que entra en la alcantarilla se toma en cuenta la profundidad del nivel freático del agua subterránea con relación a la profundidad de las tuberías, la permeabilidad del terreno, el tipo de juntas usadas en las tuberías y la calidad de mano de obra y supervisión con que se cuenta durante la construcción.

Se puede medir en litros diarios por kilómetro de tubería, incluyendo la longitud de la tubería de los entronques domiciliarios, para lo cual puede asumirse como 6 00 m de longitud por cada vivienda. Este factor suele variar entre 1 200 y 1 800 l/km/día. Se calcula de la siguiente manera:

$$Q_{inf} = \frac{F_{inf} * (m \text{ de tub.} + \text{No. casas} * 6 \text{ m})}{\frac{1\ 000}{86\ 400}}$$

#### **2.2.6.6. Caudal sanitario**

Corresponde a la sumatoria del caudal domiciliar, caudal comercial, caudal industrial, caudal de conexiones ilícitas y caudal de infiltración.

$$Q_S = Q_{\text{domiciliar}} + Q_{\text{comercial}} + Q_{\text{industrial}} + Q_{\text{conexiones ilícitas}} + Q_{\text{infiltración}}$$

### 2.2.7. Caudal de diseño

Corresponde al caudal con que se diseñará el sistema de alcantarillado sanitario, se debe calcular para cada tramo de la red con la siguiente fórmula:

$$Q_{\text{diseño}} = F_{\text{qm}} * F_{\text{H}} * \text{Num Hab}$$

Donde:

Q diseño = caudal de diseño (l/s)

Nro. hab = número de habitantes futuros acumulados

Fqm = factor de caudal medio

F.H. = factor de Harmond

### 2.2.8. Factor de Harmond (F<sub>H</sub>)

Este factor es el resultado de pruebas estadísticas que determinan la probabilidad del número de usuarios que estarán haciendo uso simultáneo del servicio en un determinado tramo, el valor puede variar de 1 50 a 4 50, es adimensional y se calcula de la siguiente manera:

$$F_H = \frac{18 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$$

### 2.2.9. Factor de caudal medio

Este factor regula la aportación del caudal en la tubería. Se obtiene realizando la sumatoria del caudal domiciliar, caudal por conexiones ilícitas, de infiltración, comercial e industrial, dividido entre el número de habitantes

proyectados por tramo. Según el INFOM debe estar entre rango de 0 002 a 0 005 y se calcula de la siguiente forma:

$$F_{qm} = \frac{Q_{\text{sanitario}}}{\text{Núm. de hab}}$$

Donde:

$F_{qm}$  = factor de caudal medio

Q sanitario = caudal sanitario (L/s)

Nro. de hab. = número de habitantes futuros acumulados

#### **2.2.10. Cálculo del caudal de diseño**

Corresponde al valor de la multiplicación del factor de caudal medio, el factor de Harmond y el número de habitantes futuros acumulados.

$$Q_{\text{MaxActual}} = 120 * 0,0013 * 4,22 = 0,66 \text{ L/s}$$

$$Q_{\text{MaxFuturo}} = 230 * 0,0013 * 4,13 = 1,23 \text{ L/s}$$

#### **2.2.11. Conexión domiciliar**

Será de tubería PVC de 4", con coeficiente de rugosidad  $n = 0 010$ , candela de tubo de concreto de 12", base y tapadera de concreto armado. La tubería tendrá una pendiente en el rango entre 2 % a 6 %.

#### **2.2.12. Pozos de visita**

Son parte de las obras accesorias de un sistema de alcantarillado y se usan como medios de inspección y limpieza. Por lo general están construidos

con ladrillos y concreto reforzado, de forma cilíndrica, que remata generalmente en su parte superior en forma de tronco cónico y con tapa removible, la cual se construye con el objetivo de permitir el acceso y mantenimiento de la estructura.

Su función es el control de flujo en cambios de dirección, intersecciones y cambios de gradiente. La profundidad de los pozos es variable.

El INFOM recomienda localizar los pozos de visita en los siguientes casos:

- El inicio de cualquier ramal.
- En intersecciones.
- En curvas (no más de 30 metros).
- En distancias no mayores de 100 metros en línea recta (diámetros hasta de 24").
- Cambio de pendiente.
- Cambio de diámetro.

Comúnmente los pozos de visita están en las intersecciones de las calles, entre 90 y 100 m. La distancia puede ser mayor cuando se utiliza tubería de PVC. Para el proyecto, los pozos de visita se construirán de ladrillo y concreto reforzado de forma cilíndrica.

### 2.2.13. Cotas Invert

Marcan la distancia que existe entre el nivel del terreno natural y el nivel inferior de la tubería, tomando en cuenta que la cota Invert sea, al menos, igual al recubrimiento mínimo necesario de la tubería. Por lo tanto, se calculan con base en la pendiente del terreno y la distancia entre pozos. Se presentan los siguientes tipos de casos:

- Diámetro de tubería de entrada y de tubería de salida son iguales: cuando a un pozo de visita entra una tubería y sale otra del mismo diámetro, la cota Invert de salida estará, como mínimo, 3 cm debajo de la cota Invert de entrada.
- El diámetro de tubería de entrada y de tubería de salida no son iguales: cuando a un pozo de visita entre una tubería de un diámetro y salga otra de diferente diámetro, la cota Invert de salida estará, como mínimo, debajo de la cota Invert de entrada, igual a la diferencia de los diámetros de la cota Invert de entrada y salida.
- Los diámetros de tuberías de entrada y de tubería de salida son iguales: cuando en un pozo de visita la tubería de salida es del mismo diámetro que las que ingresan, la cota Invert de salida mínima estará a 3 cm debajo de la cota más baja que entre.
- Los diámetros de tuberías de entrada y de tubería de salida no son iguales: cuando en un pozo de visita la tubería de salida es de diferente diámetro a las que ingresan en este, la cota Invert de salida deberá cumplir con las especificaciones anteriores y se tomará el valor mayor.

#### 2.2.14. Disipador de energía

Son elementos que generan una pérdida importante de energía cinética en el flujo y merman la erosión que esta podría ocasionar al impactar con la estructura. Son empleados en tramos con alta pendiente longitudinal. Dependiendo de la diferencia entre la cota Invert de entrada con la cota Invert de salida, se define si es necesario colocar un artefacto de disipación y de qué tipo.

- Pozo de visita sin artefacto disipador: cuando la diferencia de alturas entre la cota Invert de entrada de una tubería y la cota Invert de salida de la siguiente se encuentra en los siguientes valores, no se coloca ningún disipador.

$$0.03 \text{ m} \leq \text{Cota invert entrada} - \text{Cota invert salida} \leq 0.25 \text{ m}$$

- Colchón de agua: cuando la diferencia de alturas entre la cota Invert de entrada de una tubería y la cota Invert de salida de la siguiente se encuentra en los siguientes valores, se coloca un colchón de agua.

$$0.26 \text{ m} \leq \text{Cota invert entrada} - \text{Cota invert salida} \leq 0.75 \text{ m}$$

- Codo disipador: cuando la diferencia de alturas entre la cota Invert de entrada de una tubería y la cota Invert de salida de la siguiente se encuentra en los siguientes valores, se coloca un codo disipador a 45° en función del diámetro de la tubería y la pendiente de la tubería. Este tipo de disipador regularmente solo se coloca para drenaje sanitario.

$$0.76 \text{ m} \leq \text{Cota invert entrada} - \text{Cota invert salida} \leq 2.00 \text{ m}$$



- Bandejas disipadoras: cuando la diferencia de alturas entre la cota Invert de entrada de una tubería y la cota Invert de salida de la siguiente se encuentra en los siguientes valores, se debe colocar bandejas cuadradas, las cuales están separadas en función del caudal de entrada.

$$2\ 00\ m \leq Cota\ invert\ entrada - Cota\ invert\ salida \leq 6\ 00\ m$$

#### **2.2.15. Acometida domiciliar**

Las cajas de registro o candelas tendrán una dimensión mínima de 38 centímetros de diámetro o 45 centímetros por lado, con 1 metro de profundidad. Si son tubos de concreto deberán colocarse verticalmente o bien con mampostería reforzada, debiendo estar impermeabilizados.

No se podrá realizar conexión domiciliar sin autorización de la municipalidad o el supervisor. Se podrá realizar conexiones individuales, transportando aguas residuales hacia el colector de una sola vivienda.

#### **2.2.16. Caja o candela**

Será de tubo de concreto de 12 pulgadas de diámetro, colocado verticalmente, el fondo debe estar fundido con concreto y con la pendiente adecuada para conducir las aguas a la tubería principal. La altura mínima de la candela será de 1,00 metro.

#### **2.2.17. Tubería secundaria**

Permite conectar la candela domiciliar con el colector principal. Debe utilizarse tubo PVC de 4", con pendiente mínima de 2 % y máxima de 6 %. Es

importante mencionar que las conexiones domiciliarias con el colector principal se deben realizar en el medio de diámetro en la parte superior, y deben formar un ángulo de 45 grados aguas abajo.

### 2.2.18. Localización de la descarga

La descarga del sistema de drenajes será en el sistema de tratamiento que la Municipalidad de Fraijanes deberá implementar, dicha planta será instalada en un terreno municipal que se ubica al final del diseño del alcantarillado sanitario, en la cota más baja.

### 2.3. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario

El diseño de la red de alcantarillado sanitario se realizó de acuerdo a las normas del INFOM y especificaciones del fabricante. En el diseño hidráulico se consideró el uso de tubería de PVC.

