



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

**DISEÑO DE EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DEL  
SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA  
PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

**Irasema Karina Oliveros Godínez**

Asesorado por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta

Guatemala, noviembre de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DEL  
SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA  
PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**IRASEMA KARINA OLIVEROS GODÍNEZ**

ASESORADO POR EL ING. MANUEL ALFREDO ARRIVILLAGA OCHAETA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA CIVIL**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADORA	Inga. Mayra Rebeca García Soria
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 EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DE SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 20 de febrero del 2020.

**Irasema Karina Oliveros Godínez**





Guatemala, 04 de septiembre de 2020  
REG.EPS.DOC.82.02.2020

Ingeniero  
Oscar Argueta Hernández  
Director de la Unidad de EPS  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Estimado Ingeniero Argueta.

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) del estudiante universitario **Irasema Karina Oliveros Godínez**, registro **Académico 201222627** y **CUI 2301140831212** de la Carrera de Ingeniería Civil. Procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **“DISEÑO DE EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, 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. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta  
Asesor-Supervisor de EPS  
Área de Ingeniería Civil





<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala, 14 de septiembre de 2,020

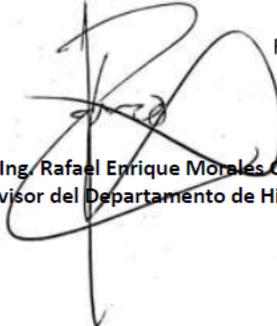
Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Aguilar Polanco:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación , **DISEÑO DE EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACION BÁSICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **Irasema Karina Oliveros Godínez**, DPI: **2301140831212**, Registro Académico: **2012-22627**, quién contó con la asesoría de el **Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**, 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

  
FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
U S A C  
Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa  
Revisor del Departamento de Hidráulica

/mrrm.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua







**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingeniería.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala, 18 de septiembre de 2,020

Ingeniero  
Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Director de Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero Aguilar Polanco:

Le informo que he revisado el trabajo de **graduación "DISEÑO EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACION BASICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA LA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA"**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **IRASEMA KARINA OLIVEROS GODINEZ, CUI: 2301 14083 1212** Reg. Estudiantil: 2012 22627, quién contó con la asesoría del Ing. **Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta**.

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,

Ingeniero.  
Armando Fuentes Roca  
Coordinador del Departamento de Estructuras

/mrrm.

**ID Y ENSEÑAD A TODOS**

*Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua*





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIDAD DE EPS

Guatemala, 21 de septiembre de 2020  
REF.EPS.D.141.09.2020

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Presente

Estimado Ingeniero Aguilar Polanco:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DE EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, que fue desarrollado por la estudiante universitaria **Irasema Karina Oliveros Godínez, CUI 2301 14083 1212 y Registro Académico 201222627**, quien fue debidamente asesorada y supervisada por el Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta.

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

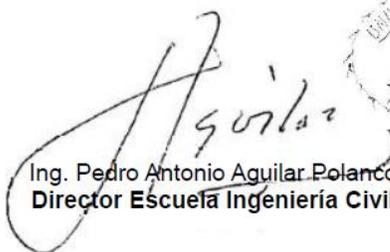




Guatemala, 25 de noviembre de 2020  
DEIC-TG-EPS-022-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer los dictámenes del Asesor-Supervisor y Coordinador Área de Infraestructura de EPS, Ingeniero Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta, del Director Unidad de EPS, Ingeniero Oscar Argueta Hernández, del revisor del Departamento de Hidráulica, Ingeniero Rafael Enrique Morales Ochoa y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ingeniero Armando Fuentes Roca, al trabajo de graduación correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) de la estudiante Irasema Karina Oliveros Godínez, **DISEÑO DE EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Director Escuela Ingeniería Civil

Interesada  
Asesor-Supervisor de EPS  
Director Unidad EPS  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Jefe del Departamento de Estructuras

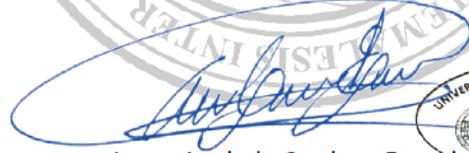




DTG. 432.2020.

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 EDIFICIO DE DOS NIVELES PARA EDUCACIÓN BÁSICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO SANITARIO PARA ALDEA EL ROSARIO, PIEDRA PARADA, SANTA CATARINA PINULA, GUATEMALA**, presentado por la estudiante universitaria: **Irasema Karina Oliveros Godínez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana

Guatemala, noviembre de 2020

AACE/asga



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por darme la vida y toda sabiduría e inteligencia a lo largo de mis días, permitiéndome culminar una meta más.
- Mis padres** Nelson Israel Oliveros Soto y Eva Juana Godínez García, por todo su amor incondicional, por ser mi pilar y nunca dejar de brindarme su apoyo incondicional y su ejemplo de vida.
- Mis abuelos** Paternos y maternos, por ser parte importante en mi vida y cuidarme desde mi niñez con amor y consejos.
- Mis hermanos** Jhoycee, Lesly y Elizabeth Oliveros, por todo su amor incondicional, incentivándome cada día a cumplir mis metas.
- Mi novio** Edgar Pichiya Xicay, por su apoyo y amor incondicional.
- Familia** Por brindarme su cariño incondicional y aprecio especialmente a Luis Emilio Jibes (q. e. p. d.), por ser de gran ayuda en mis primeros pasos universitarios.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Por permitirme mi formación como profesional siendo mi casa de estudios.

**Facultad de Ingeniería**

Por brindarme el conocimiento y las herramientas necesarias para formarme como profesional.

**Ing. Manuel Alfredo  
Arrivillaga**

Por su asesoría y paciencia como guía durante la realización de mi trabajo de graduación.

**Municipalidad Santa  
Catarina Pinula**

En especial a la Dirección de Planificación por su amistad, apoyo y conocimiento brindado durante la realización de mi Ejercicio Profesional Supervisado, (EPS).

**Mis padres**

Por nunca dejar de creer en mis metas, brindándome su apoyo y amor incondicional sin ellos, este logro no hubiera sido posible.

**Mis amigos**

Vianka Tevalan, Ana Villatoro, Pamela Palacios, Cristi Vásquez, Alma Reyes, Telma Sermeño, Vivian Welches, Daysi Nájera, Mario Monzón, Elio Chicas, José Álvarez, por compartir su amistad y hacer de mi estadía algo placentero.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XV
GLOSARIO .....	XXI
RESUMEN.....	XXV
OBJETIVOS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN .....	XXIX
1. FASE DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Monografía del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala.....	1
1.1.1. Aspectos generales del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala.....	1
1.1.2. División territorial administrativa .....	2
1.1.3. Ubicación y localización.....	3
1.1.4. Extensión y límites.....	3
1.1.5. Situación demográfica .....	3
1.1.6. Aspectos climáticos e hidrológicos .....	4
1.1.7. Topografía y suelo .....	5
1.1.8. Flora y fauna.....	5
1.1.9. Marco cultural .....	6
1.1.9.1. Idioma.....	6
1.1.9.2. Feria titular.....	6
1.1.9.3. Aspectos socioculturales .....	6
1.1.10. Tipos de vivienda.....	7
1.1.11. Servicios básicos e infraestructura .....	7

1.1.12.	Aspectos económicos .....	9
1.1.13.	Comercio y turismo .....	9
1.2.	Investigación diagnóstica sobre las necesidades de servicios básicos e infraestructura del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala .....	10
1.2.1.	Descripción de las necesidades .....	10
1.2.2.	Otros servicios públicos.....	11
2.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	13
2.1.	Diseño de edificio de dos niveles para educación básica de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula, Guatemala.....	13
2.1.1.	Descripción del proyecto .....	13
2.1.2.	Investigación preliminar.....	14
2.1.2.1.	Terreno disponible.....	14
2.1.2.2.	Tipo de estructura a diseñar.....	14
2.1.2.3.	Análisis de suelo .....	15
2.1.2.3.1.	Ensayo de compresión triaxial .....	15
2.1.3.	Normas de diseño .....	19
2.1.4.	Diseño arquitectónico de centro educativo.....	19
2.1.4.1.	Ubicación del edificio.....	20
2.1.4.2.	Distribución de ambientes .....	20
2.1.4.3.	Altura del edificio .....	21
2.1.4.4.	Sistema estructural a utilizar .....	21
2.1.5.	Análisis estructural .....	21
2.1.5.1.	Predimensionamiento de elementos estructurales.....	22

	2.1.5.1.1.	Predimensionamiento de losas .....	24
	2.1.5.1.2.	Predimensionamiento de vigas .....	26
	2.1.5.1.3.	Predimensionamiento de columnas .....	28
	2.1.5.1.4.	Predimensionamiento de cimiento .....	33
2.1.6.		Distribución de cargas utilizando Normas AGIES 2018.....	34
	2.1.6.1.	Cargas estáticas .....	34
		2.1.6.1.1. Carga viva .....	34
		2.1.6.1.2. Carga muerta.....	35
	2.1.6.2.	Cargas dinámicas .....	46
		2.1.6.2.1. Carga por sismo .....	46
2.1.7.		Análisis de marcos dúctiles utilizando software (ETABS 2017) y comprobación por medio de un método numérico .....	79
	2.1.7.1.	Análisis de marcos dúctiles por medio de método numérico (Kani).....	80
		2.1.7.1.1. Diagramas de momentos en marcos dúctiles .....	81
	2.1.7.2.	Análisis de marcos dúctiles por medio de software (ETABS 2017) .....	87
2.1.8.		Comparación de resultados con método numérico.....	93
2.1.9.		Envolvente de momentos .....	93
2.1.10.		Diagrama a corte .....	99

2.1.11.	Diseño estructural .....	102
2.1.11.1.	Diseño de losas.....	102
2.1.11.2.	Diseño de vigas.....	115
2.1.11.3.	Diseño de columnas.....	122
2.1.11.4.	Diseño de cimentación .....	139
2.1.11.5.	Diseño de nudo sísmico .....	158
2.1.11.6.	Armado final de elementos estructurales.....	164
2.1.11.7.	Diseño de gradas .....	165
2.1.12.	Diseño de instalaciones.....	172
2.1.12.1.	Diseño de instalaciones hidráulicas ...	172
2.1.12.2.	Diseño de instalaciones sanitarias .....	173
2.1.12.3.	Diseño de instalaciones eléctricas .....	174
2.1.13.	Planos constructivos .....	175
2.1.14.	Presupuesto .....	175
2.1.15.	Cronograma de ejecución .....	178
2.1.16.	Evaluación de impacto ambiental.....	179
3.	FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL .....	181
3.1.	Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la aldea Agua El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.....	181
3.1.1.	Descripción del proyecto .....	181
3.1.2.	Levantamiento topográfico .....	182
3.1.2.1.	Altimetría .....	182
3.1.2.2.	Planimetría .....	183
3.1.3.	Diseño de sistema de alcantarillado.....	183
3.1.3.1.	Parámetros hidráulicos.....	183
3.1.3.2.	Cálculo de población futura .....	184
3.1.3.3.	Factor de Harmon .....	184

3.1.3.4.	Parámetros de diseño.....	185
3.1.3.4.1.	Dotación de agua potable.....	185
3.1.3.4.2.	Factor de retorno .....	185
3.1.3.4.3.	Factor de caudal medio.....	186
3.1.3.4.4.	Caudal sanitario.....	186
3.1.3.4.5.	Caudal domiciliar .....	186
3.1.3.4.6.	Caudal medio .....	187
3.1.3.4.7.	Caudal de conexiones ilícitas .....	187
3.1.3.4.8.	Caudal de diseño.....	187
3.1.3.5.	Tipo de tubería a utilizar .....	188
3.1.3.6.	Pendiente.....	188
3.1.3.7.	Relaciones hidráulicas.....	189
3.1.3.8.	Velocidades mínimas y máximas.....	189
3.1.3.9.	Cotas Invert .....	190
3.1.3.10.	Pozos de visita.....	191
3.1.3.10.1.	Especificaciones físicas y de colocación	192
3.1.3.10.2.	Normas y recomendaciones .....	194
3.1.3.10.3.	Profundidad de tubería .....	194
3.1.3.10.4.	Volumen de excavación.....	195
3.1.3.11.	Conexiones domiciliarias .....	195
3.1.3.12.	Ecuación de Manning .....	197
3.1.4.	Cálculo hidráulico .....	197

3.1.4.1.	Especificaciones técnicas.....	198
3.1.4.2.	Cálculo de un tramo de red de alcantarillado sanitario.....	198
3.1.5.	Propuesta de tratamiento para aguas negras .....	204
3.1.6.	Planos constructivos .....	204
3.1.7.	Presupuesto .....	205
3.1.8.	Cronograma de trabajo .....	206
3.1.9.	Evaluación de impacto ambiental.....	208
CONCLUSIONES.....		209
RECOMENDACIONES .....		211
BIBLIOGRAFÍA.....		213
APÉNDICES.....		215
ANEXOS.....		219

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Planta para predimensionamiento nivel 1, módulo 1 .....	22
2.	Planta para predimensionamiento nivel 2, módulo 1 .....	23
3.	Sección transversal de viga principal .....	28
4.	Planta de área tributaria de columna crítica, módulo 1 .....	29
5.	Sección transversal de columna principal .....	33
6.	Áreas tributarias para el marco 5, nivel 1, módulo 1 .....	36
7.	Áreas tributarias para el marco E, nivel 1, módulo 1 .....	37
8.	Cargas vivas y muertas marco 5, nivel 1 y 2, módulo 1 .....	43
9.	Cargas vivas y muertas marco E, nivel 1 y 2, módulo 1 .....	46
10.	Peso sísmico por nivel .....	47
11.	Ubicación de CR y CM, nivel 2, módulo 1 .....	70
12.	Ubicación de CR y CM, nivel 1, módulo 1 .....	71
13.	Fuerzas horizontales, marco E, módulo 1 .....	78
14.	Fuerzas horizontales, marco 5, módulo 1 .....	78
15.	Elevación marco 5, sentido X, nivel 1 y 2, módulo 1 .....	79
16.	Elevación marco E, sentido Y, nivel 1 y 2, módulo 1 .....	80
17.	Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas del marco E, eje Y .....	81
18.	Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en columnas del marco E, eje Y .....	82
19.	Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas del marco 5, eje X .....	82

20.	Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en columnas del marco 5, eje X.....	83
21.	Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas del marco E, eje Y.....	83
22.	Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en columnas del marco E, eje Y .....	84
23.	Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas del marco 5, eje X.....	84
24.	Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en columnas del marco 5, eje X .....	85
25.	Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas del marco E, eje Y .....	85
26.	Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en columnas del marco E, eje Y .....	86
27.	Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas del marco 5, eje X .....	86
28.	Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en columnas marco 5, eje X .....	87
29.	Modelo 3D del edificio escolar .....	88
30.	Modelo de deformaciones, edificio escolar .....	88
31.	Análisis de modelo, edificio escolar .....	89
32.	Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas y columnas, marco E, eje Y .....	90
33.	Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas y columnas, marco 5, eje X.....	90
34.	Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas y columnas, marco E, eje Y .....	91
35.	Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas y columnas, marco 5, eje X.....	91

36.	Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas y columnas, marco E, eje Y .....	92
37.	Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas y columnas, marco 5, eje X.....	92
38.	Diagrama de envolvente de momentos en vigas (kg-m), marco E, eje Y....	96
39.	Diagrama de envolvente de momento en viga, marco 5, eje X.....	99
40.	Diagrama de cortante último en columnas, marco E, eje Y.....	100
41.	Diagrama cortante último en columnas, marco 5, eje X.....	101
42.	Planta general de losas nivel 1 y 2, módulo 1 .....	102
43.	Planta de distribución de momentos balanceados (kg-m) para losas, nivel 2, módulo 1.....	111
44.	Planta de distribución de momentos balanceados (kg-m) para losas, nivel 1, módulo 1.....	112
45.	Diagrama de momentos últimos en viga del tramo E - F, nivel 1, marco 5, módulo 1.....	118
46.	Detalle de armado de viga principal, entre ejes E-F nivel 1, módulo 1.....	122
47.	Diagrama de eje X-X y Y-Y para el cálculo de esbeltez de la columna.....	126
48.	Detalle de armado de columna principal, entre ejes E-5, módulo 1 ...	138
49.	Detalle de armado de zapata Z-1 concéntrica, módulo 1 .....	147
50.	Detalle de armado de zapata Z-1 concéntrica, módulo 1 .....	157
51.	Perfil de módulo de gradas .....	165
52.	Planta de módulo de gradas .....	167
53.	Partes de pozo de visita .....	191

## TABLAS

I.	Distribución de zonas, aldeas y caseríos del municipio de Santa Catarina Pinula .....	2
II.	Servicios públicos que se prestan en el municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala .....	9
III.	Carga permisible según tipo de suelo.....	18
IV.	Resumen de los ambientes por nivel .....	20
V.	Predimensionamiento de losa nivel 1 y 2, módulo 1 .....	24
VI.	Espesor mínimo de losas en dos direcciones, sección 8.3.1.2 ACI 318USU-14 .....	25
VII.	Altura mínima de vigas no preesforzadas .....	27
VIII.	Predimensionamiento de viga.....	27
IX.	Datos preliminares .....	29
X.	Integración de cargas muertas que soporta la columna crítica.....	31
XI.	Integración de cargas vivas que soporta la columna crítica.....	32
XII.	Resumen de los ambientes por nivel .....	35
XIII.	Resumen de cargas muertas .....	35
XIV.	Datos preliminares .....	38
XV.	Integración de cargas muertas, marco 5, nivel 1, módulo 1.....	40
XVI.	Integración de cargas vivas, marco 5, nivel 1, módulo 1 .....	41
XVII.	Integración total de cargas marco 5, nivel 1, módulo 1 .....	41
XVIII.	Integración total de cargas muertas marco 5, nivel 2, módulo 1 .....	41
XIX.	Integración total de cargas vivas marco 5, nivel 2, módulo 1 .....	42
XX.	Integración total de cargas marco 5, nivel 2, módulo 1 .....	42
XXI.	Integración de cargas muertas, marco E, nivel 1, módulo 1 .....	43
XXII.	Integración de cargas vivas, marco E, nivel 1, módulo 1 .....	44
XXIII.	Integración total de cargas marco E, nivel 1, módulo 1 .....	44
XXIV.	Integración de cargas muertas, marco E, nivel 2, módulo 1 .....	44

XXV.	Integración de cargas vivas, marco E, nivel 2, módulo 1 .....	45
XXVI.	Integración total de cargas marco E, nivel 2, módulo 1 .....	45
XXVII.	Peso unitario de los elementos estructurales .....	48
XXVIII.	Peso sísmico carga muerta, nivel 1 y nivel 2, módulo 1 .....	50
XXIX.	Peso sísmico carga viva, nivel 1 y nivel 2, módulo 1 .....	52
XXX.	Clasificación de obras .....	53
XXXI.	Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño .....	54
XXXII.	Coeficiente de sitio $F_a$ .....	55
XXXIII.	Coeficiente de sitio $F_v$ .....	55
XXXIV.	Tipo de fuente sísmica .....	56
XXXV.	Factor $N_a$ , para periodos cortos de vibración .....	56
XXXVI.	Factor $N_v$ , para periodos largos de vibración .....	57
XXXVII.	Factor $K_d$ , de acuerdo al nivel del sismo .....	58
XXXVIII.	Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismorresistentes ....	60
XXXIX.	Distribución de corte basal por nivel .....	62
XL.	Centro de rigidez sentido X, módulo 1 .....	65
XLI.	Centro de rigidez sentido X, módulo 1 .....	66
XLII.	Resumen centro de rigidez ambos niveles, módulo 1 .....	67
XLIII.	Centro de masa ambos sentidos nivel 2 módulo 1 .....	68
XLIV.	Centro de masa ambos sentidos nivel 1 módulo 1 .....	69
XLV.	Resumen centro de masa ambos niveles, módulo 1 .....	69
XLVI.	Resumen excentricidad directa, nivel 1 y 2, módulo 1 .....	72
XLVII.	Resumen excentricidad accidental, nivel 1 y 2, módulo 1 .....	73
XLVIII.	Fuerza cortante por nivel, módulo 1 .....	75
XLIX.	Fuerza por marco en sentido X, nivel 2, módulo 1 .....	75
L.	Fuerza por marco en sentido Y, nivel 2, módulo 1 .....	76
LI.	Fuerza por marco en sentido X, nivel 1, módulo 1 .....	76
LII.	Fuerza por marco en sentido Y, nivel 1, módulo 1 .....	77
LIII.	Resumen de fuerzas por marco, sentido X, nivel 1, módulo 1 .....	77

LIV.	Resumen de fuerzas por marco, sentido Y, nivel 1, módulo 1 .....	77
LV.	Comparación de resultados entre método numérico y software .....	93
LVI.	Envolvente de momentos en vigas, nivel 2, marco E, eje Y .....	94
LVII.	Envolvente de momentos en vigas, nivel 1, marco E, eje Y .....	94
LVIII.	Envolvente de momentos en columnas, nivel 2, marco E, eje Y .....	95
LIX.	Envolvente de momentos en columnas, nivel 1, marco E, eje Y .....	96
LX.	Envolvente de momentos en vigas, nivel 2, marco 5, eje X.....	97
LXI.	Envolvente de momentos en vigas, nivel 1, marco 5, eje X.....	97
LXII.	Envolvente de momentos en columnas, nivel 2, marco 5, eje X.....	98
LXIII.	Envolvente de momentos en columnas, nivel 1, marco 5, eje X.....	98
LXIV.	Cortante último en columnas (kg), marco E, eje Y.....	100
LXV.	Cortante último en columnas (kg), marco 5, eje X.....	101
LXVI.	Valores de integración de cargas vivas y muertas en losas .....	104
LXVII.	Momentos positivos y negativos, no balanceados en losa, nivel 2, módulo 1... .....	106
LXVIII.	Momentos positivos y negativos, no balanceados en losa, nivel 1, módulo 1.....	107
LXIX.	Balance de momentos en losas, eje X, nivel 2, módulo 1 .....	108
LXX.	Balance de momentos en losas, eje Y, nivel 2, módulo 1 .....	109
LXXI.	Balance de momentos en losas, eje X, nivel 1, módulo 1 .....	109
LXXII.	Balance de momentos en losas, eje Y, nivel 1, módulo 1 .....	110
LXXIII.	Áreas de acero requerida para momentos últimos en viga del tramo E-F, nivel 1, marco 5, módulo 1 .....	118
LXXIV.	Datos preliminares para diseño de columna.....	123
LXXV.	Datos preliminares para diseño de zapata concéntrica .....	139
LXXVI.	Datos preliminares para diseño de zapata aislada .....	147
LXXVII.	Especificaciones para cimentación de muros. ....	158
LXXVIII.	Datos preliminares para diseño de nudo .....	159

LXXIX.	Resumen de armado final de los elementos estructurales que conforman el diseño estructural .....	164
LXXX.	Resumen de armado final del módulo de gradas .....	172
LXXXI.	Diámetros de artefactos .....	173
LXXXII.	Presupuesto de edificio escolar .....	176
LXXXIII.	Cronograma de ejecución para edificio escolar .....	178
LXXXIV.	Profundidad mínima de tubería PVC .....	195
LXXXV.	Presupuesto de sistema de alcantarillado sanitario para la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula .....	205
LXXXVI.	Cronograma de ejecución para sistema de alcantarillado sanitario ...	207



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>A<sub>c</sub></b>	Acabados de diseño
<b>h</b>	Altura de la sección transversal del elemento
<b>h<sub>n</sub></b>	Altura total del edificio
<b>B</b>	Ancho de cimentación
<b>Z</b>	Ancho de zanja
<b>φ</b>	Ángulo de fricción interna del suelo
<b>A<sub>s</sub></b>	Área de acero de refuerzo
<b>A<sub>s</sub>-máx</b>	Área de acero máxima
<b>A<sub>s</sub>-mín</b>	Área de acero mínima
<b>A<sub>s</sub>-temp</b>	Área de acero por temperatura
<b>A<sub>z</sub></b>	Área de zapata
<b>A<sub>g</sub></b>	Área gruesa
<b>A<sub>st</sub></b>	Área total del refuerzo longitudinal
<b>A<sub>t</sub></b>	Área tributaria
<b>b</b>	Base de la sección transversal del elemento
<b>P<sub>u</sub></b>	Carga axial
<b>q<sub>u</sub></b>	Carga de carga admisible
<b>C<sub>s</sub></b>	Carga de sismo
<b>C<sub>m</sub></b>	Carga muerta
<b>C<sub>u</sub></b>	Carga última
<b>C<sub>v</sub></b>	Carga viva
<b>Q</b>	Caudal a sección llena
<b>q</b>	Caudal a sección parcialmente llena

<b>Q<sub>com</sub></b>	Caudal comercial
<b>Q<sub>dis</sub></b>	Caudal de diseño
<b>Q<sub>inf</sub></b>	Caudal de infiltración
<b>Q<sub>dom</sub></b>	Caudal domiciliar
<b>Q<sub>Ind</sub></b>	Caudal industrial
<b>Q<sub>med</sub></b>	Caudal medio
<b>Q<sub>ci</sub></b>	Caudal por conexiones ilícitas
<b>cm<sup>2</sup></b>	Centímetro cuadrado
<b>cm<sup>3</sup></b>	Centímetro cúbico
<b>CM</b>	Centro de masa
<b>CR</b>	Centro de rigidez
<b>n</b>	Coefficiente de rugosidad
<b>C<sub>xy</sub></b>	Coefficiente en relación al peso sísmico y altura del nivel.
<b>Cb</b>	Coefficiente para momento método 3 ACI, lado mayor
<b>Ca</b>	Coefficiente para momento método 3 ACI, lado menor
<b>Cs</b>	Coefficiente sísmico de diseño
<b>F<sub>a</sub>, F<sub>v</sub></b>	Coefficientes de sitio para periodos de vibración cortos y largos.
<b>N<sub>a</sub>, N<sub>v</sub></b>	Coefficientes por proximidad de amenazas especiales
<b>C</b>	Cohesión con factor de seguridad por falla a corte
<b>F<sub>x</sub></b>	Cortante de cedencia
<b>V<sub>B</sub></b>	Corte basal
<b>V<sub>r</sub></b>	Corte máximo resistente del concreto
<b>CTf</b>	Cota final de terreno
<b>CTi</b>	Cota inicial de terreno
<b>CIE</b>	Cota invert de entrada
<b>CIS</b>	Cota invert de salida
<b>p bal</b>	Cuantía de acero balanceada

<b><math>\rho_{max}</math></b>	Cuantía de acero máxima
<b><math>\rho_{min}</math></b>	Cuantía de acero mínima
<b><math>S_a(T)</math></b>	Demanda sísmica de diseño para una estructura con periodo T.
<b>Df</b>	Desplante de cimentación
<b><math>\emptyset</math></b>	Diámetro
<b><math>L_i</math></b>	Distancia del origen hasta el centroide de la losa
<b><math>d_i</math></b>	Distancia desde el centro de rigidez y el eje de cada marco.
<b>DH</b>	Distancia horizontal
<b><math>X_i</math></b>	Distancia medida desde el origen hasta el centroide de la columna del marco correspondiente.
<b>S</b>	Espaciamiento
<b>S-max</b>	Espaciamiento máximo
<b><math>S_{1d}</math></b>	Espectro calibrado a 1 segundo del sismo extremo al nivel de diseño requerido.
<b><math>S_{cd}</math></b>	Espectro calibrado de periodo corto del sismo extremo al nivel de diseño requerido.
<b>t</b>	Espesor del elemento
<b>E</b>	Excentricidad
<b><math>E_{Accidental}</math></b>	Excentricidad accidental
<b><math>E_{Directa}</math></b>	Excentricidad directa
<b><math>F_{CU}</math></b>	Factor de carga última
<b>Fqm</b>	Factor de caudal medio
<b><math>K_d</math></b>	Factor de determinación de los niveles de diseño
<b><math>D_{1-2}</math></b>	Factor de distribución de losa
<b>F.H.</b>	Factor de Harmon
<b><math>\Phi</math></b>	Factor de reducción de resistencia por compresión
<b>R</b>	Factor de reducción de respuesta sísmica

<b>F.R</b>	Factor de retorno
<b>FS</b>	Factor de seguridad
<b>Nq, Nc, Ny</b>	Factores de carga para fórmula de Terzaghi
<b>F</b>	Fuerza actuante en el nivel de piso
<b>V<sub>s</sub></b>	Fuerza de corte por sismo
<b>V<sub>t</sub></b>	Fuerza de corte por torsión
<b>F<sub>x</sub></b>	Fuerza sísmica por nivel
<b>F<sub>T</sub></b>	Fuerza total por marco
<b>I</b>	Inercia
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>kg*m</b>	Kilogramo por metro
<b>kg/m<sup>2</sup></b>	Kilogramo sobre metro cuadrado
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo sobre metro cúbico
<b>b</b>	Lado mayor de losa
<b>a</b>	Lado menor de losa
<b>L/hab/día</b>	Litros por habitante por día
<b>Lo</b>	Longitud de confinamiento
<b>L<sub>tubería</sub></b>	Longitud de tubería
<b>L<sub>viga</sub></b>	Longitud de viga
<b>L</b>	Longitud del elemento
<b>H</b>	Luz libre del elemento vertical
<b>I<sub>n</sub></b>	Luz libre en la dirección larga, medida cara a cara de la viga.
<b>PVC</b>	Material fabricado a base de cloruro de polivinilo
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metro cúbico por segundo
<b>m/s</b>	Metro por segundo

<b><math>E_c</math></b>	Módulo de elasticidad del concreto
<b>G</b>	Módulo de rigidez
<b><math>M_T</math></b>	Momento de trabajo
<b><math>M_b</math></b>	Momento del lado mayor
<b><math>M_a</math></b>	Momento del lado menor
<b><math>M_2</math></b>	Momento mayor negativo
<b><math>M_1</math></b>	Momento menor negativo
<b><math>M_U</math></b>	Momento último
<b>Núm. Hab</b>	Número de habitantes
<b><math>S_{cs}</math></b>	Ordenada espectral ajustada con periodo de vibración corto del sismo extremo en el sitio de interés.
<b><math>S_{1s}</math></b>	Ordenada espectral ajustada con periodo de vibración de 1 segundo.
<b>S</b>	Pendiente
<b>d</b>	Peralte efectivo / tirante del agua en el alcantarillado
<b>t</b>	Peralte total
<b>n</b>	Periodo de diseño
<b><math>T_s</math></b>	Periodo de transición, encargado de separar los periodos cortos de los largos.
<b><math>T_o</math></b>	Periodo de transición que define el inicio de la meseta de periodos cortos del espectro.
<b>T</b>	Periodo fundamental de vibración de la estructura
<b>W</b>	Peso del elemento
<b><math>\gamma_{concreto}</math></b>	Peso específico del concreto
<b><math>\gamma_s</math></b>	Peso específico del suelo
<b><math>W_x</math></b>	Peso sísmico por nivel
<b><math>W_{CM}</math></b>	Peso total de la carga muerta
<b><math>W_{CV}</math></b>	Peso total de la carga viva

<b><math>W_s</math></b>	Peso total del edificio
<b><math>P_f</math></b>	Población futura
<b><math>P_o</math></b>	Población inicial
<b>P. V</b>	Pozo de visita
<b>P</b>	Presión
<b>H</b>	Profundidad del pozo
<b>Rec</b>	Recubrimiento
<b>a/A</b>	Relación de áreas
<b>q/Q</b>	Relación de caudales
<b>d/D</b>	Relación de diámetros
<b><math>\beta</math></b>	Relación de luz libre en la dirección larga a la luz libre de la dirección corta de la losa.
<b>v/V</b>	Relación de velocidades
<b><math>f'_c</math></b>	Resistencia a la compresión del concreto
<b><math>f_y</math></b>	Resistencia a la fluencia de acero
<b>K</b>	Rigidez
<b>r</b>	Tasa de crecimiento poblacional
<b><math>\alpha_{fm}</math></b>	Valor promedio de $\alpha_f$ de acuerdo a ACI 318USU-14 sección 8.10.2.7.
<b><math>V_s</math></b>	Valor soporte del suelo
<b>V</b>	Velocidad de flujo a sección llena
<b><math>V_{excavación}</math></b>	Volumen de excavación

## GLOSARIO

<b>ACI-318S-14</b>	Instituto Americano del Concreto. Comité 318: reglamento estructural para edificaciones, edición española, año 2014.
<b>AGIES NSE-2018</b>	Normas de Seguridad Estructural, Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural.
<b>Agua residual</b>	Tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales.
<b>Análisis estructural</b>	Proceso para determinar la respuesta de la estructura ante acciones que puedan afectar su integridad.
<b>AutoCAD</b>	Software en programas de diseño, dibujo, modelado, dibujo arquitectónico e ingeniería en 2d y 3d.
<b>Carga muerta</b>	Peso constante en magnitud y posición durante la vida de la estructura, incluyendo su peso propio.
<b>Carga viva</b>	Peso variable debido al personal, uso y ocupación de la estructura.

<b>Caudal</b>	Volumen de agua por unidad de tiempo que fluye dentro de una tubería.
<b>Colector</b>	Conjunto de tuberías que se utilizan para el desechar las aguas residuales o aguas pluviales.
<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>Densidad de vivienda</b>	Relación existente entre el número de habitantes por unidad de área.
<b>Estribo</b>	Refuerzo transversal de un elemento que resiste el esfuerzo cortante a los cuales está sometido.
<b>ETABS</b>	Software utilizado para el dimensionamiento, análisis y diseño estructural de la edificación.
<b>Factor de caudal medio</b>	Relación entre la suma de los caudales y los habitantes a servir.
<b>Factor de Harmon</b>	Factor de seguridad para las horas pico, está en relación con la población.
<b>Factor de retorno</b>	Porcentaje de agua potable que después de ser utilizada va al sistema de drenaje.

<b>Factor de rugosidad</b>	Factor que expresa que tan lisa es una superficie.
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística de Guatemala.
<b>INFOM</b>	Instituto de Fomento Municipal.
<b>Momento</b>	Reacción de un cuerpo, debido a la aplicación de una fuerza a cierta distancia de su centro de masa.
<b>Pendiente</b>	Inclinación respecto a una línea horizontal.
<b>Peralte efectivo</b>	Distancia medida desde la fibra extrema a compresión hasta el centroide del esfuerzo sujeto a tensión.
<b>Período de diseño</b>	Período de tiempo el cual el sistema prestará un servicio eficiente.
<b>Pozo de visita</b>	Estructura subterránea que se utiliza para el cambio de dirección, pendiente, diámetro o unión de tuberías, y en el inicio de un tramo de alcantarillado.
<b>Recubrimiento</b>	Espesor de concreto entre una barra de refuerzo y la cara exterior de la superficie del concreto.
<b>Tirante</b>	Altura de las aguas residuales y pluviales en una tubería, depósito o planta de tratamiento.
<b>Valor soporte</b>	Capacidad del suelo para resistir cargas por unidad de área.



## RESUMEN

El siguiente trabajo de graduación conlleva el desarrollo de los proyectos priorizados por la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, con el interés de fomentar el desarrollo en pro de los habitantes.

Los proyectos planteados durante el Ejercicio Profesional Supervisado se vieron enfocados en el diseño de un edificio escolar para estudiantes de nivel básico, y el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario, ambos para la aldea el Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

El informe consta de 3 fases, detallado de la siguiente manera: la fase de investigación presenta el contenido relacionado con la monografía del municipio, ubicación, localización, límites y extensiones, aspectos geográficos, entre otros, así como la priorización de las necesidades de la comunidad.

Mientras la fase técnico profesional dos y tres, contiene el procedimiento para el edificio escolar, basado en un diseño arquitectónico conforme los ambientes requeridos y áreas mínimas estipuladas, estudio de suelos, análisis y diseño estructural, de igual manera se integra el proyecto de alcantarillado sanitario, basado en las normas establecidas por INFOM. Para ambos proyectos se realizaron los cálculos, planos, presupuesto y cronograma de ejecución correspondiente.

En la parte final del informe, se presentan conclusiones, recomendaciones y bibliografía utilizada durante el diseño de ambos proyectos.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Realizar el diseño de un edificio de dos niveles para educación básica y el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario, ambos para la aldea El Rosario, Piedra Parada, municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala.

### **Específicos**

1. Proponer el diseño del edificio escolar de dos niveles, basado en un análisis y diseño estructural para garantizar la seguridad de la estructura según código ACI 318SUS-14 y Normas AGIES 2018.
2. Diseñar ambientes apropiados acorde al número de estudiantes por salón, mejorando la calidad de aprendizaje de los estudiantes de nivel básico.
3. Diseñar el sistema de alcantarillado sanitario basado en los lineamientos hidráulicos y especificaciones que indica el Instituto Nacional de Fomento
4. Elaborar los planos de construcción, presupuesto, cronograma de ejecución física y financiera correspondiente al edificio escolar y al sistema de alcantarillado sanitario.

5. Realizar la investigación monográfica del municipio de Santa Catarina Pinula, y la evaluación de impacto ambiental correspondiente a cada proyecto.

## INTRODUCCIÓN

Mediante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), efectuado en la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, se realizó un diagnóstico para determinar las necesidades de infraestructura en la aldea El Rosario, Piedra Parada.

Del diagnóstico de necesidades se realizó una priorización por la Dirección Municipal de Planificación (DMP), con la finalidad de atender las problemáticas vulnerables y dar una solución factible a la comunidad, a través de una planificación técnica. Por ello, se tomó como prioridad el diseño de un edificio escolar de dos niveles y el diseño de un sistema de alcantarillado sanitario.