Tabla XXXIV. **Parámetros de diseño**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Dotación	120 L/hab/día
Población actual	3 150 habitantes
Tasa de crecimiento	3 %
Casas a servir	525 viviendas
Factor de retorno	0,8
Nro. de habitantes por vivienda	6
Periodo de diseño	22 años
Tasa de crecimiento	3 %
Coeficiente de rugosidad de Manning	0 014 para tubos de concreto
	0 009 para tubos de PVC
Dotación	120 L/hab/día

Fuente: elaboración propia.

A continuación se presentan los cálculos para el diseño del tramo PV-1 al PV-2, de la misma manera se hizo para cada uno de los tramos de diseño.

Tabla XXXV. **Resumen de información de topografía y población, tramo PV-1 al PV-2**

PV	PV	Cota 1	Cota 2	Distancia (m)	Casas	Habitantes
0	1	500,00	498,52	102,31	20	120
Total					20	120

Fuente: elaboración propia.

- Factor de flujo (Harmond), población actual y futura:

$$F_H = \frac{18 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{P}{1000}}}$$

$$F_H = \frac{18 + \sqrt{\frac{120}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{120}{1000}}} = 4,22$$

$$F_H = \frac{18 + \sqrt{\frac{230}{1000}}}{4 + \sqrt{\frac{230}{1000}}} = 4,13$$

- Caudal de diseño:

$$Q_{\text{diseño}} = \text{Poblacion} * F_{\text{qm}} * F_{\text{H}}$$

Donde:

Q diseño = caudal de diseño (l/s)

Nro. hab = número de habitantes futuros acumulados

Fqm = factor de caudal medio

F.H. = factor de Harmond

- Factor de caudal medio:

$$F_{\text{qm}} = \frac{Q_{\text{Sanitario}}}{P_{\text{F}}} = 0,0013$$

Donde:

Fqm = factor de caudal medio

Q sanitario = caudal sanitario (L/s)

Nro. de hab = número de habitantes futuros acumulados

- Caudal domiciliar (Qdom)

$$Q_{\text{domiciliar}} = \frac{\text{No. Habitantes} * \text{Dotacion} * \text{FR}}{86\ 400} = 0,13 \text{ L/s}$$

Donde:

Caudal domiciliar (Qdom) = (L/s)

Población futura (PF) = Nro. de habitantes

Factor de retorno (Fr) = 0 80

Dotación = 120 L/hab/ día

- Caudal comercial: valor adoptado 0 15 L/s.
- Caudal industrial: para este proyecto su valor es cero.
- Caudal de conexiones ilícitas: es el 10 % del caudal domiciliar:

$$Q_{\text{conexiones ilícitas}} = 0,13 \text{ L/s} * 10\% = 0,013 \text{ L/s}$$

- Caudal de infiltración:

$$Q_{\text{infiltracion}} = \frac{600 * \frac{M_{\text{tubo}} + (\# \text{casas} * 6)}{1000}}{86400} = 0,0015 \text{ L/s}$$

Donde:

$Q_{\text{inf}}$  = caudal de infiltración (L/s)

$F_{\text{inf}}$  = factor de infiltración

$m$  de tub.= metros de tubería del proyecto

6m = longitud de la tubería de los entronques domiciliarios

- Caudal sanitario:

$$Q_S = Q_{\text{domiciliar}} + Q_{\text{comercial}} + Q_{\text{industrial}} + Q_{\text{conexiones ilícitas}} + Q_{\text{infiltración}}$$

$$Q_S = 0,13 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0,15 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0,013 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 0,0015 \frac{\text{L}}{\text{s}} = 0,29 \text{ L/s}$$

- Pendiente:

$$S = \frac{\text{Cota 1} - \text{Cota 2}}{DH}$$

$$S = \frac{500,00 \text{ m} - 498,52 \text{ m}}{102,31 \text{ m}} = 0,0145$$

- Diámetro propuesto PVC 10"
- Caudal y velocidad a sección llena:

Rugosidad PVC = n = 0,09

Rugosidad TC = n = 0,013

$$V = \frac{0,03429}{n} * \emptyset^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{0,03429}{0,09} * 10^{2/3} * 0,0145^{1/2} = 0,21 \text{ m/s}$$

$$Q = V * A * 1000$$

$$Q = 0,21 * \frac{\pi}{4} (10 * 0,0254)^2 * 1000 = 10,64 \text{ L/s}$$

$$q < Q$$

Cumple

- Relaciones hidráulicas actuales:

$$\frac{q}{Q} = \frac{0,66}{10,64} = 0,062$$

$$\frac{v}{V} = 0,538 \quad v = 0,538 * 0,21 = 0,11$$

$$\frac{d}{D} = 0,16$$

- Relaciones hidráulicas futuras:

$$\frac{q}{Q} = \frac{1,23}{10,64} = 0,116$$

$$\frac{v}{V} = 0,651 \quad v = 0,651 * 0,21 = 0,14$$

$$\frac{d}{D} = 0,22$$

Tabla XXXVI. **Resultados de población actual y futura**

Tramo		Nro. de casas	Población actual (nro. de habitantes)	Población futura (nro. de habitantes)
PV	PV			
0	1	20	120	230
1	2	40	240	460
2	3	60	360	690
3	4	60	360	690
4	5	70	420	805
5	6	45	270	518
6	7	40	240	460
7	8	40	240	460
8	9	40	240	460
9	10	50	300	575
10	PTAR	60	360	690
Total		525	3150	6036

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Resultados de cálculo de caudales (L/s)**

PV	PV	Nro. de casas	Caudal domiciliario	Caudal comercial	Caudal industrial	Caudal de conexiones ilícitas	Caudal de infiltración	Caudal sanitario
0	1	20	3,50	0,1500	0,0000	0,35	0,00	4,00
1	2	40	20,12	0,1500	0,0000	2,01	0,00	22,28
2	3	60	3,50	0,1500	0,0000	0,35	0,00	4,00
3	4	60	0,06	0,1500	0,0000	0,01	0,00	0,22
4	5	70	0,00	0,1500	0,0000	0,00	0,00	0,15
5	6	45	11,24	0,1500	0,0000	1,12	0,00	12,52
6	7	40	0,00	0,1500	0,0000	0,00	0,00	0,15
7	8	40	0,00	0,1500	0,0000	0,00	0,00	0,15
8	9	40	0,00	0,1500	0,0000	0,00	0,00	0,15
9	10	50	0,000	0,1500	0,0000	0,00	0,00	0,15
10	PTAR	60	0,00	0,1500	0,0000	0,00	0,00	0,15

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Resultados de factor de flujo (Harmond) y factor de caudal medio**

PV	PV	FH Actual	FH Futuro	Fqm
0	1	4,22	4,13	0,017
1	2	4,04	3,90	0,032
2	3	3,89	3,71	0,003
3	4	3,78	3,57	0,000
4	5	3,68	3,46	0,000
5	6	3,63	3,40	0,004
6	7	3,58	3,35	0,000
7	8	3,55	3,30	0,000
8	9	3,51	3,26	0,000
9	10	3,47	3,22	0,000
10	PTAR	3,42	3,17	0,000

Fuente: elaboración propia.



Tabla XXXIX. **Resultados de caudal máximo**

<b>PV</b>	<b>PV</b>	<b>Caudal actual (L/s)</b>	<b>Caudal futuro (L/s)</b>
0	1	8,81	16,50
1	2	47,02	86,86
2	3	8,12	14,82
3	4	0,43	0,77
4	5	0,29	0,52
5	6	23,69	42,51
6	7	0,28	0,50
7	8	0,28	0,50
8	9	0,27	0,49
9	10	0,27	0,48
10	PTAR	0,27	0,48

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Resultados de caudal y velocidad a sección llena**

<b>PV</b>	<b>PV</b>	<b>Q (L/s)</b>	<b>V (m/s)</b>
0	1	255,03	5,03
1	2	100,45	3,10
2	3	88,96	2,74
3	4	140,66	4,34
4	5	140,66	4,34
5	6	140,66	4,34
6	7	44,48	1,37
7	8	44,48	1,37
8	9	44,48	1,37
9	10	90,06	2,78
10	PTAR	90,06	2,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLI. **Relaciones hidráulicas actuales y futuras**

PV	PV	q/Q Actual	v/V Actual	d/D Actual	q/Q Futuro	v/V Futuro	d/D Futuro
0	1	0,062	0,538	0,16	0,116	0,651	0,220
1	2	0,138	0,701	0,25	0,254	0,830	0,340
2	3	0,122	0,668	0,23	0,223	0,804	0,320
3	4	0,249	0,817	0,33	0,451	0,973	0,470
4	5	0,535	1,016	0,52	0,964	1,138	1,000
5	6	0,422	0,954	0,45	0,758	1,099	0,650
6	7	0,407	0,944	0,01	0,728	1,089	0,630
7	8	0,360	0,913	0,41	0,643	1,060	0,580
8	9	0,420	0,954	0,45	0,748	1,094	0,640
9	10	0,510	1,000	0,10	0,906	1,131	0,740
10	PTAR	0,240	0,817	0,10	0,425	0,954	0,450

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLII. **Diámetros y pendientes por tramo del sistema de alcantarillado**

PV	PV	S (1/100)	Ø (plg)
0	1	0,0145	10
1	2	0,0332	8
2	3	0,1205	8
3	4	0,0566	8
4	5	0,0216	8
5	6	0,0445	8
6	7	0,0605	8
7	8	0,0924	8
8	9	0,0792	8
9	10	0,0644	8
10	PTAR	0,3653	8

Fuente: elaboración propia.

## **2.4. Tratamiento**

Para el sistema de tratamiento se recomienda la implementación de una planta de tratamiento primario antes de su descarga. De acuerdo a lo establecido, la municipalidad realizará las gestiones para los estudios, el diseño y construcción de la planta de tratamiento por un ingeniero sanitaria.

## **2.5. Propuesta de operación y mantenimiento**

La responsabilidad del mantenimiento y operación del sistema será compartida entre la Municipalidad de Fraijanes y los vecinos de la aldea Rabanales. Es necesario formar un comité en la aldea, que sea responsable de la administración y control de la operación y mantenimiento del sistema.

El tiempo recomendado para inspeccionar el funcionamiento del sistema debe ser en espacios no mayores a los tres meses, y antes de la época de invierno se debe contemplar la limpieza y revisión del sistema. A continuación se describen la inspección y mantenimiento de los elementos del alcantarillado.

### **2.5.1. Conexión domiciliar**

De acuerdo con el tiempo y condiciones de servicio se produce el deterioro de las conexiones domiciliarias, para su mantenimiento se deben considerar los siguientes aspectos:

Tabla XLIII. **Mantenimiento de conexión domiciliar**

<b>Problema</b>	<b>Solución</b>
Tapadera de la candela está en mal estado.	Reparar o cambiar la tapadera de la candela.
Tubería parcialmente tapada.	Se vierte una cantidad suficiente de agua de forma brusca para que el taponamiento se despeje y corra el agua sin mayor problema.
Tubería totalmente tapada.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se vierte una cantidad de agua de forma brusca para que el taponamiento sea despejado. Si el taponamiento persiste, se introduce una guía metálica para tratar de quitar el taponamiento y luego nuevamente se vierte una cantidad de agua para que el taponamiento desaparezca.</li> <li>• Si persiste el problema se introduce nuevamente la guía, se verifica la distancia en donde se encuentra el taponamiento, se marca sobre la calle en donde se ubica, luego se excava en el lugar marcado, se descubre el tubo para poder destaparlo y repararlo, para que las aguas corran libremente.</li> </ul>
Conexiones de agua de lluvia en la tubería.	Las conexiones de agua de lluvia provocan que se saturen las tuberías, ya que no fueron diseñadas para llevar esta agua. Se procede a cancelar la conexión de agua de lluvia a la conexión domiciliar.

Fuente: elaboración propia.

## 2.5.2. Colector central

De acuerdo con el tiempo y condiciones de servicio se produce el deterioro de las tuberías de la línea central, para su mantenimiento se deben considerar los siguientes aspectos:

Tabla XLIV. **Mantenimiento del colector central**

<b>Problema</b>	<b>Identificación</b>	<b>Solución</b>
Tubería parcialmente o totalmente tapada	Prueba de reflejo: consiste en colocar una linterna en un pozo de visita y revisar el reflejo de la misma en el siguiente pozo de visita, si no es percibido claramente existe un taponamiento parcial, y si no se percibe en lo absoluto significa que existe un taponamiento total.	Se vierte agua a presión en el pozo de visita, luego se hace de nuevo la prueba de reflejo y se verifica si el taponamiento se despejó y deja ver claramente el reflejo.
	Prueba de corrimiento de flujo: se vierte una cantidad determinada de agua en un pozo de visita y se verifica el corrimiento de agua en el siguiente pozo, para ver que sea normal. Si es un corrimiento muy lento existe un taponamiento parcial y si no sale nada de agua en el pozo es que existe un taponamiento total.	Como no se quita el taponamiento por medio de la presión de agua, se debe introducir una guía para localizar el taponamiento, se procede a excavar y descubrir la tubería para sacar la basura o tierra que provoca el taponamiento.

Fuente: elaboración propia.

### 2.5.3. Pozos de visita

De acuerdo con el tiempo y condiciones de servicio se produce el deterioro de los pozos de visita, para su mantenimiento se deben considerar los siguientes aspectos:

Tabla XLV. **Mantenimiento de pozos de visita**

<b>Problema</b>	<b>Solución</b>
Acumulación de residuos y lodos.	Al inspeccionar los pozos de visita se revisa que no existan lodos ni desechos acumulados que puedan obstruir el paso de las aguas negras. Se procede a quitar los lodos y residuos para dar paso libre a las aguas.
Deterioro del pozo.	Verificar que el pozo de visita se encuentre en buen estado, revisar el brocal de arriba, los escalones deben estar en buen estado para que el inspector pueda bajar sin problema al pozo, si están en mal estado, es necesario repararlas o cambiarlas por unas nuevas.
Tapadera del pozo en mal estado.	Las tapaderas de los pozos de visita deben estar en su lugar y sin grietas por el paso de vehículos, es necesario cambiarlas por nuevas para garantizar la protección al sistema.

Fuente: elaboración propia.

### 2.6. Evaluación de impacto ambiental

De acuerdo con las características de cada proyecto, durante su proceso constructivo se generan impactos ambientales que pueden ser positivos o negativos. Para identificarlos y evaluarlos se realizan estudios de impacto ambiental, en los que se presentan las medidas de mitigación para un adecuado manejo.

El plan de manejo ambiental contiene las medidas de mitigación a considerar en la construcción del edificio escolar, las que se desarrollarán en la etapa de planificación, ejecución y operación del proyecto. Debido a la ubicación del proyecto los impactos a la flora y fauna son poco significativos.

Tabla XLVI. **Impactos ambientales y medidas de mitigación en la construcción del sistema de alcantarillado**

<b>Sistema ambiental afectado</b>	<b>Impacto</b>	<b>Medidas de mitigación</b>
Sistema atmosférico	Emisión de partículas en suspensión y polvo	Riego constante.
	Emisión de gases	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mantenimiento del equipo y maquinaria a utilizar.</li> </ul>
Sistema hídrico	Consumo de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Uso adecuado.</li> <li>• Reducir pérdidas.</li> <li>• Uso de pipas.</li> </ul>
	Generación de aguas residuales	Manejo y disposición adecuados de las aguas residuales.
Sistema lítico y edáfico	Alteración del suelo por zanjeado y relleno	Manejo y disposición del material excedente, de acuerdo a lo establecido. Compactación y nivelación adecuada en áreas de relleno.
	Generación de desechos sólidos	Manejo y disposición final de los desechos generados, de acuerdo a lo establecido.
Sistema biótico	Alteración del paisaje	Implementación de área verde y siembra de árboles y arbustos adecuados.

Fuente: elaboración propia.

## 2.7. Planos y detalles

Los planos y detalles del proyecto se presentan en los apéndices, incluyen la planta topográfica, planta de densidad de vivienda, planta de curvas de nivel, planta de conjunto hidráulico y planos de vistas en perfil (ver apéndice 2).

## 2.8. Presupuesto

El presupuesto fue elaborado con base en renglones de trabajo, los cuales incluyen el desglose en precios unitarios utilizados en proyectos similares en el municipio.

Tabla XLVII. **Presupuesto del sistema de alcantarillado en aldea Rabanales**

REGLÓN	DESCRIPCIÓN	ANTIDA	UNIDAD	COSTO DIRECTO		TOTAL
1.10	TRABAJOS PRELIMINARES	1	GLOBAL	Q	30,190.86	Q 30,190.86
1.20	NO. REGLON: PLANTEAMIENTO TOPOGRÁFICO	685.89	m	Q	30.71	Q 21,063.29
1.30	DEMOLICION Y EXTRACCION DE CARPETA ASFALTICA	274.36	m2	Q	123.55	Q 33,895.86
1.40	DEMOLICION Y EXCAVACION PARA DRENAJE	514.42	m2	Q	212.33	Q 109,225.97
2.10	TUBERIA 8" PVC NORMA ASTM 3034	583.58	m	Q	219.30	Q 127,976.59
2.20	TUBERIA 10" PVC NORMA ASTM 3034	102.31	m	Q	355.77	Q 36,398.60
2.30	POZOS DE VISITA (1.20 M DE DIAMETRO INTERNO PROFUNDIDAD ENTRE 1.20-3.50 M)	10	UNIDAD	Q	13,560.22	Q 135,602.21
2.50	RELLENO Y COMPACTACION DE CORTE PARA TUBERIA CON BASE GRANULAR COMPACTADO AL 95% SEGÚN AASHTO T-180	274.36	m2	Q	204.53	Q 56,115.23
2.60	REPOSICION DE CARPETA DE RODADURA	274.36	m2	Q	213.72	Q 58,636.12
<b>COSTO TOTAL</b>				<b>Q</b>	<b>609,104.74</b>	

Fuente: elaboración propia.



## 2.9. Cronograma

El cronograma muestra cuánto tiempo durará la construcción de un proyecto, de acuerdo con los rendimientos utilizados en proyectos similares en el municipio.