El proyecto del edificio escolar se diseñó con la finalidad de brindar ambientes seguros y acorde a la cantidad de estudiantes de nivel básico, debido a que en actualidad se carece de espacios suficientes para albergar a todos los estudiantes. Para el diseño se realizó el análisis y diseño estructural respectivamente.

Se priorizó el tema de conducción de aguas residuales, debido a que cierta área de la comunidad carece de un sistema de alcantarillado sanitario, lo que provoca el desfogue inadecuado de las aguas generadas por los domicilios, es por ello, que se propone un diseño técnico con la finalidad de mejorar la calidad de vida de los habitantes, y reducir los riesgos de proliferación de enfermedades.

Ambos proyectos conllevan, el diseño técnico, planos, presupuesto y cronograma correspondiente.

# **1. FASE DE INVESTIGACIÓN**

## **1.1. Monografía del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala**

A continuación, se dará una breve descripción del municipio sobre aspectos generales, división territorial, vías de accesos, aspectos climatológicos e hidrológicos, su población e idiomas, entre otros temas del municipio.

### **1.1.1. Aspectos generales del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala**

El municipio de Santa Catalina Pinula, se encuentra ubicado, al sureste de la Ciudad de Guatemala, a una distancia de 9,0 km de la misma. Santa Catarina Pinula pertenece a la región metropolitana del departamento de Guatemala.

La palabra Pinula tiene un significado etimológico. Pinul que significa harina y la letra a que significa agua, en la lengua Pipil significa harina de agua.

El nombre oficial del municipio corresponde a Santa Catarina Pinula, y se cree que fue el padre Juan Godínez, quién influyó en ponerle el nombre de Santa Catarina al pueblo de Pankaj o Pinola en honor a Catarina Mártir de Alejandría.

Luego de la independencia de 1821 paso a formar parte del departamento de Guatemala, en 1839 fue adscrito al departamento de Guatemala.

### 1.1.2. División territorial administrativa

El municipio está integrado por 10 zonas, además de la cabecera municipal, 16 aldeas y 5 caseríos, y se describen en la tabla I:

Tabla I. **Distribución de zonas, aldeas y caseríos del municipio de Santa Catarina Pinula**

Zonas		Aldeas		Caseríos	
1 y 2	Cabecera municipal	1	Cuchilla del Carmen	1	Pepe nance
3	El pueblito	2	El Carmen	2	Laguneta
4	Nueva Concepción	3	Salvadora I	3	El Zarzal
5	Santa Rosalía La Laguna	4	Salvadora II	4	Cambray
6	San José el Manzano, El Rosario, Piedra Parada.	5	El Pueblito	5	Trapichito
7	Puerta Parada, Laguna Bermeja, Pajón y Manzano La Libertad	6	San José El Manzano		
8	Don Justo, Los Cipreses y El Canchón	7	Nueva Concepción		
9	Salvadora I y II	8	Piedra Parada Cristo Rey		
10	Cuchilla del Carmen y El Carmen	9	El Rosario, Piedra Parada		
		10	Laguna Bermeja		
		11	El Pajón		
		12	Manzano Libertad		
		13	Don Justo		
		14	Puerta Parada		
		15	El Canchón		
		16	Los Cipreses		

Fuente: Municipalidad de Santa Catarina Pinula, Guatemala. *Distribución de zonas, áreas y caseríos*. <http://www.segeplan.gob.gt/nportal/index.php/biblioteca-documental/biblioteca-documentos/category/50-guatemala?download=58:pdm-santa-catarina-pinula>. Consulta: 18 de febrero de 2020.

Los proyectos a presentar se encuentran ubicados en la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula, del departamento de Guatemala.

### **1.1.3. Ubicación y localización**

La cabecera municipal de Santa Catarina Pinula del departamento de Guatemala se ubica al sureste de la capital a una distancia de 9 km de la misma. Las coordenadas geográficas para la cabecera municipal son latitud 14° 34' 13" N y longitud 90° 29' 45" N, la altura sobre el nivel del mar es de 1 550 m.

### **1.1.4. Extensión y límites**

El municipio de Santa Catarina Pinula cuenta con una extensión territorial de 50 km<sup>2</sup> y sus límites territoriales se definen como:

- Al norte: ciudad de Guatemala
- Al este: municipio San José Pinula
- Al sur: municipios de Fraijanes y Villa Canales
- Al oeste: municipio de Villa Canales

### **1.1.5. Situación demográfica**

El municipio de Santa Catarina Pinula ha tenido un incremento poblacional en los últimos años, es por ello que en la localidad se maneja una tasa de crecimiento poblacional anual de 2,45 %. Con base en una estimación de población para el año 2019 se contabilizó un total de 105 459 habitantes teniendo un 49 % (51 675), de hombres y un 51 % (53 784), de mujeres. El

porcentaje de población rural en el municipio es de 29,48 % y un 70,52 % de población urbana.

### **1.1.6. Aspectos climáticos e hidrológicos**

En el municipio de Santa Catarina Pinula se cuenta con un clima cálido y templado. La estación meteorológica más cercana al municipio está ubicada en la 7ª avenida 14-57 zona 13 de la ciudad capital, en la sede del INSIVUMEH. Se cuenta con los siguientes datos brindados por INSIVUMEH.

- Temperatura media: 20,5 °C
- Temperatura máxima (promedio anual): 25,9 °C
- Temperatura mínima (promedio anual): 15 °C
- Temperatura máxima absoluta: 30,8 °C
- Temperatura mínima absoluta: 9,8 °C
- Precipitación pluvial media: 270 mm/año,
- Radiación solar: 0,36 cal
- Brillo solar promedio: 202,5 horas/mes
- Velocidad del viento: 10,2 km/h
- Presión media de 640,4 mm

En el ámbito hidrológico el municipio de Santa Catarina Pinula cuenta con diversos causes de agua, favoreciéndose por microcuencas debido a la topografía del terreno. A continuación, se presentan los ríos que se encuentran en el municipio

- Ríos:

Río Acatan	Río Chicoj
Río Chiquito	Río El Sauce

Río La Palma  
Río Pinula

Río Las Minas  
Río Los Ocotes

### **1.1.7. Topografía y suelo**

Santa Catarina Pinula es un municipio con características físicas de terrenos con pendiente pronunciada, con una de las extensiones más pequeñas del departamento de Guatemala lo que genera que la densidad de uso sea de las más altas, lo que se ha visto incrementado por el alto número de urbanizaciones que se han asentado en su territorio. La topografía de Santa Catarina Pinula es irregular. El relieve del suelo de Santa Catarina Pinula va desde 900 metros hasta 2 100 metros sobre el nivel del mar.

En Santa Catarina Pinula se identifican tres grupos de suelos:

- Áreas fragosas
- Suelos de Guatemala
- Suelo Morán

### **1.1.8. Flora y fauna**

El municipio de Santa Catarina Pinula tiene una diversidad de flora entre sus principales recursos naturales se encuentran el pino, ciprés, encino, ceiba, matilisguate, entre otros.

La principal fauna del municipio la conforma: rata común, ardillas, conejos, mapaches, tacuazines y la mayoría de la fauna doméstica.

### **1.1.9. Marco cultural**

A continuación, se describe el marco cultural del municipio de Santa Catarina Pinula.

#### **1.1.9.1. Idioma**

En santa Catarina Pinula el idioma predominante en un 100 % es el español.

#### **1.1.9.2. Feria titular**

La feria titular se realiza para conmemorar a la patrona Santa Catarina de Alejandría, se lleva a cabo el 25 de noviembre. Este día se realizan los actos litúrgicos en la iglesia de la localidad, durante todo el día. Por la noche se lleva a cabo un baile llamado noche de recuerdo, en la cual participan marimbas de renombre. Dichas fiestas hacen honor a la reina de la comunidad, también se realizan jaripeos, juegos mecánicos, entre otras actividades.

#### **1.1.9.3. Aspectos socioculturales**

El municipio de Santa Catarina Pinula se caracteriza por el desarrollo sociocultural, es por ello que las familias pinultecas participan de diversas actividades, costumbres y tradiciones relacionadas con la religión y la familia tales como: asistir a la iglesia los días domingo o días entre semana que se realice alguna actividad religiosa, presenciar o bien participar en actividades deportivas (futbol, basquetbol).

Se tiene la Oficina Municipal de la Mujer, busca orientar, capacitar y ayudar a las mujeres del casco urbano y del área rural a través de programas de capacitación dentro de los cuales se encuentran: corte y confección, velas aromáticas, repostería, entre otras, asimismo, en la actualidad se cuenta con un conservatorio de música. De la misma manera cuenta con el programa Mis Años Dorados el cual está diseñado para contribuir a las mejoras de vida de las personas mayores de 60 años que viven en situación vulnerable de pobreza extrema, el programa aporta desarrollo integral al municipio.

#### **1.1.10. Tipos de vivienda**

El acceso principal a municipio de Santa Catarina es la carretera Interamericana CA-1, que conduce de la ciudad capital hacia carretera a El Salvador. Dentro de las vías de acceso a la cabecera municipal se encuentran:

- De la ciudad de Guatemala, por la 20 calle, zona 10 en dirección oriente llegando a la carretera de Santa Catarina Pinula RD-21.
- El Rosario, Piedra Parada, final zona 16 ciudad de Guatemala.
- Boca del Monte de Villa Canales que conecta con la aldea El Pueblito, de Santa Catarina Pinula.

#### **1.1.11. Servicios básicos e infraestructura**

En el municipio de Santa Catarina la mayoría de viviendas cuenta con los servicios públicos, dentro de los cuales destaca: servicio de agua potable, energía eléctrica, alumbrado público, sistema de drenaje, recolección de basura, telefonía celular e instalaciones deportivas.

- Infraestructura: en infraestructura el municipio cuenta con una iglesia parroquial, tres puestos de salud pública, escuelas mixtas urbanas y rurales. Existen también varios salones comunales para diversos eventos sociales y culturales.
- Medios de transporte: el municipio cuenta con servicio de buses en una línea urbana de la ciudad capital y buses extraurbanos, así como del servicio de taxi.
- Las principales rutas de transporte identificadas son:
  - Santa Catarina Pinula- Ciudad de Guatemala, zona 1-ruta urbana
  - Pajón y Laguna Bermeja- Ciudad de Guatemala, zona 1
  - El Carmen- Ciudad de Guatemala, zona 13
  - Cuchilla del Carme- Ciudad de Guatemala, zona 13
  - Salvadora I- Ciudad de Guatemala, zona 4-La Terminal
  - San José Pinula- Ciudad de Guatemala, zona 1
  - Santa Catarina Pinula- Salvadora I, servicio prestado por microbuses

A continuación, se presenta la tabla II con el resumen de algunos servicios públicos que se prestan en el municipio.

Tabla II. **Servicios públicos que se prestan en el municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala**

<b>Infraestructura</b>	Porcentaje con servicio de agua:	95 %
	Porcentaje con servicio sanitario:	87 %
<b>Salud</b>	Hospitales	3
	Centro de salud	2
	Puestos de salud	2
<b>Centros educativos</b>	Primaria	47
	Básicos	20
	Diversificado	9
	Universitario	2*
	(Extensión Universidad Galileo y	
	Universidad de San Carlos de Guatemala	

Fuente: Municipalidad de Santa Catarina Pinula, Guatemala. *Dirección de Servicios Públicos*.  
<https://scp.gob.gt/inicio/direccion-de-servicios-publicos/>. Consulta: 15 de febrero de 2020.

### 1.1.12. Aspectos económicos

La actividad económica principal del municipio es el comercio. Sin embargo, muy pocas personas se dedican a la agricultura, y existe una gran movilidad por fines laborales hacia la ciudad capital para desempeñarse en áreas diversas de servicio, industria y comercio.

### 1.1.13. Comercio y turismo

El comercio que se maneja en el municipio de Santa Catarina Pinula es la producción agropecuaria que incluye maíz, frijol y café que son cultivados para comercializarlos en pequeña escala en los mercados. Así como también se maneja la crianza de ganado porcino y su comercialización.

La producción pecuaria se encuentra localizada en la cabecera municipal. Existe una alta producción consistente en la crianza, destace y distribución de productos porcinos al mercado nacional.

En el ámbito de turismo tiene los siguientes sitios arqueológicos: Canchón, Ciprés, Jorgia, Montaña, Piedra Parada y San Vicente.

## **1.2. Investigación diagnóstica sobre las necesidades de servicios básicos e infraestructura del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala**

A continuación, se realiza la investigación diagnóstica sobre las necesidades básicas del municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala.

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

A pesar del desarrollo constante que el municipio ha tenido y la continuidad en las políticas municipales y proyectos, aun padece de una serie de necesidades, por lo que se requiere de la ejecución de proyectos de infraestructura tales como: sistemas de alcantarillado sanitario, construcción de centros educativos, esto con la finalidad de mejorar las condiciones de vida de los habitantes.

Establecimiento de educación básica: la falta de espacio y deterioro de las instalaciones ha originado la necesidad de un nuevo centro educativo, ya que el actual, se encuentra en malas condiciones en la aldea El Rosario Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

- Sistema de alcantarillado sanitario: la falta de un sistema de alcantarillado sanitario incrementa la contaminación y la proliferación de enfermedades, lo que provoca inconvenientes en la comunidad, es por ello que ha surgido la necesidad de un drenaje sanitario que se adapte a la necesidad de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.
- Mejoramiento de calle principal: los pobladores han manifestado que el mejoramiento, y ampliación del tramo de acceso principal de la comunidad es una de las necesidades prioritarias a satisfacer en la actualidad de la aldea El Pajón, Santa Catarina Pinula. Esto obedece al mal estado en que se encuentra la calle principal, haciendo difícil el traslado de los pobladores a los lugares aledaños, perjudicando a los trabajadores, estudiantes y pobladores en general.

### **1.2.2. Otros servicios públicos**

Habiendo realizado una evaluación y diagnóstico de necesidades se concluyó que es de prioridad realizar los diseños para las áreas de educación y sanidad, pertenecientes a la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula. Las necesidades se basan en el diseño de un edificio para educación básica, y un sistema de alcantarillado sanitario.

El edificio para educación básica se priorizó debido a la falta de espacio para albergar a todos los estudiantes del sector y a las malas condiciones en el que se encuentra el actual instituto, por lo que se necesita un espacio físico, amplio y seguro donde asistir a clases y recibir las mismas en condiciones óptimas. El sistema de alcantarillado sanitario se priorizó debido al incremento de enfermedades en el área y a la contaminación ambiental, ya que las

viviendas actuales drenan sus aguas residuales en pozos ciegos y fosas sépticas por lo que es necesario la recolección y evacuación de las mismas a través de colectores, para luego ser vertidas a una planta de tratamiento.

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

### **2.1. Diseño de edificio de dos niveles para educación básica de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula, Guatemala**

A continuación, se realiza una descripción del diseño del edificio de dos niveles para educación básica de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula, Guatemala.

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

El proyecto consiste en el diseño de un edificio escolar de dos niveles en la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

El diseño arquitectónico adoptó ambientes amplios y acordes a la cantidad de estudiantes del área. Asimismo, el diseño estructural está conformado por un sistema E1 de marcos dúctiles resistentes a momento de concreto reforzado, formados por vigas, columnas, muros de relleno de mampostería de block independientes al sistema y losa de concreto reforzado, según lo establecido por las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala AGIES 2018, en sus apartados NSE-1. Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica, NSE-2. Demandas estructurales y condiciones de sitio, NSE-2.1. Estudios Geotécnicos, NSE-3. Diseño estructural de edificaciones, y Código ACI 318SUS-14 American Concrete Institute.

El método de diseño estructural está basado en una filosofía de diseño por factores de carga y resistencia (LRFD), en este las cargas de diseño son mayoradas y las resistencias de diseño reducidas por los factores, según lo establecido por la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala NSE-2. Demandas estructurales y condiciones de sitio.

## **2.1.2. Investigación preliminar**

A continuación, se describe la investigación preliminar del proyecto y el estudio de suelos, que se utilizó para determinar aspectos estructurales.

### **2.1.2.1. Terreno disponible**

El terreno se encuentra a la orilla de la calle principal en el lote 7 del sector 2, zona 6 de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula, a una distancia de 13 km de la cabecera municipal teniendo de esta manera un acceso adecuado y un área aproximada de 670 m<sup>2</sup>.

La topografía del terreno disponible para el proyecto presenta una forma plana y rectangular la cual facilita el diseño y construcción del edificio escolar.

### **2.1.2.2. Tipo de estructura a diseñar**

El edificio escolar estará diseñado con un sistema estructural de marcos dúctiles unidos con nudos rígidos, y una losa tradicional de concreto reforzado todo basado en las Normas AGIES 2018.

### **2.1.2.3. Análisis de suelo**

Se realizó un estudio de suelos correspondiente al área de construcción del edificio escolar para corroborar y evaluar las diferentes propiedades mecánicas del suelo. El ensayo efectuado se conoce como compresión triaxial, analizado en el laboratorio de Mecánica de Suelos del Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII).

A continuación, se describe el ensayo y los resultados obtenidos.

#### **2.1.2.3.1. Ensayo de compresión triaxial**

El ensayo de compresión triaxial es utilizado para determinar la cohesión que posee el suelo, y la resistencia al corte, simulando los diferentes esfuerzos a los cuales está sometido en condiciones naturales, es decir, información representativa del esfuerzo cortante que sufre el suelo al ser sometido a cargas.

Este ensayo permite conocer la capacidad de soporte del suelo, y sus características físicas, por ello que se efectuó el mismo en el terreno previsto para la construcción del edificio escolar.

Para el ensayo fue necesaria la extracción de una muestra inalterada de 1 pie<sup>3</sup> de volumen, con una perforación de pozo abierto a una profundidad aproximada de 1,70 m. Por lo que se obtuvieron los siguientes datos:

- Lugar del ensayo: aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.
- Tipo de ensayo: no consolidación y no drenado

- Descripción del suelo: Arena limosa color café
- Angulo de fricción interna ( $\emptyset$ ): 25,75
- Cohesión (Cu): 4,64 ton/m<sup>2</sup>
- Peso específico del suelo ( $\gamma$ ): 1,56 ton/m<sup>3</sup>

Los datos de laboratorio anteriores se presentan en el apéndice A. El cálculo del valor soporte del suelo para el diseño de la cimentación del edificio escolar, se realizó mediante el método del Dr. Terzaghi, de la siguiente manera:

$$q_u = 1,3 C N_c + \gamma_s D(N_q - 1) + 0,4\gamma_s B N_\gamma$$

Es importante aplicar un factor de seguridad (FS), a la cohesión y al ángulo de fricción interna del suelo ( $\emptyset$ ), respecto a la falla de corte. El rango del factor de seguridad se maneja de 1,4 a 1,6, en este diseño se tomará un factor de 1,5.

- Cohesión (Cd)

$$Cd = \frac{Cu}{FS}$$

$$Cd = \frac{4,64 \text{ ton/m}^2}{1,50};$$

$$Cd = 3,09 \text{ ton/m}^2$$

- Ángulo de fricción interna ( $\emptyset_{FS}$ )

$$\emptyset_{FS} = \tan^{-1} \left( \frac{\tan \emptyset}{FS} \right)$$

$$\emptyset_{FS} = \tan^{-1} \left( \frac{\tan(25,75^\circ)}{1,5} \right)$$

$$\emptyset_{FS} = 17,83^\circ$$

A continuación, se detallan los diferentes factores de capacidad de carga presentados en la ecuación del Dr. Terzaghi, los cuales están en función del ángulo de fricción interna del suelo ( $\emptyset$ ).

- Factores de capacidad de carga debido a la sobrecarga ( $N_c$ )

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{\emptyset}{2} \right) e^{\pi \tan \emptyset}$$

$$N_q = \tan^2 \left( 45 + \frac{17,83}{2} \right) e^{\pi \tan(17,83)}$$

$$N_q = 5,17^\circ$$

- Factores de capacidad de carga debido a la cohesión ( $N_c$ )

$$N_c = (N_q - 1) \cot \emptyset$$

$$N_c = (5,17 - 1) \cot(17,83)$$

$$N_c = 12,96^\circ$$

- Factores de capacidad de carga debido al peso del suelo ( $N_\gamma$ )

$$N_\gamma = 2 (N_q + 1) \tan \emptyset$$

$$N_\gamma = 2 (5,17 + 1) \tan(17,83)$$

$$N_\gamma = 3,97^\circ$$

- Capacidad de carga última bruta ( $q_u$ )

$$q_u = 1,3 * 3,09 \text{ ton/m}^3 * 12,96 + 1,56 \text{ ton/m}^3 * 1,70 \text{ m} (5,17 - 1) + 0.4$$

$$* 1,56 \text{ ton/m}^3 * 1 \text{ m} * 3,97$$

$$q_u = 64,30 \text{ ton/m}^2$$

- Capacidad de carga última admisible ( $q_{adm}$ )

Para garantizar una cimentación adecuada y cualquier deficiencia ocurrida en la obtención de la muestra o ensayo de laboratorio a la carga última bruta se le debe de aplica un factor de seguridad que varía entre 3 y 5. Para este proyecto se usara un factor de seguridad de 3.

$$q_{adm} = \frac{q_u}{FS}$$

$$q_{adm} = \frac{64,30 \text{ ton/m}^3}{3}$$

$$q_{adm} = 21,43 \text{ ton/m}^2$$

El suelo analizado es arena limosa con un valor soporte de 21,43 ton/m<sup>2</sup> en la tabla III se puede observar que para un suelo limoso el valor de carga permisible es de 16 ton/ m<sup>2</sup> y para arenas finas de 22 ton/ m<sup>2</sup>, por lo cual se puede concluir que el valor soporte del suelo calculado es el adecuado.

Tabla III. **Carga permisible según tipo de suelo**

Material del suelo	ton/m <sup>2</sup>	Observaciones
Roca sana	645	
Roca regular	430	
Roca intermedia	215	
Roca agrietada o porosa	22-86	
Suelos gravillosos	90	Compactados, buena granulometría
Suelos arenosos	32-64	Densos
Arena fina	22-43	Densa
Suelos arcillosos	53	Duros
Suelos arcillosos	22	Solidez mediana
Suelos limosos	32	Densos
Suelos limosos	16	Densidad mediana

Fuente: CRESPO VILLALAZ. Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. p. 295.

### **2.1.3. Normas de diseño**

Para garantizar la seguridad de los ocupantes del centro educativo el diseño estructural estará basado en la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala AGIES 2018 y el diseño arquitectónico en el Manual de Criterios Normativos para el Diseño Arquitectónico de Centros Educativos Oficiales del Ministerio de Educación.

### **2.1.4. Diseño arquitectónico de centro educativo**

El diseño arquitectónico tiene por objetivo la distribución adecuada de cada ambiente, según el uso y cantidad de usuarios. En el mismo intervienen factores geométricos, estéticos e higiénicos para satisfacer las necesidades de espacios habitables.

El diseño arquitectónico considero en planta y elevación una configuración simétrica y uniforme en sus dos niveles, cumpliendo con una regularidad estructural.

El edificio escolar tendrá un largo de 24,80 m y un ancho de 21,60 m, conformado por 2 módulos de marcos para aulas y 1 módulo independiente de gradas, diseñado con mampostería de block pómez tipo cajón, de 2,80 m de ancho y 6,40 m de largo. Para los módulos de aulas se consideró la no utilización de juntas sísmicas, debido a que se encuentran dentro de las medidas máximas permitidas, (25 m de longitud) establecido por las Normas de la Asociación Guatemalteca de Seguridad Estructural. No obstante, el módulo de gradas estará aislado a través de juntas sísmicas para resguardar la integridad de la estructura en caso de evacuación o emergencia.

#### 2.1.4.1. Ubicación del edificio

El edificio se ubicará en la parte derecha del terreno, para aprovechar la luz natural, la ventilación y el asolamiento entre ambientes del edificio escolar.

#### 2.1.4.2. Distribución de ambientes

Para la distribución y dimensión de los diferentes ambientes es importante tomar en cuenta factores como: clima, ventilación, iluminación solar, uso y número de personas por ambiente.

El edificio escolar albergara a una cantidad aproximada de 230 alumnos con un área optima de 1,50 m<sup>2</sup> por alumno, es por ello que los salones de clases tienen una capacidad aproximada de 35 alumnos. A continuación, se presentan los ambientes que conformaran cada nivel en el edificio escolar.

Tabla IV. Resumen de los ambientes por nivel

NIVEL 1		NIVEL 2	
Aulas teóricas	3	Aulas teóricas	4
Salón de dirección	1	Laboratorio de computación	1
Sala para educandos	1	Bodega	1
Sanitarios para damas	4	Sanitarios para damas	4
Sanitarios para caballeros	3	Sanitarios para caballeros	3
Cocina	1	Pasillo	1
Pasillo	1		
Módulo de gradas	1		

Fuente: elaboración propia.

#### **2.1.4.3. Altura del edificio**

Según lo establecido por el Ministerio de Educación la altura mínima para establecimientos educativos es de 3,20 m por nivel en climas templados. La edificación de 2 niveles tendrá una altura total de piso a cielo igual a 6,40 metros, garantizar una iluminación y ventilación óptima para todo el edificio escolar.

#### **2.1.4.4. Sistema estructural a utilizar**

Para el diseño del centro educativo se optó por utilizar un sistema estructural E1 de marcos dúctiles resistentes a momento de concreto reforzado, conformados por vigas, columnas, muros de relleno de mampostería de block independientes del sistema y losa de concreto reforzado, según lo establecido en la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala AGIES 2018, sección 1.6.2, del apartado NSE-3.

#### **2.1.5. Análisis estructural**

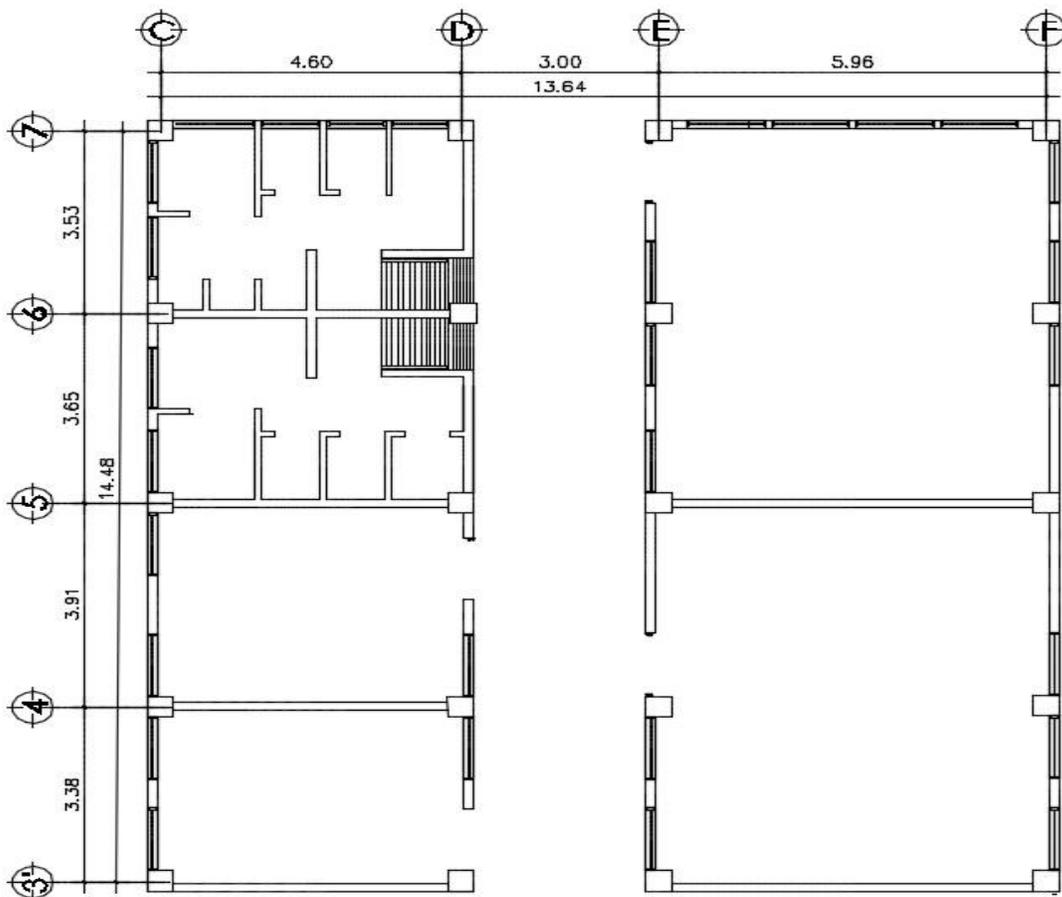
El análisis estructural determina el comportamiento de estructura sometida a las diferentes solicitaciones tales como: las cargas muertas, las cargas vivas, los efectos sísmicos, y las fuerzas de viento, entre otras. Esta respuesta generalmente se centra en determina las fuerzas, esfuerzos, momentos, desplazamientos y deformaciones a las cuales se expone por la acción de agentes externos y de esta manera garantizar la integridad de la edificación.

Para el análisis estructural se utilizará el método exacto de Kani, y el software de análisis y dimensionamiento de estructuras ETABS.

### 2.1.5.1. Predimensionamiento de elementos estructurales

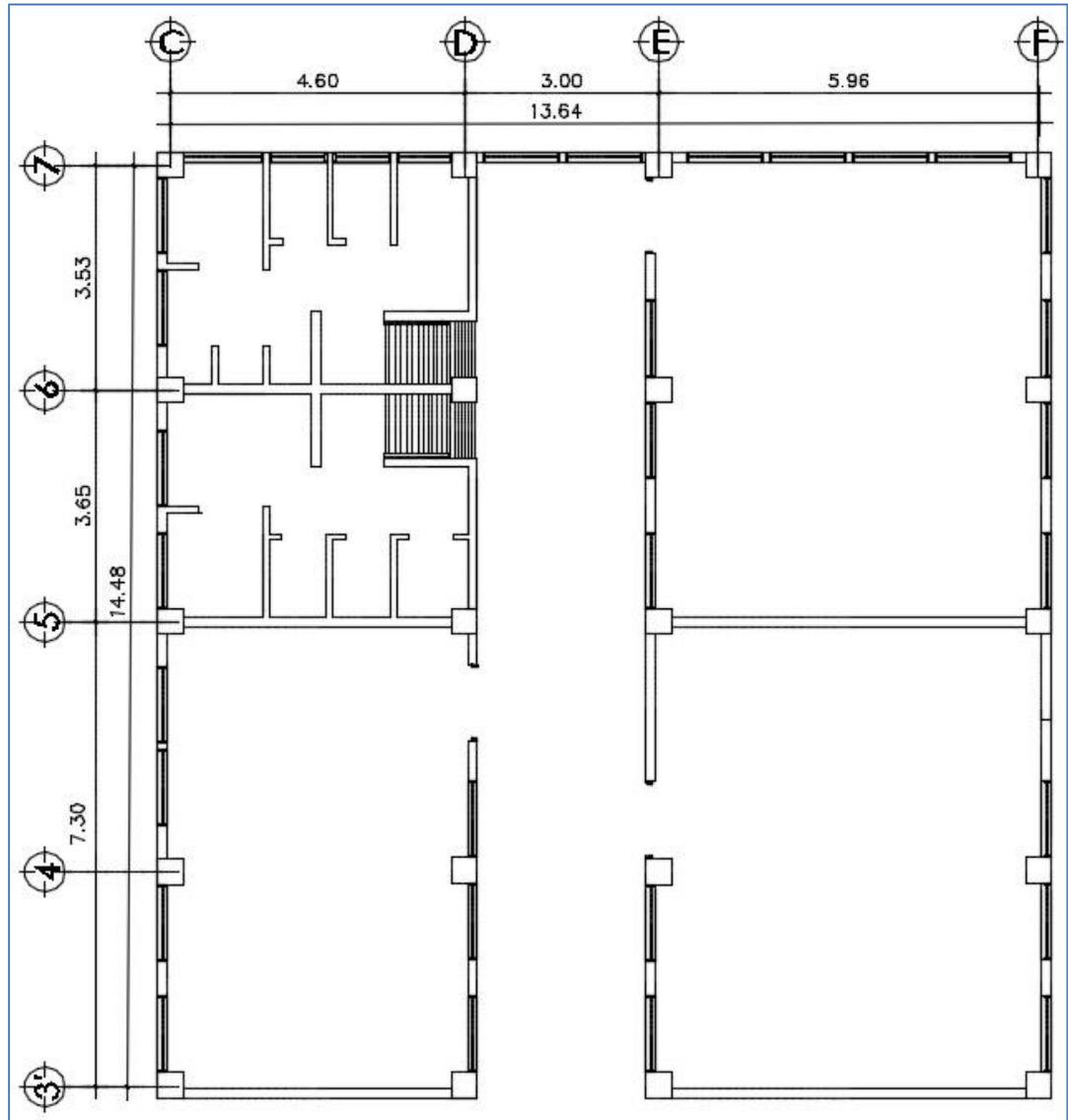
El predimensionamiento de los elementos estructurales consiste en establecer dimensiones preliminares de los diferentes elementos que conforman la estructura tales como: vigas, columnas, losas. Estas dimensiones se podrán verificar en el diseño estructural si satisfacen los requerimientos establecidos por los diferentes reglamentos y normas utilizados.

Figura 1. **Planta para predimensionamiento nivel 1, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 2. **Planta para predimensionamiento nivel 2, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

### 2.1.5.1.1. Predimensionamiento de losas

Una losa se considera como un elemento estructural horizontal de concreto armado, y se utiliza para conformar pisos y techos en una edificación.

Las losas se clasifican en losas en un sentido y dos sentidos, esto de acuerdo al resultado de la relación entre su lado mayor (b) y su lado menor (a), según lo establecido en ACI 318SUS-14 en el capítulo 8 de la sección 8.3.1.1

Los paneles de las losas deben ser rectangulares, con una relación entre la luz mayor y menor, medidas centro a centro de los apoyos del panel, no mayor de 2.

$$\frac{b}{a} \leq 2; \quad \text{Losa en 2 direcciones}$$

$$\frac{b}{a} > 2; \quad \text{Losa en 1 dirección}$$

Tabla V. Predimensionamiento de losa nivel 1 y 2, módulo 1

Losa crítica	a (m)	b (m)	a/b	Dirección
Nivel 2	5,96	3,91	1,52	2 direcciones
Nivel 1	5,96	3,91	1,52	2 direcciones

Fuente: elaboración propia.

Debido a que la losa crítica analizada para cada nivel es en dos direcciones, su espesor se determina de acuerdo a criterios establecidos en ACI 318USU-14, capítulo 8, tabla 8.3.1.2.

Tabla VI. **Espesor mínimo de losas en dos direcciones, sección 8.3.1.2 ACI 318USU-14**

$\alpha_{fm}$	<b>Espesor mínimo, h, mm</b>		
$\alpha_{fm} \leq 0,20$	Se aplica 8.3.1.1		(a)
$0,2 \leq \alpha_{fm} \leq 2$	Mayor de:	$h = \frac{\ln(0,5 + \frac{fy}{1400})}{36 + 5\beta(\alpha_{fm} - 0,2)}$	(b)
		125	(c)
$\alpha_{fm} > 2$	Mayor de	$h = \frac{\ln(0,8 + \frac{fy}{1400})}{36 + 9\beta}$	(d)
		90	(e)

Fuente: American Concrete Institute. *Requisitos de reglamento para concreto*. p. 104.

- Cálculo de  $\alpha_f$

Ecuación 8.10.2.7.b de ACI 318USU-14 para losas en dos direcciones.

$$\alpha_f = \frac{E_{cb} * I_b}{E_{cs} * I_s}$$

$$\alpha_f = \frac{252\,671,33 \text{ kg/cm}^2 * 260\,416,67 \text{ cm}^3}{252\,671,33 \text{ kg/cm}^2 * 85\,824 \text{ cm}^3}; \quad \alpha_f = 3,03$$

- Analizando la condicionante

$$\alpha_{fm} = 3,03 > 2$$

- Cálculo de espesor mínimo (h)

Debido a que  $\alpha_{fm} > 2$  se toma el mayor de los datos de las ecuaciones (d) y (e) de la tabla VI, por lo tanto:

$$h = \frac{596 \left( 0,8 + \frac{420}{1400} \right)}{36 + 9(1,52)} ; \quad h = 12,47 \text{ cm}$$

Se propone utilizar un espesor de losa de 12 cm.

#### **2.1.5.1.2. Predimensionamiento de vigas**

Una viga se considera como un elemento estructural horizontal de concreto armado, diseñado para soportar cargas de compresión que son absorbidas por el concreto, y las fuerzas de flexión son contrarrestadas por las varillas de acero corrugado, es por ello que una viga debe ser diseñada para resistir deformaciones por deflexión, corte y torsión.

Para el predimensionamiento de la altura (h) de la viga se utilizan los límites establecidos en ACI 318SUS-14 en el capítulo 9 de la sección 9.3.1, donde hace referencia a la tabla VII:

Tabla VII. **Altura mínima de vigas no preesforzadas**

Condición de apoyo	Altura mínima (h)
Simplemente apoyada	L/16
Con un extremo continuo	L/18,5
Ambos extremos continuos	L/21
En voladizo	L/8

Fuente: American Concrete Institute. *Requisitos de reglamento para concreto*. p. 138.