Tabla XLVIII. **Cronograma de construcción del sistema de alcantarillado**

No.	Descripción actividad	Tiempo en meses																
		Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5												
1	Trabajos preliminares	■	■															
2	Planteamiento topográfico		■	■	■													
3	Demolición y extracción de carpeta asfáltica			■	■	■												
4	Demolición y extracción para drenaje				■	■	■	■										
5	Tubería 8" PVC norma ASTM 3034						■	■	■									
6	Tubería 10" PVC norma ASTM 3034							■	■	■								
7	Pozos de visita (1,20 m de diámetro interno, profundidad entre 1,20-3,50 m)					■	■	■	■	■	■							
8	Conexiones domiciliarias							■	■	■	■	■						
9	Relleno y compactación de corte para tubería con base granular compactada al 95 % según AASHTO T-180											■	■	■	■			
10	Reposición de carpeta de rodadura															■	■	■

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. De acuerdo con el trabajo y diagnóstico realizados, se identificaron y priorizaron las necesidades de servicios básicos e infraestructura en el municipio de Fraijanes, siendo estas para la aldea El Cerrito en el área de infraestructura escolar, mientras que para la aldea Rabanales la necesidad prioritaria es en el área de saneamiento.
2. En los diseños realizados se aplicaron diferentes criterios técnicos y económicos. Para la escuela se utilizaron normativos de carácter estructural como el código ACI, AGIES, UBC, mientras que para la red de alcantarillado se usaron normas del INFOM.
3. El costo del proyecto *Escuela de educación primaria, aldea El Cerrito*, asciende a la cantidad de Q 2 388 728,79, y el costo del proyecto *Diseño de red de alcantarillado sanitario, aldea Rabanales*, asciende a la cantidad de Q 609 104,74. Los costos se calcularon para el año 2022, por lo que al momento de realizar el proyecto el presupuesto deberá ser actualizado.
4. La aplicación de las medidas de mitigación y mantenimiento es necesaria durante la construcción y operación de los proyectos, de acuerdo a las características de cada uno.
5. Se presentan las actividades básicas de operación y mantenimiento para la red de alcantarillado, las que ayudarán a que el proyecto brinde un adecuado servicio



## RECOMENDACIONES

1. Impulsar el uso de mano de obra local para generar fuentes de trabajo y colaborar con la economía del municipio.
2. Contar con un profesional de ingeniería civil, para que garantice la supervisión técnica necesaria, el control de calidad de los materiales y que se apliquen a cabalidad los criterios y especificaciones técnicas contenidas en los planos, durante la construcción de cada proyecto.
3. Informar a los habitantes de la aldea Rabanales para no tirar basura en las tuberías y pozos de la red de alcantarillado sanitario, así como no conectar el agua pluvial al sistema para evitar problemas de operación y mantenimiento.
4. Realizar el control de calidad necesario a los materiales y procesos de construcción de los proyectos, de acuerdo a las normas técnicas aplicables.
5. Implementar las propuestas sobre actividades básicas de operación y mantenimiento para la red de alcantarillado, puesto que que ayudarán a que el proyecto brinde un adecuado servicio.



## BIBLIOGRAFÍA

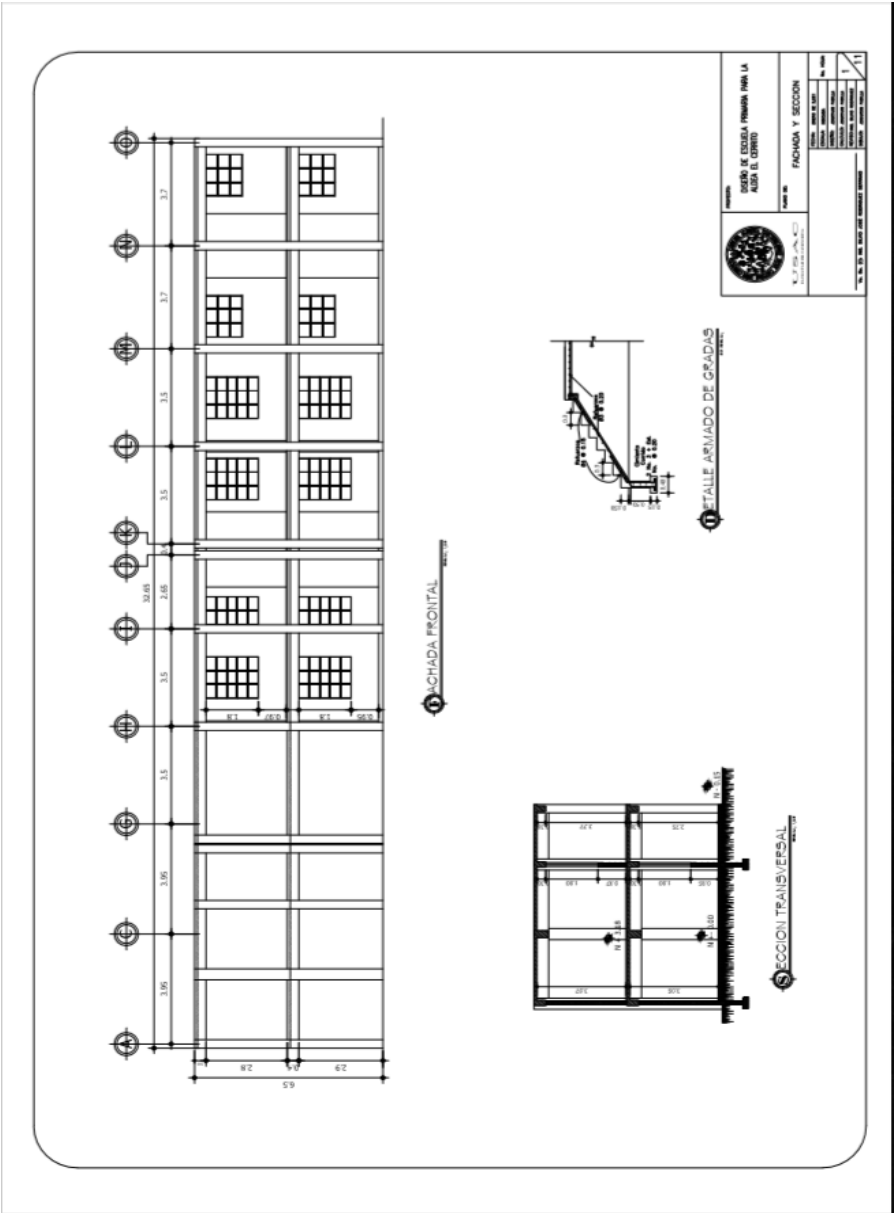
1. Amanco. *Manual de diseño Novafort y Novaloc*. Guatemala: Autor, 2018. 46 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas estructurales de diseño y construcción recomendados para la República de Guatemala*. Guatemala, AGIES, 2022.
3. Comité ACI-318. *Reglamento de las construcciones de concreto reforzado. (ACI 318-99) y comentarios*. México: Editorial Limusa, 1999. 525 p.
4. CRESPO VILLALAZ, C. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 4ª edición. México: Editorial Limusa, 1999. 640 p.
5. Instituto de Fomento Municipal. *Normas generales para el diseño de alcantarillados*. Guatemala: INFOM, 2009. 44 p.
6. NILSON, A. *Diseño de estructuras de concreto*. 12ma. edición. Colombia: McGraw Hill, 2004.
7. SIGUÍ VILLEDA, Max Adolfo. *Diseño de edificio escolar de dos niveles para aldea limones y diseño del sistema de abastecimiento de agua potable para la aldea Zapote, municipio de Gualán, Zacapa*. Trabajo de graduación Ing. Civil. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008. 225 p.

8. ZABALA POCÓN, W. *Diseño del sistema de drenaje sanitario para la aldea El Rosario y del edificio escolar para la Escuela Nacional Urbana Mixta Ismael Cerna del casco urbano del municipio de Ipala, departamento de Chiquimula*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2009. 197 p.

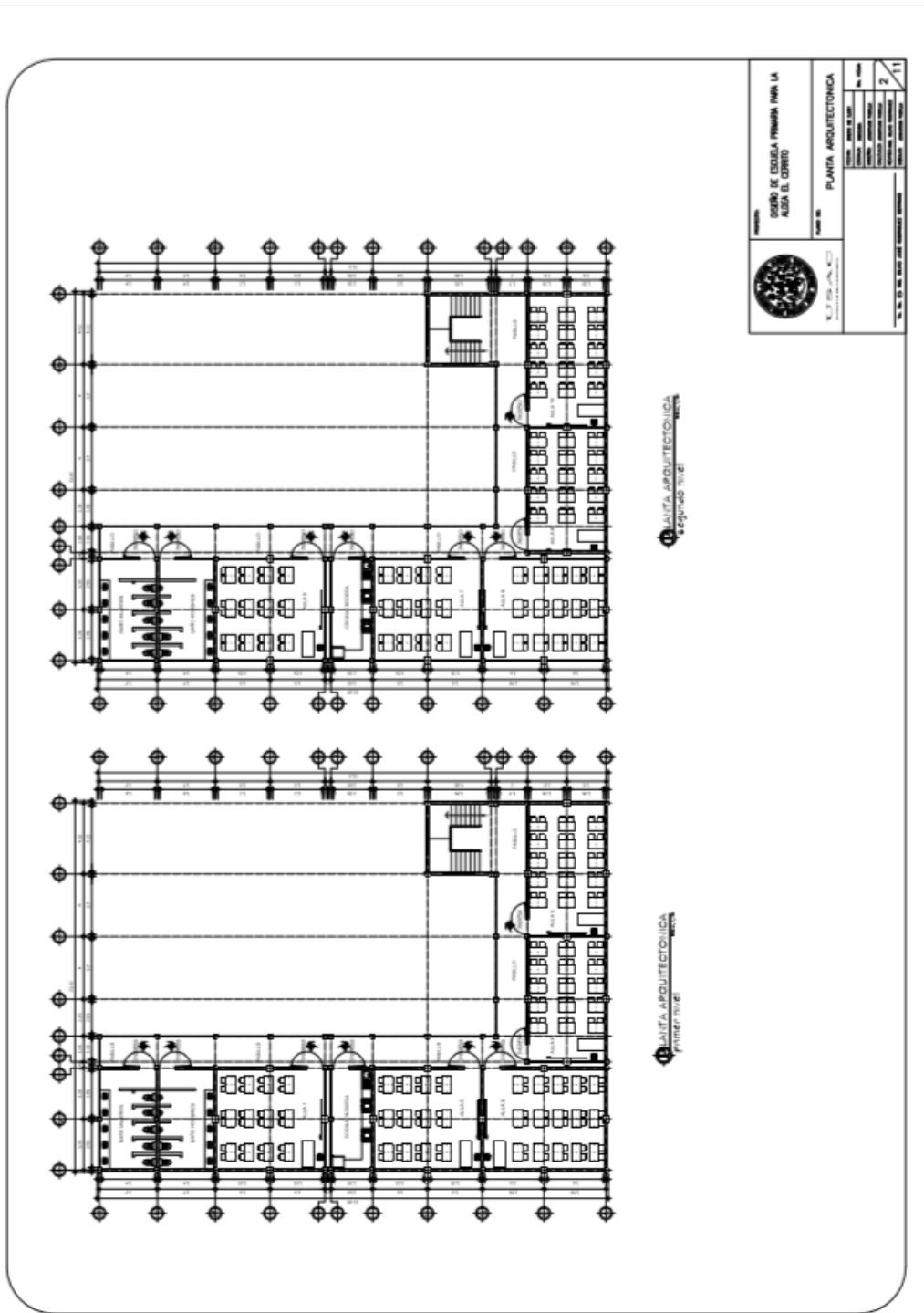


# APÉNDICE

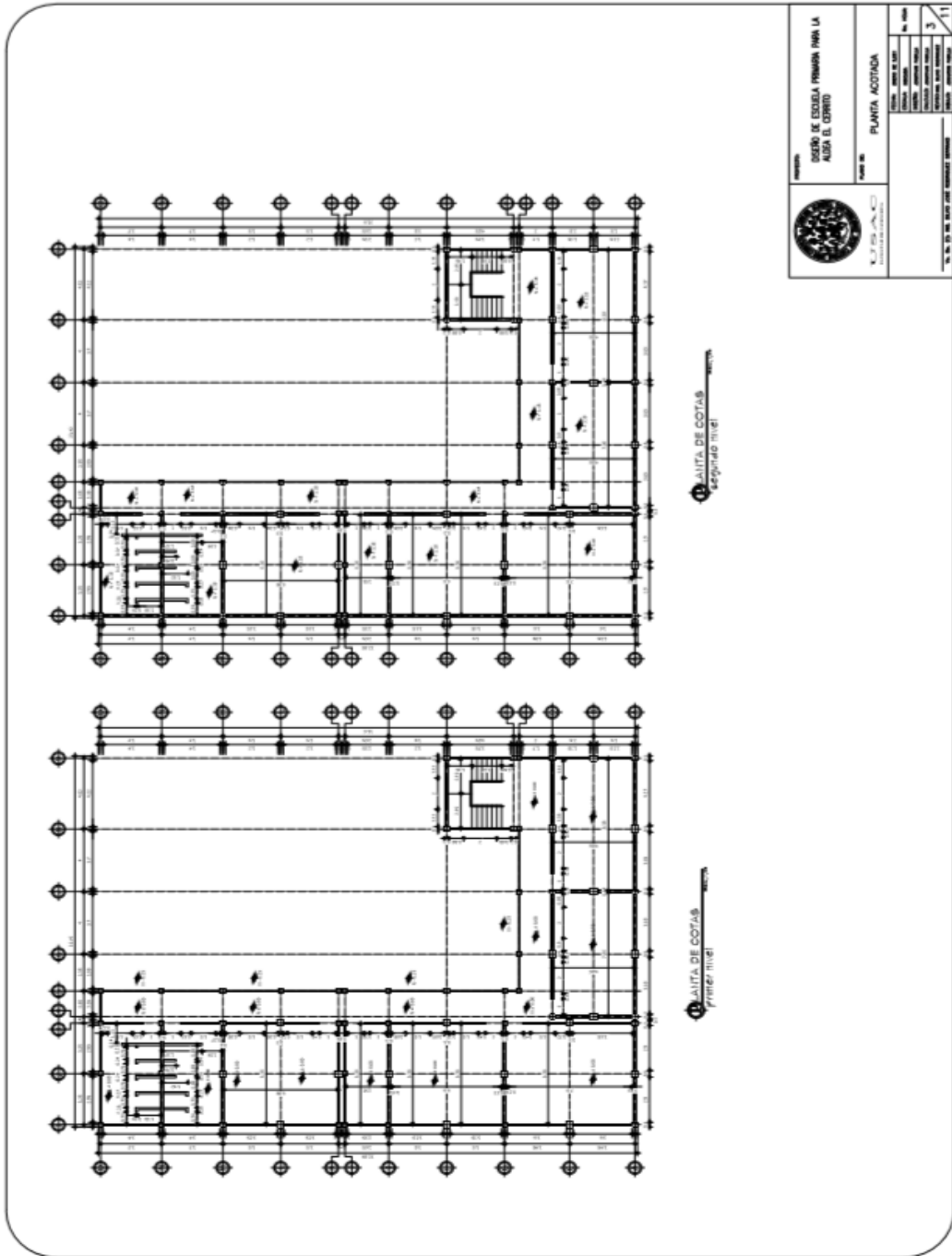
Apéndice 1. **Planos de diseño del edificio de la escuela primaria de la aldea El Cerrito**



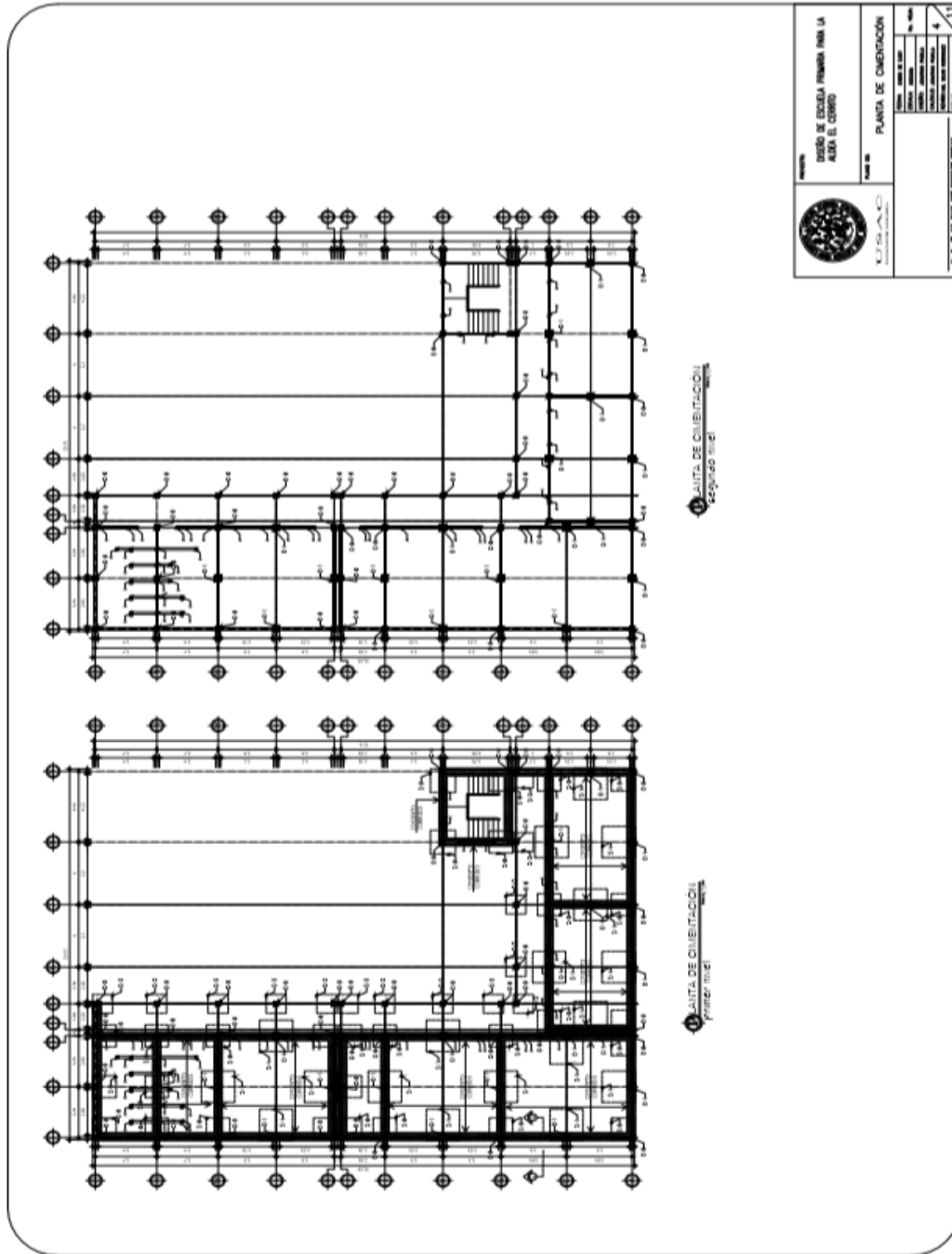
Continuación del apéndice 1.



Continuación del apéndice 1.