Para el predimensionamiento del ancho (b) de la viga se utilizan los límites establecidos en ACI 318SUS-14 en el capítulo 18 de la sección 18.6.2, donde establece que el ancho debe ser al menos igual al menor de  $0,3h$  y 25 cm.

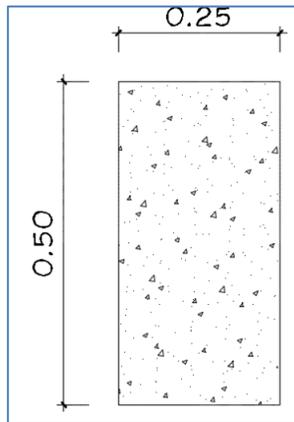
Tabla VIII. **Predimensionamiento de viga**

Luz libre	Condición de apoyo		Altura (h)	Base (b)		
	596 m	Con un extremo continuo		L/18,5	32,22 cm	0,3 h 25 cm

Fuente: elaboración propia.

Se propone utilizar una sección transversal de 25 x 50 cm para el diseño de la viga.

Figura 3. **Sección transversal de viga principal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

### **2.1.5.1.3. Predimensionamiento de columnas**

Una columna se considera como un elemento estructural vertical de concreto armado, cuya función soportar el peso de la estructura y la transmisión de cargas a compresión hacia la cimentación.

Para el predimensionamiento de la columna se utiliza la columna que soportará la mayor carga (la más crítica) según criterios establecidos en ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.7.2.1, que hacen referencia a lo siguiente:

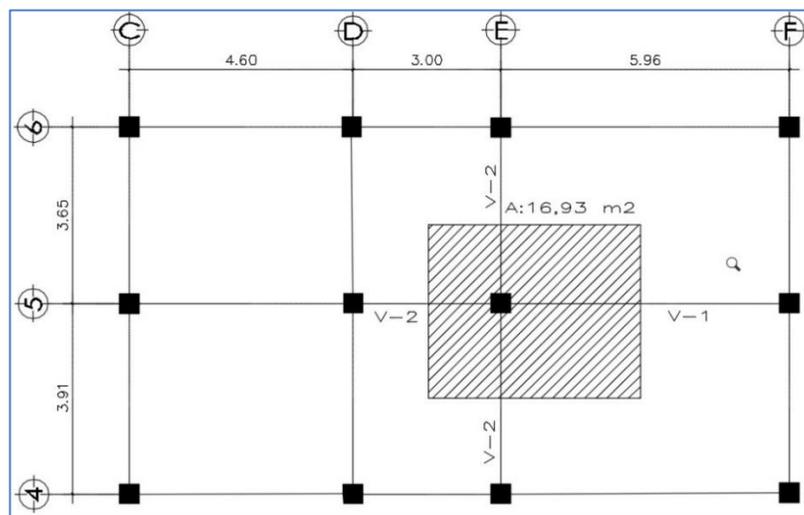
- La dimensión menor de la sección trasversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, debe ser al menos 30 cm.
- La relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular debe ser al menos 0,4.

Se toma como referencia el capítulo 22 de la sección 22.4.2 ACI 318SUS-14, basado en la carga aplicada y el área tributaria.

$$P_u = 0,8 * \Phi * [0,85 * f'c * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}]$$

$$0,01A_g \leq A_{st} \leq 0,06A_g ; \text{ ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.7.2.1}$$

Figura 4. **Planta de área tributaria de columna crítica, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Tabla IX. **Datos preliminares**

Área tributaria	16,93 m <sup>2</sup>
Peso específico del concreto ( $\gamma_c$ )	2 400 kg/m <sup>3</sup>
Peso de la sobrecarga	160 kg/m <sup>2</sup>
Peso de acabados	100 kg/m <sup>2</sup>
Peso de muros	170 kg/m <sup>2</sup>
Carga viva aulas Norma AGIES NSE 2-18	200 kg/m <sup>2</sup>
Carga viva pasillos Norma AGIES NSE 2-18	500 kg/m <sup>2</sup>
Carga viva azotea Norma AGIES NSE 2-18	200 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

- Carga muerta

Peso propio de la losa:

$$P_{Losa} = A_{tributaria} * t_{Losa} * \gamma_{concreto}$$

$$P_{Losa} = 16,93 \text{ m}^2 * 0,12 \text{ m} * 2400 \text{ kg/cm}^3 ; P_{Losa} = 4875,84 \text{ kg}$$

Peso propio vigas

$$P_{V-1-2} = h_{viga} * b_{viga} * L_{lineal} * \gamma_{concreto}$$

$$P_{V-1-2} = 0,50 \text{ m} * 0,25 \text{ m} * 8,26 \text{ m} * 2400 \text{ kg/cm}^3 ; P_{Vigas V-1-2} = 2478 \text{ kg}$$

Peso propio de la columna

$$P_{Columna} = h_{columna} * b_{columna} * L_{lineal} * \gamma_{concreto}$$

$$P_{Columna} = 0,40 \text{ m} * 0,40 \text{ m} * 3,20 \text{ m} * 2400 \text{ kg/cm}^3 ; P_{Col} = 1228,80 \text{ kg}$$

Peso de sobrecarga:

$$P_{Sc} = A_{tributaria} * C.Sobrecarga$$

$$P_{Sc} = 16,93 \text{ m}^2 * 160 \text{ kg/m}^2 ; P_{Sc} = 2708,80 \text{ kg}$$

Peso de acabados:

$$P_{acabados} = A_{tributaria} * C.Acabados$$

$$P_{acabados} = 16,93 \text{ m}^2 * 100 \text{ kg/m}^2 ; P_{acabados} = 1693 \text{ kg}$$

Peso propio de muros

$$P_{muro} = h_{muro} * L_{lineal} * CM_{muros}$$

$$P_{muro} = 3,20 \text{ m} * 8,26 \text{ m} * 170 \text{ kg/m}; P_{muro} = 4 493,44 \text{ kg}$$

Tabla X. Integración de cargas muertas que soporta la columna crítica

Cargas muertas	Nivel 1	Nivel 2
Losa (kg)	4 875,84	4 875,84
Vigas (kg)	2 478,00	2 478,00
Columna (kg)	1 228,80	-----
Sobrecarga (kg)	2 708,80	2 708,80
Acabados(kg)	1 696,00	1 696,00
Muros (kg)	4 493,44	-----
<b>Total, carga muerta (kg)</b>	<b>17 480,88</b>	<b>11 758,64</b>

Fuente: elaboración propia.

- Carga viva

Carga viva de aulas

$$CV_{aulas} = A_{Tributaria} * C.aulas$$

$$CV_{aulas} = 11,26 \text{ m}^2 * 200 \text{ kg/m}^2; CV_{aulas} = 2 252 \text{ kg}$$

Carga viva de pasillos

$$CV_{pasillos} = A_{Tributaria} * C.pasillos$$

$$CV_{pasillos} = 5,67 \text{ m}^2 * 500 \text{ kg/m}^2; CV_{aulas} = 2 835 \text{ kg}$$

Carga viva de azotea

$$CV_{Azotea} = A_{Tributaria} * C.azotea$$

$$CV_{Azotea} = 16,93 \text{ m}^2 * 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} ; CV_{Azotea} = 3\,386 \text{ kg}$$

Tabla XI. Integración de cargas vivas que soporta la columna crítica

Cargas muertas	Nivel 1	Nivel 2
Aulas (kg)	2 252,00	-----
Pasillos (kg)	2 835,00	-----
Azotea (kg)	-----	3 386,00
<b>Total, carga viva (kg)</b>	<b>5 087,00</b>	<b>3 386,00</b>

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de carga axial

El cálculo de la carga axial se realiza mediante la mayoración de cargas según la Norma AGIES NSE 2-18

$$P_u = 1,2 * (CM_{N1} + CM_{N2}) + 1,6 * (CV_{N1} + CV_{N2})$$

$$P_u = 1,2(17\,480,88 + 11\,758,64) + 1,6(5\,087 + 3\,386); P_u = 48\,644,22 \text{ kg}$$

- Cálculo de sección transversal

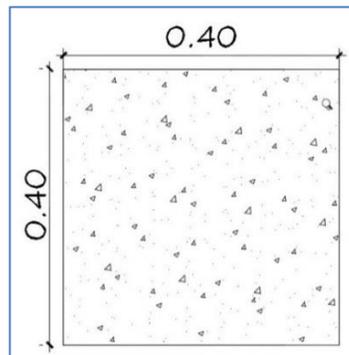
$$P_o = 0,8\Phi[0,85 f'c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}]; \quad A_{st} = 0,01 * A_g$$

$$48\,644,22 \text{ kg} = 0,8 * 0,70 * [0,85 * 280 * (A_g - 0,01A_g) + 4200 * (0,01A_g)]$$

$$A_g = 312,88$$

Se propone utilizar un área gruesa óptima de  $1\ 600\text{ cm}^2$ , con una sección transversal de  $0,40\text{ m} \times 0,40\text{ m}$ .

Figura 5. **Sección transversal de columna principal**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

#### **2.1.5.1.4. Predimensionamiento de cimiento**

Para el predimensionamiento de la cimentación se utilizarán zapatas cuadradas aisladas concéntricas, según criterios establecidos en ACI 318SUS-14, capítulo 13, sección 13.3.1.1, con referencia a la siguiente disposición.

- El área mínima de la base de la cimentación debe calcularse a partir de las fuerzas y momentos no mayores transmitidos por la cimentación al suelo o roca y de la capacidad portante admisible definida con base en principios de mecánica de suelos o de rocas.

Con lo antes mencionado se emplea la siguiente fórmula:

$$A_z = \frac{P_u}{VS}$$

$$A_z = \frac{48,64 \text{ ton}}{21,43 \text{ ton/m}^2} ; A_z = 2,27 \text{ m}^2$$

Las dimensiones de la zapata se realizan del cálculo de la raíz cuadrada del área previamente calculada

$$b_z = \sqrt{2,27 \text{ m}^2} ; b_z = 1,51 \text{ m}$$

Se propone utilizar una sección de zapata de 1,75 m x 1,75 m, con la finalidad de cumplir con un diseño que soporte las cargas axiales que le llegan a la cimentación.

## **2.1.6. Distribución de cargas utilizando Normas AGIES 2018**

A continuación, se realiza la distribución de cargas utilizando Normas Agies 2018.

### **2.1.6.1. Cargas estáticas**

Este tipo de carga actúa de manera gravitacional y se divide en cargas vivas y cargas muertas.

#### **2.1.6.1.1. Carga viva**

Las cargas vivas son cargas no permanentes gravitacionales relacionadas con el tipo de uso de la estructura, lo cual incluye elementos temporales o móviles dentro del edificio. A continuación, se muestra la tabla XII que es el resumen de las cargas vivas utilizadas en el diseño, indicadas por la Norma de

Seguridad Estructural para Guatemala 2018 en su apartado NSE-2 capítulo 3.7, tabla 3.7.1.1.

Tabla XII. **Resumen de los ambientes por nivel**

<b>CARGAS VIVAS</b>	
Aulas	200 kg/m <sup>2</sup>
Techos	200 kg/m <sup>2</sup>
Pasillos y escaleras	500 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 28.

#### 2.1.6.1.2. **Carga muerta**

La carga muerta se relaciona con el peso propio de la estructura y todos sus elementos permanentes, tales como: vigas, columnas, losas, pisos, y elementos arquitectónicos como ventanas, acabados, divisiones permanentes.

La carga muerta se obtiene del peso específico del material de la estructura, según lo indicado por la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala en su apartado NSE-2 capítulo 2 y apéndice B. A continuación, se muestran los valores utilizados.

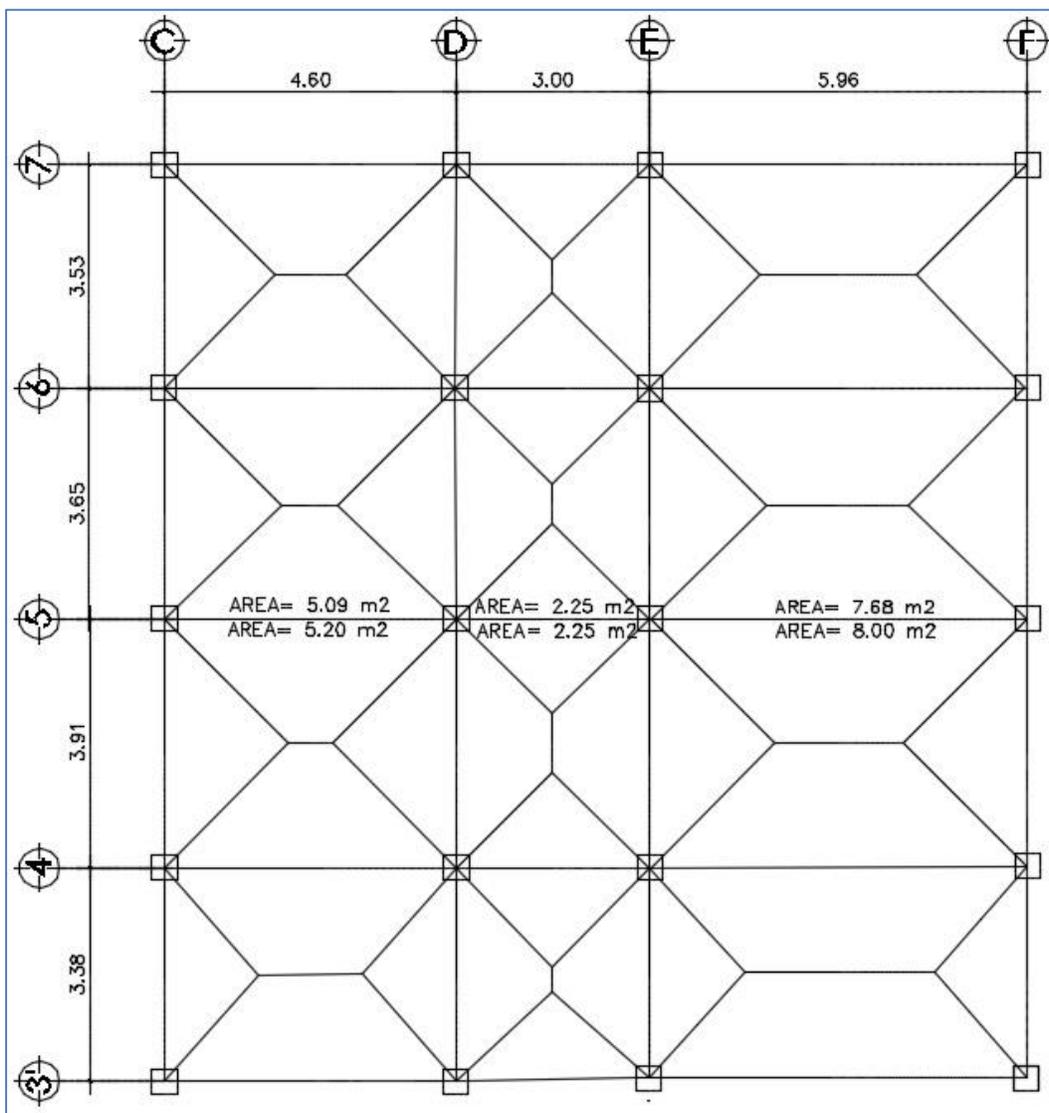
Tabla XIII. **Resumen de cargas muertas**

<b>CARGA MUERTA</b>	
Peso del concreto	2 400 kg/m <sup>2</sup>
Sobrecarga e instalaciones	160 kg/m <sup>2</sup>
Peso de losa	288 kg/m <sup>2</sup>
Acabados	100 kg/m <sup>2</sup>
Peso de muros	170 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 103.

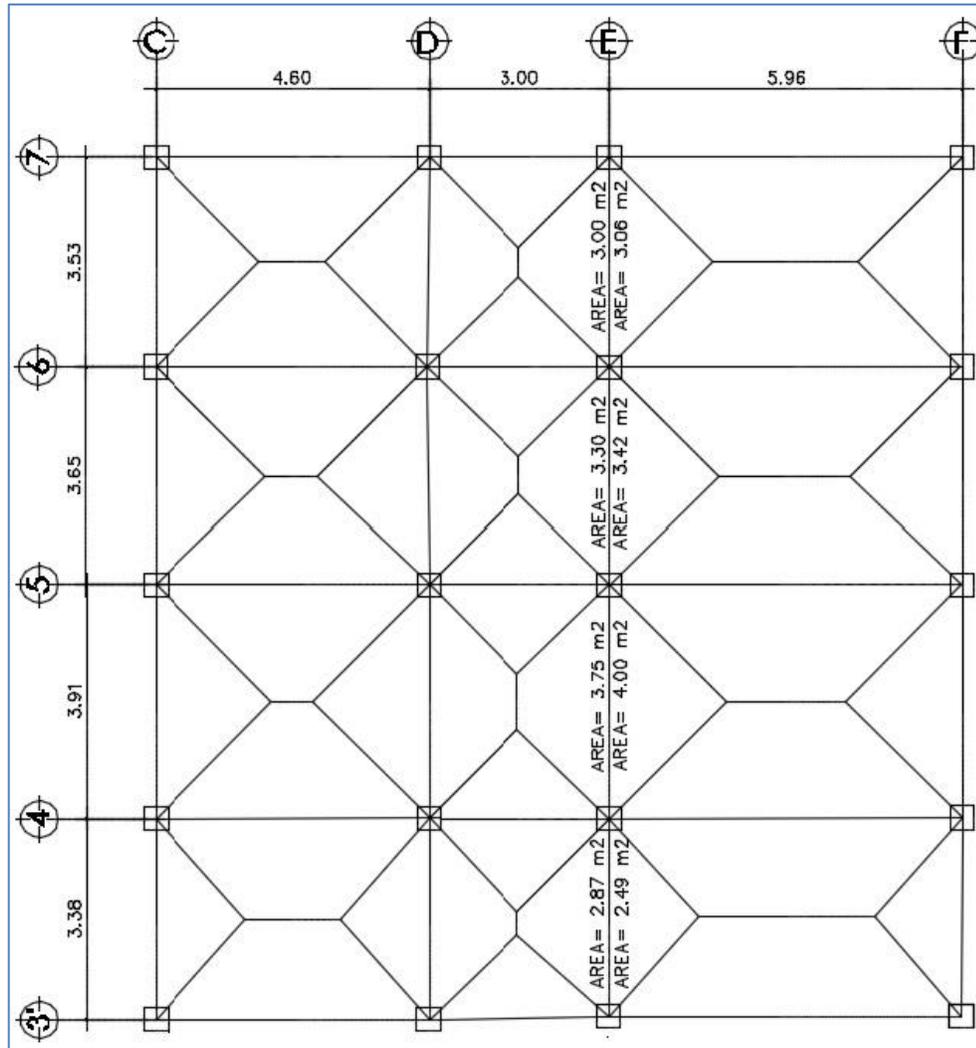
Para la integración de cargas (vivas y muertas), se deben establecer áreas tributarias para los marcos críticos, seleccionando una viga para cada eje, siendo para el eje X el marco 5, y el eje Y el marco E (figura 6 y 7), ambos del módulo 1. El módulo 2 se torna similar al módulo 1.

Figura 6. **Áreas tributarias para el marco 5, nivel 1, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 7. Áreas tributarias para el marco E, nivel 1, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Integración de carga

Para el cálculo de las cargas vivas y muertas es necesario establecer ciertos parámetros preliminares los cuales se describen en la tabla XIV.

Tabla XIV. **Datos preliminares**

Espesor de losa	0,12 m
Sobrecarga	160 kg/m <sup>2</sup>
Acabados	100 kg/m <sup>2</sup>
Base de viga	0,25 m
Peralte de viga	0,50 m
Base columnas	0,40 m
$\gamma_c$ concreto	2 400 kg/m <sup>3</sup>
Carga muros	170 kg/m <sup>2</sup>
C.V. losa nivel 2	200 kg/m <sup>2</sup>
C.V. entrepiso-aulas	200kg/m <sup>2</sup>
C.V. entrepiso-pasillo	500 kg/m <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

- Marco 5, sentido X, tramo 1-2, nivel 1
  - Carga muerta

Peso de la losa:

$$W_{losa} = \frac{A_t * t_{losa} * \gamma_c}{L_{viga}}$$

$$W_{losa} = \frac{10,29 \text{ m}^2 * 0,12 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3}{4,60 \text{ m}}$$

$$W_{losa} = 644,24 \text{ kg/m}$$

Peso de viga

$$W_{Viga} = b_{Viga} * (h_{Viga} - t_{Losa}) * \gamma_{Concreto}$$
$$W_{Viga} = 0,25m * (0,50m - 0,12m) * 2400kg//m^3$$
$$W_{Viga} = 228,00 kg/m$$

Peso de sobrecarga:

$$W_{SC} = \frac{A_t * Sc}{L_{viga}}$$
$$W_{SC} = \frac{10,29 m^2 * 160 kg/m^2}{4,60 m}$$
$$W_{SC} = 357,91 kg/m$$

Peso de acabados:

$$W_{AC} = \frac{A_t * Ac}{L_{viga}}$$
$$W_{AC} = \frac{10,29 m^2 * 100 kg/m^2}{4,60 m}$$
$$W_{AC} = 223,70 kg/m$$

Peso de muros

$$W_{Muros} = \frac{L_{muro} * h_{Edificio} * muros}{L_{viga}}$$
$$W_{Muros} = \frac{8,45 m * 3,20 m * 170 kg/m^2}{4,60 m}$$
$$W_{Muros} = 999,30 kg/m$$

Peso de carga muerta total

$$CM_{Total} = W_{losa} + W_{Viga} + W_{Sc} + W_{AC} + W_{Muros}$$

$$CM_{Total} = 644,24 \text{ kg/m} + 228,00 \text{ kg/m} + 357,91 \text{ kg/m} + 223,70 \text{ kg/m} + 999,30 \text{ kg/m}$$

$$CM_{Total} = 2\,453,16 \text{ kg/m}$$

- Carga viva

$$CV_{Total} = \frac{A_t * C V_{diseño}}{L_{viga}}$$

$$CV_{Aulas} = \frac{10,29 \text{ m}^2 * 200 \text{ kg/m}^2}{4,60 \text{ m}}$$

$$CV_{Total} = 447,39 \text{ kg/m}$$

De igual forma se realizó la integración de cargas vivas y muertas en los tramos restantes del marco 5 y marco E para ambos niveles y ambos módulos.

Tabla XV. Integración de cargas muertas, marco 5, nivel 1, módulo 1

Marco 5 Nivel 1	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)		
	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
L (viga) m	4,60	3,00	5,96
Atributaria m <sup>2</sup>	10,29	4,50	15,68
W (losa) kg/m	644,24	432,00	757,69
W (viga) kg/m	228,00	228,00	228,00
W (Sc) kg/m	357,91	240,00	420,94
W (Ac) kg/m	223,70	150,00	263,09
W (Muros) kg/m	999,30	1396,27	899,06
W total kg/m	2453,16	2446,27	2568,78

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Integración de cargas vivas, marco 5, nivel 1, módulo 1**

Marco 5 Nivel 1	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)		
	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
L (viga) m	4,60	3,00	5,96
Atributaria m <sup>2</sup>	10,29	4,50	15,68
Uso	Aulas	Pasillo	Aulas
CV kg/m	200,00	500,00	200,00
W (cv) kg/m	447,39	750,00	526,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Integración total de cargas marco 5, nivel 1, módulo 1**

Marco 5 Nivel 1	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
Cargas muertas	2 453,16	2 446,27	2 568,78
Cargas vivas	447,39	750,00	526,17

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Integración total de cargas muertas marco 5, nivel 2, módulo 1**

Marco 5 Nivel 2	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)		
	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F
L (viga) m	4,60	3,00	5,96
Atributaria m <sup>2</sup>	10,29	4,50	15,68
W (losa) kg/m	644,24	432,00	757,69
W (viga) kg/m	228,00	228,00	228,00
W (Sc) kg/m	357,91	240,00	420,94
W (Ac) kg/m	223,70	150,00	263,09
W total kg/m	1 453,85	1 050,00	1 669,72

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Integración total de cargas vivas marco 5, nivel 2, módulo 1**

<b>Marco 5 Nivel 2</b>	<b>Viga principal (0,50 m x 0,25 m)</b>		
	<b>Tramo C- D</b>	<b>Tramo D- E</b>	<b>Tramo E- F</b>
<b>L (viga) m</b>	4,60	3,00	6,00
<b>Atributaria m<sup>2</sup></b>	10,29	4,50	15,68
<b>Uso</b>	Azotea	Azotea	Azotea
<b>CV kg/m</b>	200,00	200,00	200,00
<b>W (cv) kg/m</b>	447,39	300,00	522,67

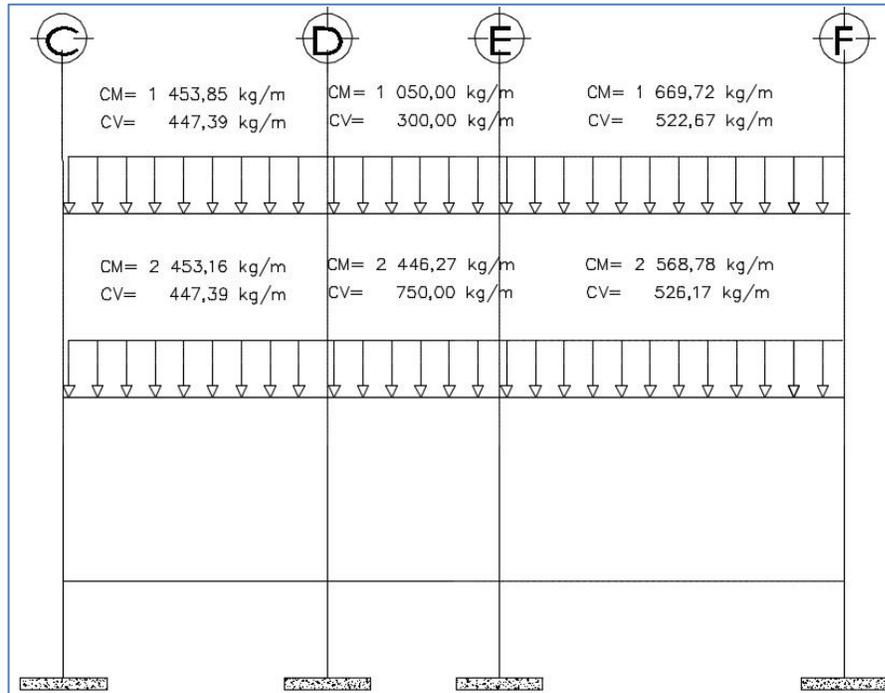
Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Integración total de cargas marco 5, nivel 2, módulo 1**

<b>Marco 5 Nivel 2</b>	<b>Tramo C- D</b>	<b>Tramo D- E</b>	<b>Tramo E- F</b>
<b>Cargas muertas</b>	1 453,85	1 050,00	1 669,72
<b>Cargas vivas</b>	447,39	300,00	522,67

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. **Cargas vivas y muertas marco 5, nivel 1 y 2, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Tabla XXI. **Integración de cargas muertas, marco E, nivel 1, módulo 1**

Marco E Nivel 1	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)			
	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7
L (viga) m	3,38	3,91	3,65	3,53
Atributaría m <sup>2</sup>	5,36	7,75	6,72	6,06
W (losa) kg/m	456,71	570,84	530,24	494,41
W (viga) kg/m	228,00	228,00	228,00	228,00
W (Sc) kg/m	253,73	317,14	294,58	274,67
W (Ac) kg/m	158,58	198,21	184,11	171,67
W (Muros) kg/m	2 172,78	973,91	998,58	1 232,86
W total kg/m	3 269,80	2 288,10	2 235,50	2 401,62

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Integración de cargas vivas, marco E, nivel 1, módulo 1

Marco E Nivel 1	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)			
	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7
L (viga) m	3,38	3,91	3,65	3,53
Atributaría m <sup>2</sup>	2,49	4,00	3,42	3,06
Uso	Aulas	Aulas	Aulas	Aulas
CV kg/m	200,00	200,00	200,00	200,00
Atributaría m <sup>2</sup>	2,87	3,75	3,30	3,00
Uso	Pasillo	Pasillo	Pasillo	Pasillo
CV kg/m	500,00	500,00	500,00	500,00
W (aula) kg/m	147,34	204,60	187,40	173,37
W (pasillo) kg/m	424,56	479,54	452,05	424,93
W (total) kg/m	571,89	684,14	639,45	598,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIII. Integración total de cargas marco E, nivel 1, módulo 1

Marco E Nivel 2	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7
Cargas muertas	3 269,80	2 288,10	2 235,50	2 401,62
Cargas vivas	571,89	684,14	639,45	598,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXIV. Integración de cargas muertas, marco E, nivel 2, módulo 1

Marco E Nivel 2	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)			
	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7
L (viga prin)m	3,38	3,91	3,65	3,53
Atributaría m <sup>2</sup>	5,36	7,75	6,72	6,06
W (losa) kg/m	456,71	570,84	530,24	494,41
W (viga) kg/m	228,00	228,00	228,00	228,00
W (Sc) kg/m	253,73	317,14	294,58	274,67
W (Ac) kg/m	158,58	198,21	184,11	171,67
W total kg/m	1097,02	1314,19	1 236,92	1168,76

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXV. **Integración de cargas vivas, marco E, nivel 2, módulo 1**

Marco E Nivel 2	Viga principal (0,50 m x 0,25 m)			
	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7
L (viga prin) m	3,38	3,91	3,65	3,53
Atributaria m <sup>2</sup>	5,36	7,75	6,72	6,06
Uso	Techo	Techo	Techo	Techo
CV kg/m	200,00	200,00	200,00	200,00
W (total) kg/m	317,16	396,42	368,22	343,34

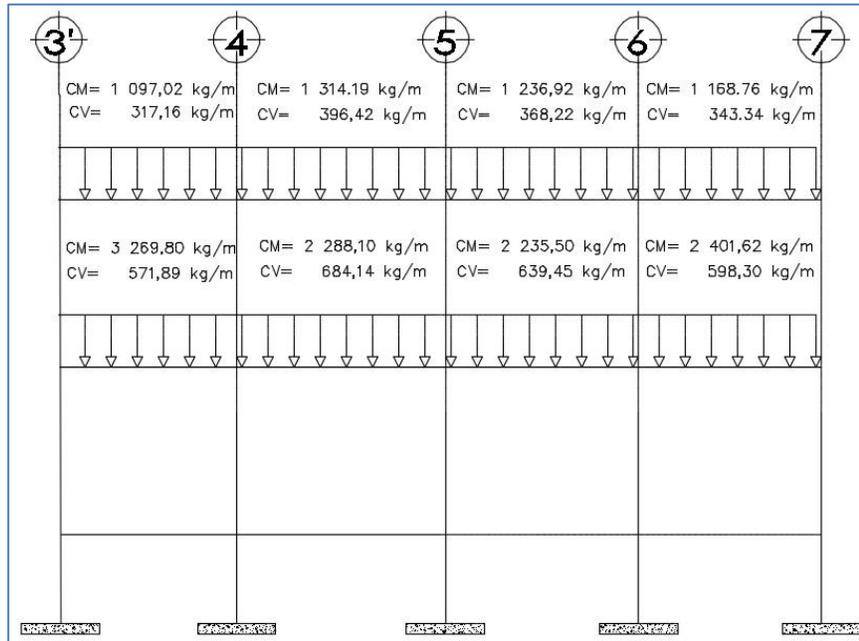
Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVI. **Integración total de cargas marco E, nivel 2, módulo 1**

Marco 3 Nivel 2	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7
Cargas muertas	1 097,02	1 314,19	1 236,92	1 168,76
Cargas vivas	317,16	396,42	368,22	343,34

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. **Cargas vivas y muertas marco E, nivel 1 y 2, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

### 2.1.6.2. Cargas dinámicas

Este tipo de carga actúa de manera horizontal y se divide en carga de sismo, viento o nieve, sin embargo, para esta edificación se tomará en cuenta solamente carga por sismo.

#### 2.1.6.2.1. Carga por sismo

La carga de sismo está relacionada con el peso de la edificación y se considera en la base de la estructura. La carga de sismo denominada corte basal ( $V_B$ ) se trasmite en cada nivel de la estructura y es distribuida por los marcos estructurales. La Norma de Seguridad Estructural para Guatemala en

su apartado NSE-2 capítulo 2.1.2 AGIES 2018 establece la siguiente fórmula para el cálculo del corte basal.

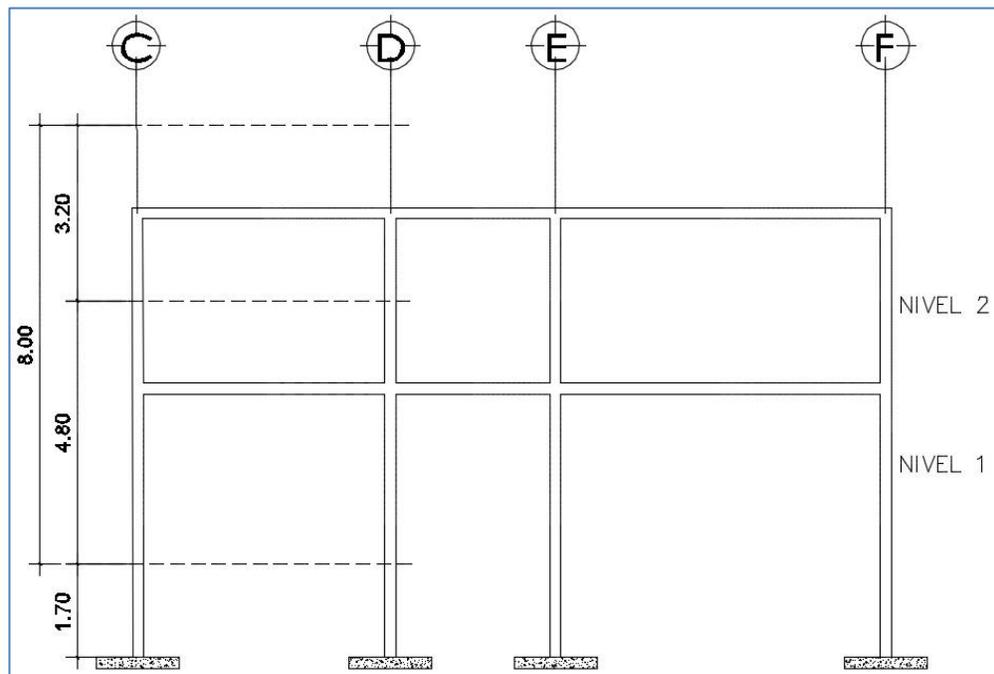
$$V_B = C_S * W_S$$

- Cálculo del peso total del edificio

Según lo establece la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala NSE-3 capítulo 1.11.3 AGIES 2018 al peso sísmico total ( $W_s$ ), de la estructura se le debe de asignar un 25 % de las cargas vivas

$$W_s = W_{CM} + 0,25 \%W_{CV}$$

Figura 10. **Peso sísmico por nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Carga muerta sísmica

- Peso unitario losa

$$W_{losa} = t_{losa} * \gamma_C$$

$$W_{losa} = 0,12 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{losa} = 288 \text{ kg/m}^2$$

- Peso unitario viga

$$W_{viga} = b_{viga} * h_{viga} * \gamma_C$$

$$W_{viga} = 0,25 \text{ m} * 0,50 * 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{viga} = 288 \text{ kg/m}$$

- Peso unitario columna

$$W_{col} = b_{col} * h_{col} * \gamma_C$$

$$W_{col} = 0,40 \text{ m} * 0,40 * 2\,400 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{col} = 384 \text{ kg/m}$$

Tabla XXVII. **Peso unitario de los elementos estructurales**

Elemento	b (m)	h(m)	Peso unitario
Losa	-----	0,12	288,00 kg/m <sup>2</sup>
Vigas principales	0,25	0,50	300,00 kg/m
Columnas	0,40	0,40	384,00 kg/m

Fuente: elaboración propia.

- Peso sísmico losa nivel 1

$$W_{sismico-loso} = W_{unitario-loso} * \text{Área}$$

$$W_{sismico-loso} = 288 \text{ kg/m}^2 * 197,11 \text{ m}^2$$

$$W_{sismico-loso} = 56\ 767,68 \text{ kg}$$

- Peso sísmico viga nivel 1

$$W_{sismico-viga} = W_{unitario-viga} * \text{Longitud}$$

$$W_{sismico-viga} = 300 \text{ kg/m} * 125,76 \text{ m}$$

$$W_{sismico-viga} = 37\ 728,00 \text{ kg}$$

- Peso sísmico columnas nivel 1

$$W_{sismico-col} = W_{unitario-col} * \text{Longitud}$$

$$W_{sismico-col} = 384 \text{ kg/m} * 96,00 \text{ m}$$

$$W_{sismico-col} = 36\ 864,00 \text{ kg}$$

- Peso sísmico muros nivel 1

$$W_{sismico-muros} = W_{muros} * \text{Área}$$

$$W_{sismico-muros} = 170 \text{ kg/m}^2 * 603,65 \text{ m}^2$$

$$W_{sismico-muros} = 102\ 620,16 \text{ kg}$$

- Peso sísmico sobrecarga nivel 1

$$W_{sismico-sc} = W_{sc} * \text{Área}$$

$$W_{sismico-sc} = 160 \text{ kg/m}^2 * 197,11 \text{ m}^2$$

$$W_{sismico-sc} = 31\ 537,60 \text{ kg}$$

- Peso sísmico acabados nivel 1

$$W_{sismico-Ac} = W_{Ac} * Area$$

$$W_{sismico-Ac} = 100 \text{ kg/m}^2 * 197,11 \text{ m}^2$$

$$W_{sismico-Ac} = 19\ 711,00 \text{ kg}$$

- Peso sísmico total carga muerta nivel 1

$$W_{Total-N1} = W_{sismico-losa} + W_{sismico-viga} + W_{sismico-col} + W_{sismico-muros} \\ + W_{sismico-sc} + W_{sismico-Ac}$$

$$W_{Total-N1} = 56\ 767,68 \text{ kg} + 37\ 728,00 \text{ kg} + 36\ 864,00 \text{ kg} + 102\ 620,16 \text{ kg} \\ + 31\ 537,60 \text{ kg} + 19\ 711,00 \text{ kg}$$

$$W_{Total-N1} = 285\ 228,44 \text{ kg}$$

Tabla XXVIII. **Peso sísmico carga muerta, nivel 1 y nivel 2, módulo 1**

<b>Nivel 1</b>	<b>Peso sísmico carga muerta por nivel</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Peso unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso total</b>
<b>Losa</b>	288,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	56 767,68 kg
<b>Vigas principales</b>	300,00 kg/m	125,76 ml	37 728,00 kg
<b>Columnas</b>	384,00 kg/m	96,00 ml	36 864,00 kg
<b>Muros</b>	170,00 kg/m <sup>2</sup>	603,65 m <sup>2</sup>	102 620,16 kg
<b>Sobrecarga</b>	160,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	31 537,60 kg
<b>Acabados</b>	100,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	19 711,00 kg
<b>Carga muerta total</b>	285 228,44 kg		
<b>Nivel 2</b>	<b>Peso sísmico carga muerta por nivel</b>		
<b>Elemento</b>	<b>Peso unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso total</b>
<b>Losa</b>	288,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	56 767,68 kg
<b>Vigas principales</b>	300,00 kg/m	125,76 ml	37 728,00 kg
<b>Columnas</b>	384,00 kg/m	64,00 ml	24 576,00 kg

Continuación de la tabla XXVIII.

<b>Muros</b>	170,00 kg/m <sup>2</sup>	402,43 m <sup>2</sup>	68 413,44 kg
<b>Sobrecarga</b>	160,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	31 537,60 kg
<b>Acabados</b>	100,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	19 711,10 kg
<b>Carga muerta total</b>	238 733,82 kg		

Fuente: elaboración propia.

- Carga viva sísmica
  - Peso sísmico aulas nivel 1

$$W_{sismico-aula} = W_{aula} * \text{Área}$$

$$W_{sismico-aula} = 200 \text{ kg/m}^2 * 152,86 \text{ m}^2$$

$$W_{sismico-aula} = 30 572,00 \text{ kg}$$

- Peso sísmico pasillos nivel 1

$$W_{sismico-pasillo} = W_{pasillo} * \text{Área}$$

$$W_{sismico-pasillo} = 500 \text{ kg/m}^2 * 44,25 \text{ m}^2$$

$$W_{sismico-pasillo} = 22 125,00 \text{ kg}$$

- Peso sísmico total carga viva nivel 1

$$W_{Total-N1} = W_{sismico-aula} + W_{sismico-pasillo}$$

$$W_{Total-N1} = 30 572,00 \text{ kg} + 22 125,00 \text{ kg}$$

$$W_{Total-N1} = 52 697,00 \text{ kg}$$

Tabla XXIX. **Peso sísmico carga viva, nivel 1 y nivel 2, módulo 1**

<b>Nivel 1</b>			
<b>Peso sísmico carga viva por nivel</b>			
<b>Uso</b>	<b>Carga</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso total</b>
<b>Aulas</b>	200,00 kg/m <sup>2</sup>	152,86 m <sup>2</sup>	30 572,00 kg
<b>Pasillos</b>	500,00 kg/m <sup>2</sup>	44,25 m <sup>2</sup>	22 125,00 kg
<b>Carga viva total</b>	52 697,00 kg		
<b>Nivel 2</b>			
<b>Peso sísmico carga viva por nivel</b>			
<b>Uso</b>	<b>Carga</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Peso total</b>
<b>Azotea</b>	200,00 kg/m <sup>2</sup>	197,11 m <sup>2</sup>	39 422,00 kg
<b>Carga viva total</b>	39 422,00 kg		

Fuente: elaboración propia.

Sustituyendo valores en la ecuación del peso total de la edificación planteada anteriormente se tiene lo siguiente:

$$W_s = (285\,228,44 + 238\,733,82) + 0,25\%(52\,697,00 + 39\,422,00)$$

$$W_s = 546\,992,01$$

- Índice de sismicidad de diseño

Para el cálculo de la demanda sísmica de diseño se debe establecer un índice de sismicidad ( $I_0$ ), que mide de forma relativa la severidad esperada del sismo en un lugar determinado. De igual manera se debe establecer el parámetro ( $S_{cr}$ ), de la ordenada espectral de período corto del sismo extremo y ( $S_{1r}$ ), de la ordenada espectral con período de 1 segundo del sismo, extremo. Para ambos parámetros se considera el basamento de roca en el sitio de interés.

Los factores  $I_0$ ,  $S_{cr}$  y  $S_{1r}$  se encuentran en el listado de amenaza sísmica (apéndice B), de la Norma NSE-2 AGIES 2018 y depende de la localización de la edificación a diseñar, en este caso se realizará para el municipio de Santa Catarina Pinula, Guatemala.

$$I_0 = 4,2$$

$$S_{cr} = 1,50 \text{ g}$$

$$S_{1r} = 0,55 \text{ g}$$

- Clasificación de la categoría ocupacional de obra

Toda obra se clasifica en categorías según el uso que se le dará. AGIES 2018 en su Norma NSE-1. Capítulo 3, define las siguientes categorías.

Tabla XXX. **Clasificación de obras**

<b>Categoría</b>	<b>Obra</b>
I	Utilitarias
II	Ordinarias
III	Importantes
IV	Esenciales

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 19.

La obra a diseñar es un edificio escolar, por lo cual, se clasifica en categoría III, obra importante, debido a que la misma puede albergar o prestar un servicio importante a una gran cantidad de personas.

- Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño

Tabla XXXI. **Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño**

Índice de Sismicidad <sup>[b]</sup>	Clase de obra <sup>[a]</sup>			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
lo = 4	E	D	D	C
lo = 3	D	C	C	B
lo = 2	C	B	B	A
Probabilidad de exceder el sismo de diseño <sup>[c]</sup>	5% en 50 años <sup>[d]</sup>	5% en 50 años <sup>[d]</sup>	10% en 50 años	Sismo mínimo <sup>[e]</sup>

**[a]** Ver clasificación de obra en NSE 1 Capítulo 3  
**[b]** Ver índice de sismicidad en Sección 4.2.1  
**[c]** Ver Sección 4.4 para selección de espectro sísmico de diseño según probabilidad de excederlo.  
**[d]** A las obras "Esenciales" e "Importantes" les corresponde un sismo con la misma probabilidad de excedencia – se diferencian en detalles del Nivel de Protección y en las deformaciones laterales permitidas.  
**[e]** Ver Sección 4.4.2 (d)

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 32.

Tomando en consideración un índice de sismicidad de 4 y una categoría III (obra importante) se obtienen los siguientes datos:

- Nivel de protección sísmica = D
- Probabilidad de exceder el sismo de diseño = 5 % en 50 años
- Clasificación de sitio: la clasificación de sitio depende de las características obtenidas en el análisis del suelo donde se construirá la edificación. Se determinó un perfil de suelo firme y según lo establecido por AGIES 2018 en su norma NSE-2, capítulo 4, el tipo de sitio es clasificación D.
- Ajuste por clase de sitio.

$$S_{cs} = S_{cr} * F_a * N_a$$

$$S_{1s} = S_{1r} * F_v * N_v$$

Para los valores de los coeficientes antes mencionados se utilizarán las tablas establecidas por AGIES 2018.

Tabla XXXII. **Coefficiente de sitio Fa**

Clase de sitio	Índice de sismicidad						
	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C [1]	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
<b>D</b>	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	<b>1.0</b>	0.9
E	1.7	1.3	1.1	1.0	1.0	0.9	0.9
F	Se requiere evaluación específica - ver Sección 4.4						

[1] En los casos en que la investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor Fa se tomará del suelo C.

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 37.

Tabla XXXIII. **Coefficiente de sitio Fv**

Clase de sitio	Índice de sismicidad						
	2.1	2.2	3.1	3.2	4.1	4.2	4.3
AB	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4
<b>D [1]</b>	2.2	2.0	1.9	1.8	1.8	<b>1.7</b>	1.7
E	3.3	2.8	2.6	2.4	2.4	2.2	2.2
F	Se requiere evaluación específica - ver Sección 4.4						

[1] En los casos en que la investigación de suelos abreviada no especifique si un suelo firme clasifica como C o como D, el factor Fv se tomará del suelo D.

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 37.

Para un índice de sismicidad 4,2 y un tipo de sitio D los coeficientes de sitio son respectivamente  $F_a = 1$  y  $F_v = 1,7$ .

Tabla XXXIV. Tipo de fuente sísmica

Tipo de fuente	Descripción	Máxima magnitud-momento	Tasa de corrimiento (mm por año)
A	Fallas geológicas capaces de generar eventos de gran magnitud y con alta tasa de sismicidad [1]	$M_o \geq 7.0$	$TC \geq 5$
B	Fallas geológicas que no son A o C	$M_o \geq 7.0$ $M_o < 7.0$ $M_o \geq 6.5$	$TC < 5$ $TC > 2$ $TC < 2$
C	Fallas geológicas incapaces de generar eventos de gran magnitud y que tienen baja tasa de sismicidad	$M_o < 6.5$	$TC \leq 2$

[1] La zona de subducción del territorio de Guatemala no debe considerarse en esta clasificación debido a la distancia a la fuente

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p.41.

En el municipio de Santa Catarina Pinula se encuentra una falla geológica, es por ello que se toma un tipo de fuente sísmica A según AGIES 2018.

Tabla XXXV. Factor  $N_a$ , para periodos cortos de vibración

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica [1]		
	$\leq 2$ km	5 km [2]	$\geq 10$ km
A	1.25	1.12	1.0
B	1.12	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0

[1] Tomar distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.  
[2] Utilizar el mayor factor  $N_a$  obtenido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 42.

Tabla XXXVI. **Factor  $N_v$ , para periodos largos de vibración**

Tipo de fuente	Distancia horizontal más cercana a fuente sísmica <sup>[1]</sup> <sup>[2]</sup>			
	≤ 2 km	5 km	10 km	≥ 15 km
A	1.4	1.2	1.1	1.0
B	1.2	1.1	1.0	1.0
C	1.0	1.0	1.0	1.0

[1] Tomar distancia horizontal a la proyección horizontal de la fuente sísmica sobre la superficie; no considerar las porciones del plano de falla cuya profundidad exceda 10 km.  
 [2] Utilizar el mayor factor  $N_v$  obtenido al cotejar todas las fuentes relevantes.

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 42.

Debido a que la falla geológica atraviesa el municipio de Santa Catarina Pinula, se estableció una distancia aproximada de 5 km y una fuente sísmica tipo A, los factores de proximidad de las amenazas especiales para periodos de vibración cortos y largos son respectivamente  $N_a = 1,12$  y  $N_v = 1,20$ .

Con los coeficientes de sitio  $F_a$  y  $F_v$ , y los factores de proximidad de las amenazas especiales  $N_a$ , y  $N_v$ , establecidos se ajustan los parámetros  $S_{cs}$  y  $S_{1s}$

$$S_{cs} = 1,50 * 1 * 1,12; \quad S_{cs} = 1,68$$

$$S_{1s} = 0,55 * 1,7 * 1,20; \quad S_{1s} = 1,12$$

- Cálculo del espectro calibrado al nivel de diseño

Para el cálculo del espectro de diseño es necesario determinar el tipo de sismo sobre el cual se diseñará y su probabilidad de ocurrencia para determinar el factor  $K_d$  requerido que se multiplicará por la ordenada espectral ajustada.

Tabla XXXVII. **Factor  $K_d$ , de acuerdo al nivel del sismo**

Nivel de sismo	Factor $K_d$
Sismo ordinario — 10% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.66
Sismo severo — 5% probabilidad de ser excedido en 50 años	0.80
Sismo extremo — 2% probabilidad de ser excedido en 50 años	1.00
Sismo mínimo — condición de excepción	0.55

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 38.

Se determinó un factor de  $K_d = 0,66$  tomando en consideración un sismo severo con un 10 % de probabilidad de ser excedido en 50 años.

$$S_{cd} = K_d * S_{cs}$$

$$S_{1d} = K_d * S_{1s}$$

$$S_{cd} = 0,66 * 1,68; S_{cd} = 1,11$$

$$S_{1d} = 0,66 * 1,12; S_{1d} = 0,74$$

- Periodo de vibración de transición
  - Periodo  $T_s$

$$T_s = \frac{S_{1d}}{S_{cd}}$$

$$T_s = \frac{0,74}{1,11}; T_s = 0,67 \text{ s}$$

- Periodo  $T_0$

$$T_0 = 0,2 T_s$$

$$T_0 = 0,2 * 0,67 s ; T_0 = 0,13s$$

- Periodo fundamental de vibración  $T_a$

$$T_a = K_T * (h_n)^x$$

El diseño consiste en un sistema estructural (E-1) de marcos rígidos resistentes a momento.

$$K_T = 0,047$$

$$x = 0,85$$

$$h_n = 6,40 \text{ m}$$

$$T_a = 0,047 * (6,40)^{0,85}; \quad T_a = 0,23 s$$

- Ordenada espectral para cualquier periodo de vibración  $S_a(T)$

$$S_a(T) = S_{cd} \quad \text{cuando} \quad T_0 \leq T_a \leq T_s$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T_a} \leq S_{cd} \quad \text{cuando} \quad T_a > T_s$$

Realizando las comparaciones de periodos se obtiene lo siguiente:

$$T_0 = 0,13 s$$

$$T_a = 0,23 s$$

$$T_s = 0,67 s$$

$$0,13 s \leq 0,23 s \leq 0,67 s$$

Por lo tanto:

$$S_a(T) = 1,11 s$$

- Coeficiente sísmico al límite de cedencia  $C_s$

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

El factor de reducción de respuesta sísmica (R) depende del sistema estructural asignado, para el diseño del edificio escolar se utilizará un sistema estructural E1 de marcos de concreto reforzado.

Tabla XXXVIII. **Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismorresistentes**

SISTEMA ESTRUCTURAL Sección 1.6 [a]	Norma	R	$\Omega_R$	$C_d$	Límite de altura en metros SL - sin límite NP - no permitido				notas	
					Nivel de protección					
					B	C	D	E		
E1	SISTEMA DE MARCOS RESISTENTES A MOMENTO	1.6.2								
	<b>Marcos dúctiles DA</b>									
	De concreto reforzado	NSE 7.1	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL	[b]
	De acero estructural	NSE 7.5	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL	--
	Compuestos acero-concreto	NSE 7.1 / 7.5	8	3	5.5	SL	SL	SL	SL	[g]
	<b>Ductilidad intermedia DI</b>									
	De concreto reforzado	NSE 7.1	5	3	4.5	33	20	12	NP	[b]
	De acero estructural	NSE 7.5	4.5	3	4	55	33	20	NP	--
	Compuestos acero-concreto	NSE 7.1 / 7.5	4.5	3	4.5	33	20	12	NP	[g]
	Sistemas aislados	NSE 7.7	5	3	4.5	75	75	75	75	[n]
	<b>Ductilidad Baja DB</b>									
	De concreto reforzado	NSE 7.1	3	3	2.5	20	NP	NP	NP	[b]
	De acero estructural	NSE 7.5	3.5	3	3	33	12	NP	NP	--
	Compuestos acero-concreto	NSE 7.1 / 7.5	3	3	2.5	33	NP	NP	NP	[g]

Fuente: Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. p. 96.

Para el diseño con un sistema estructural E-1 DA de marcos de concreto reforzado se tiene un factor de reducción  $R=8$

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R}$$

$$C_s = \frac{1,11}{8}; C_s = 0,14$$

- Valores mínimos de  $C_s$

Según AGIES en la Norma NSE 3-18, sección 2.1.4 se debe verificar el cumplimiento de los valores mínimos del coeficiente sísmico de cedencia mediante las siguientes ecuaciones

$$C_s \geq 0,044 S_{cd}$$

$$0,044 * (1,11) = 0,049$$

$$0,14 \geq 0,049 \text{ Cumple}$$

$$C_s \geq 0,5 * \frac{S_{1r}}{R}$$

$$0,5 * \frac{0,55}{8} = 0,034$$

$$0,14 \geq 0,034 \text{ Cumple}$$

Se determinó que el coeficiente sísmico al límite de cedencia calculado es mayor a lo establecido por AGIES 2018.

- Cortante basal al límite de cedencia

El corte basal se determina según lo establecido en la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala en su apartado NSE-2 capítulo 2.1.2 AGIES 2018.

$$V_B = C_S * W_S$$

$$V_B = 0,14 * 546\,992,01 \text{ kg}; V_B = 76\,578,88 \text{ kg}$$

- Distribución de fuerzas sísmicas por nivel: la fuerza sísmica debe ser distribuida a lo largo de los elementos verticales, que conforman el sistema estructural, con la finalidad de que esta sea transmitida a la cimentación, según lo establecido por la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala en su apartado NSE-3 capítulo 2.2 AGIES 2018.

$$F_x = C_{xy} * V_b$$

$$C_{xy} = \frac{W_x * (h_x)^k}{\sum_{i=1}^n (W_i * h_i^k)}$$

Tabla XXXIX. **Distribución de corte basal por nivel**

Nivel	Wx (kg)	hx(m)	Wx*hx (kg-m)	Cxy	Fx (kg)
Nivel 1	285	4,90	1 397	0,42	32 127,43
	228,44		619,36		
Nivel 2	238	8,10	1 933	0,58	44 451,45
	733,82		743,94		
Total	523		3 331	1,00	76 578,88
	962,26		363,30		

Fuente: elaboración propia.

- Fuerzas sísmicas por marco: las fuerzas sísmicas para cada marco en sentido X como en sentido Y están relacionadas con la simétrica que la estructura presente. El cálculo de las fuerzas sísmicas se realiza mediante, el centro de masa y el centro de rigidez, valores relacionados con el cálculo de los momentos torsionantes.
- Centro de rigidez: punto del entrepiso, que concentra las rigideces de los elementos estructurales que conforman los marcos y que al presentar alguna rotación esta será con respecto a ese punto. El centro de rigidez está relacionado con el cálculo de excentricidad del edificio y por ende con la fuerza rotacional.

Para el cálculo del centro de rigidez es necesario determinar la rigidez de las columnas y vigas que conecten cada marco.

$$C_{R_{x-y}} = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i * X_i)}{\sum_{i=1}^n K_i}$$

Para el análisis de rigidez por nivel, se utilizó la fórmula de Wilbur, útil en marcos regulares, constituidos por elementos estructurales de sección transversal constante.

La rigidez de las columnas se calcula mediante la siguiente fórmula, tomando el primer nivel de la estructura como doblemente empotrado.

$$K_{N1} = \frac{1}{\frac{F_{N1} * H^3}{12 * E_c * I_{col}} + \frac{1,2 * F_{N1} * H}{A_g * G}}$$

Para el segundo nivel el cálculo de rigidez en las columnas se realiza, tomándolo como un nivel en voladizo (por estar apoyado sobre el primer nivel).

$$K_{N2} = \frac{1}{\frac{F_{N2} * H^3}{3 * E_c * I_{col}} + \frac{1,2 * F_{N2} * H}{A_g * G}}$$

- Módulo de elasticidad ( $E_c$ )

Referenciado de ACI 318-14 sección 19.2.2 para concreto de peso normal:

$$E_c = 15\,100 * \sqrt{f'c} \text{ (en kg/cm}^2\text{)}$$

$$E_c = 15\,100 * \sqrt{280} \quad ; \quad E_c = 252\,671,33$$

- Módulo de rigidez (G)

$$G = 0,4 * E_c$$

$$G = 0,4 * 252\,671,33 \quad ; \quad G = 101\,068,53$$

- Área gruesa

$$A_g = b * h$$

$$A_g = 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm} \quad ; \quad A_g = 1\,600 \text{ cm}^2$$

- Inercia de la columna

$$I_{col} = \frac{1}{12} * b * h^3$$

$$I_{col} = \frac{1}{12} * 40 \text{ cm} * (40 \text{ cm})^3 \quad ; \quad I_{col} = 213\,333,33 \text{ cm}^3$$

Reemplazando los valores antes calculados en la fórmula de Wilbur para el cálculo de rigidez.

$$K_{N1} = \frac{1}{\frac{32\,127,43 \cdot 490^3}{12 \cdot 252\,671,33 \cdot 213\,333,33} + \frac{1,2 \cdot 32\,127,43 \cdot 490}{1600 \cdot 101\,068,53}}$$

$$K_{1N} = 0,17 \text{ cm}^{-1}$$

$$K_{N2} = \frac{1}{\frac{44\,451,45 \cdot 320^3}{3 \cdot 252\,671,33 \cdot 213\,333,33} + \frac{1,2 \cdot 44\,451,45 \cdot 320}{1600 \cdot 101\,068,53}}$$

$$K_{2N} = 0,11 \text{ cm}^{-1}$$

- Centro de rigidez ( $C_R$ )

Tabla XL. Centro de rigidez sentido X, módulo 1

Nivel 2 Centro de rigidez en sentido X, segundo nivel					
Marco	No. Columnas	kc	km	L	km*L
C	5,00	0,11	0,55	0,00	0,00
D	5,00	0,11	0,55	4,60	2,53
E	5,00	0,11	0,55	7,60	4,18
F	5,00	0,11	0,55	13,56	7,46
<b>total</b>			<b>2,2</b>		<b>14,17</b>
Nivel 1 Centro de rigidez en sentido X, primer nivel					
Marco	No. Columnas	kc	km	L	km*L
C	5,00	0,17	0,85	0,00	0,00
D	5,00	0,17	0,85	4,60	3,91
E	5,00	0,17	0,85	7,60	6,46
F	5,00	0,17	0,85	13,56	11,53
<b>total</b>			<b>3,40</b>		<b>21,90</b>

Fuente: elaboración propia.

$$CR_{x-N2} = \frac{14,17}{2,2} \quad ; \quad CR_{x-N2} = 6,44 \text{ m}$$

$$CR_{x-N1} = \frac{21,90}{3,4} \quad ; \quad CR_{x-N1} = 6,44 \text{ m}$$

Tabla XLI. **Centro de rigidez sentido X, módulo 1**

<b>Nivel 2</b>	<b>Centro de rigidez en sentido Y, segundo nivel</b>				
<b>Marco</b>	<b>No. Columnas</b>	<b>kc</b>	<b>km</b>	<b>L</b>	<b>km*L</b>
3	4,00	0,11	0,44	0,00	0,00
4	4,00	0,11	0,44	3,38	1,49
5	4,00	0,11	0,44	7,29	3,21
6	4,00	0,11	0,44	10,94	4,81
7	4,00	0,11	0,44	14,47	6,37
<b>total</b>			<b>1,76</b>		<b>9,51</b>
<b>Nivel 1</b>	<b>Centro de rigidez en sentido Y, primer nivel</b>				
<b>Marco</b>	<b>No. Columnas</b>	<b>kc</b>	<b>km</b>	<b>L</b>	<b>km*L</b>
3	4,00	0,17	0,68	0,00	0,00
4	4,00	0,17	0,68	3,38	2,30
5	4,00	0,17	0,68	7,29	4,96
6	4,00	0,17	0,68	10,94	7,44
7	4,00	0,17	0,68	14,47	9,84
<b>total</b>			<b>2,72</b>		<b>14,69</b>

Fuente: elaboración propia.

$$CR_{y-N2} = \frac{9,51}{1,76} \quad ; \quad CR_{y-N2} = 5,40 \text{ m'}$$

$$CR_{y-N1} = \frac{14,69}{2,72} \quad ; \quad CR_{y-N1} = 5,40 \text{ m}$$

Tabla XLII. **Resumen centro de rigidez ambos niveles, módulo 1**

Centro de rigidez por nivel		
Nivel	CRx (m)	CRy (m)
Nivel 2	6,44	5,40
Nivel 1	6,44	5,40

Fuente: elaboración propia.

- Centro de masa ( $C_M$ )

También conocido como centro de gravedad, punto dentro de la planta donde la masa de la edificación se concentra. Lo que significa ser un punto de equilibrio, debido a que la atracción gravitacional no permitiría su rotación.

El centro de masa se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CM_{x-y} = \frac{\sum_{i=1}^n (W_{total\ i} * L_{i\ x-y})}{\sum_{i=1}^n W_{total\ i}}$$

$$W_{Losa} = Area_{Losa} * t_{Losa} * \gamma_C; \quad W_{Sc} = Area_{Losa} * P_{Sc}$$

$$W_{muro} = Area_{muro} * P_{muro}; \quad W_{CV} = Area_{Losa} * P_{viva}$$

Tabla XLIII. Centro de masa ambos, sentidos nivel 2 módulo 1

Nivel 2		Centroide		Carga muerta					
Losa	Área (m)	Lx (m)	Ly (m)	W losa (kg)	W Sc (kg)	W viva (kg)	W total (kg)	W total *Lx (kg)	W total *Ly (kg)
1	16,24	2,30	10,90	4 677,12	2 436,00	3 248,00	10 361,12	23 830,58	112 936,21
2	10,59	6,10	10,90	3 049,92	1 694,40	2 118,00	6 862,32	41 860,15	74 799,29
3	21,04	10,58	10,90	6 059,52	3 366,40	4 208,00	13 633,92	144 246,87	148 609,73
4	16,79	2,30	9,12	4 835,52	2 686,40	3 358,00	10 879,92	25 023,82	99 224,87
5	10,95	6,10	9,12	3 153,60	1 752,00	2 190,00	7 095,60	43 283,16	64 711,87
6	21,75	10,58	9,12	6 264,00	3 480,00	4 350,00	14 094,00	149 114,52	128 537,28
7	17,99	2,30	5,34	5 181,12	2 878,40	3 598,00	11 657,52	26 812,30	62 251,16
8	11,73	6,10	5,34	3 378,24	1 876,80	2 346,00	7 601,04	46 366,34	40 589,55
9	23,30	10,58	5,34	6 710,40	3 728,00	4 660,00	15 098,40	159 741,07	80 625,46
10	15,55	2,30	1,69	4 478,40	2 488,00	3 110,00	10 076,40	23 175,72	17 029,12
11	10,14	6,10	1,69	2 920,32	1 622,40	2 028,00	6 570,72	40 081,39	11 104,52
12	20,14	10,58	1,69	5 800,32	3 222,40	4 028,00	13 050,72	138 076,62	22 055,72
<b>Total</b>							<b>126 981,68</b>	<b>861 612,54</b>	<b>862 474,76</b>

Fuente: elaboración propia.

$$CM_{x-N2} = \frac{861\,612,54}{126\,981,68} \quad ; \quad CM_{x-N2} = 6,78 \text{ m}$$

$$CM_{y-N2} = \frac{862\,474,76}{126\,981,68} \quad ; \quad CM_{y-N2} = 6,79 \text{ m}$$

Tabla XLIV. Centro de masa ambos, sentidos nivel 1 módulo 1

Nivel 1		Centroide		Carga muerta			W total (kg)	W total *Lx (kg)	W total *Ly (kg)
Losa	Área (m)	Lx (m)	Ly (m)	W losa (kg)	W Sc (kg)	W viva (kg)			
1	16,24	2,30	10,90	4 677,12	2 598,40	3 248,00	10 523,52	24 204,10	114 706,37
2	10,59	6,10	10,90	3 049,92	1 694,40	5 295,00	10 039,32	61 239,85	109 428,59
3	21,04	10,58	10,90	6 059,52	3 366,40	4 208,00	13 633,92	144 246,87	148 609,73
4	16,79	2,30	9,12	4 835,52	2 686,40	3 358,00	10 879,92	25 023,82	99 224,87
5	10,95	6,10	9,12	3 153,60	1 752,00	5 475,00	10 380,60	63 321,66	94 671,07
6	21,75	10,58	9,12	6 264,00	3 480,00	4 350,00	14 094,00	149 114,52	128 537,28
7	17,99	2,30	5,34	5 181,12	2 878,40	3 598,00	11 657,52	26 812,30	62 251,16
8	11,73	6,10	5,34	3 378,24	1 876,80	5 865,00	11 120,04	67 832,24	59 381,01
9	23,30	10,58	5,34	6 710,40	3 728,00	4 660,00	15 098,40	159 741,07	80 625,46
10	15,55	2,30	1,69	4 478,40	2 488,00	3 110,00	10 076,40	23 175,72	17 029,12
11	10,14	6,10	1,69	2 920,32	1 622,40	5 070,00	9 612,72	58 637,59	16 245,50
12	20,14	10,58	1,69	5 800,32	3 222,40	4 028,00	13 050,72	138 076,62	22 055,72
Muros	402,18	6,78	7,24				68 370,60	463 552,67	495 003,14
<b>Total</b>							<b>208 537,68</b>	<b>1 404 979,03</b>	<b>1 447 769,01</b>

Fuente: elaboración propia.

$$CM_{x-N1} = \frac{1\ 404\ 979,03}{208\ 537,68} \quad ; \quad CM_{x-N1} = 6,73\ m$$

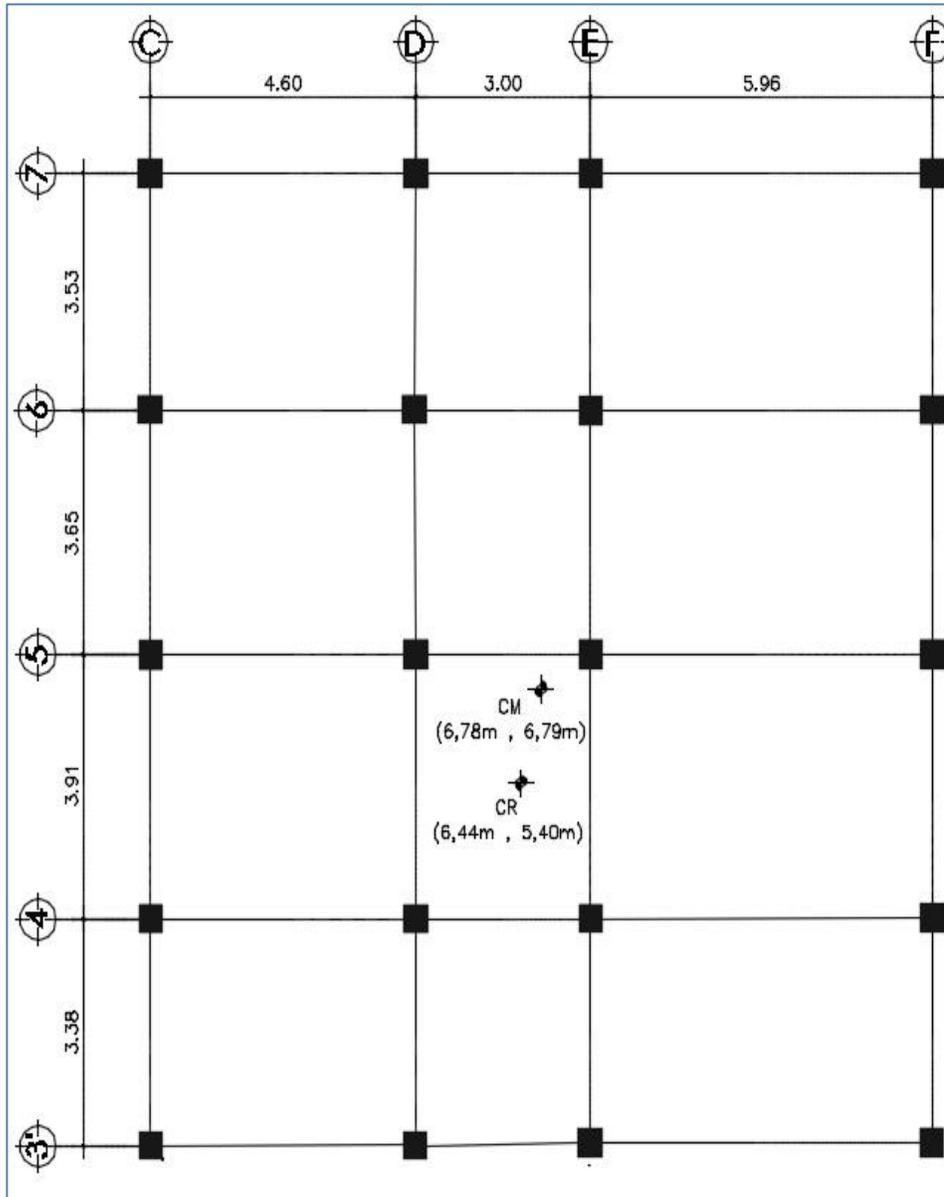
$$CM_{y-N1} = \frac{1\ 447\ 769,01}{208\ 537,68} \quad ; \quad CM_{y-N1} = 6,94\ m$$

Tabla XLV. Resumen centro de masa ambos niveles, módulo 1

Centro de masa por nivel		
Nivel	CMx (m)	CMy (m)
Nivel 2	6,78	6,79
Nivel 1	6,73	6,94

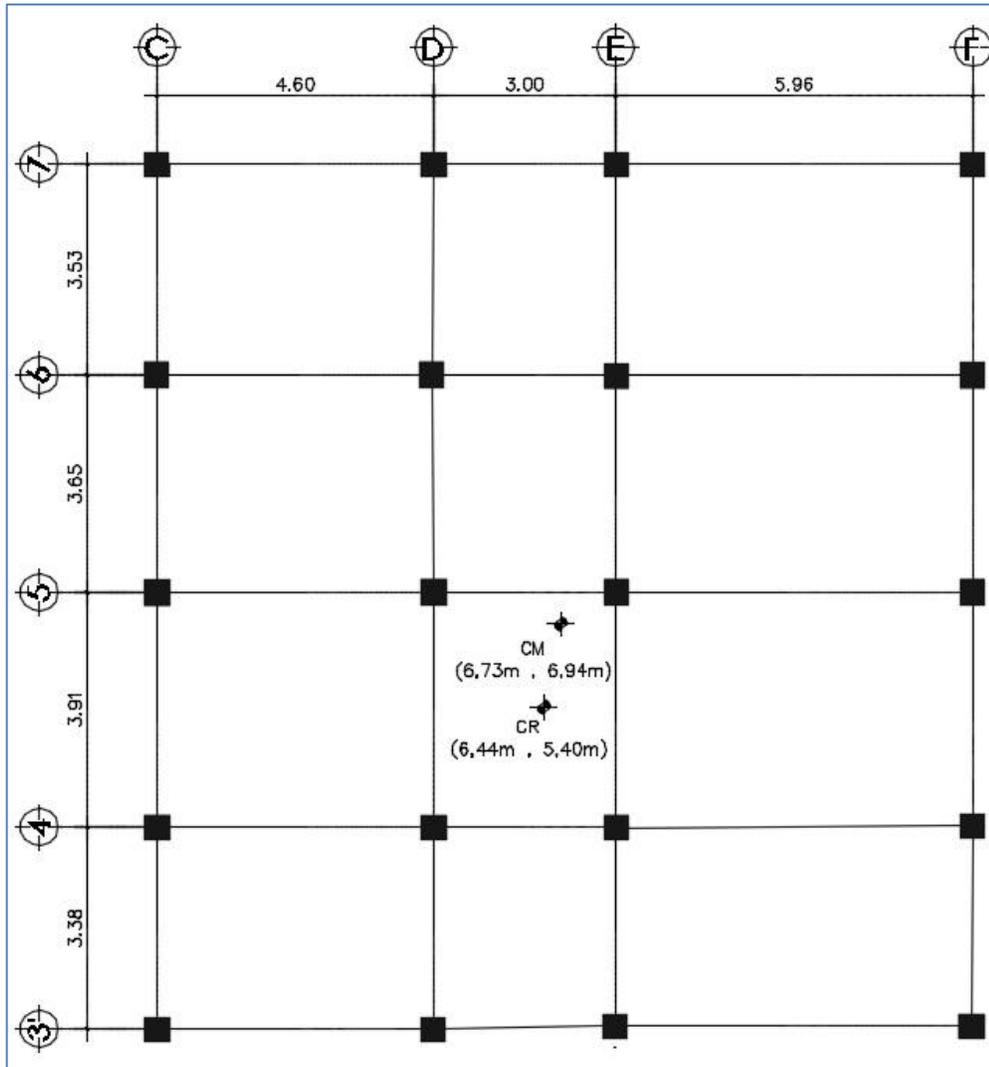
Fuente: elaboración propia.

Figura 11. **Ubicación de CR y CM, nivel 2, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 12. Ubicación de CR y CM, nivel 1, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Excentricidad

Para el edificio escolar, las excentricidades estarán divididas en: excentricidad directa y excentricidad accidental, para efectos de diseño se utilizará la excentricidad más crítica.