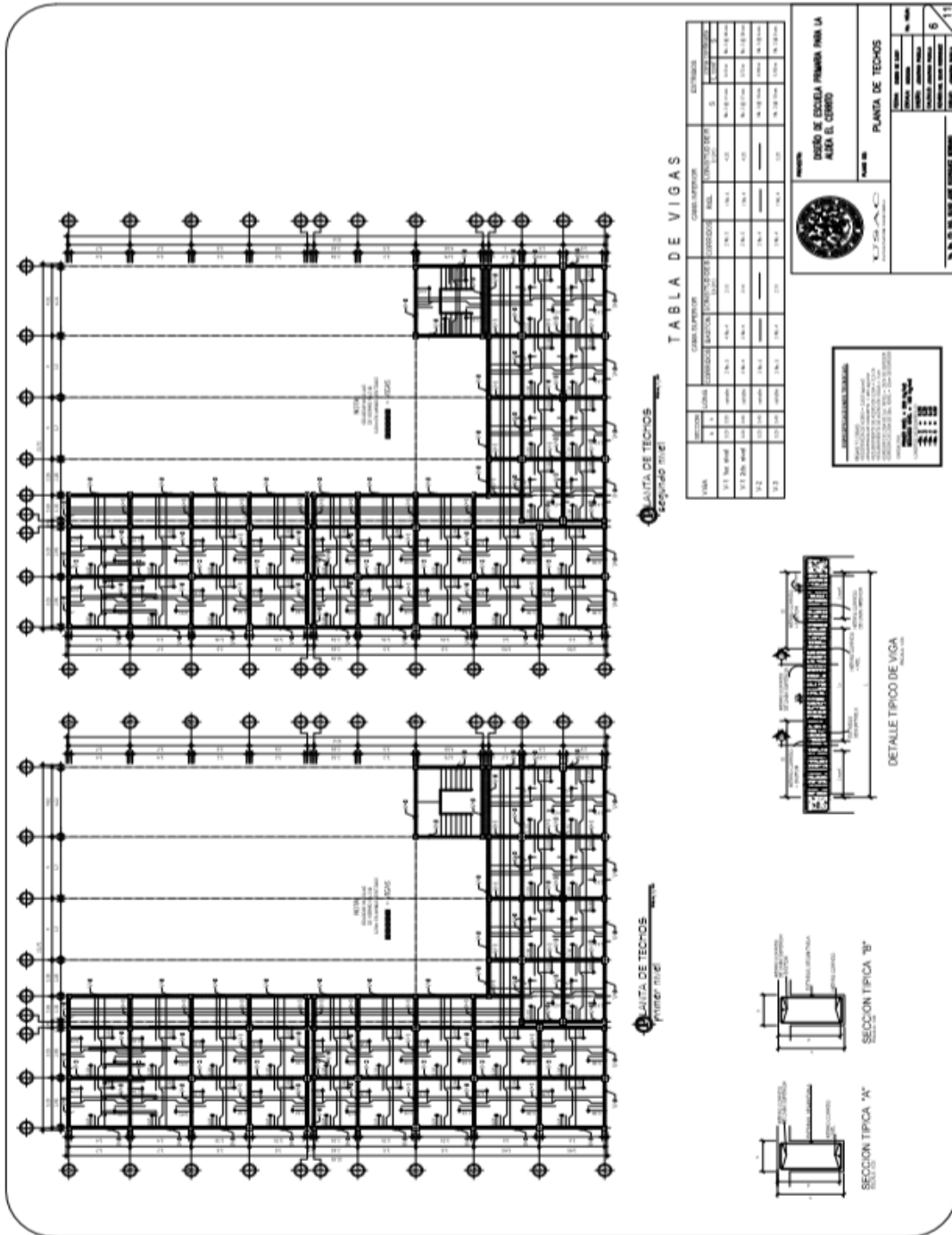


Continuación del apéndice 1.

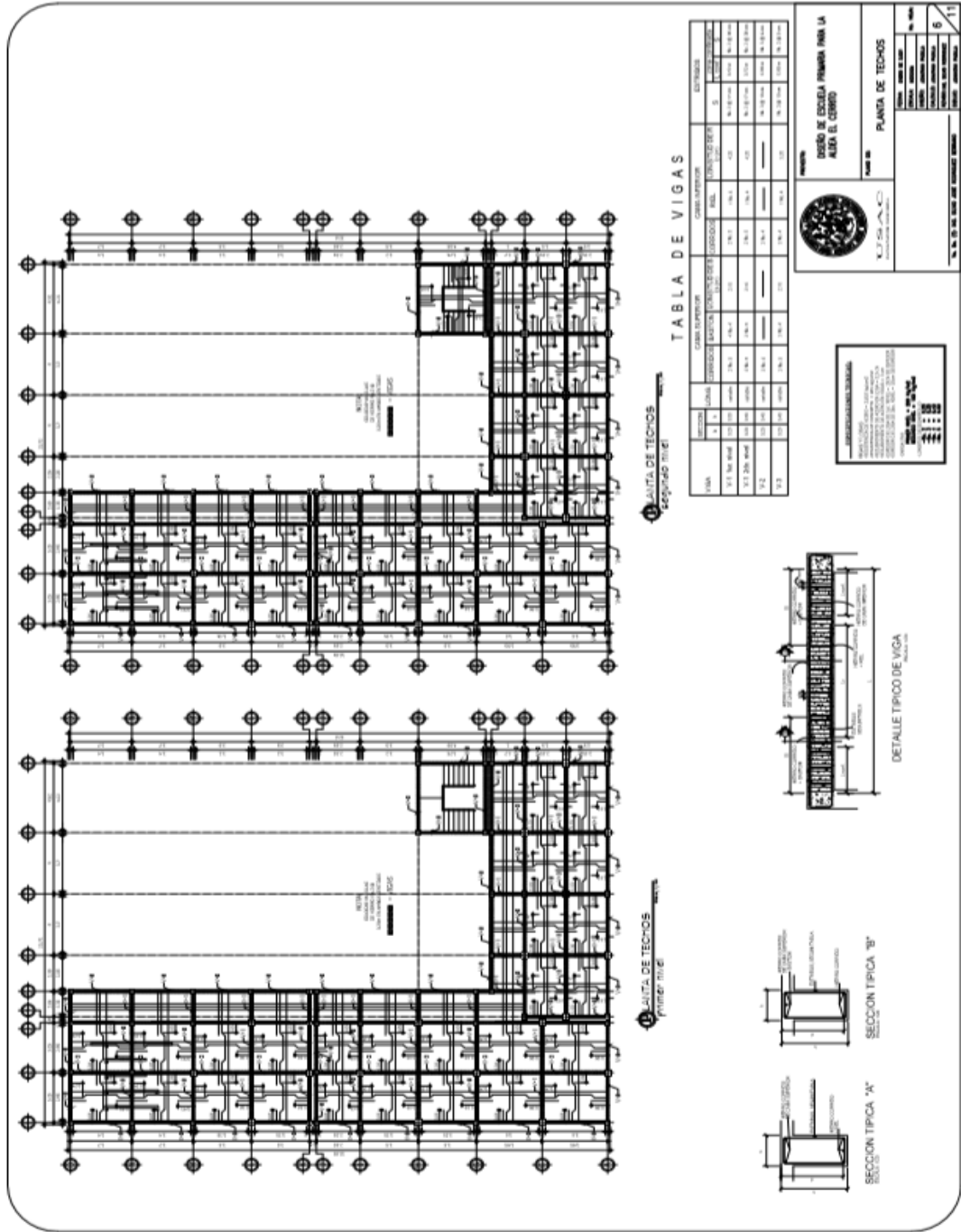




Continuación del apéndice 1.



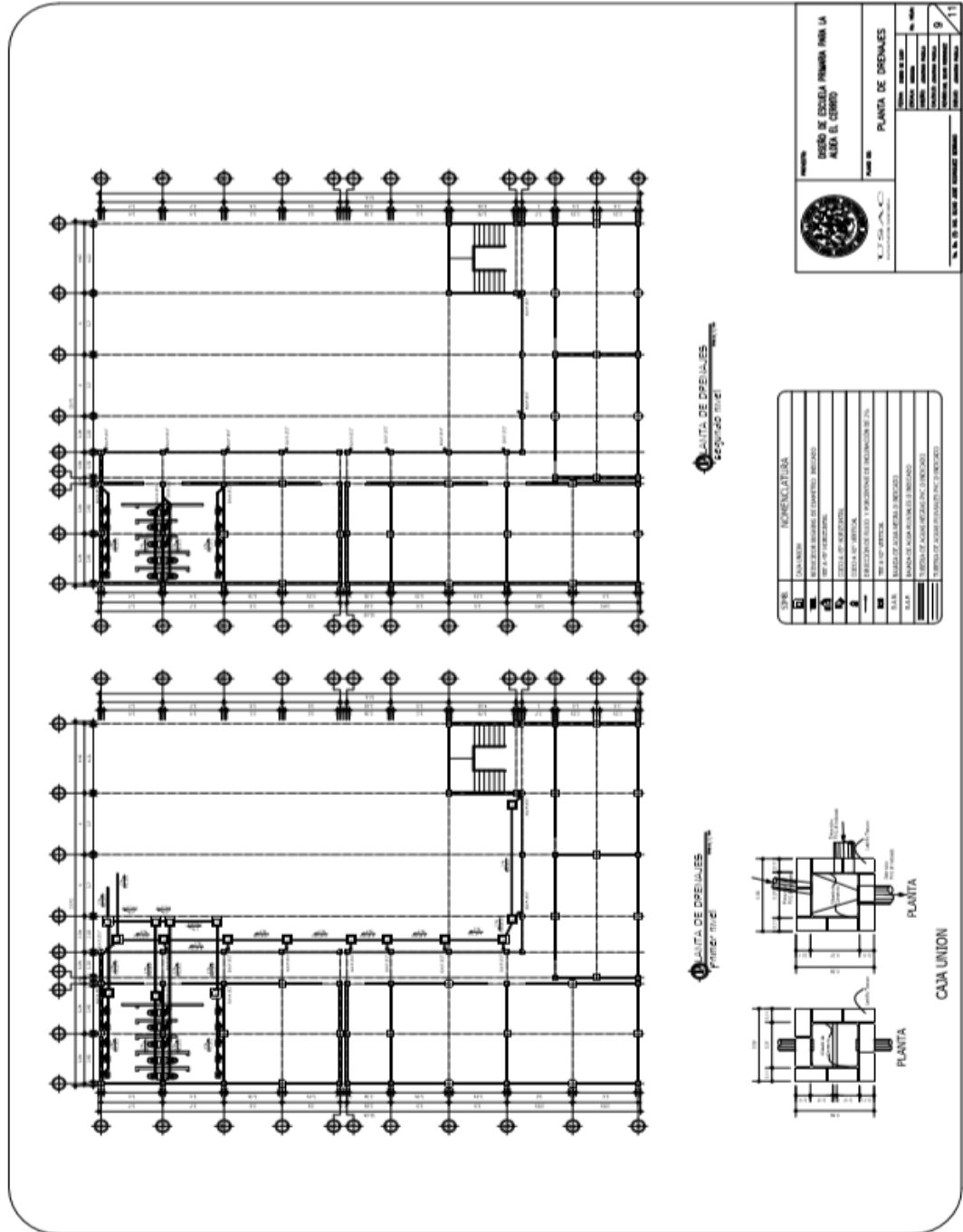
Continuación del apéndice 1.