- Excentricidad directa o real

La excentricidad directa se define como la distancia tanto horizontal como vertical, del punto de aplicación de la carga y el punto donde se concentra la fuerza resultante (diferencia entre centro de masa y centro de rigidez. La excentricidad se calcula, según lo establecido por la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala en su apartado NSE-3 capítulo 2.3.1 AGIES 2018.

$$e_{Dir\ x-y} = |CM_{x-y} - CR_{x-y}|$$

$$e_{Dir\ x-N2} = |6,78 - 6,44| \ ; \ e_{Dir\ x-N2} = 0,34\ m$$

$$e_{Dir\ y-N2} = |6,79 - 5,40| \ ; \ e_{Dir\ y-N2} = 1,39\ m$$

$$e_{Dir\ x-N1} = |6,73 - 6,44| \ ; \ e_{Dir\ x-N1} = 0,29\ m$$

$$e_{Dir\ y-N1} = |6,94 - 5,40| \ ; \ e_{Dir\ y-N1} = 1,54\ m$$

Tabla XLVI. **Resumen excentricidad directa, nivel 1 y 2, modulo 1**

<b>Excentricidad directa</b>		
<b>Nivel</b>	<b>e<sub>x</sub></b>	<b>e<sub>y</sub></b>
Nivel 2	0,34	1,39
Nivel 1	0,29	1,54

Fuente: elaboración propia.

- Excentricidad accidental o de diseño

La excentricidad accidental es considerada para la componente rotacional del sismo y para tener en cuenta la variabilidad en la distribución de masas.

La Norma de Seguridad Estructural para Guatemala en su apartado NSE-3 capítulo 2.3.2 especifica que se debe considerar una excentricidad

accidental adicional a la excentricidad directa. Es decir, un 5 % de la dimensión perpendicular a las fuerzas, respecto su punto de referencia.

$$e_{Accidental\ x-y} = |CM_{x-y} - CR_{x-y}| + 0,05b_{x-y}$$

$$e_{Accidental\ x-y} = |CM_{x-y} - CR_{x-y}| - 0,05b_{x-y}$$

$$e_{1X-N2} = |6,78 - 6,44| + 0,05 * 13,86 ; e_{1X-N2} = 1,03$$

$$e_{2X-N2} = |6,78 - 6,44| - 0,05 * 13,86 ; e_{2X-N2} = -0,35$$

$$e_{1y-N2} = |6,79 - 5,40| + 0,05 * 14,77 ; e_{1y-N2} = 2,13$$

$$e_{2y-N2} = |6,79 - 5,40| - 0,05 * 14,77 ; e_{2y-N2} = 0,65$$

$$e_{1X-N1} = |6,73 - 6,44| + 0,05 * 13,86 ; e_{1X-N1} = 0,98$$

$$e_{2X-N1} = |6,73 - 6,44| - 0,05 * 13,86 ; e_{2X-N1} = -0,40$$

$$e_{1y-N1} = |6,94 - 5,40| + 0,05 * 14,77 ; e_{1y-N1} = 2,28$$

$$e_{2y-N1} = |6,94 - 5,40| - 0,05 * 14,77 ; e_{2y-N1} = 0,80$$

Tabla XLVII. **Resumen excentricidad accidental, nivel 1 y 2, módulo 1**

Excentricidad accidental				
Nivel	$e_{1x}$	$e_{2x}$	$e_{1y}$	$e_{2y}$
Nivel 2	1,03	-0,35	2,13	0,65
Nivel 1	0,98	-0,40	2,28	0,80

Fuente: elaboración propia.

- **Parámetros RCDF**

El reglamento de construcciones para el Distrito Federal (RCDF), considera tomar en cuenta la regularidad o bien irregularidad en planta del entrepiso, a partir de sus excentricidades. Esta verificación se realiza con la finalidad de evitar la torsión o el colapso de la estructura ante la presencia de movimientos sísmicos.

$$e_{Directa\ x-y} \leq 10\% * B ; \text{ Estructura regular}$$

$$10\% * B \leq e_{Directa\ x-y} \leq 20\% * B ; \text{ Estructura irregular}$$

$$20\% * B < e_{Directa\ x-y} ; \text{ Cambiar configuración}$$

- Sentido X, Nivel2

$$0,34 \leq 0,10 * 13,86; \quad 0,34 \leq 1,39 ; \text{ Cumple con una estructura regular}$$

- Sentido Y, Nivel2

$$1,39 \leq 0,10 * 14,77; \quad 1,39 \leq 1,48 ; \text{ Cumple con una estructura regular}$$

- Fuerzas por marco

La distribución de fuerzas en cada marco está comprendida por la suma de la fuerza traslacional (corte por sismo), y la fuerza rotacional (corte por torsión).

- Corte por sismo

$$V_s = \frac{K_m * F_x}{\sum_{i=1}^n (K_m)}$$

- Corte por torsión

$$V_t = \frac{e * F_x * K_m * d_i}{\sum_{i=1}^n (K_m * d_i^2)}$$

- Corte total

$$F_T = V_s + V_t$$

Tabla XLVIII. **Fuerza cortante por nivel, módulo 1**

Nivel	Fx (kg)
Nivel 2	44 451,45
Nivel 1	32 127,43
Total	<b>76 578,88</b>

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Fuerza por marco en sentido X, nivel 2, módulo 1**

Fuerza por marco, sentido X, Nivel 2											
Eje	ex		Fx	Km/10	di	Km*Fx	Km*di	Km*di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs+Vt
C	e1x	1,03	44 451,45	0,06	-6,44	2 444,83	-0,35	2,28	11 112,86	-3 042,91	8 069,95
	e2x	0,35								1 034,00	12 146,86
D	e1x	1,03	44 451,45	0,06	-1,84	2 444,83	-0,10	0,19	11 112,86	-869,40	10 243,46
	e2x	0,35								295,43	11 408,29
E	e1x	1,03	44 451,45	0,06	1,16	2 444,83	0,06	0,07	11 112,86	548,10	11 660,96
	e2x	0,35								-186,25	10 926,61
F	e1x	1,03	44 451,45	0,06	7,12	2 444,83	0,39	2,79	11 112,86	3 364,21	14 477,07
	e2x	0,35								-1 143,18	9 969,68
			<b>Total</b>	<b>0,22</b>			<b>Total</b>	<b>5,33</b>			

Fuente: elaboración propia.

Tabla L. Fuerza por marco en sentido Y, nivel 2, módulo 1

Fuerza por marco, sentido Y, Nivel 2											
Eje	ex		Fx	Km/10	di	Km*Fx	Km*di	Km*di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs+Vt
3	e1x	2,13	44 451,45	0,04	-5,40	1 955,86	-0,24	1,28	11 112,86	-7 574,07	3 538,80
	e2x	0,65								-2 311,34	8 801,53
4	e1x	2,13	44 451,45	0,04	-2,02	1 955,86	-0,09	0,18	11 112,86	-2 833,26	8 279,60
	e2x	0,65								-864,61	10 248,25
5	e1x	2,13	44 451,45	0,04	1,89	1 955,86	0,08	0,16	11 112,86	2 650,92	13 763,79
	e2x	0,65								808,97	11 921,83
6	e1x	2,13	44 451,45	0,04	5,54	1 955,86	0,24	1,35	11 112,86	7 770,43	18 883,29
	e2x	0,65								2 371,26	13 484,12
7	e1x	2,13	44 451,45	0,04	9,07	1 955,86	0,40	3,62	11 112,86	12 721,63	23 834,49
	e2x	0,65								3 882,19	14 995,05
<b>Total</b>				<b>0,176</b>		<b>Total</b>	<b>2,97</b>				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LI. Fuerza por marco en sentido X, nivel 1, módulo 1

Fuerza por marco, sentido X, Nivel 1											
Eje	e		Fx	Km/10	di	Km*Fx	Km*di	Km*di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs+Vt
C	e1x	0,98	32 127,43	0,09	-6,44	2 730,83	-0,55	3,53	8 031,86	-2 092,51	5 939,35
	e2x	-0,40								854,09	8 885,94
D	e1x	0,98	32 127,43	0,09	-1,84	2 730,83	-0,16	0,29	8 031,86	-597,86	7 434,00
	e2x	-0,40								244,02	8 275,88
E	e1x	0,98	32 127,43	0,09	1,16	2 730,83	0,10	0,11	8 031,86	376,91	8 408,77
	e2x	-0,40								-153,84	7 878,02
F	e1x	0,98	32 127,43	0,09	7,12	2 730,83	0,61	4,31	8 031,86	2 313,46	10 345,32
	e2x	-0,40								-944,27	7 087,59
<b>Total</b>				<b>0,34</b>		<b>Total</b>	<b>8,24</b>				

Fuente: elaboración propia.

Tabla LII. **Fuerza por marco en sentido Y, nivel 1, módulo 1**

Eje	e		Fx	Km/10	di	Km*Fx	Km*di	Km*di <sup>2</sup>	Vs	Vt	Vs+Vt
3	e1x	2,28	32 127,43	0,07	-5,40	2 184,67	-0,37	1,98	8 031,86	-5 859,69	2 172,17
	e2x	0,80								-2 056,03	5 975,83
4	e1x	2,28	32 127,43	0,07	-2,02	2 184,67	-0,14	0,28	8 031,86	-2 191,96	5 839,90
	e2x	0,80								-769,11	7 262,75
5	e1x	2,28	32 127,43	0,07	1,89	2 184,67	0,13	0,24	8 031,86	2 050,89	10 082,75
	e2x	0,80								719,61	8 751,47
6	e1x	2,28	32 127,43	0,07	5,54	2 184,67	0,38	2,09	8 031,86	6 011,61	14 043,46
	e2x	0,80								2 109,34	10 141,19
7	e1x	2,28	32 127,43	0,07	9,07	2 184,67	0,62	5,59	8 031,86	9 842,10	17 873,96
	e2x	0,80								3 453,37	11 485,23
<b>Total</b>				<b>0,27</b>			<b>Total</b>	<b>4,59</b>			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Resumen de fuerzas por marco, sentido X, nivel 1, módulo 1**

Resumen de fuerza por marco, sentido X				
Marco	C	D	E	F
Nivel 2	12 146,86	11 408,29	11 660,96	14 477,07
Nivel 1	8 885,94	8 275,88	8 408,77	10 345,32

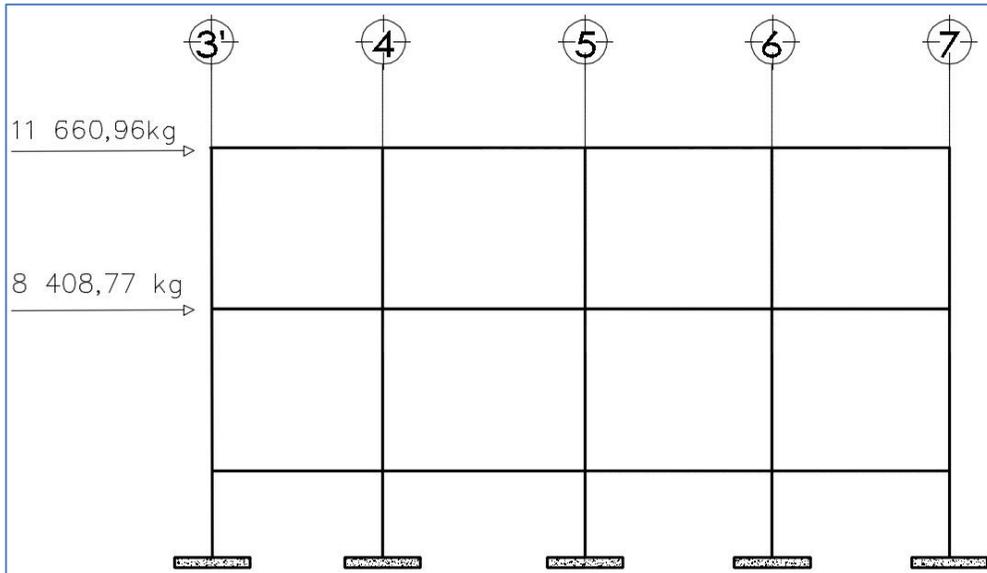
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIV. **Resumen de fuerzas por marco, sentido Y, nivel 1, módulo 1**

Resumen de fuerza por marco, sentido Y					
Marco	3	4	5	6	7
Nivel 2	8 801,53	10 248,25	13 763,79	18 883,29	23 834,49
Nivel 1	5 975,83	7 262,75	10 082,75	14 043,46	17 873,96

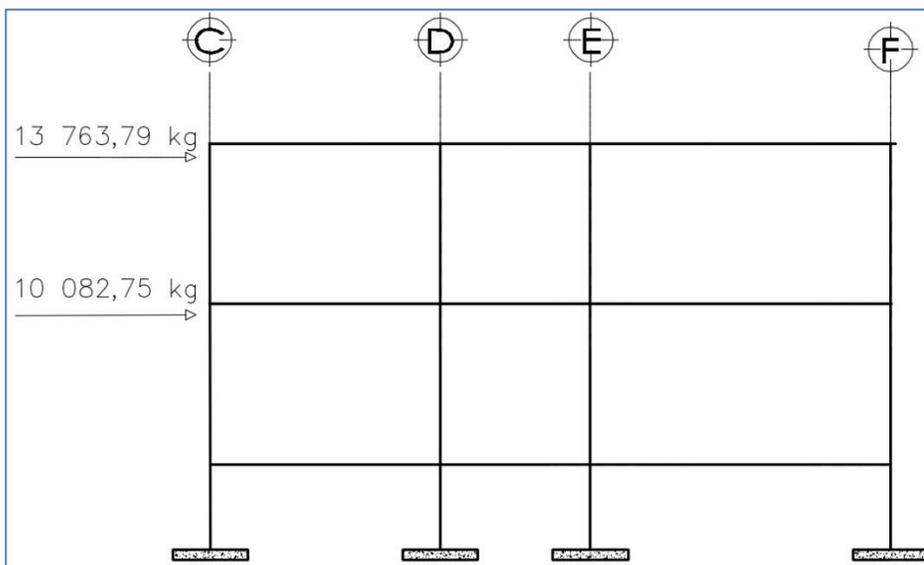
Fuente: elaboración propia.

Figura 13. **Fuerzas horizontales, marco E, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 14. **Fuerzas horizontales, marco 5, módulo 1**



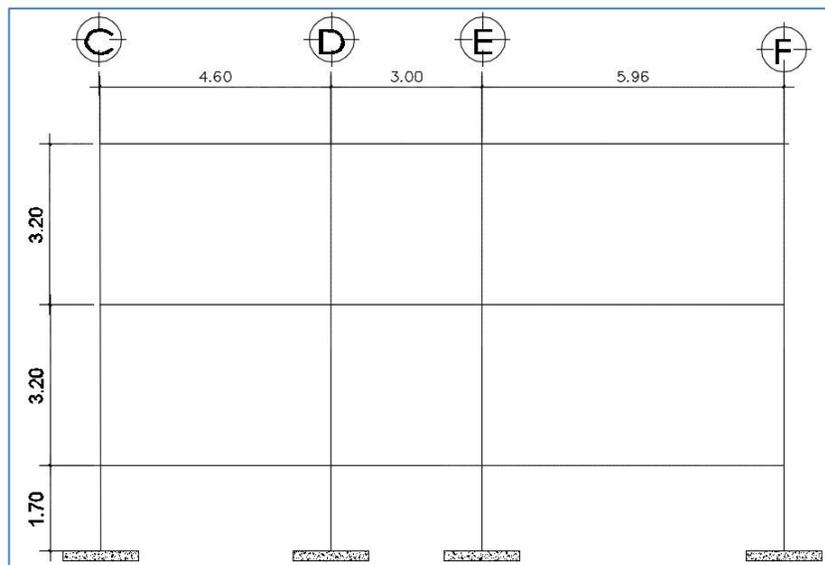
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

### 2.1.7. Análisis de marcos dúctiles utilizando software (ETABS 2017) y comprobación por medio de un método numérico

El análisis estructural se realiza mediante la representación de marcos dúctiles y las cargas (vivas, muertas y sísmicas) inducidas en la estructura, para visualizar el comportamiento de la misma ante la aparición de fuerzas sísmicas.

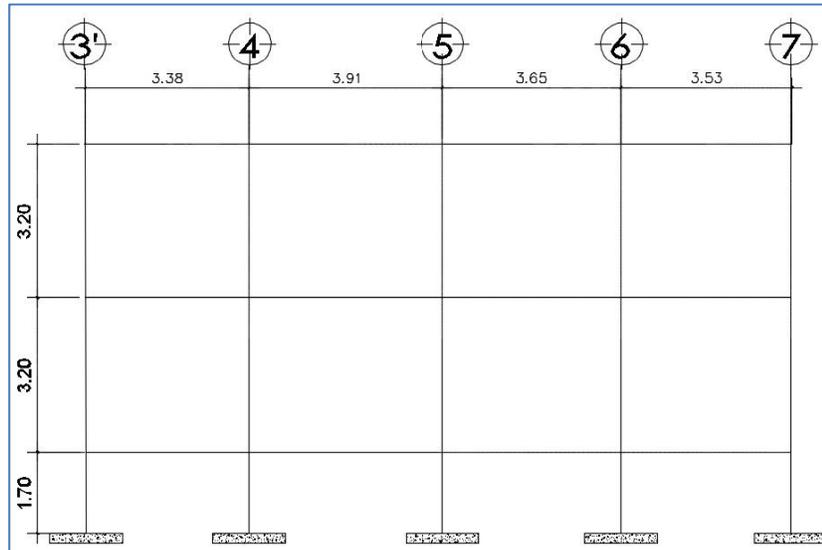
A continuación, se presentan los marcos críticos que se utilizarán en el análisis estructural de la edificación.

Figura 15. Elevación marco 5, sentido X, nivel 1 y 2, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 16. **Elevación marco E, sentido Y, nivel 1 y 2, módulo 1**



Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD 2015.

### **2.1.7.1. Análisis de marcos dúctiles por medio de método numérico (Kani)**

Es un método exacto y a la vez correcto utilizado en análisis de marcos estructurales, emplea aproximaciones sucesivas, y distribución de momentos, con la finalidad de considerar el efecto de las rotaciones y el desplazamiento en cada nodo.

El método de Kani calcula las reacciones generadas por las cargas verticales respecto a los nudos rígidos, y las reacciones horizontales respecto los nudos desplazables, generadas por las cargas horizontales. Se realizó el análisis para cada carga considerada (carga muerta, carga viva y carga de sismo).

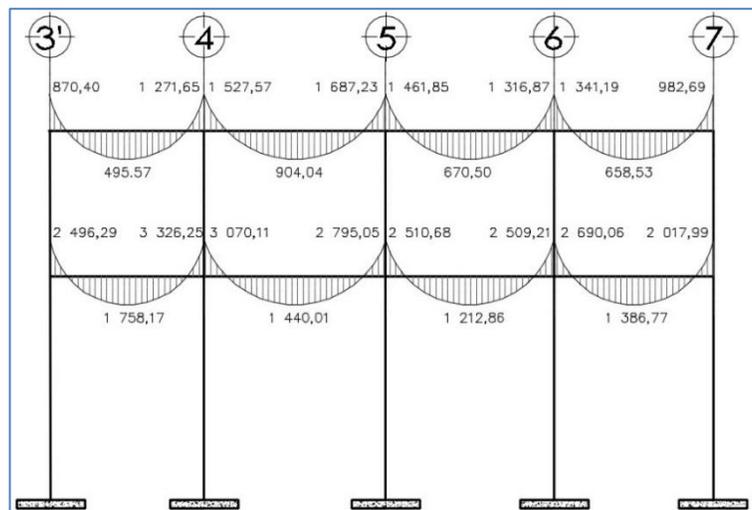
El método de Kani, presenta las siguientes suposiciones:

- La estructura posee nudos rígidos es decir marcos sin lado, y se utilizar principalmente para calcular las reacciones de carga vertical.
- La estructura posee nudos desplazables en sentido horizontal es decir marcos con lado y se utilizar principalmente para calcular las reacciones de carga horizontal.

### 2.1.7.1.1. Diagramas de momentos en marcos dúctiles

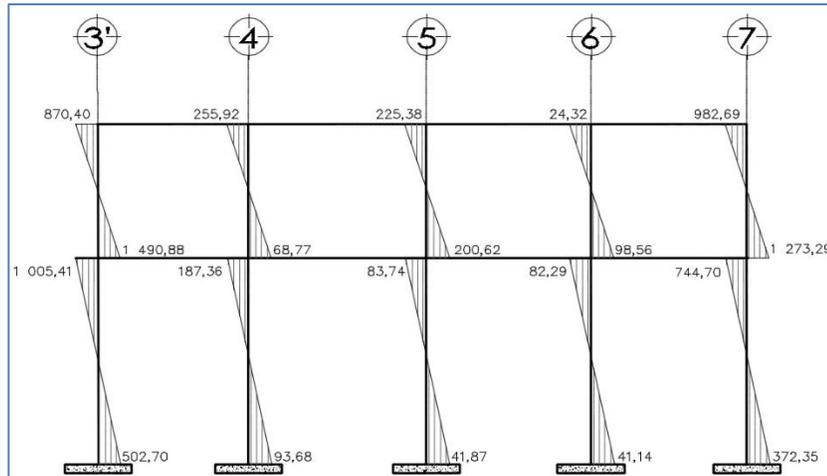
A continuación, se presentan los diagramas de momentos para carga viva, muerta y de sismo, correspondiente al marco E y marco 5. Cabe destacar que el análisis para cada carga se realizó por separado.

Figura 17. Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas del marco E, eje Y



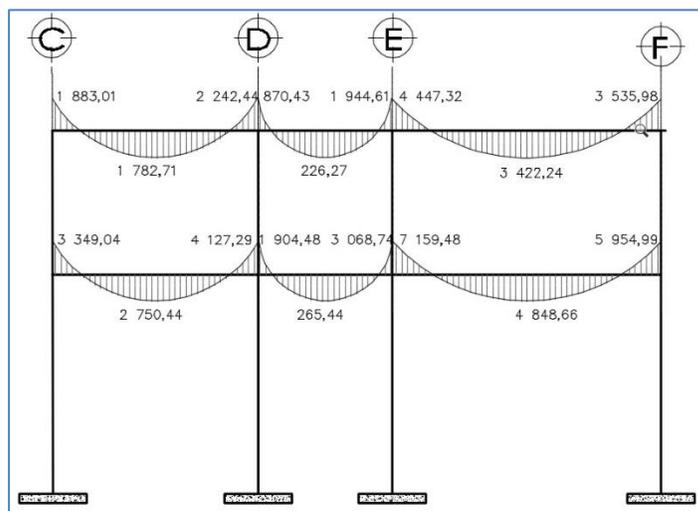
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 18. **Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en columnas del marco E, eje Y**



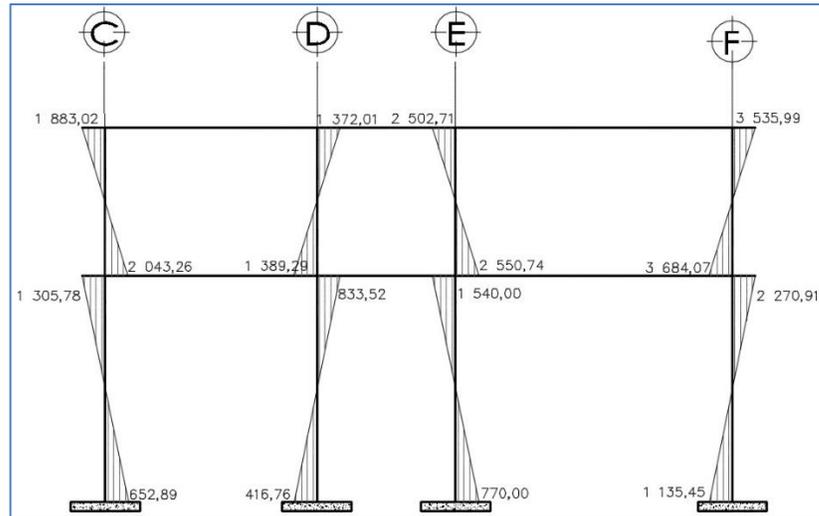
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 19. **Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas del marco 5, eje X**



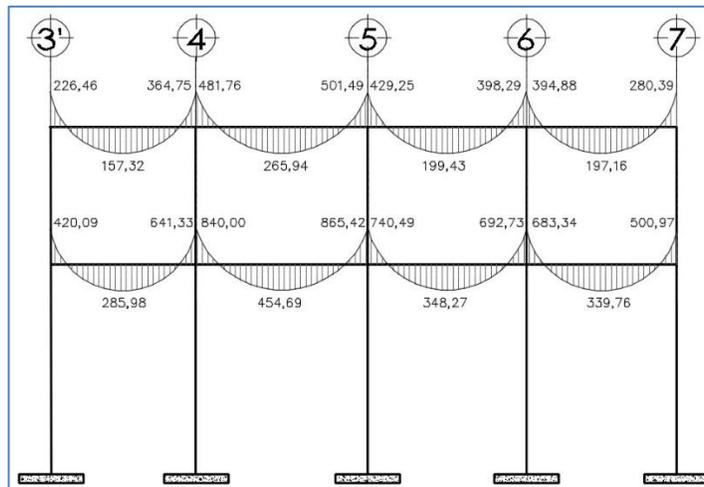
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 20. **Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en columnas del marco 5, eje X**



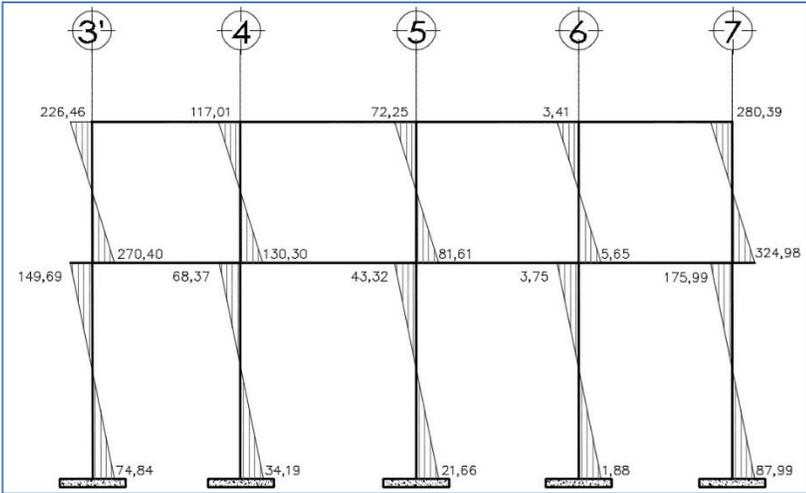
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 21. **Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas del marco E, eje Y**



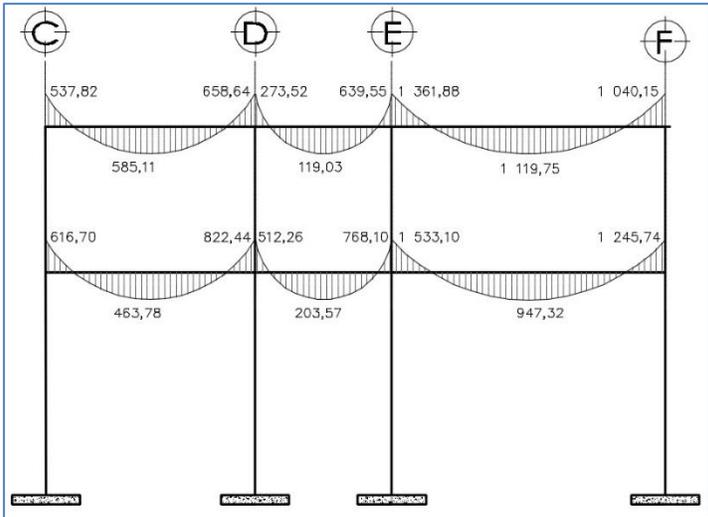
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 22. **Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en columnas del marco E, eje Y**



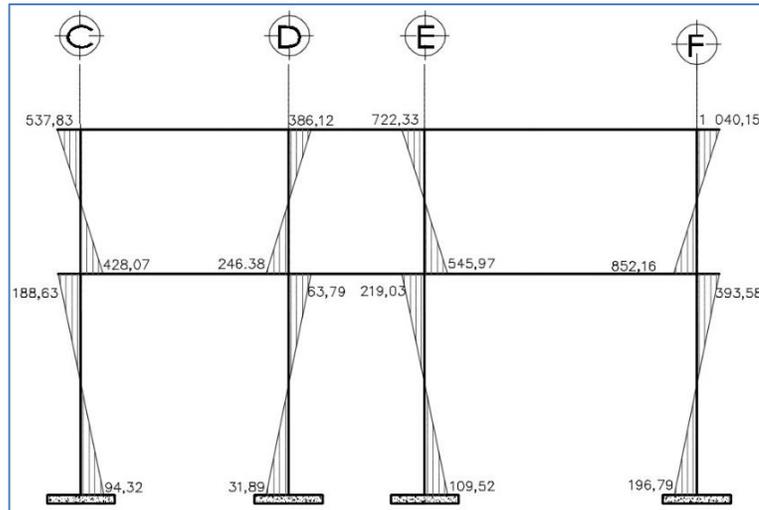
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 23. **Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas del marco 5, eje X**



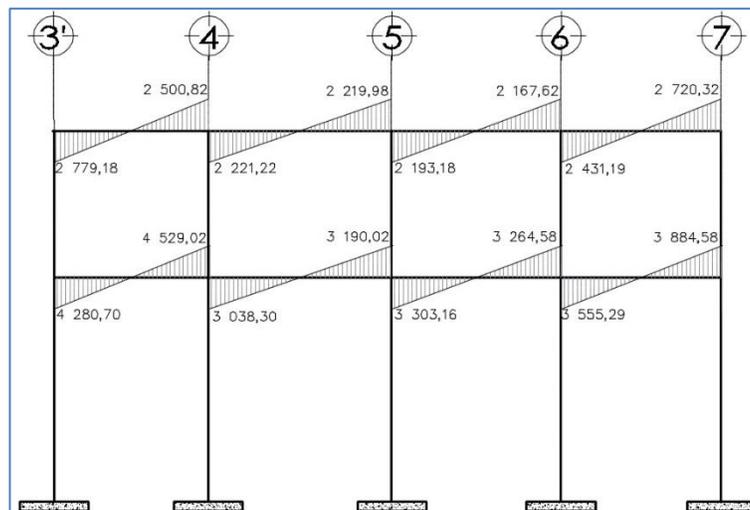
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 24. **Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en columnas del marco 5, eje X**



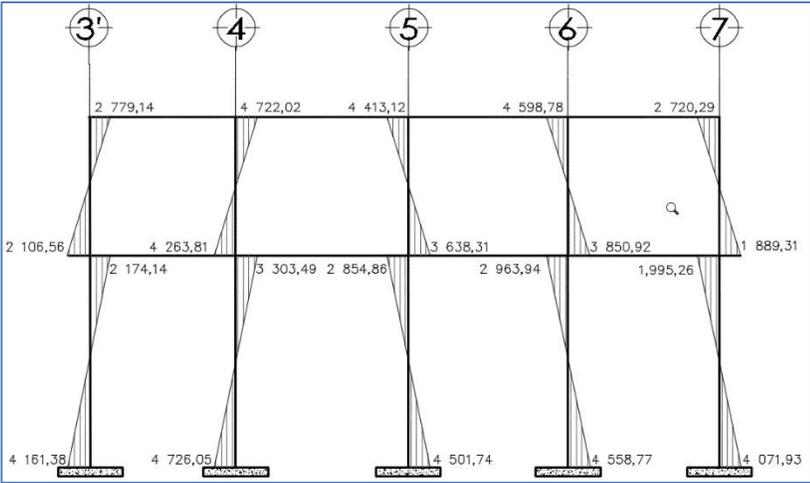
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 25. **Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas del marco E, eje Y**



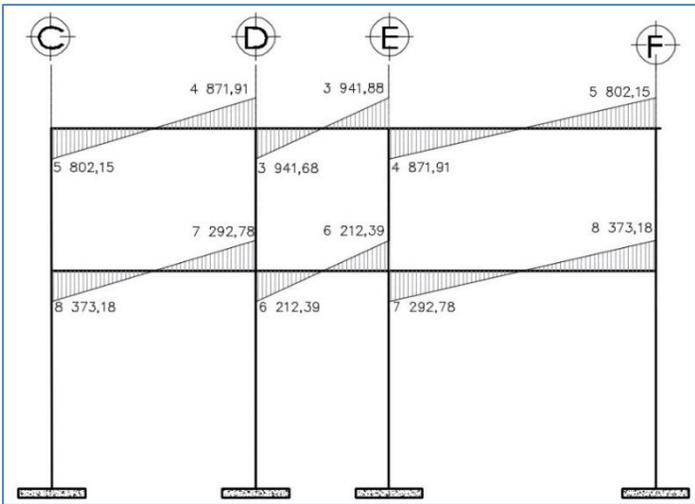
Fuente: elaboración propia empleando AutoCAD 2015.

Figura 26. **Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en columnas del marco E, eje Y**



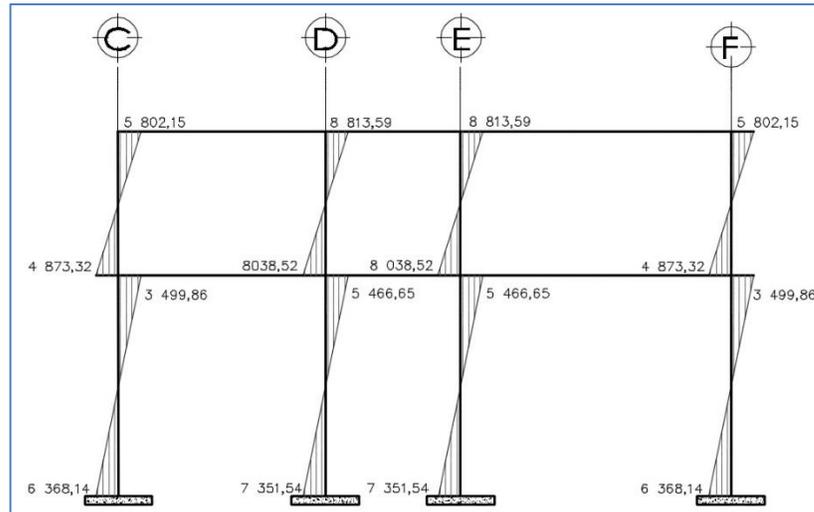
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 27. **Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas del marco 5, eje X**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 28. **Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en columnas marco 5, eje X**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

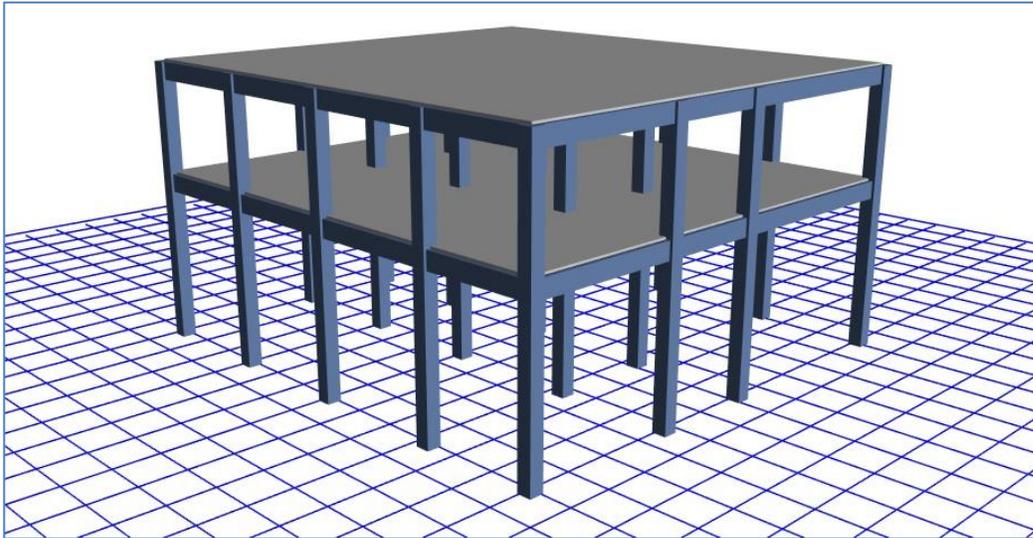
### 2.1.7.2. Análisis de marcos dúctiles por medio de software (ETABS 2017)

Para el análisis de marcos estructurales se puede emplear el uso de un software, en este caso se utilizó el de ETABS 2017, este modela y dimensiona la estructura, basada en marcos esquemáticos y representativos.

El software permite determinar los momentos generados por cada elemento estructural que conforma la edificación, esto mediante el ingreso de los datos, bajo los cuales estará sometida la misma.

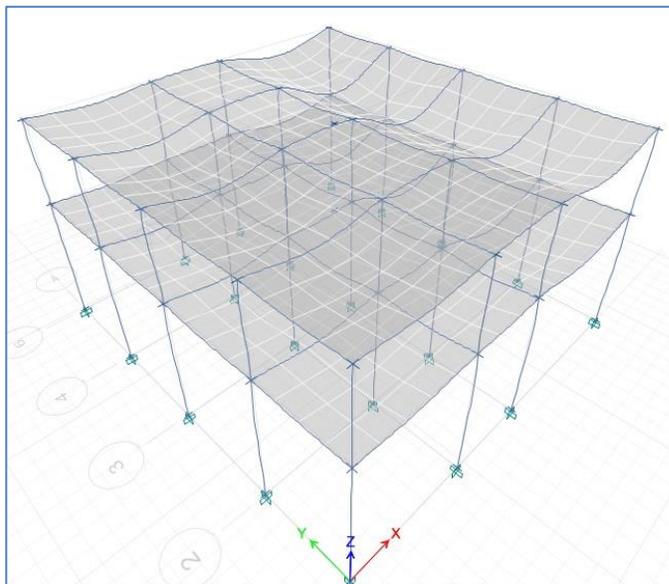
A continuación, se presenta el modelo en 3 dimensiones, sus respectivas deformaciones y el análisis realizado.

Figura 29. **Modelo 3D del edificio escolar**



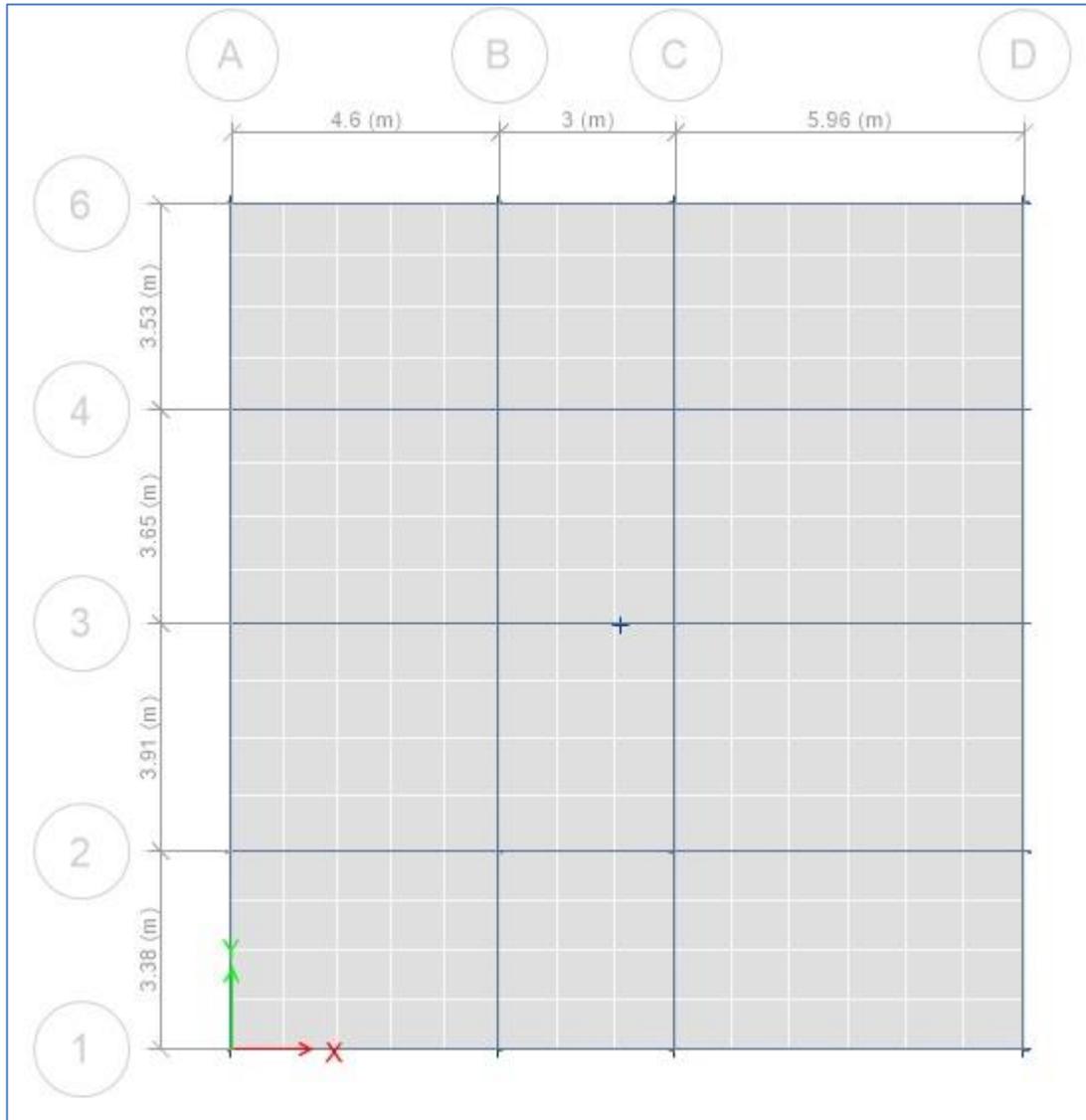
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 30. **Modelo de deformaciones, edificio escolar**



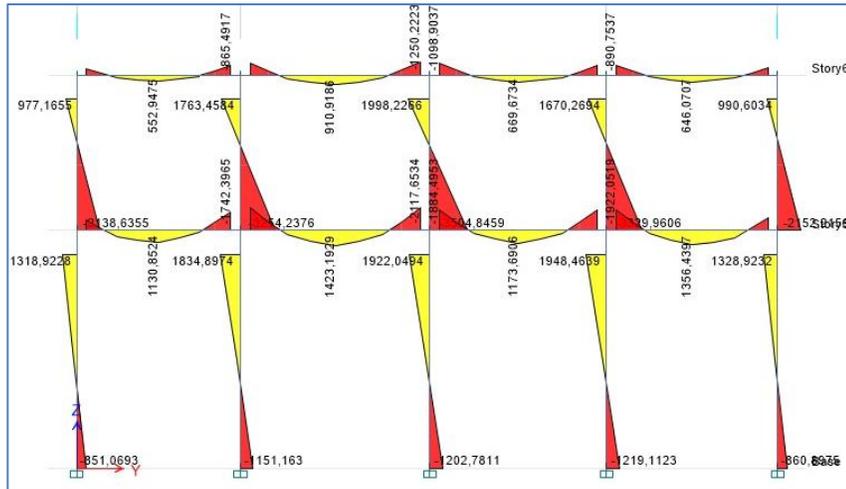
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 31. **Análisis de modelo, edificio escolar**



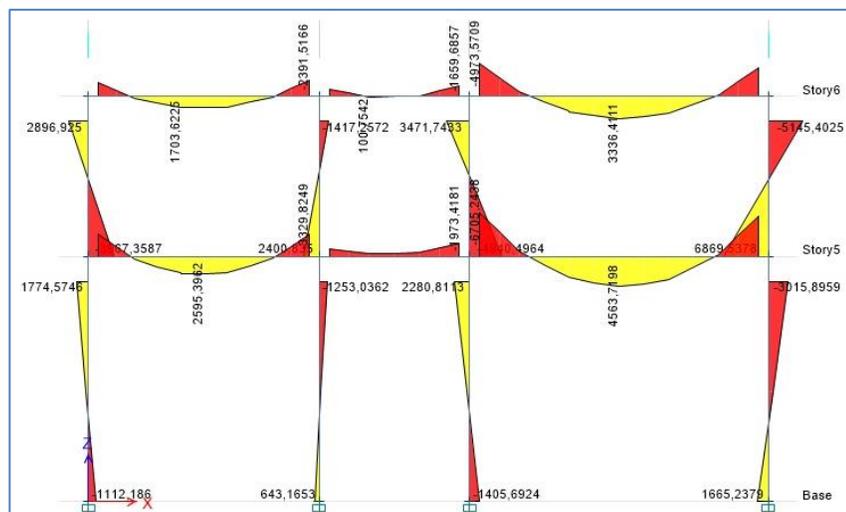
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 32. Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas y columnas, marco E, eje Y



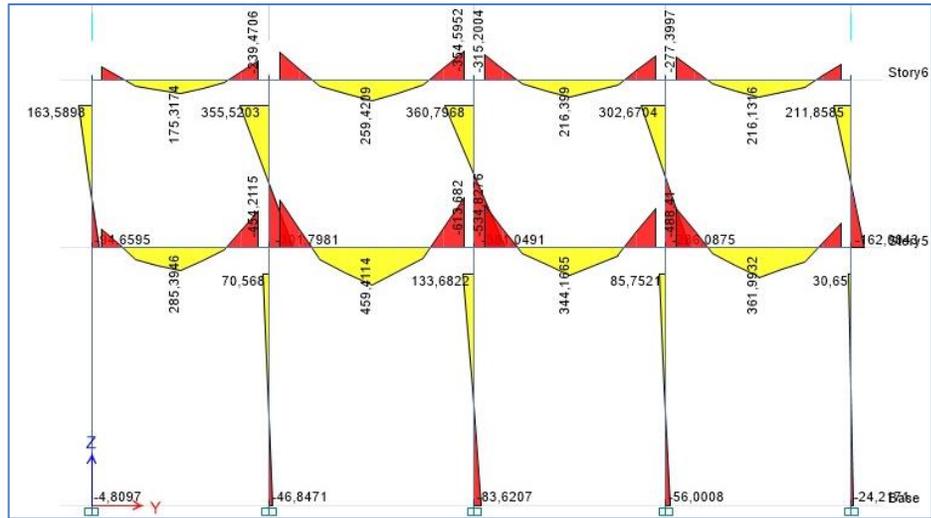
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 33. Diagrama de momentos (kg-m), carga muerta en vigas y columnas, marco 5, eje X



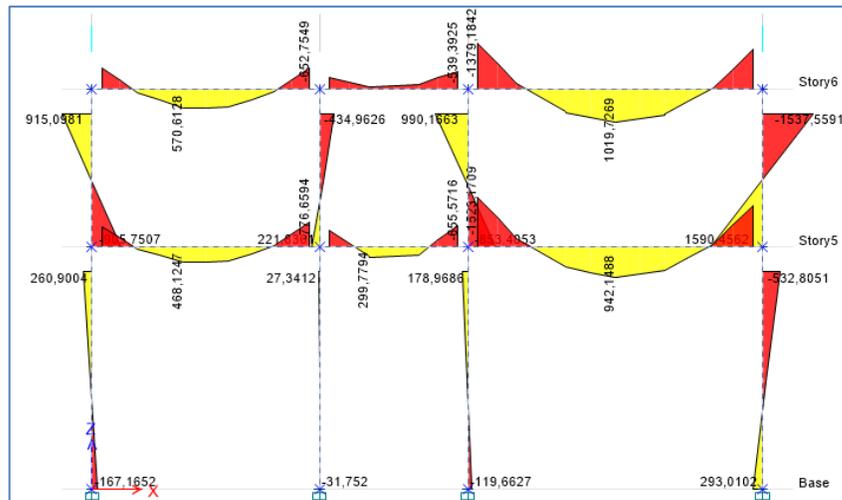
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 34. Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas y columnas, marco E, eje Y



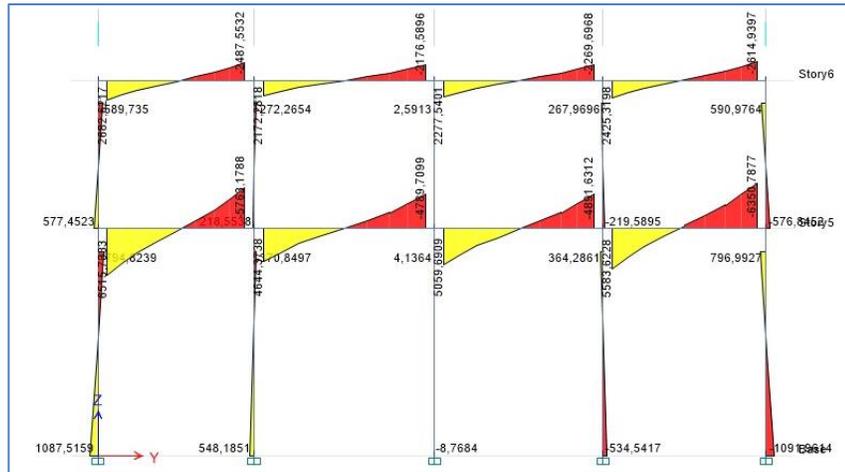
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 35. Diagrama de momentos (kg-m), carga viva en vigas y columnas, marco 5, eje X



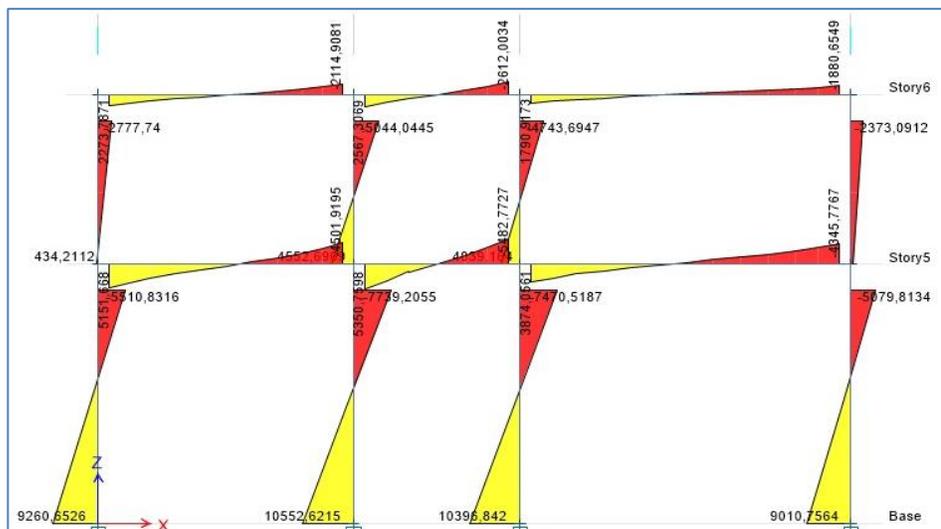
Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 36. Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas y columnas, marco E, eje Y



Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

Figura 37. Diagrama de momentos (kg-m), carga sísmica en vigas y columnas, marco 5, eje X



Fuente: elaboración propia, empleando ETABS 2017.

### 2.1.8. Comparación de resultados con método numérico

Mediante el empleo del método numérico de Kani y el software ETABS 2017, se realizó la comparación de resultados obtenidos en el análisis estructural, se estipula que el porcentaje de variación no sobrepase el 10 %. La comparación se realizó en la viga del tramo C-D, segundo nivel, marco 5 para la carga muerta.

Realizando la comparación entre ambos métodos se concluyó que los resultados obtenidos son aceptables, debido a que el mayor desfase de variación es de 6,30 % y el menor porcentaje de variación de 4,70 % no superando el 10 % como límite permisible establecido.

Tabla LV. **Comparación de resultados entre método numérico y software**

<b>Marco C-D</b>	<b>M<sub>IZQUIERDO</sub></b>	<b>M<sub>CENTRO</sub></b>	<b>M<sub>DERECHO</sub></b>
<b>KANI</b>	1 883,01 kg-m	1 782,71 kg-m	2 242,44 kg-m
<b>ETABS</b>	1 785,78 kg-m	1 703,62 kg-m	2 391,52 kg-m
<b>Diferencia</b>	98,01 kg-m	79,09 kg-m	149,08 kg-m
<b>%</b>	5,20 %	4,70 %	6,30 %

Fuente: elaboración propia.

### 2.1.9. Envoltente de momentos

La envoltente de momentos representa los esfuerzos máximos que se generan en los elementos estructurales tales como vigas y columnas mediante la mayoración y combinación de cargas. La Norma NSE-2 AGIES 2018, en su capítulo 8.3, establece las combinaciones de cargar, utilizadas a continuación:

Tabla LVI. **Envolvente de momentos en vigas, nivel 2, marco E, eje Y**

Envolvente de momentos en vigas									
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente
<b>Viga 3-4</b>									
<b>M (-)</b>	-870,40	226,46	2 779,18	1 218,56	-1 406,82	-1 270,94	1 508,24	-3 562,54	-3 562,54
<b>M (+)</b>	495,57	157,32	-----	693,80	846,40	752,00	752,00	446,01	846,40
<b>M (-)</b>	1 271,65	364,75	2 500,82	1 780,31	2 109,58	1 890,73	4 391,55	-1 356,34	4 391,55
<b>Viga 4-5</b>									
<b>M (-)</b>	1 527,57	481,76	2 221,22	2 138,60	-2 603,90	-2 314,84	-93,62	-3 596,03	-3 596,03
<b>M (+)</b>	904,04	265,94	-----	1 265,66	1 510,35	1 350,79	1 350,79	813,64	1 510,35
<b>M (-)</b>	1 687,23	501,49	2 219,98	2 362,12	2827,06	2 526,17	4 746,15	-701,47	4 746,15
<b>Viga 5-6</b>									
<b>M (-)</b>	1 461,85	429,25	2 193,18	2 046,59	-2 441,02	-2 183,47	9,71	-3 508,85	-3 508,85
<b>M (+)</b>	670,50	199,43	-----	938,70	1 123,69	1 004,03	1 004,03	603,45	1 123,69
<b>M (-)</b>	1316,87	398,29	2 167,62	1 843,62	2 217,51	1 978,53	4 146,15	-982,44	4 146,15
<b>Viga 6-7</b>									
<b>M (-)</b>	1 341,19	394,88	2 431,19	1 877,67	-2 241,24	-2004,31	426,88	-3 638,26	-3 638,26
<b>M (+)</b>	658,53	197,16	-----	921,94	1 105,69	987,40	987,40	592,68	1 105,69
<b>M (-)</b>	982,69	280,39	2 720,32	1375,77	1627,85	1459,62	4179,94	-1835,90	4179,94

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVII. **Envolvente de momentos en vigas, nivel 1, marco E, eje Y**

Envolvente de momentos en vigas									
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente
<b>Viga 3-4</b>									
<b>M (-)</b>	2 496,29	420,09	4 280,70	3 494,81	-3 667,69	-3 415,64	865,06	-6 527,36	-6 527,36
<b>M (+)</b>	1 758,17	285,98	-----	2 461,44	2 567,37	2 395,78	2 395,78	1 582,35	2 567,37
<b>M (-)</b>	3 326,25	641,33	4 529,02	4 656,75	5 017,63	4 632,83	9 161,85	-1 535,40	9 161,85
<b>Viga 4-5</b>									
<b>M (-)</b>	3 070,11	840,00	3 038,30	4 298,15	-5 028,13	-4 524,13	-1 485,83	-5 801,40	-5 801,40
<b>M (+)</b>	1 440,01	454,69	-----	2 016,01	2 455,52	2 182,70	2 182,70	1 296,01	2 455,52
<b>M (-)</b>	2 795,05	865,42	3 190,02	3 913,07	4 738,73	4 219,48	7 409,50	-674,48	7 409,50
<b>Viga 5-6</b>									
<b>M (-)</b>	2 510,68	740,49	3 303,16	3 514,95	-4 197,60	-3 753,31	-450,15	-5 562,77	-5 562,77

Continuación de la tabla LVII.

<b>M (+)</b>	1 212,86	348,27	-----	1 698,00	2 012,66	1 803,70	1 803,70	1 091,57	2 012,66
<b>M (-)</b>	2 509,21	692,73	3 264,58	3 512,89	4 119,42	3 703,78	6 968,36	-1 006,29	6 968,36
<b>Viga 6-7</b>									
<b>M (-)</b>	2 690,06	683,34	3 555,29	3 766,08	-4 321,42	-3 911,41	-356,12	-5 976,34	-5 976,34
<b>M (+)</b>	1 386,77	339,76	-----	1 941,48	2 207,74	2 003,88	2 003,88	1 248,09	2 207,74
<b>M (-)</b>	2 017,99	500,97	3 884,58	2 825,19	3 223,14	2 922,56	6 807,14	-2 068,39	6 807,14

Fuente: elaboración propia.

Tabla LVIII. **Envolvente de momentos en columnas, nivel 2, marco E, eje Y**

<b>Envolvente de momentos en columnas</b>									
	<b>Cm</b>	<b>Cv</b>	<b>Cs</b>	<b>1.4*Cm</b>	<b>1.2Cm+1.6Cv</b>	<b>1.2Cm+Cv</b>	<b>1.2Cm+Cv+Cs</b>	<b>0.9Cm-Cs</b>	<b>Envolvente</b>
<b>Columna 3</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	870,40	226,46	2 779,14	1 218,56	1 406,82	1 270,94	4 050,08	-1 995,78	4 050,08
<b>M<sub>inferior</sub></b>	1 490,88	270,40	2 106,56	2 087,23	2 221,70	2 059,46	4 166,02	-764,77	4 166,02
<b>Columna 4</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	255,92	117,01	4 722,02	358,29	494,32	424,11	5 146,13	-4 491,69	5 146,13
<b>M<sub>inferior</sub></b>	68,77	130,30	4263,81	96,28	291,00	212,82	4 476,63	-4 201,92	4 476,63
<b>Columna 5</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	225,38	72,25	4 413,12	315,53	386,06	342,71	4 755,83	-4 210,28	4 755,83
<b>M<sub>inferior</sub></b>	200,62	81,61	3 638,31	280,87	3 71,32	322,35	3 960,66	-3 457,75	3 960,66
<b>Columna 6</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	24,32	3,41	4 598,78	34,05	34,64	32,59	4 631,37	-4 576,89	4 631,37
<b>M<sub>inferior</sub></b>	98,56	5,65	3 850,92	137,98	127,31	123,92	3 974,84	-3 762,22	3 974,84
<b>Columna 7</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	982,69	280,39	2 720,29	1 375,77	1 627,85	1 459,62	4 179,91	-1 835,87	4 179,91
<b>M<sub>inferior</sub></b>	1 273,29	324,98	1 889,31	1 782,61	2 047,92	1 852,93	3 742,24	-743,35	3 742,24

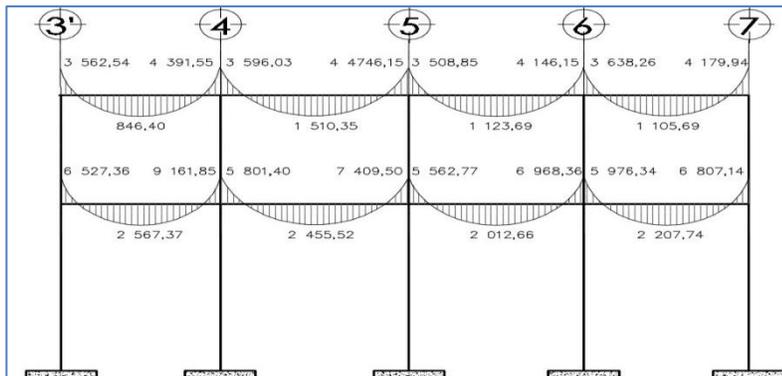
Fuente: elaboración propia.

Tabla LIX. **Envolvente de momentos en columnas, nivel 1, marco E, eje Y**

Envolvente de momentos en columnas primer nivel										
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente	
<b>Columna 3</b>										
$M_{superior}$	1 005,41	149,69	2 174,14	1	407,57	1 446,00	1 356,18	3 530,32	-1 269,27	3 530,32
$M_{inferior}$	502,70	74,84	4 161,38	703,78	722,98	678,08	4 839,46	-3 708,95	4 839,46	
<b>Columna 4</b>										
$M_{superior}$	187,36	68,37	3 303,49	262,30	334,22	293,20	3 596,69	-3 134,87	3 596,69	
$M_{inferior}$	93,68	34,19	4 726,05	131,15	167,12	146,61	4 872,66	-4 641,74	4 872,66	
<b>Columna 5</b>										
$M_{superior}$	83,74	43,32	2 854,86	117,24	169,80	143,81	2 998,67	-2 779,49	2 998,67	
$M_{inferior}$	41,87	21,66	4 501,74	58,62	84,90	71,90	4 573,64	-4 464,06	4 573,64	
<b>Columna 6</b>										
$M_{superior}$	82,29	3,75	2 963,94	115,21	104,75	102,50	3 066,44	-2 889,88	3 066,44	
$M_{inferior}$	41,14	1,88	4 558,77	57,60	52,38	51,25	4 610,02	-4 521,74	4 610,02	
<b>Columna 7</b>										
$M_{superior}$	744,70	175,99	1995,26	1	042,58	1 175,22	1 069,63	3 064,89	-1 325,03	3 064,89
$M_{inferior}$	372,35	87,99	4071,93	521,29	587,60	534,81	4 606,74	-3 736,82	4 606,74	

Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Diagrama de envolvente de momentos en vigas (kg-m), marco E, eje Y**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Tabla LX. **Envolvente de momentos en vigas, nivel 2, marco 5, eje X**

Envolvente de momentos en vigas									
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente
<b>Viga C-D</b>									
M (-)	-1 883,01	-537,82	5 802,15	2 636,21	-3 120,12	-2 797,43	3 004,72	-7 496,86	-7 496,86
M (+)	1 782,71	585,11	-----	2 495,79	3 075,43	2 724,36	2 724,36	1 604,44	3 075,43
M (-)	2 242,44	6 58,64	4 871,91	3 139,42	3 744,75	3 349,57	8 221,48	-2 853,71	8 221,48
<b>Viga D-E</b>									
M (-)	-870,43	-273,52	3 941,68	1 218,60	-1 482,15	-1 318,04	2 623,64	-4 725,07	-4 725,07
M (+)	226,27	119,03	-----	316,78	461,97	390,55	390,55	203,64	461,97
M (-)	1 944,61	639,55	3 941,88	2 722,45	3 356,81	2 973,08	6 914,96	-2 191,73	6 914,96
<b>Viga E-F</b>									
M (-)	-4 447,32	-1 361,88	4 871,91	6 226,25	-7 515,79	-6 698,66	-1 826,75	-8 874,50	-8874,50
M (+)	3 422,24	1 119,75	-----	4 791,14	5 898,29	5 226,44	5 226,44	3 080,02	5 898,29
M (-)	3 535,98	1 040,15	5 802,15	4 950,37	5 907,42	5 283,33	11 085,48	-261,77	11 085,48

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXI. **Envolvente de momentos en vigas, nivel 1, marco 5, eje X**

Envolvente de momentos en vigas									
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente
<b>Viga C-D</b>									
M (-)	-3 349,04	-616,70	8 373,18	-4 688,66	-5 005,57	-4 635,55	3 737,63	11 387,32	-11 387,32
M (+)	2 750,44	463,78	-----	3 850,62	4 042,58	3 764,31	3 764,31	2 475,40	4 042,58
M (-)	4 127,29	822,44	7 292,78	5 778,21	6 268,65	5 775,19	13 067,97	-3 578,22	13 067,97
<b>Viga D-E</b>									
M (-)	-1 904,48	-512,26	6 212,39	-2 666,27	-3 104,99	-2 797,64	3 414,75	-7 926,42	-7 926,42
M (+)	265,44	203,57	-----	371,62	644,24	522,10	522,10	238,90	644,24
M (-)	3 068,74	768,10	6 212,39	4 296,24	4 911,45	4 450,59	10 662,98	-3 450,52	10 662,98
<b>Viga E-F</b>									
M (-)	-7 159,48	1533,10	7 292,78	10 023,27	-11 044,34	-10 124,48	-2 831,70	13 736,31	-13 736,31
M (+)	4 848,66	947,32	-----	6788,12	7 334,10	6 765,71	6 765,71	4 363,79	7 334,10
M (-)	5 954,99	1245,74	8 373,18	8 336,99	9 139,17	8 391,73	16 764,91	-3 013,69	16 764,91

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXII. **Envolvente de momentos en columnas, nivel 2, marco 5, eje X**

Envolvente de momentos en columnas									
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente
<b>Columna C</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	1 883,02	537,83	5 802,15	2 636,23	3 120,15	2 797,45	8 599,60	-4 107,43	8 599,60
<b>M<sub>inferior</sub></b>	2 043,26	428,07	4 873,32	2 860,56	3 136,82	2 879,98	7 753,30	-3 034,39	7 753,30
<b>Columna D</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	1 372,01	386,12	8 813,59	1 920,81	2 264,20	2 032,53	10 846,12	-7 578,78	10 846,12
<b>M<sub>inferior</sub></b>	1 389,29	246,38	8 038,52	1 945,01	2 061,36	1 913,53	9 952,05	-6 788,16	9 952,05
<b>Columna E</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	2 502,71	722,33	8 813,59	3 503,79	4 158,98	3 725,58	12 539,17	-6 561,15	12 539,17
<b>M<sub>inferior</sub></b>	2 550,74	545,97	8 038,52	3 571,04	3 934,44	3 606,86	11 645,38	-5 742,85	11 645,38
<b>Columna F</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	3 535,99	1 040,15	5 802,15	4 950,39	5 907,43	5 283,34	11 085,49	-2 619,76	11 085,49
<b>M<sub>inferior</sub></b>	3 684,07	852,16	4 873,32	5 157,70	5 784,34	5 273,04	10 146,36	-1 557,66	10 146,36

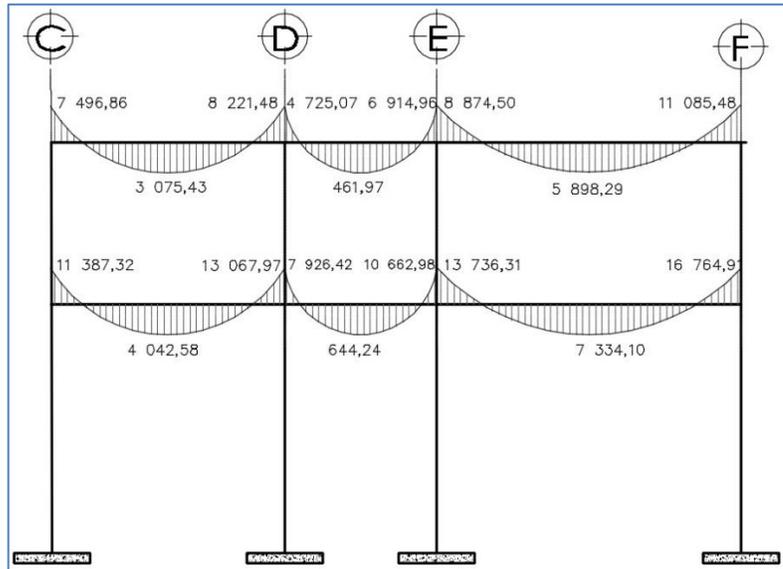
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXIII. **Envolvente de momentos en columnas, nivel 1, marco 5, eje X**

Envolvente de momentos en columnas									
	Cm	Cv	Cs	1,4*Cm	1,2Cm+1,6Cv	1,2Cm+Cv	1,2Cm+Cv+Cs	0,9Cm-Cs	Envolvente
<b>Columna C</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	1 305,78	188,63	3 499,86	1 828,09	1 868,74	1 755,57	5 255,43	-2 324,66	5 255,43
<b>M<sub>inferior</sub></b>	652,89	94,32	6 368,14	914,05	934,38	877,79	7 245,93	-5 780,54	7 245,93
<b>Columna D</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	833,52	63,79	5 466,65	1 166,93	1 102,29	1 064,01	6 530,66	-4 716,48	6 530,66
<b>M<sub>inferior</sub></b>	416,76	31,89	7 351,54	583,46	551,14	532,00	7 883,54	-6 976,46	7 883,54
<b>Columna E</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	1 540,00	219,03	5 466,65	2 156,00	2 198,45	2 067,03	7 533,68	-4 080,65	7 533,68
<b>M<sub>inferior</sub></b>	770,00	109,52	7 351,54	1 078,00	1099,23	1 033,52	8 385,06	-6 658,54	8 385,06
<b>Columna F</b>									
<b>M<sub>superior</sub></b>	2 270,91	393,58	3 499,86	3 179,27	3 354,82	3 118,67	6 618,53	-1 456,04	6 618,53
<b>M<sub>inferior</sub></b>	1 135,45	196,79	6 368,14	1 589,63	1 677,40	1 559,33	7 927,47	-5 346,24	7 927,47

Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Diagrama de envolvente de momento en viga, marco 5, eje X



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

### 2.1.10. Diagrama a corte

El cortante último se calcula como la suma de los momentos últimos tanto superior e inferior (envolvente de momentos) dividido la longitud de la columna como lo establece el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 18, sección 18.6.5.

$$V_{u\ col} = \frac{M_{superior} + M_{inferior}}{L_{col}}$$

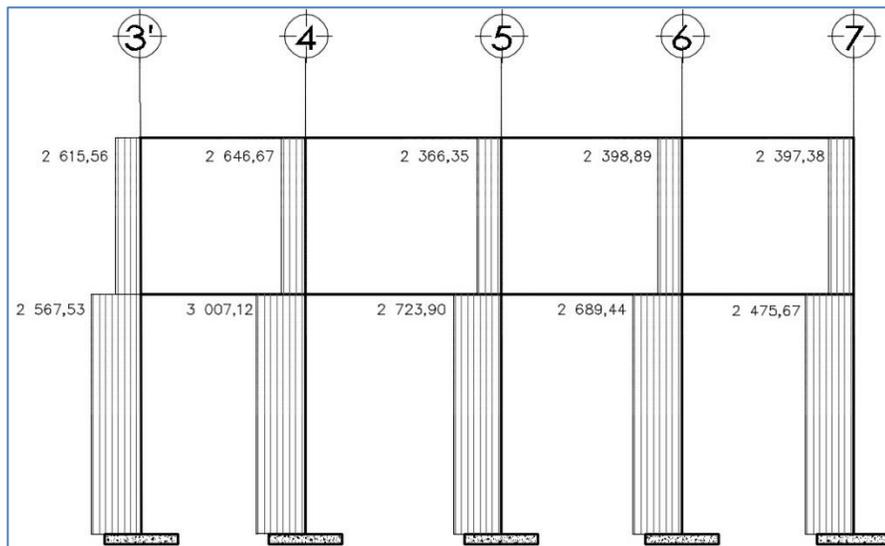
A continuación, se presentan los resultados obtenidos al calcular el cortante último en columnas.

Tabla LXIV. Cortante último en columnas (kg), marco E, eje Y

Cortante último en columnas segundo nivel				
Columna	Longitud (m)	M <sub>superior</sub>	M <sub>inferior</sub>	Vu
3	3,2	4 050,08	4 166,02	2 567,53
4	3,2	5 146,13	4 476,63	3 007,12
5	3,2	4 755,83	3 960,66	2 723,90
6	3,2	4 631,37	3 974,84	2 689,44
7	3,2	4 179,91	3 742,24	2 475,67
Cortante último en columnas primer nivel				
Columna	Longitud (m)	M <sub>superior</sub>	M <sub>inferior</sub>	Vu
3	3,2	3 530,32	4 839,46	2 615,56
4	3,2	3 596,69	4 872,66	2 646,67
5	3,2	2 998,67	4 573,64	2 366,35
6	3,2	3 066,44	4 610,02	2 398,89
7	3,2	3 064,89	4 606,74	2 397,38

Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Diagrama de cortante último en columnas, marco E, eje Y



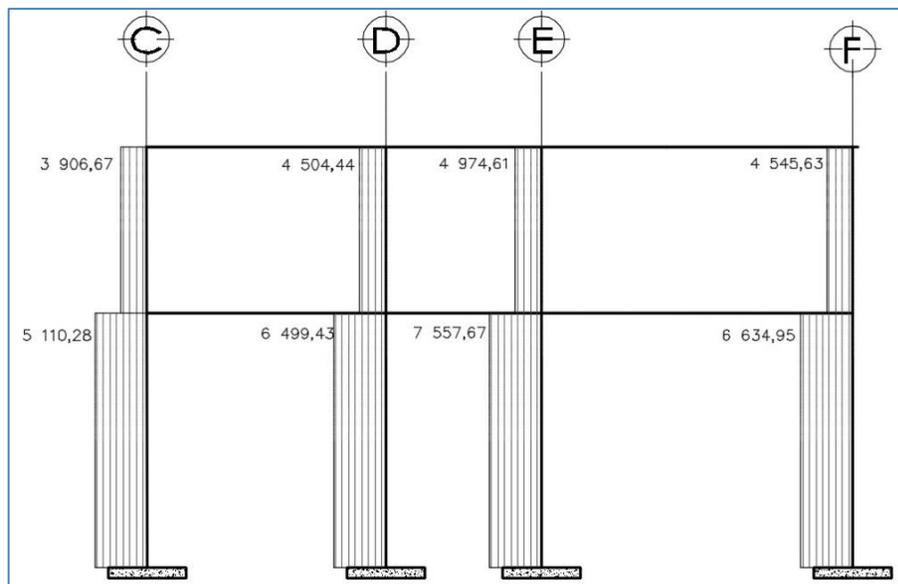
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Tabla LXV. Cortante último en columnas (kg), marco 5, eje X

Cortante último en columnas segundo nivel				
Columna	Longitud (m)	M <sub>superior</sub>	M <sub>inferior</sub>	Vu
C	3,2	8 599,60	7 753,30	5 110,28
D	3,2	10 846,12	9 952,05	6 499,43
E	3,2	12 539,17	11 645,38	7 557,67
F	3,2	11 085,49	10 146,36	6 634,95
Cortante último en columnas primer nivel				
Columna	Longitud (m)	M <sub>superior</sub>	M <sub>inferior</sub>	Vu
C	3,2	5 255,43	7 245,93	3 906,67
D	3,2	6 530,66	7 883,54	4 504,44
E	3,2	7 533,68	8 385,06	4 974,61
F	3,2	6 618,53	7 927,47	4 545,63

Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Diagrama cortante último en columnas, marco 5, eje X



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

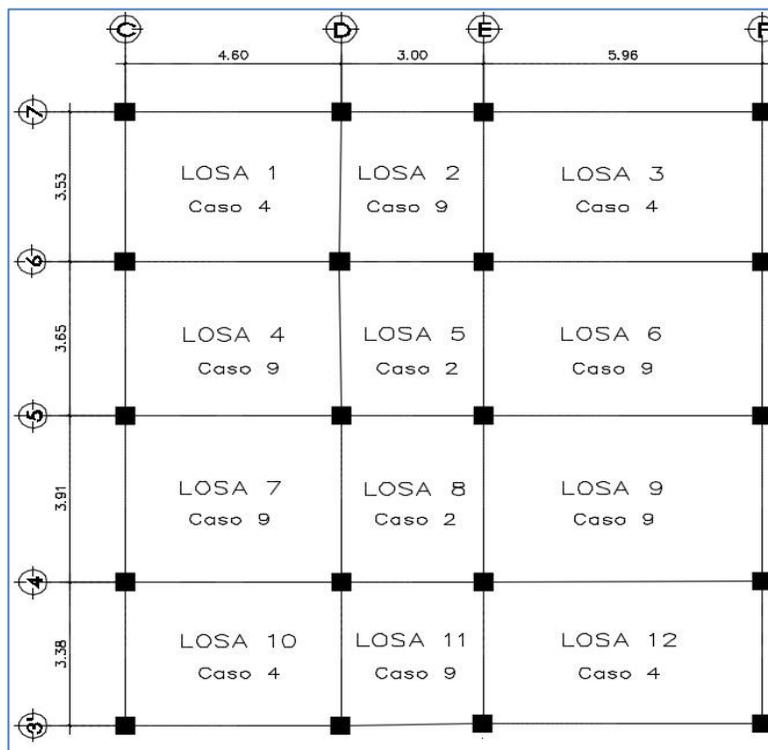
### 2.1.11. Diseño estructural

El diseño estructural se basa en el dimensionamiento final de cada uno de los elementos (losas, vigas, columnas, zapatas) tomando en consideración la resistencia de las cargas, bajo las cuales estará sometida la estructura.