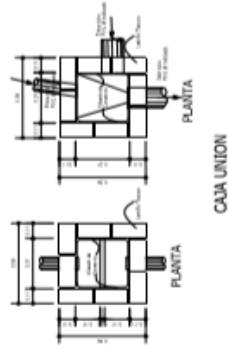
Continuación del apéndice 1.



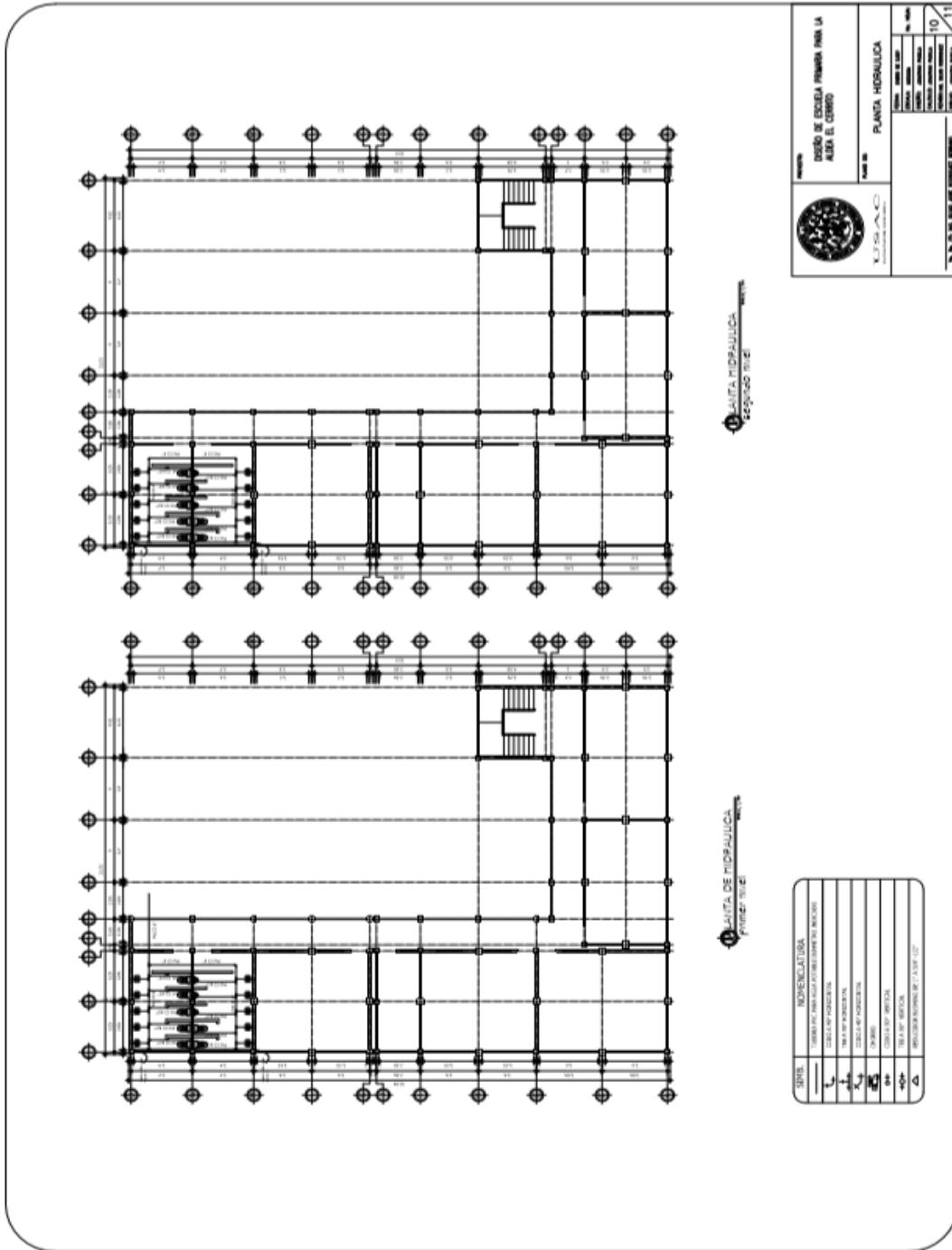

**PLANTA DE DRENAJES**  
 INSTITUTO DE EDUCACIÓN PÚBLICA DEL ESTADO DE CALIFORNIA  
 ESCUELA PRIMARIA PARA LA ALBA EL COMERO  
 PARRIS/ RUIZ

NO. DE HOJA	9
TOTAL DE HOJAS	11

UNIVERSIDAD	UNIVERSIDAD DE CALIFORNIA, SAN DIEGO
PROYECTO	PROYECTO DE DRENAJE PARA LA ESCUELA PRIMARIA PARA LA ALBA EL COMERO
CLIENTE	SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA DEL ESTADO DE CALIFORNIA
PROYECTISTA	ING. X.F. S.A. DE C.V.
PROYECTADO POR	ING. X.F. S.A. DE C.V.
PROYECTADO EN	CIUDAD DE SAN DIEGO, CALIFORNIA
PROYECTADO EN	15 DE ABRIL DE 2010
PROYECTADO EN	HOJA 9 DE 11



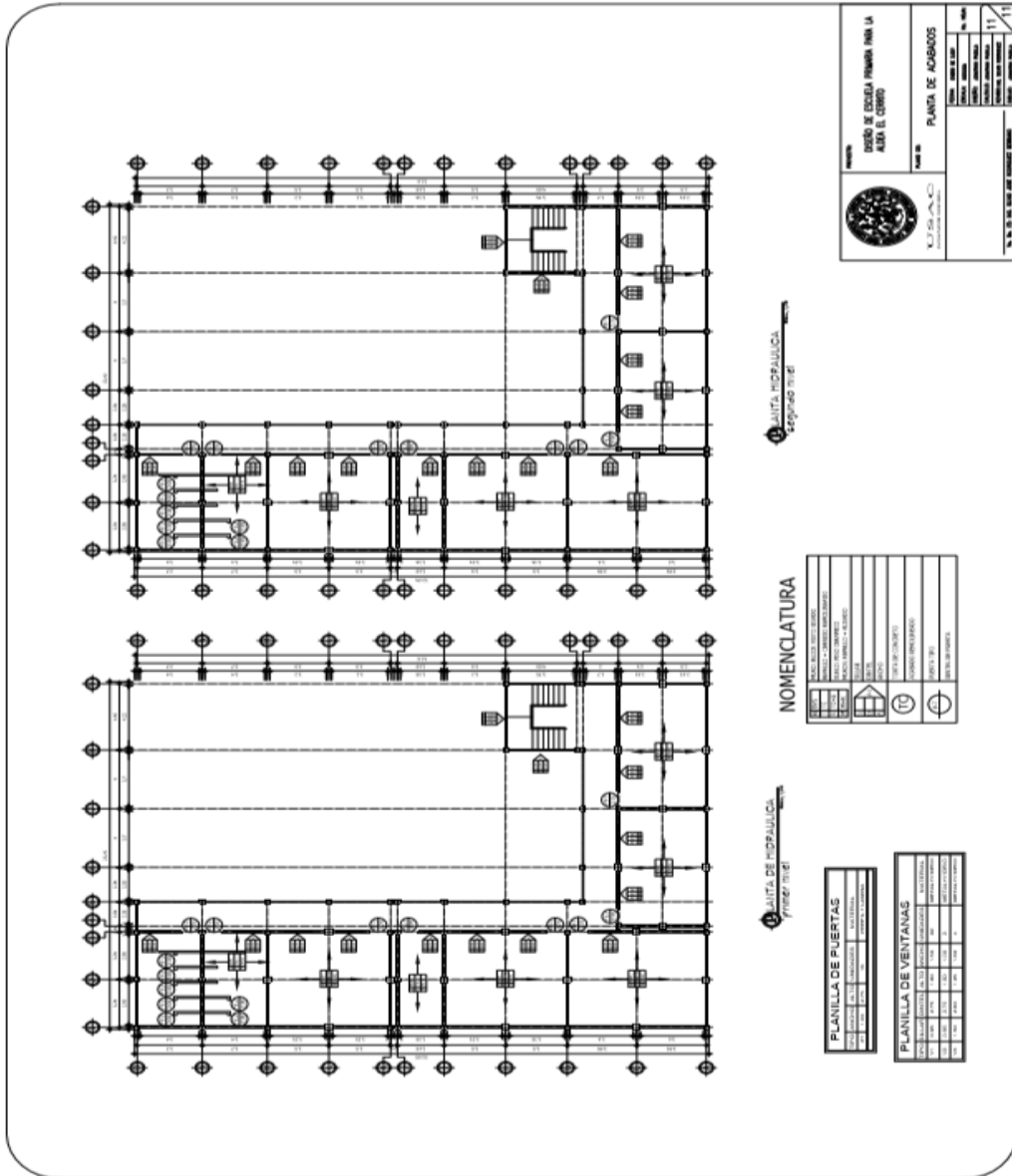
Continuación del apéndice 1.