#### 2.1.11.1. Diseño de losas

El diseño estructural de las losas que conforman el entrepiso y el techo de la edificación se basa en el método 3 del ACI de 1963, mediante el método de coeficientes, y continuidad de bordes, con ello determinando los momentos actuantes máximos, tanto en sentido largo como en el sentido corto.

Figura 42. **Planta general de losas nivel 1 y 2, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Sentido de losa

El sentido de la losa se define mediante el criterio de la relación entre el lado corto (a) y el lado largo (b).

$$\frac{a}{b} \leq 0,50; \quad \text{Losa en 1 sentido}$$

$$\frac{a}{b} > 0,50; \quad \text{Losa en 2 sentidos}$$

Por lo tanto, se ejemplifica la losa 1

$$a = 3,53 \text{ m}; \quad b = 4,60 \text{ m}$$

$$3,53/4,60 = 0,77 \quad ; \quad 0,77 > 0,50; \quad \text{Losa en 2 sentidos}$$

- Espesor de losa

El espesor de losa se realizó en la sección 2.1.6.1.1 de predimensionamiento de losa.

$$t_{losa} = 12,00 \text{ cm}$$

- Carga última de diseño

Las cargas últimas o mayoradas están referidas de la Norma de Seguridad Estructural para Guatemala NSE-2 capítulo 8.3 AGIES 2018, que establece la siguiente mayoración, tanto en cargas vivas como en cargas muerta.

$$CU_{losa} = 1,2 CM_{losa} + 1,6 Cv_{losa}$$

Tabla LXVI. Valores de integración de cargas vivas y muertas en losas

CARGAS MUERTAS		CARGAS VIVAS		NSE-2 AGIES 2018, sección 3,7
Peso específico del concreto	2 400 kg/m <sup>3</sup>	CV. aulas.	200 kg/m <sup>2</sup>	
Peso propio de losa	288 kg/m <sup>2</sup>	CV. pasillos	500 kg/m <sup>2</sup>	
CM. Sobre carga	160 kg/m <sup>2</sup>	CV. azotea	200 kg/m <sup>2</sup>	
CM. Acabados	100 kg/m <sup>2</sup>			
CM. muros	170 kg/m <sup>2</sup>			

Fuente: elaboración propia.

- Carga última en losa para aulas

$$CV_{aulas} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$CM_{aulas} = 288 \text{ kg/m}^2 + 160 \text{ kg/m}^2 + 100 \text{ kg/m}^2 ; CM_{aulas} = 548 \text{ kg/m}^2$$

$$CU_{aulas} = 1,2 (548 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (200 \text{ kg/m}^2) ; CU_{aulas} = 977,60 \text{ kg/m}^2$$

- Carga última en losa para pasillos

$$CV_{pasillos} = 500 \text{ kg/m}^2$$

$$CM_{pasillos} = 288 \text{ kg/m}^2 + 160 \text{ kg/m}^2 + 100 \text{ kg/m}^2 ; CM_{pasillos} = 548 \text{ kg/m}^2$$

$$CU_{pasillos} = 1,2 (548 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (500 \text{ kg/m}^2) ; CU_{pasillos} = 1 457,60 \text{ kg/m}^2$$

- Carga última en losa para azotea

$$CV_{azotea} = 200 \text{ kg/m}^2$$

$$CM_{azotea} = 288 \text{ kg/m}^2 + 160 \text{ kg/m}^2 + 100 \text{ kg/m}^2 ; CM_{azotea} = 548 \text{ kg/m}^2$$

$$CU_{azotea} = 1,2 (548 \text{ kg/m}^2) + 1,6 (200 \text{ kg/m}^2) ; CU_{azotea} = 977,60 \text{ kg/m}^2$$

- Momentos actuantes

Están conformados por momentos positivos y momentos negativos, los cuales consideran franjas unitarias de un metro de ancho, de acuerdo al caso de continuidad de bordes de la losa que le corresponda.

- Momentos negativos:

Borde continuo	Borde discontinuo
$M_{a(-)} = C_{a(-)} * CU * a^2$	$M_{a(-)} = 1/3 * M_{a(+)}$
$M_{b(-)} = C_{b(-)} * CU * b^2$	$M_{b(-)} = 1/3 * M_{b(+)}$

- Momentos positivos:

$$M_{a(+)} = C_{Cma(+)} * CM_u * a^2 + C_{Cva(+)} * CV_u * a^2$$

$$M_{b(+)} = C_{Cmb(+)} * CM_u * b^2 + C_{Cvb(+)} * CV_u * b^2$$

Para ejemplificar los momentos se tomarán como referencia la losa No. 1, primer nivel.

Losa No. 1

$$M_{a(-)} = C_{a(-)} * CU * a^2$$

$$M_{a(-)} = 0,071 * 977,60 \text{ kg/m} * (3,53 \text{ m})^2; \quad M_{a(-)} = 864,91 \text{ kg} - m$$

$$M_{a(+)} = C_{Cma(+)} * CM_u * a^2 + C_{Cva(+)} * CV_u * a^2$$

$$M_{a(+)} = 0,039 * 657,60 \text{ kg/m} * (3,53 \text{ m})^2 + 0,048 * 320 \text{ kg/m} * (3,53 \text{ m})^2$$

$$M_{a(+)} = 510,98 \text{ kg} - m$$

$$M_{b(-)} = C_{b(-)} * CU * b^2$$

$$M_{b(-)} = 0,029 * 977,60 \text{ kg/m} * (4,60 \text{ m})^2; \quad M_{b(-)} = 599,89 \text{ kg} - m$$

$$M_{b(+)} = C_{cmb(+)} * CM_u * b^2 + C_{cvb(+)} * CV_u * b^2$$

$$M_{b(+)} = 0,016 * 657,60 \text{ kg/m} * (4,60 \text{ m})^2 + 0,020 * 320 \text{ kg/m} * (4,60 \text{ m})^2$$

$$M_{b(+)} = 358,06 \text{ kg} - m$$

Los lados de la losa no.1 que no poseen continuidad, los momentos actuantes serán los siguientes:

$$M_{a(-)} = 1/3 * M_{a(+)}$$

$$M_{a(-)} = 1/3 * 510,98 \text{ kg} - m; \quad M_{a(-)} = 170,33 \text{ kg} - m$$

$$M_{b(-)} = 1/3 * M_{b(+)}$$

$$M_{b(-)} = 1/3 * 358,06 \text{ kg} - m; \quad M_{b(-)} = 119,35 \text{ kg} - m$$

Tabla LXVII. **Momentos positivos y negativos, no balanceados en losa, nivel 2, módulo 1**

Losa	(a/b)	Caso	Momentos (-) CM+CV		Momentos (+) CM		Momentos (+) CV		Lado corto (a)		Lado largo (b)		Lado sin continuidad	
			Ca-	Cb-	Ca	Cb	Ca	Cb	Ma-	Ma+	Mb-	Mb+	Ma-	Mb-
			1	0,77	4	0,071	0,029	0,039	0,016	0,048	0,020	864,91	510,98	599,89
2	0,85	9	0,072	0,021	0,028	0,013	0,039	0,020	633,48	278,04	255,82	186,28	-	62,09
3	0,59	4	0,089	0,011	0,053	0,007	0,067	0,009	084,18	701,46	381,99	265,82	233,82	88,61
4	0,79	9	0,075	0,017	0,029	0,010	0,042	0,017	976,81	433,12	351,66	254,26	-	84,75
5	0,82	2	0,060	0,031	0,024	0,012	0,037	0,019	527,90	248,60	403,75	186,13	-	-
6	0,61	9	0,083	0,008	0,034	0,005	0,054	0,009	081,00	528,08	277,81	219,10	-	73,03
7	0,85	9	0,072	0,021	0,028	0,013	0,039	0,020	076,09	472,29	434,41	316,32	-	105,44
8	0,77	2	0,065	0,027	0,026	0,011	0,041	0,017	571,90	271,96	403,53	193,76	-	-

Continuación de la tabla LXVII.

9	0,66	9	0,081	0,011	0,033	0,006	0,050	0,011	1 210,60	576,37	381,99	265,19	-	88,40
10	0,73	4	0,076	0,024	0,043	0,013	0,052	0,016	848,81	513,15	496,46	289,23	171,05	96,41
11	0,89	9	0,068	0,025	0,026	0,015	0,036	0,022	598,29	257,56	279,21	193,12	-	64,37
12	0,57	4	0,089	0,011	0,053	0,007	0,067	0,009	994,00	643,11	381,99	265,82	214,37	88,61

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXVIII. **Momentos positivos y negativos, no balanceados en losa, nivel 1, módulo 1**

Losa	(a/b)	Caso	Coeficientes (-) CM+CV		Coeficientes (+) CM		Coeficientes (+) CV		Lado corto (a)		Lado largo (b)		Lado sin continuidad	
			Ca-	Cb-	Ca	Cb	Ca	Cb	Ma-	Ma+	Mb-	Mb+	Ma-	Mb-
			1	0,77	4	0,071	0,029	0,039	0,016	0,048	0,020	864,91	510,98	599,89
2	0,85	9	0,072	0,021	0,028	0,013	0,039	0,020	944,52	446,52	381,42	305,90	-	101,97
3	0,59	4	0,089	0,011	0,053	0,007	0,067	0,009	084,18	701,46	381,99	265,82	233,82	88,61
4	0,79	9	0,075	0,017	0,029	0,010	0,042	0,017	976,81	433,12	351,66	254,26	-	84,75
5	0,82	2	0,060	0,031	0,024	0,012	0,037	0,019	527,90	248,60	403,75	186,13	-	-
6	0,61	9	0,083	0,008	0,034	0,005	0,054	0,009	081,00	528,08	277,81	219,10	-	73,03
7	0,85	9	0,072	0,021	0,028	0,013	0,039	0,020	076,09	472,29	434,41	316,32	-	105,44
8	0,77	2	0,065	0,027	0,026	0,011	0,041	0,017	571,90	271,96	403,53	193,76	-	-
9	0,66	9	0,081	0,011	0,033	0,006	0,050	0,011	210,60	576,37	381,99	265,19	-	88,40
10	0,73	4	0,076	0,024	0,043	0,013	0,052	0,016	848,81	513,15	496,46	289,23	171,05	96,41
11	0,89	9	0,068	0,025	0,026	0,015	0,036	0,022	598,29	257,56	279,21	193,12	-	64,37
12	0,57	4	0,089	0,011	0,053	0,007	0,067	0,009	994,00	643,11	381,99	265,82	214,37	88,61

Fuente: elaboración propia.

- Balance de momentos

Se realiza cuando los paneles presentan continuidad en sus extremos y los valores de los momentos en común son diferentes.

Sí  $0,80 M_2 \leq M_1$

$$M_B = \frac{M_1 + M_2}{2}$$

Sí  $0,80M_2 > M_1$

$M_B =$  proporcional a su rigidez

$$M_{B-1} = M_1 + (M_2 - M_1) * D_1; \quad M_{B-2} = M_2 + (M_2 - M_1) * D_2$$

$$D_1 = D_2 = \frac{K_{1-2}}{K_1 + K_2}; \quad K_1 = K_2 = \frac{1}{L_{1-2}}$$

Tabla LXIX. **Balance de momentos en losas, eje X, nivel 2, módulo 1**

LOSAS	Momento mayor negativo (kg-m)	Momento menor negativo (kg-m)	80 % M2	Criterio para balanceo	Balance de momentos (kg-m)
	M2	M1			
1 a 2	864,91	633,48	691,92	Rigidez	724,84
2 a 3	1 084,18	633,48	867,34	Rigidez	933,28
4 a 5	976,81	527,90	781,44	Rigidez	705,10
5 a 6	1 081,00	527,90	864,80	Rigidez	895,81
7 a 8	1 076,09	571,90	860,87	Rigidez	770,92
8 a 9	1 210,60	571,90	968,48	Rigidez	996,75
10 a 11	848,81	598,29	679,04	Rigidez	697,18
11 a 12	994,00	598,29	795,20	Rigidez	861,51

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXX. **Balance de momentos en losas, eje Y, nivel 2, módulo 1**

LOSAS	Momento mayor negativo (kg-m)	Momento menor negativo (kg-m)	80 % M2	Criterio para balanceo	Balance de momentos (kg-m)
	M2	M1			
1 a 4	599,89	351,66	479,92	RIGIDEZ	477,85
2 a 5	403,75	255,82	323,00	RIGIDEZ	331,02
3 a 6	381,99	277,81	305,59	RIGIDEZ	330,77
4 a 7	434,41	351,66	347,53	PROMEDIO	393,03
5 a 8	403,75	403,53	323,00	PROMEDIO	403,64
6 a 9	381,99	277,81	305,59	RIGIDEZ	331,69
7 a 10	496,46	434,41	397,17	PROMEDIO	465,44
8 a 11	403,53	279,21	322,83	RIGIDEZ	336,85
9 a 12	381,99	381,99	305,59	PROMEDIO	381,99

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXI. **Balance de momentos en losas, eje X, nivel 1, módulo 1**

LOSAS	Momento mayor negativo (kg-m)	Momento menor negativo (kg-m)	80 % M2	Criterio para balanceo	Balance de momentos (kg-m)
	M2	M1			
1 a 2	944,52	864,91	755,62	Promedio	904,72
2 a 3	1 084,18	944,52	867,34	Promedio	1 014,35
4 a 5	976,81	787,10	781,44	Promedio	881,95
5 a 6	1 081,00	787,10	864,80	Rigidez	982,60
7 a 8	1 076,09	852,70	860,87	Rigidez	940,88
8 a 9	1 210,60	852,70	968,48	Rigidez	1 090,76
10 a 11	892,05	848,81	713,64	Promedio	870,43
11 a 12	1 482,05	892,05	1 185,64	Rigidez	1 284,50

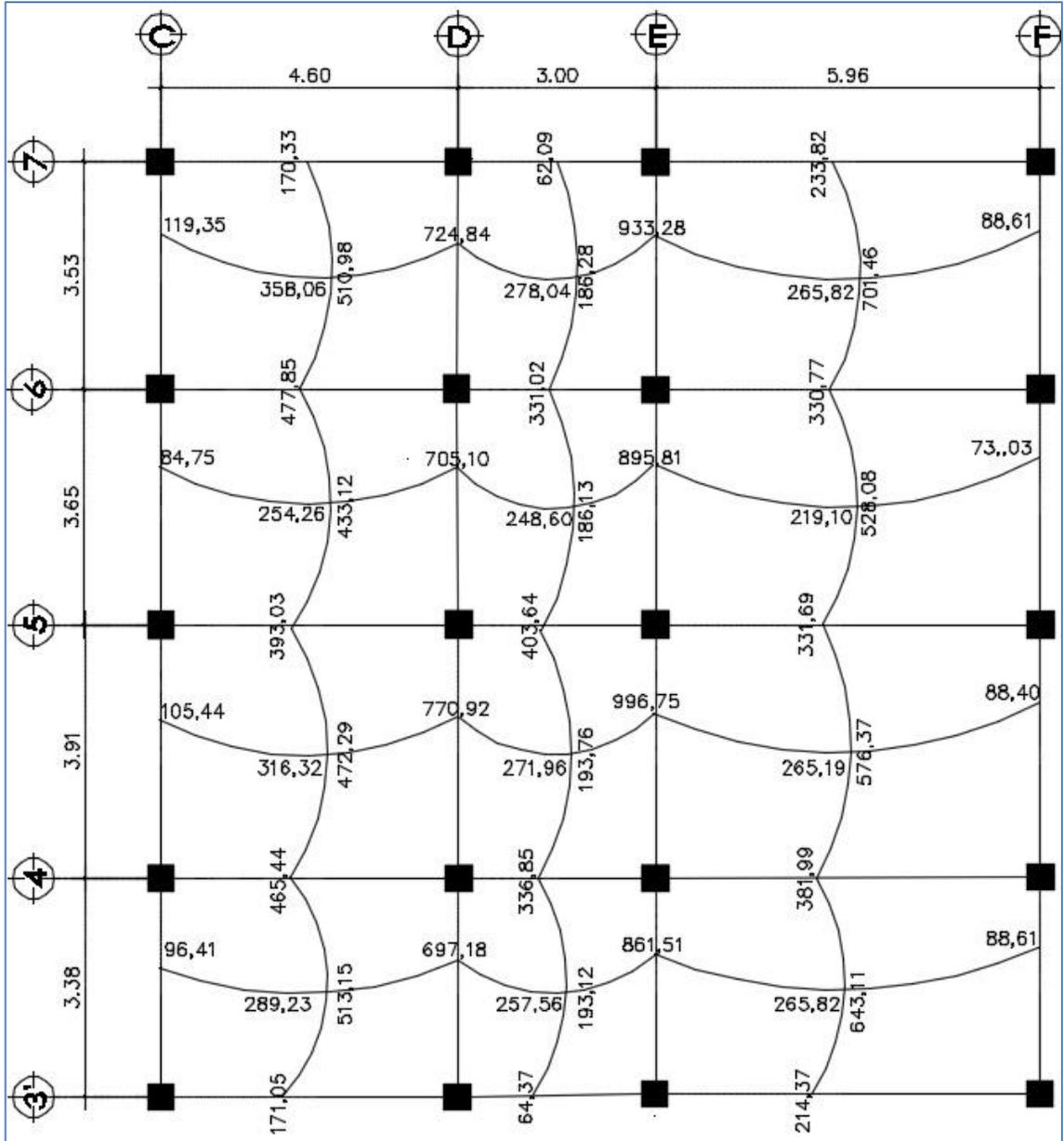
Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXII. Balance de momentos en losas, eje Y, nivel 1, módulo 1

LOSAS	Momento mayor negativo (kg-m)	Momento menor negativo (kg-m)	80 % M2	Criterio para balanceo	Balance de momentos (kg-m)
	M2	M1			
1 a 4	599,89	351,66	479,92	Rigidez	477,85
2 a 5	601,99	381,42	481,59	Rigidez	493,55
3 a 6	381,99	277,81	305,59	Rigidez	330,77
4 a 7	434,41	351,66	347,53	Promedio	393,03
5 a 8	601,99	601,67	481,59	Promedio	601,83
6 a 9	381,99	277,81	305,59	Rigidez	331,69
7 a 10	496,46	434,41	397,17	Promedio	465,44
8 a 11	601,67	416,31	481,33	Rigidez	502,25
9 a 12	569,54	381,99	455,63	Rigidez	468,94

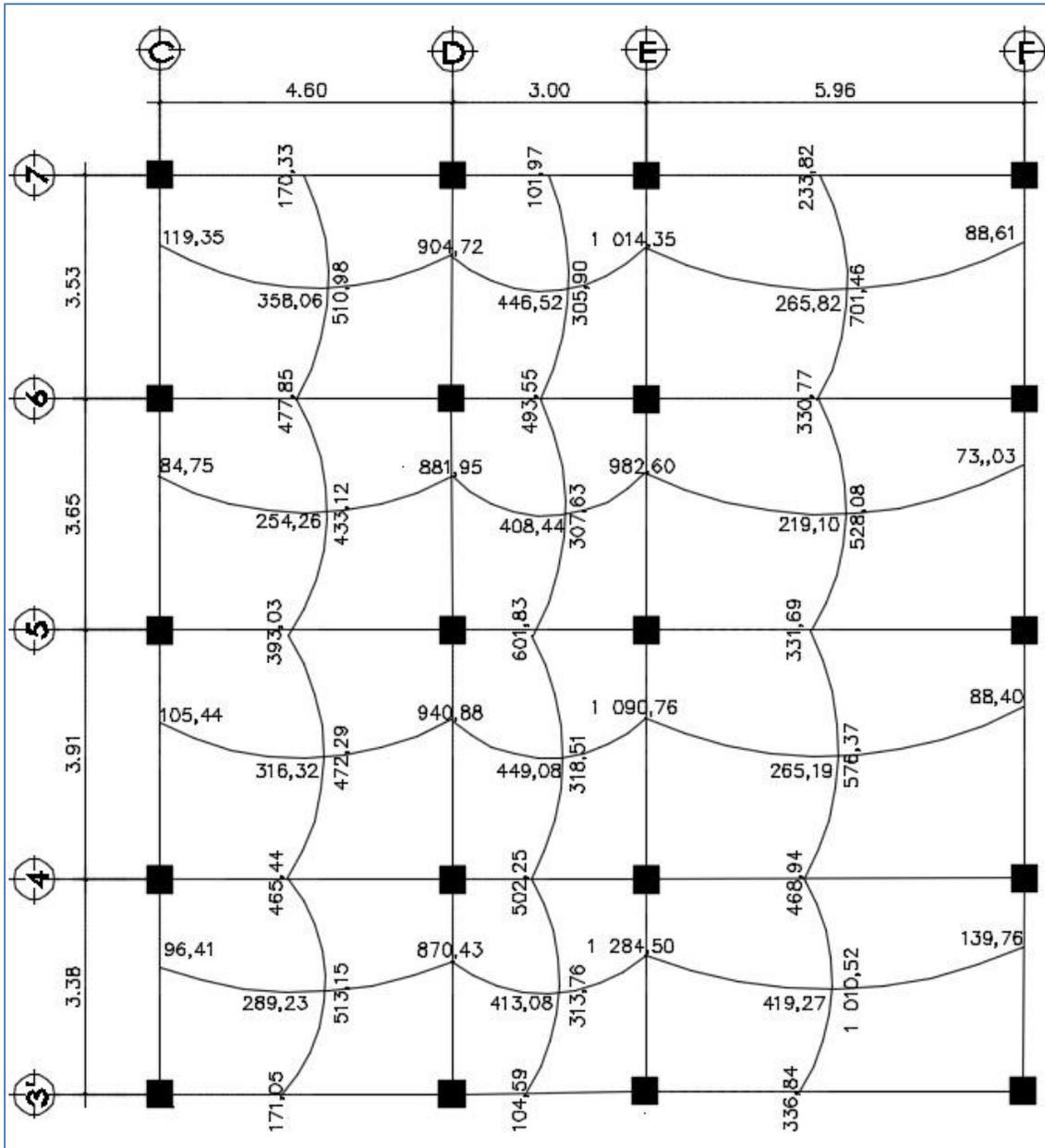
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. **Planta de distribución de momentos balanceados (kg-m)**  
para losas, nivel 2, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Figura 44. **Planta de distribución de momentos balanceados (kg-m)**  
para losas, nivel 1, módulo 1



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Diseño para acero de refuerzo
  - Peralte efectivo de la losa

Para el peralte efectivo de la losa se toma en consideración el recubrimiento mínimo de 1 pulgada establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 20 sección 20.6.1.3. Se propone utilizar varilla  $\emptyset$  No. 3

$$d = t_{losa} - \text{recubrimiento}$$

$$d = 12\text{cm} - 2,54\text{ cm}; \quad d = 9,46\text{cm}$$

- Área mínima de acero

Para el área mínima de acero se toma una franja unitaria de losa para las condiciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 9, sección 9.6.1.2. Se debe de utilizar el mayor valor de las siguientes ecuaciones.

$$AS_{min} = \frac{0,80 * \sqrt{f'c}}{fy} * b * d; \quad AS_{min} = \frac{14,1}{fy} * b * d$$

$$AS_{min} = \frac{0,80 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}}{4\ 200 \text{ kg/cm}^2} * 100 \text{ cm} * 9,46 \text{ cm} \quad ; \quad AS_{min} = 3,02 \text{ cm}^2$$

$$AS_{min} = \left( \frac{14,1}{4\ 200 \text{ kg/cm}^2} \right) * 100 \text{ cm} * 9,46 \text{ cm} \quad ; \quad AS_{min} = 3,18 \text{ cm}^2$$

De lo anterior se debe de utilizar un área de acero mínima de  $3,18\text{cm}^2$

- Momento soportado por  $A_{s_{min}}$

El cálculo del momento soportado por el  $A_{s_{min}}$  está dado de la siguiente manera:

$$M_{As_{min}} = 0,9 \left[ A_{s_{min}} * f_y * \left( d - \frac{A_{s_{min}} * f_y}{1,7 * f'c * b} \right) \right]$$

$$M_{As_{min}} = 0,9 \left[ 3,18 \text{ cm}^2 * 4 200 \text{ kg/cm}^2 * \left( 9,46 \text{ cm} - \frac{3,18 \text{ cm}^2 * 4 200 \text{ kg/cm}^2}{1,7 * 280 \text{ kg/cm}^2 * 100 \text{ cm}} \right) \right]$$

$$M_{As_{min}} = 128 383,25 \text{ kg} - \text{cm} \quad ; \quad 1 283,83 \text{ kg} - \text{m}$$

En dado caso, el momento soportado por  $A_{s_{min}}$ , no cubriera el mayor momento que actúa sobre la losa, se debe de calcular el área de acero requerida para soportar dicho momento mediante la siguiente ecuación.

$$A_{s_{req}} = \left[ (b * d_{losa}) - \sqrt{(b * d_{losa})^2 - \left( \frac{Mu * b}{0,003825 * f'c} \right)} \right] * \frac{0,85 * f'c}{f_y}$$

- Chequeo por corte

El chequeo por corte se realizará mediante las condiciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 9, sección 9.6.3.

$$V_{resistente} \geq V_{actuante}$$

$$V_{actuante} = \frac{W * L}{2} \quad ; \quad V_{resistente} = \Phi * 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d$$

$$V_{actuante} = \frac{1 457,60 \text{ kg/m} * 3,00 \text{ m}}{2} \quad ; \quad V_{actuante} = 2 186,40 \text{ kg}$$

$$V_{resistente} = \Phi * 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d_{losa}$$

$$V_{resistente} = 0,85 * 0,53 * \sqrt{280kg/cm^2} * 100 \text{ cm} * 9,46 \text{ cm} = 7\ 131,24 \text{ kg}$$

$$7\ 131,24 \geq 2\ 186,40 \text{ kg} \quad ; \quad \text{chequea}$$

- Espaciamiento para  $A_{s_{min}}$

El espaciamiento para las varillas que conformaran el armado se calculará de la siguiente manera:

$$S = \frac{A_{S_{varilla\ No.3}} * b}{A_{S_{min}}}$$

$$S_{losa} < 2 * t$$

$$S = \frac{0,713 \text{ cm}^2 * 100 \text{ cm}}{3,18 \text{ cm}^2} = 22,42 \text{ cm}$$

$$20 \text{ cm} < 24 \text{ cm} ; \text{ chequea}$$

Por motivos constructivos, se propone un espaciamiento de 20 cm.

Los resultados finales del diseño de losas, se presenta en los planos típicos de armado de losas, en la sección de anexos.

### 2.1.11.2. Diseño de vigas

Para las vigas que conforman la estructura, se realizara el diseño a flexión y corte, con la finalidad de garantizar que las mismas soporten los esfuerzos mayores a las cuales estarán sometidas. Para el diseño se tomará en

consideración los momentos últimos por envolvente calculados en la sección 2.1.9 y el predimensionamiento de vigas en la sección 2.1.6.1.2.

Se tomará como ejemplo de diseño la viga principal entre los ejes E-F, nivel 1, del marco 5. Y la sección transversal de la viga es de 50 cm x 30 cm

- Peralte efectivo de la viga

Para el peralte efectivo de la viga se toma en consideración el recubrimiento mínimo de 4 cm establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 20 sección 20.6.1.3 para elementos no expuestos a la intemperie ni en contacto con el suelo. Se propone utilizar varilla  $\emptyset$  No.5 para el refuerzo longitudinal y varilla  $\emptyset$  No.3 para el refuerzo transversal

$$d = h_v - \left( \text{recubrimiento} + \frac{\emptyset \text{ longitudinal}}{2} + \emptyset \text{ transversal} \right)$$

$$d = 50 \text{ cm} - \left( 4 \text{ cm} + \frac{1,59 \text{ cm}}{2} + 0,95 \text{ cm} \right); \quad d = 44,25 \text{ cm}$$

- Diseño por flexión
  - Área mínima de acero

El área mínima de acero se realiza según condiciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 9, sección 9.6.1.2.

$$A_{S_{min}} = \frac{0,80 * \sqrt{f'c}}{fy} * b * d; \quad A_{S_{min}} = \frac{14,1}{fy} * b * d$$

$$AS_{min} = \frac{0,80 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}}{4 * 200 \text{ kg/cm}^2} * 25 \text{ cm} * 44,25 \text{ cm} \quad ; \quad AS_{min} = 3,53 \text{ cm}^2$$

$$AS_{min} = \left( \frac{14,1}{4 * 200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right) * 25 \text{ cm} * 44,25 \text{ cm} \quad ; \quad AS_{min} = 3,71 \text{ cm}^2$$

- Área máxima de acero

En el área máxima de acero la acuantía de refuerzo ( $\rho$ ) no debe exceder 0,025 según condiciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 18, sección 18.6.3.1.

$$AS_{max} = \rho * b * d$$

$$\rho = 0,025$$

$$AS_{max} = 0,025 * 25 \text{ cm} * 44,25 \text{ cm} = 27,66 \text{ cm}^2$$

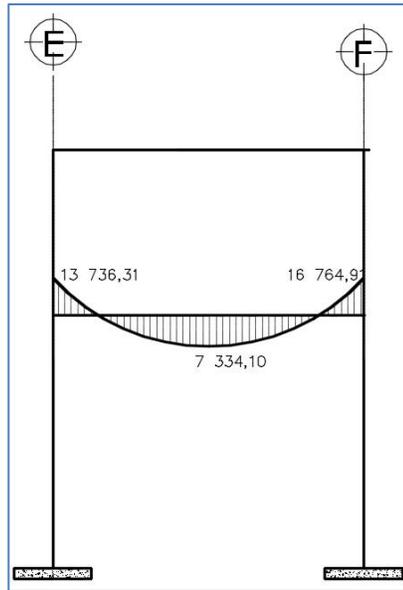
Por lo tanto, el área de acero para el diseño de la viga debe de estar en entre los siguientes límites  $3,71 \leq As \leq 27,66$

- Área de acero longitudinal

El área de acero longitudinal es la requerida para los momentos actuantes que presenta la viga de diseño, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$AS_{req} = \left[ (b * d_{viga}) - \sqrt{(b * d_{viga})^2 - \left( \frac{Mu * b}{0,003825 * f'c} \right)} \right] * \frac{0,85 * f'c}{fy}$$

Figura 45. **Diagrama de momentos últimos en viga del tramo E - F, nivel 1, marco 5, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Tabla LXXIII. **Áreas de acero requerida para momentos últimos en viga del tramo E-F, nivel 1, marco 5, módulo 1**

Momentos de viga	Mu (kg-m)	As-mínimo (cm <sup>2</sup> )	As-req (cm <sup>2</sup> )	As-máx (cm <sup>2</sup> )	As-utilizar (cm <sup>2</sup> )
Mu (-) Izquierdo	13 736,31	3,71	8,83	27,66	8,83
Mu (+) Centro	7 334,10	3,71	4,55	27,66	4,55
Mu (-) Derecho	16 764,91	3,71	10,99	27,66	10,99

Fuente: elaboración propia.

- Cama superior

El armado longitudinal para la cama superior de la viga, debe tener al menos 2 barras continuas en la cara superior y un cuarto del área de acero requerida para el momento negativo, según consideraciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 18, sección 18.6.3.2

2 barras continuas No. 5 ;

$$AS_{barras} = 5,70 \text{ cm}^2$$

1/4  $As - M_{mayor (-)}$ ;

$$AS_{momento} = 2,20 \text{ cm}^2$$

$$AS_{min} = 3,71 \text{ cm}^2$$

De las condiciones anteriores para el armado de la cama superior se propone utilizar 3 varillas corridas  $\emptyset$  No.6, más 2 bastones  $\emptyset$  No.4 equivalentes a 11,09  $\text{cm}^2$ .

- Cama inferior

El armado longitudinal para la cama inferior de la viga, debe detener al menos 2 barras continuas en la cara inferior y un medio del área de acero requerida para el momento negativo, según consideraciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 18, sección 18.6.3.2

2 barras continuas No. 5 ;

$$AS_{barras} = 5,70 \text{ cm}^2$$

1/2  $As - M_{mayor (-)}$ ;

$$AS_{momento} = 4,42 \text{ cm}^2$$

$$AS_{min} = 3,71 \text{ cm}^2$$

De las condiciones anteriores para el armado de la cama inferior se propone utilizar 2 varillas  $\emptyset$  No.6, más 1 bastón  $\emptyset$  No.4 equivalentes a  $6,97 \text{ cm}^2$ .

- Diseño a corte

El chequeo por corte se realiza con la finalidad de establecer el refuerzo transversal que la viga necesite mediante estribos.

$$V_{resistente} \geq V_{actuante}; \quad \text{Estribos solo por armado con } S_{max} = d/2$$

$$V_{resistente} < V_{actuante}; \quad \text{Estribos por confinamiento, } S \text{ y } L_o$$

$$V_{resistente} = \Phi * 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d_{viga}$$

$$V_{resistente} = 0,85 * 0,53 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2} * 25 \text{ cm} * 44,25 \text{ cm}$$

$$V_{resistente} = 8\,339,25 \text{ kg}$$

El cortante máximo que actúa sobre la viga es de  $V_{actuante} = 13\,726,39 \text{ kg}$ ; obtenido de los diagramas de cortantes últimos.

$$8\,339,25 \text{ kg} < 13\,726,39 \text{ kg}; \quad \text{Estribos por confinamiento}$$

- Espaciamiento de estribos por confinamiento

Para el espaciamiento de estribos en zona confinada se tomarán en cuenta las consideraciones establecidas en el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 18, sección 18.6.4.

- El primer estribo de confinamiento debe estar situado a no más de 5 cm de la cara de la columna de apoyo.
- El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menos de las siguientes condiciones.

$$S = \frac{d}{4} = \frac{44,25 \text{ cm}}{4}; \quad S = 11,06 \text{ cm}$$

$$S = 6 * \emptyset_{\text{varilla longitudinal}} = 6 * 1,91 \text{ cm}; \quad S = 11,46 \text{ cm}$$

$$S = 6 \text{ pulgadas} \quad S = 15,24 \text{ cm}$$

- Espaciamiento máximo de estribos

$$S = \frac{d}{2} = \frac{44,25 \text{ cm}}{2}; \quad S = 22,13 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se propone utilizar un espaciamiento de 10 cm, en zona de confinamiento para los estribos cerrados y un espaciamiento de 20 cm en zona no confinada, con varillas  $\emptyset$  No.3

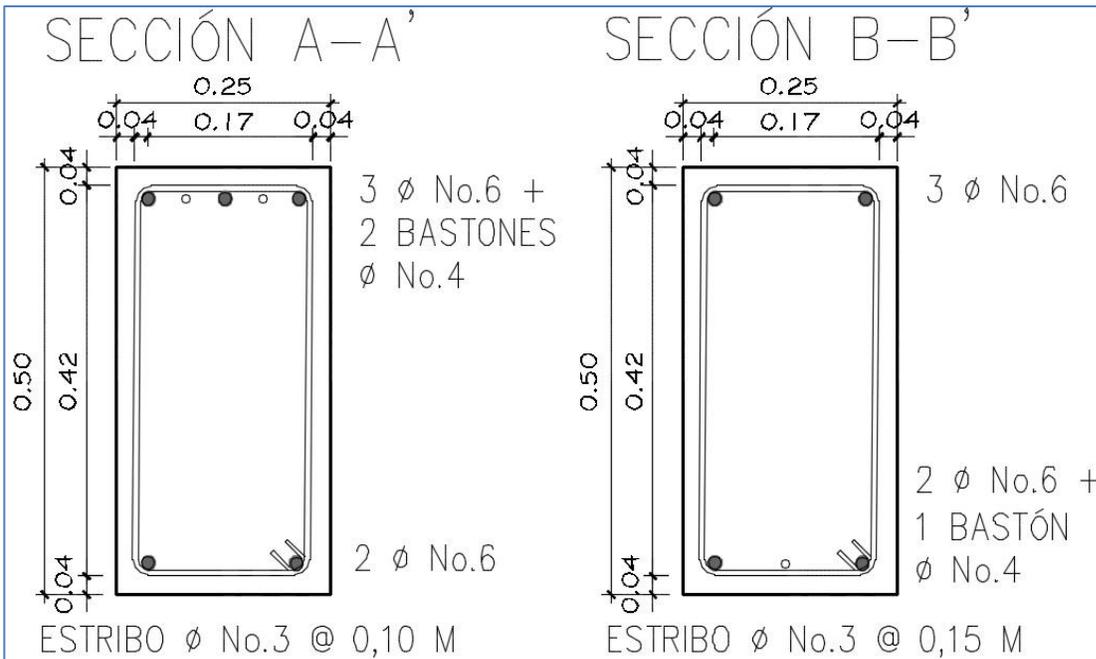
- Longitud de confinamiento:

Para la longitud de confinamiento el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 18, sección 18.6.4, establece una longitud igual a dos veces la altura de la viga, medida desde la cara de miembros de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos de la viga.

$$L_{\text{confinamiento}} = 2 * h_{\text{viga}} = 2 * 50 \text{ cm}; \quad L_{\text{confinamiento}} = 100 \text{ cm}$$

El armado final correspondiente para cada viga, se presenta en los planos típicos de armado de vigas, en la sección de anexos.