	PROYECTO: DISEÑO DE ESCUELA PRIMARIA PARA LA ALDEA EL CENTRO
	PLAN NO: PLANTA HIDRAULICA
ESCALA: 1:100	FECHA: 10 / 11
INGENIERO RESPONSABLE:	

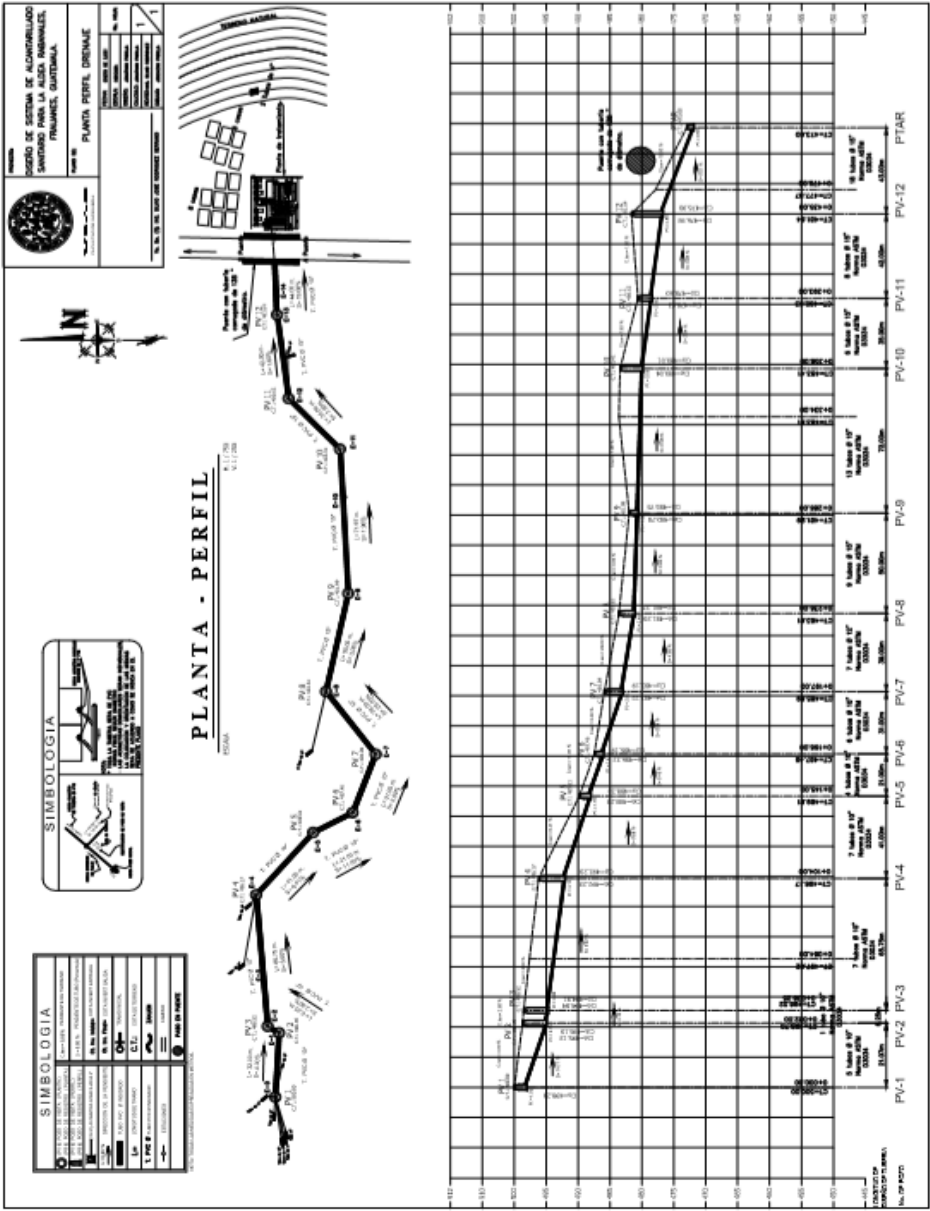
SYMS	NOVENCIATURA
	TIENE UN PISO PARA ALMACENAR LOS INGRESOS
	CALLE DE PASADIZOS
	TRABAJO DE PASADIZOS
	CALLE DE PASADIZOS
	TRABAJO DE PASADIZOS
	TRABAJO DE PASADIZOS
	TRABAJO DE PASADIZOS
	TRABAJO DE PASADIZOS
	TRABAJO DE PASADIZOS

Continuación del apéndice 1.

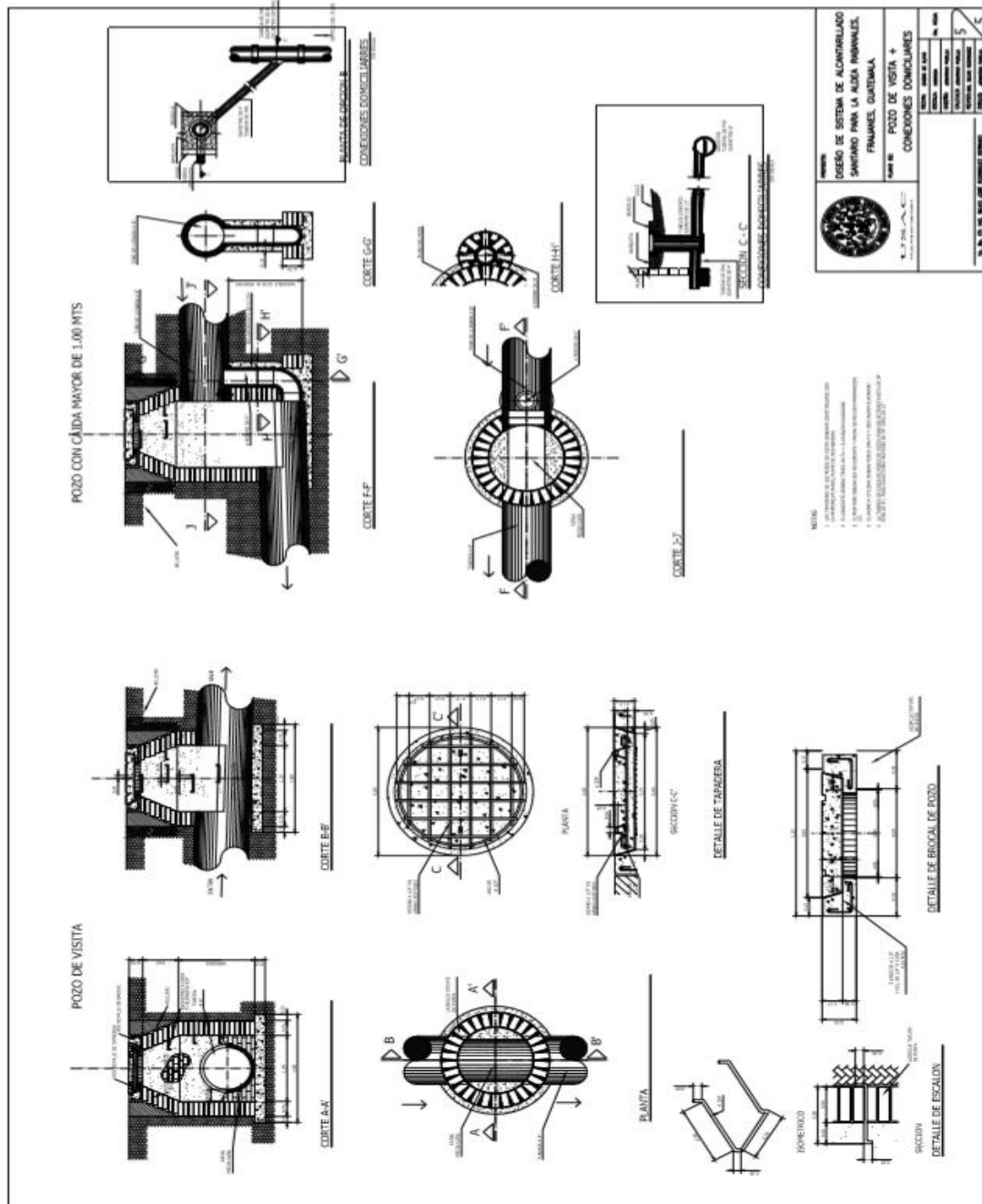


Fuente: elaboración propia.

# Apéndice 2. Planos de diseño del alcantarillado sanitario de la aldea Rabanales



Continuación del apéndice 2.



Fuente: elaboración propia.