Figura 46. **Detalle de armado de viga principal, entre ejes E-F nivel 1, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

### 2.1.11.3. Diseño de columnas

El diseño de columnas estará basado en los momentos mayorados obtenidos del análisis estructural. Con la finalidad de garantizar que las columnas resistan las cargas axiales y los momentos flexionantes a los cuales estarán sometidas

Se tomará como ejemplo de diseño la columna principal ubicada en la intersección de ejes E-5.

Tabla LXXIV. **Datos preliminares para diseño de columna**

Datos de columna E-5	NIVEL 1	NIVEL 2
Área tributaria	16,93 m <sup>2</sup>	
Espesor de losa	0,12 m	
Sección de columna	0,40 x 0,40 m	
Altura de columna	4,40 m	2,70 m
Base viga (b)	0,25 m	
Altura viga (h)	0,50 m	
Longitud de la viga	8,26 m	
Momento máximo en X	8 385,06 kg-m	12 539,17 kg-m
Momento máximo en Y	4 573,64 kg-m	4 755,83 kg-m
Corte máximo	4 974,61 kg-m	7 557,67 kg-m

Fuente: elaboración propia.

- Carga última

Las cargas últimas o mayoradas están referidas de la Norma NSE-2 AGIES 2018, en su capítulo 8.3.

$$CU = 1,2CM + 1,6CV$$

$$CM = (\gamma_{concreto} * t_{losa}) + Sc$$

- Nivel 1

$$CM = (2\,400\text{ kg/m}^3 * 0,12\text{ m}) + 160\text{ kg/m}^2; \quad CM = 448\text{ kg/m}^2$$

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

$$CU_{N-1} = 1,2(448\text{ kg/m}^2) + 1,6(500\text{ kg/m}^2); \quad CU_{N-1} = 1\,337,60\text{ kg/m}^2$$

- Nivel 2

$$CM = (2\,400\text{ kg/m}^3 * 0,12\text{ m}) + 160\text{ kg/m}^2; \quad CM = 448\text{ kg/m}^2$$

$$CV = 200\text{ kg/m}^2$$

$$CU_{N-2} = 1,2(448\text{ kg/m}^2) + 1,6(200\text{ kg/m}^2); \quad CU_{N-2} = 857,60\text{ kg/m}^2$$

- Factor de carga última

$$F_{CU} = \frac{CU}{CM + CV}$$

$$F_{CU-N1} = \frac{1\,337,60\text{ kg/m}^2}{448\text{ kg/m}^2 + 500\text{ kg/m}^2}; \quad F_{CU-N1} = 1,41$$

$$F_{CU-N2} = \frac{857,60\text{ kg/m}^2}{448\text{ kg/m}^2 + 200\text{ kg/m}^2}; \quad F_{CU-N2} = 1,32$$

- Peso de columna y viga

$$P_{columna} = Base_{col.} * Altura_{col.} * Longitud_{col.} * \gamma_{concreto}$$

$$P_{viga} = Base_{viga} * Altura_{viga} * Longitud_{viga} * \gamma_{concreto}$$

- Nivel 1

$$P_{col-N1} = 0,40\text{ m} * 0,40\text{ m} * 4,90\text{ m} * 2\,400\text{ kg/m}^3; \quad P_{col-N1} = 1\,881,60\text{ kg}$$

$$P_{viga-N1} = 0,25\text{ m} * 0,50\text{ m} * 8,26\text{ m} * 2\,400\text{ kg/m}^3; \quad P_{viga-N1} = 2\,478,00\text{ kg}$$

- Nivel 2

$$P_{col-N1} = 0,40 \text{ m} * 0,40 \text{ m} * 3,20 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3; \quad P_{col-N2} = 1\,228,80 \text{ kg}$$

$$P_{viga-N2} = 0,25 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 8,26 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3; \quad P_{viga-N2} = 2\,478,00 \text{ kg}$$

- Carga axial última

$$Pu_{total} = Pu_{N1} + Pu_{N2}$$

$$P_U = (A_{tributaria} * CU) + (P_{viga} * F_{CU}) + (P_{columna} * F_{CU})$$

$$P_{U-N1} = (16,93 \text{ m}^2 * 1\,337,60 \text{ kg/m}^2) + (2\,478 \text{ kg} * 1,41) + (1\,881,60 \text{ kg} * 1,41)$$

$$P_{U-N1} = 28\,792,60 \text{ kg}$$

$$P_{U-N2} = (16,93 \text{ m}^2 * 857,60 \text{ kg/m}^2) + (2\,478 \text{ kg} * 1,32) + (1\,228,80 \text{ kg} * 1,32)$$

$$P_{U-N2} = 19\,412,14 \text{ kg}$$

$$Pu_{total} = 28\,792,60 \text{ kg} + 19\,412,14 \text{ kg}$$

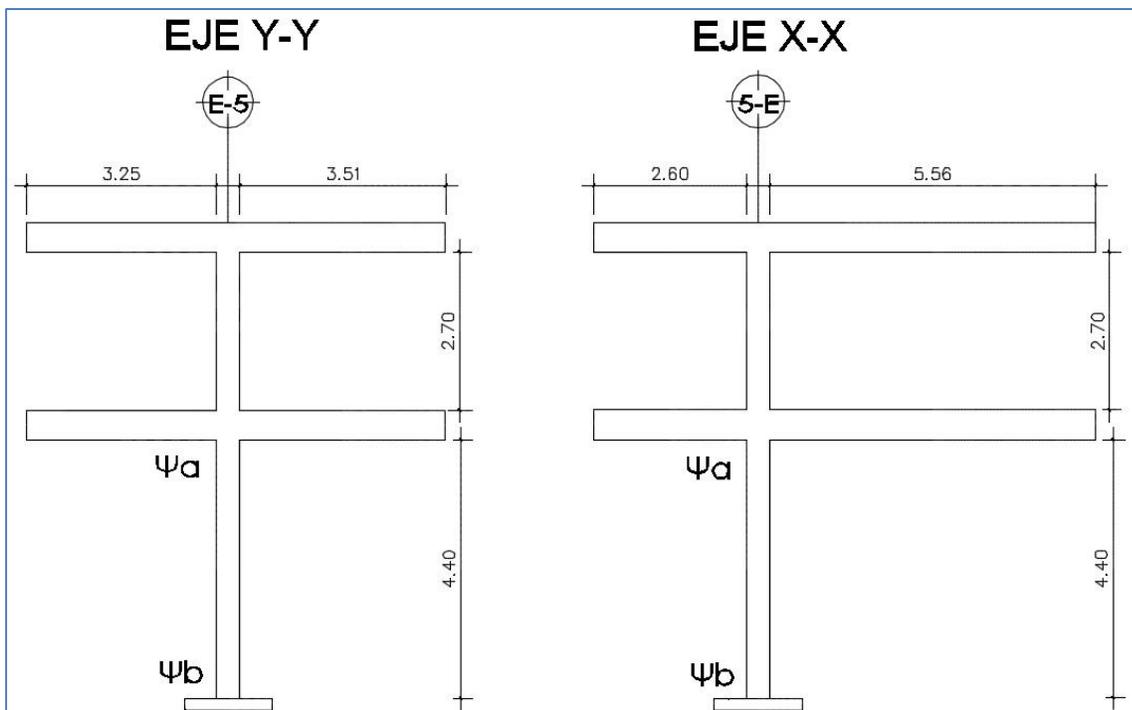
$$Pu_{total} = 48\,204,74 \text{ kg}$$

- Tipo de columna por esbeltez

Las columnas pueden clasificarse según su esbeltez en cortas, intermedias y largas, conforme la dimensión de su longitud y sección transversal. Para determinar el tipo de columna se debe calcular la rigidez en sentido X y en sentido Y, así como su grado de empotramiento, considerando los siguientes criterios.

- Columna corta →  $E < 22$
- Columna intermedia →  $22 < E < 100$
- Columna larga →  $E > 100$

Figura 47. Diagrama de eje X-X y Y-Y para el cálculo de esbeltez de la columna



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Rigidez

La rigidez se calcula mediante la siguiente fórmula establecida el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 6, sección 6.2.5

$$K = \frac{Inercia_{elemento}}{Longitud_{elemento}}$$

$$Inercia = \frac{1}{12} b * h^3$$

$$I_{viga} = \frac{1}{12} * (0,25 \text{ m}) * (0,50 \text{ m})^3; \quad I_{viga} = 0,002604 \text{ m}^4$$

$$I_{columna} = \frac{1}{12} * (0,40 \text{ m}) * (0,40 \text{ m})^3; \quad I_{columna} = 0,002133 \text{ m}^4$$

- Eje Y-Y

$$K_{viga\ 1\ eje\ Y} = \frac{0,002604 \text{ m}^4}{3,25 \text{ m}}; \quad K_{viga\ 1\ eje\ Y} = 0,000801 \text{ m}^3$$

$$K_{viga\ 2\ eje\ Y} = \frac{0,002604 \text{ m}^4}{3,51 \text{ m}}; \quad K_{viga\ 2\ eje\ Y} = 0,000742 \text{ m}^3$$

$$K_{col-N1} = \frac{0,002133 \text{ m}^4}{4,40 \text{ m}}; \quad K_{col-N1} = 0,000485 \text{ m}^3$$

$$K_{col-N2} = \frac{0,002133 \text{ m}^4}{2,70 \text{ m}}; \quad K_{col-N2} = 0,00079 \text{ m}^3$$

- Eje X-X

$$K_{viga\ 1\ eje\ Y} = \frac{0,002604 \text{ m}^4}{2,60 \text{ m}}; \quad K_{viga\ 1\ eje\ Y} = 0,00102 \text{ m}^3$$

$$K_{viga\ 2\ eje\ Y} = \frac{0,002604 \text{ m}^4}{5,56 \text{ m}}; \quad K_{viga\ 2\ eje\ Y} = 0,000475 \text{ m}^3$$

$$K_{col-N1} = \frac{0,002133 \text{ m}^4}{4,40 \text{ m}}; \quad K_{col-N1} = 0,000485 \text{ m}^3$$

$$K_{col-N2} = \frac{0,002133 \text{ m}^4}{2,70 \text{ m}}; \quad K_{col-N2} = 0,00079 \text{ m}^3$$

- Grado de empotramiento

El grado de empotramiento se calcula tanto en la parte superior como inferior de la columna, mediante la siguiente fórmula:

$$\Psi_{promedio} = \frac{(\Psi_a + \Psi_b)}{2}$$

$$\Psi = \frac{\sum K_{col.}}{\sum K_{viga}}; \quad \Psi = 0 \text{ (empotramiento en la base)}$$

- Eje Y-Y

$$\Psi_a = \frac{0,000485 \text{ m}^3 + 0,00079 \text{ m}^3}{0,000801 \text{ m}^3 + 0,000742 \text{ m}^3} = 0,83$$

$$\Psi_b = 0$$

$$\Psi_{prom} = \frac{(0,83 + 0)}{2} = 0,41$$

- Eje X-X

$$\Psi_a = \frac{0,000485 \text{ m}^3 + 0,00079 \text{ m}^3}{0,00102 \text{ m}^3 + 0,000475 \text{ m}^3} = 0,83$$

$$\Psi_b = 0$$

$$\Psi_{prom} = \frac{(0,83 + 0)}{2} = 0,43$$

- Factor de longitud efectiva de pandeo

El factor de longitud efectiva se determina según el grado de empotramiento promedio que posee cada eje, mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{20 - \Psi_{prom.}}{20} * \sqrt{1 + \Psi_{prom.}}; \quad \text{si } \Psi_{prom.} < 2$$

$$K = 0,90 * \sqrt{1 + \Psi_{prom.}}; \quad \text{si } \Psi_{prom.} > 2$$

$$\text{Eje Y-Y} \rightarrow \Psi_{prom} = 0,41 < 2$$

$$\text{Eje X-X} \rightarrow \Psi_{prom} = 0,43 < 2$$

$$K_{Y-Y} = \frac{20 - 0,41}{20} * \sqrt{1 + 0,41}; K_{Y-Y} = 1,16$$

$$K_{X-X} = \frac{20 - 0,43}{20} * \sqrt{1 + 0,43}; K_{X-X} = 1,70$$

- Esbeltez

La esbeltez de la columna se calcula mediante la fórmula establecida en el código ACI 318SUS-14, capítulo 6, sección 6.2.5

$$E = \frac{K * L_U}{\sigma}; \quad \sigma = 0,30 * b_{col}$$

$$E_{Y-Y} = \frac{1,16 * 4,40 \text{ m}}{0,30 * 0,40 \text{ m}}; \quad E_{Y-Y} = 42,53 \rightarrow 22 < E < 100; \text{Columna intermedia}$$

$$E_{X-X} = \frac{1,70 * 4,40 \text{ m}}{0,30 * 0,40 \text{ m}}; \quad E_{X-X} = 62,33 \rightarrow 22 < E < 100; \text{Columna intermedia}$$

Tanto en sentido X-X como en sentido Y-Y la columna se clasifica como intermedia, por ende, se debe diseñar con momentos magnificados.

- Magnificación de momentos

Para el diseño de la columna se empleará el método aproximado de magnificación de momentos para estructuras con desplazamiento lateral.

- Factor de flujo plástico

De acuerdo a lo establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 6, sección 6.6.4.4.4.

$$\beta_d = \frac{1,4 * (CM_{N-1})}{CU_{N-1}}; \quad 0 \leq \beta_d \leq 1$$

$$\beta_d = \frac{627,20 \text{ kg/m}^2}{1\ 337,60 \text{ kg/m}^2}; \quad \beta_d = 0,47 \rightarrow 0 \leq 0,47 \leq 1$$

- Rigidez efectiva a flexión

De acuerdo a lo establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 6, sección 6.6.4.4.4.

$$EI = \frac{0,4 * E_c * I_g}{1 + \beta_d}$$

$$E_c = 15\ 100 * \sqrt{f'_c}$$

$$E_c = 15\ 100 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}; \quad E_c = 252\ 671,33$$

$$I_g = \frac{b * h^3}{12}$$

$$I_g = \frac{40 \text{ cm} * (40 \text{ cm})^3}{12}; \quad I_g = 213 \ 333.33 \text{ cm}^4$$

$$EI = \frac{0,4 * 252 \ 671,33 * 213 \ 333.33 \text{ cm}^4}{1 + 0,47}; \quad EI = 1,47 * 10^{10} \text{ kg} - \text{cm}^2$$

- Carga crítica de pandeo de Euler

La carga crítica de pandeo se calcula de acuerdo a lo establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 6, sección 6.6.4.4.2.

$$P_c = \frac{\pi^2 * EI}{(K * lu)^2}$$

$$P_{cY} = \frac{\pi^2 * 1,47 * 10^{10} \text{ kg} - \text{cm}^2}{(1,16 * 440 \text{ cm})^2}; \quad P_{cY} = 556 \ 923,76 \text{ kg}$$

$$P_{cX} = \frac{\pi^2 * 1,47 * 10^{10} \text{ kg} - \text{cm}^2}{(1,70 * 440 \text{ cm})^2}; \quad P_{cX} = 259 \ 306,79 \text{ kg}$$

- Factor de magnificación de momentos

El factor de magnificación de momentos se calcula de acuerdo a lo establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 6, sección 6.6.4.5.2.

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{P_U}{\phi * P_c}} \geq 1; \quad \phi = 0,75$$

$$\delta_Y = \frac{1}{1 - \frac{48\,204,74 \text{ kg}}{0,75 * 556\,923,76 \text{ kg}}}; \quad \delta_Y = 1,13 \geq 1$$

$$\delta_X = \frac{1}{1 - \frac{48\,204,74 \text{ kg}}{0,75 * 259\,306,79 \text{ kg}}}; \quad \delta_X = 1,33 \geq 1$$

- Magnificación de momentos

Los momentos de diseño magnificados se calculan de acuerdo a lo establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 6, sección 6.6.4.5.1, utilizando los momentos últimos que actúan sobre la columna.

$$M_c = \delta * M$$

$$M_{cY} = 1,34 * 4\,755,83 \text{ kg} - m; \quad M_{cY} = 6\,372,81 \text{ kg} - m$$

$$M_{cX} = 1,28 * 12\,539,17 \text{ kg} - m; \quad M_{cX} = 16\,050,14 \text{ kg} - m$$

- Refuerzo longitudinal

- Áreas de acero

Las áreas de acero requeridas se consideran según criterios del código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.7.4.

$$1 \% * A_g \leq A_s \leq 6 \% * A_g$$

- Área de acero mínima

$$A_{s_{min}} = 0,01 * (40\text{cm} * 40\text{cm}) ; \quad A_{s_{min}} = 16 \text{ cm}^2$$

- Área de acero máxima

$$A_{s_{max}} = 0,06 * (40cm * 40cm) ; A_{s_{max}} = 96 cm^2$$

Se propone utilizar 8 varillas  $\emptyset$  No.5, para obtener un total de 15,84 cm<sup>2</sup> de área de acero, por ende, 1,25 del área gruesa de la columna.

Para la verificación del área de acero propuesta en el diseño del refuerzo longitudinal de la columna, se empleará el método Bresler, basado en la carga recíproca y en la gráfica de iteración para diseño de columnas.

- Método de Bresler

- Excentricidades de columnas

$$e_{x-y} = \frac{Md_{x-y}}{Pu}$$

$$e_x = \frac{16\ 050,14\ kg - m}{48\ 204,74\ kg}; \quad e_x = 0,33\ m$$

$$e_y = \frac{6\ 372,81\ kg - m}{48\ 204,74\ kg}; \quad e_y = 0,13\ m$$

- Valor de la gráfica

$$\gamma_{x-y} = \frac{b_{col} - 2 * d}{h_{col}} ; d = \text{recubrimiento}$$

$$\gamma_{x-y} = \frac{0,40\ m - (2 * 0,40\ m)}{0,40\ m} ; \gamma_x = 0,8$$

- Valor de la curva

$$\rho_t = \frac{A_s * f_y}{0,85 * A_g * f'c}$$

$$\rho_t = \frac{15,84 \text{ cm}^2 * 4 200 \text{ kg/cm}^2}{0,85 * 1 600 \text{ cm}^2 * 280 \text{ kg/cm}^2}; \quad \rho_t = 0,17$$

- Valores de las diagonales

$$\frac{e_x}{h_x} = \frac{0,33 \text{ m}}{0,40 \text{ m}} = 0,825 \text{ m}$$

$$\frac{e_y}{h_y} = \frac{0,13 \text{ m}}{0,40 \text{ m}} = 0,325 \text{ m}$$

Coeficientes de los diagramas de iteración

Los coeficientes  $K_x$ ,  $K_y$  del diagrama de interacción se obtuvieron mediante la aplicación de los valores antes calculados.

$$k'_x = 0,15; \quad k'_y = 0,39$$

- Carga resistente de la columna con excentricidad

$$P'_{x-y} = k'_{x-y} * f'c * A_g$$

$$P'_x = 0,15 * 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1 600 \text{ cm}^2; \quad P'_x = 67 200,00 \text{ kg}$$

$$P'_y = 0,39 * 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1 600 \text{ cm}^2; \quad P'_y = 174 720,00 \text{ kg}$$

- Carga resistente de la columna sin excentricidad

$$P'_{o} = 0,7 * [(0,85 * f'_{c} * (A_{g} - A_{s})) + (A_{s} * f_{y})]$$

$$P'_{o} = 0,7 * [(0,85 * 280 \text{ kg/cm}^2 * (1\,600 \text{ cm}^2 - 15,84 \text{ cm}^2)) + (15,84 \text{ cm}^2 * 4\,200 \text{ kg/cm}^2)];$$

$$P'_{o} = 310,490,66 \text{ kg}$$

- Carga última de la columna

$$Pu' = \frac{1}{\frac{1}{P'_x} + \frac{1}{P'_y} - \frac{1}{P'_o}}$$

$$Pu' = \frac{1}{\frac{1}{167\,200,00 \text{ kg}} + \frac{1}{174\,720,00 \text{ kg}} - \frac{1}{310,490,66 \text{ kg}}}; \quad Pu' = 117\,874,55 \text{ kg}$$

- Carga de falla

$$Pu = \frac{Pu}{0,70}$$

$$Pu = \frac{48\,204,74 \text{ kg}}{0,70}; \quad Pu = 68\,863,91 \text{ kg}$$

Se debe de corroborar que la carga última que resiste  $Pu'$  sea mayor a la carga actuante  $Pu$  sobre la columna.

$$Pu' > Pu; \text{ por lo tanto;}$$

$$117\,874,55 \text{ kg} > 68\,863,91 \text{ kg} ; \text{ chequea}$$

De lo anterior se puede comprobar que el área de acero propuesta es la adecuada para el acero longitudinal.

- Refuerzo transversal

Se calcula mediante lo establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 10, sección 10.6.2

$$V_{resistente} \geq V_{actuante}; \quad \text{Estribos solo por armado}$$

$$V_{resistente} < V_{actuante}; \quad \text{Estribos por confinamiento}$$

$$V_{resistente} = \Phi * 0,53 * \sqrt{f'c} * b * d_{viga}$$

$$V_r = 0,85 * 0,53 * \sqrt{280 \frac{kg}{cm}} * 40 \text{ cm} * 36 \text{ cm}; \quad V_r = 10\,855,16 \text{ kg}$$

El cortante máximo que actúa sobre la columna es de  $V_a = 7\,557,67 \text{ kg}$ ; obtenido de los diagramas de cortantes últimos.

$$10\,855,16 \text{ kg} \geq 7\,557,67 \text{ kg}; \quad \text{Estribos solo pro armado}$$

- Separación de refuerzo transversal zona no confinada

La separación máxima entre los estribos estará dada por establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 10, sección 10.7.6.5.2.

$$S_{max} = \frac{d}{2} = \frac{36 \text{ cm}}{2}; \quad S_{max} = 18 \text{ cm}$$

- Separación de refuerzo transversal en zona de confinamiento

La separación de los estribos en zona confinada estará dada por establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.7.5.4

$$A_{sh} = 0,30 * \left( \frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) * \left( \frac{S * b_{col} * f'c}{f_y} \right)$$

$$A_{sh} = 0,30 * \left( \frac{1\ 600\ cm^2}{1\ 024\ cm^2} - 1 \right) * \left( \frac{S * 30,41\ cm * 280\ kg/cm^2}{4\ 200\ kg/cm^2} \right)$$

$$A_{sh} = 0,3421 * S$$

$$A_{sh} = 0,09 * \left( \frac{S * 30,41\ cm * 280\ kg/cm^2}{4\ 200\ kg/cm^2} \right); \quad A_{sh} = 0,1825 * S$$

Se propone utilizar varillas  $\emptyset$  No.3 con un área equivalente de  $0,71\ cm^2$ , para los estribos del refuerzo transversal, rotados 45 grados entre sí mismos.

$$A_{sh} = 2 * A_{varilla} ; \quad A_{sh} = 2 * 0,71\ cm^2 ; \quad A_{sh} = 1,42\ cm^2$$

Por lo tanto:

$$A_{sh} = 0,3421 * S; \quad 1,42\ cm^2 = 0,3421 * S; \quad S = 4,15\ cm$$

$$A_{sh} = 0,1825 * S; \quad 1,42\ cm^2 = 0,1825 * S; \quad S = 7,78\ cm$$

Se propone utilizar un espaciamiento de 10 cm, en zona de confinamiento para los estribos cerrados y un espaciamiento de 15 cm en zona no confinada, con varillas  $\emptyset$  No.3.

- Longitud de confinamiento

La longitud de confinamiento de los estribos estará dada por establecido en el código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.7.5.

$$L_o = \frac{L_U}{6} = \frac{490 \text{ m}}{6} = 81,66 \text{ m}$$

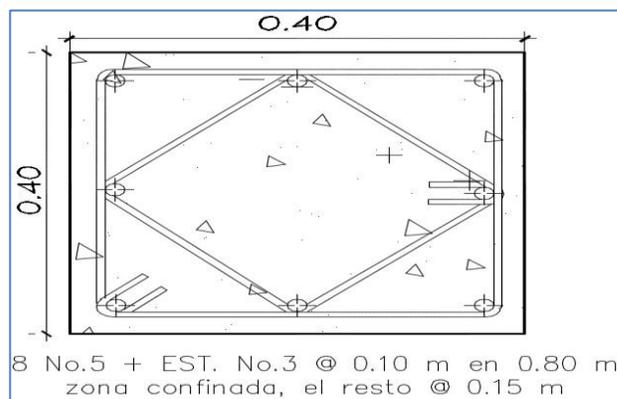
$$L_o = h_{col} = 40 \text{ cm}$$

$$L_o = 45 \text{ cm}$$

El mayor de los anteriores es de 81,66 cm, por motivos constructivos se propone una longitud de 80 cm para la zona de confinamiento.

El armado final correspondiente para la columna, se presenta en los planos típicos de armado de columnas, en la sección de anexos.

Figura 48. **Detalle de armado de columna principal, entre ejes E-5, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

#### 2.1.11.4. Diseño de cimentación

La cimentación está conformada de zapatas aisladas concéntricas y excéntricas, con la finalidad de transmitir al suelo los esfuerzos de las cargas concentradas que recibe de la estructura. El diseño está referido en el libro de Ingeniería de Cimentaciones del autor Braja M. Das, capítulo 3.

- Zapata concéntrica aislada

Tabla LXXV. **Datos preliminares para diseño de zapata concéntrica**

Datos de zapata concéntrica	NIVEL 1
Sección de la columna	0,40 x 0,40 m
Ancho de zapata	2,00 m
Longitud de zapata	2,00 m
Área de zapata	4,00 m <sup>2</sup>
Peralte de zapata	0,40 m
Desplante de cimentación	1,70 m
Carga axial	48 204,74 kg
Factor de carga última	1,41
Momento último en eje X	8 385,06 kg-m
Momento ultimo eje Y	4 573,64 kg-m

Fuente: elaboración propia.

- Cargas y momentos de trabajo

$$P'_T = \frac{P_U}{F_{CU}}; \quad M_T = \frac{M_U}{F_{CU}}$$

$$P'_T = \frac{48\,204,74\text{ kg}}{1,41}; \quad P'_T = 34\,187,76\text{ kg}$$

$$M_{Tx} = \frac{8\,385,06 \text{ kg} - m}{1,41}; \quad M_{Tx} = 5\,946,85 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ty} = \frac{4\,573,64 \text{ kg} - m}{1,41}; \quad M_{Ty} = 3\,243,71 \text{ kg} - m$$

- Carga sobre zapata

$$P_U = P'_T + W_{columna} + W_{suelo} + W_{zapata}$$

$$W_{columna} = Base_{col.} * Altura_{col.} * Longitud_{col.} * \gamma_{concreto}$$

$$W_{columna} = 0,40 \text{ m} * 0,40 \text{ m} * 8,10 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3; \quad W_{columna} = 3\,110,40 \text{ kg}$$

$$W_{suelo} = Df_{cimentacion} * \text{Área}_{zapata} * \gamma_{suelo}$$

$$W_{suelo} = 1,70 \text{ m} * 4,00 \text{ m}^2 * 1560 \text{ kg/m}^3; \quad W_{suelo} = 10\,608 \text{ kg}$$

$$W_{zapata} = t_{zapata} * \text{Área}_{zapata} * \gamma_{concreto}$$

$$W_{zapata} = 0,40 \text{ m} * 4,00 \text{ m}^2 * 2\,400 \text{ kg/m}^3; \quad W_{zapata} = 3\,840 \text{ kg}$$

$$P_U = 34\,187,76 \text{ kg} + 3\,110,40 \text{ kg} + 10\,608 \text{ kg} + 3\,840 \text{ kg}; \quad P_U = 51\,746,16 \text{ kg}$$

- Comprobación  $e < k$

$$k = \frac{1}{6} * b_{zapata}; \quad e_{x-y} = \frac{MT_{x-y}}{P_U}; \quad \text{condicion } e < k$$

$$k = \frac{2,00 \text{ m}}{6}; \quad k = 0,33 \text{ m}$$

$$e_x = \frac{5\,946,85 \text{ kg} - m}{51\,746,16 \text{ kg}}; \quad e_x = ; \quad e_x = 0,11 < 0,33 \text{ m cumple}$$

$$e_y = \frac{3\,243,71 \text{ kg} - m}{51\,746,16 \text{ kg}}; \quad e_y = ; \quad e_y = 0,06 < 0,33 \text{ m cumple}$$

- Cargas admisibles ( $q_{max}$  y  $q_{min}$ )

$$q_{min.} > 0 \quad q_{max.} \leq V_s$$

$$q_{min.} = \frac{P_U}{A_{zapata}} - \frac{M_{TX}}{S_X} - \frac{M_{TY}}{S_Y}; \quad q_{max.} = \frac{P_U}{A_{zapata}} + \frac{M_{TX}}{S_x} + \frac{M_{TY}}{S_y}$$

$$S_X = \frac{1}{6} * b^3_{zapata}$$

$$S_{x-y} = \frac{1}{6} * (2,00 \text{ m})^3 = 1,33 \text{ m}^3$$

$$q_{min.} = \frac{51\,746,16 \text{ kg}}{4,00 \text{ m}^2} - \frac{5\,946,85 \text{ kg} - m}{1,33 \text{ m}^3} - \frac{3\,243,71 \text{ kg} - m}{1,33 \text{ m}^3}$$

$$q_{min.} = 6\,026,34 \text{ k} \frac{\text{g}}{\text{m}^2};$$

$$6\,026,34 \text{ kg/m}^2 > 0 \text{ cumple}$$

$$q_{max.} = \frac{51\,746,16 \text{ kg}}{4,00 \text{ m}^2} + \frac{5\,946,85 \text{ kg} - m}{1,33 \text{ m}^3} + \frac{3\,243,71 \text{ kg} - m}{1,33 \text{ m}^3}$$

$$q_{max.} = 19\,846,74 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2};$$

$$19\,846,74 \text{ kg/m}^2 \leq 21\,430,00 \text{ kg/m}^2 \text{ cumple}$$

Tanto  $q_{max}$  como  $q_{min}$ , cumplen con los parámetros establecidos, por ello, las dimensiones propuestas para la zapata son las adecuadas.

- Presión de diseño

$$q_{diseño} = q_{max.} * F_{CU}$$

$$q_{diseño} = 19\,846,74 * 1,41 = 27\,983,90 \text{ kg/m}^2$$

- Chequeo por corte simple

La falla de las zapatas por esfuerzos cortantes ocurre de forma diagonal con un ángulo a 45°, esto a partir del borde de la columna, es decir a una distancia igual a “d” (peralte efectivo) de la zapata.

- Peralte efectivo

Para el peralte efectivo de la zapata se toma un recubrimiento de 7,5 cm establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 20 sección 20.6.1.3.

$$d_z = t - \frac{\phi_{varilla}}{2} - \text{Recubrimiento}$$

$$d_z = 40 \text{ cm} - \frac{1,59 \text{ cm}}{2} - 7,50 \text{ cm}; \quad d_z = 31,71 \text{ cm}$$

- Área donde actúa el corte simple en la zapata

$$A_{cs} = b_z * \left( \frac{b_z - b_{col}}{2} - d_z \right)$$

$$A_{cs} = 2,0 \text{ m} * \left( \frac{2,0 \text{ m} - 0,40 \text{ m}}{2} - 0,32 \right); \quad A_{cs} = 0,96 \text{ m}^2$$

- Corte actuante

$$V_{act} = q_{diseño} * A_{corte}$$

$$V_{act} = 27\,983,90 \text{ kg/m}^2 * 0,96 \text{ m}^2; \quad V_{act} = 26\,864,54 \text{ kg}$$

- Corte resistente

$$V_r = 0,85 * 0,53 * \sqrt{f'c} * b_z * d_z$$

$$V_r = 0,85 * 0,53 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2} * 200 \text{ cm} * 32,0 \text{ cm}; \quad V_r = 48 \ 245,16 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$V_{resistente} > V_{actuante}$$

$$48 \ 245,16 \text{ kg} > 26 \ 864,54 \text{ kg}; \quad \text{El espesor resiste el corte simple}$$

- Chequeo por punzonamiento

El corte por punzonamiento ocurre una distancia de  $d/2$  del perímetro de la columna. Se debe chequear que el cortante resistente sea mayor al cortante actuante.

- Área donde actúa el corte por punzonamiento en la zapata

$$A_{cp} = A_z - (d_z + b_{col} + d_z)^2$$

$$A_{cp} = 4,00 \text{ m}^2 - (0,32 \text{ m} + 0,40 \text{ m} + 0,32 \text{ m})^2; \quad A_{cp} = 2,92 \text{ m}^2$$

- Corte actuante

$$V_{act} = q_{diseño} * A_{cp}$$

$$V_{act} = 27 \ 983,90 \text{ kg/m}^2 * 2,92 \text{ m}^2; \quad V_{act} = 81 \ 712,99 \text{ kg}$$

- Corte resistente

Para el cortante resistente por punzonamiento se debe tomar en consideración la siguiente ecuación y los factores establecidos por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 22 sección 22.6.5.

$$V_r = 0,53 * \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) * \lambda * \sqrt{f'c} * b_o * d_z; \quad \lambda = 0,85; \quad \beta = 1,00$$

$$b_o = 4 * (d_z + b_{col})$$

$$b_o = 4 * (32,0 \text{ cm} + 40 \text{ cm}) = 288,00 \text{ cm}$$

$$V_r = 0,53 * \left(1 + \frac{2}{1,00}\right) * 0,85 * \sqrt{280 \text{ kg/m}^2} * 288 \text{ cm} * 32 \text{ cm}$$

$$V_r = 208 \ 419,11 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$V_{resistente} > V_{actuante}$$

$$208 \ 419,11 \text{ kg} > 81 \ 712,99 \text{ kg};$$

*El espesor resiste el corte punzonante*

- Diseño por refuerzo

En el diseño por refuerzo, se tomarán en consideración los momentos flectores últimos producidos por los esfuerzos transmitidos al suelo.

- Momento flector último

$$Mf_u = \frac{q_{diseño} * L^2}{2}; \quad L = \frac{b_z - b_{col}}{2}$$

$$L = \frac{2,00 \text{ m} - 0,40 \text{ m}}{2}; \quad L = 0,80 \text{ m}$$

$$Mf_u = \frac{27\,983,90 \text{ kg/m}^2 * (0,80 \text{ m})^2}{2}; \quad Mf_u = 8\,954,85 \text{ kg}$$

- Área de acero mínima ( $A_{s_{min}}$ )

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b_z * d_z$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{4\,200 \text{ kg/cm}^2} * 200 \text{ cm} * 32 \text{ cm}; \quad A_{s_{min}} = 21,33 \text{ cm}^2$$

- Área de acero requerida para el momento flector

$$A_{s_{Mf}} = \left[ (b_z * d_z) - \sqrt{(b_z * d_z)^2 - \left( \frac{Mf_u * b_z}{0,003825 * f'c} \right)} \right] * \frac{0,85 * f'c}{f_y}$$

$$A_{s_{Mf}} = \left[ (200 \text{ cm} * 32 \text{ cm}) - \sqrt{(200 \text{ cm} * 32 \text{ cm})^2 - \left( \frac{8\,954,85 \text{ kg} * 200 \text{ cm}}{0,003825 * 280 \text{ kg/cm}^2} \right)} \right] * \frac{0,85 * 280 \text{ kg/cm}^2}{4\,200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{s_{Mf}} = 7,48 \text{ cm}^2$$

El área de acero mínima es mayor que el área de acero requerida, por lo tanto, se utilizará un área de  $21,33 \text{ cm}^2$  para el armado del refuerzo de la zapata.

- Espaciamiento del acero

Espaciamiento del refuerzo en cama inferior:

$$S = \frac{A_{s_{varilla}} * b_z}{A_{s_{req}}}$$

$$S = \frac{1,98 \text{ cm}^2 * 200 \text{ cm}}{21,33 \text{ cm}^2}; \quad S = 18,57 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Para la cama inferior se colocarán varillas  $\emptyset$  No.5, con un espaciamiento de 20 cm, en ambos sentidos.

✓ Área de acero por temperatura:

Para el área de acero por temperatura, se toma en consideración lo establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 24 sección 24.4.

$$A_{s_{temp}} = 0,0018 * b_z * d_z$$

$$A_{s_{temp}} = 0,0018 * 200 \text{ cm} * 32 \text{ cm}; \quad A_{s_{temp}} = 11,52 \text{ cm}^2$$

✓ Espaciamiento del refuerzo en cama superior:

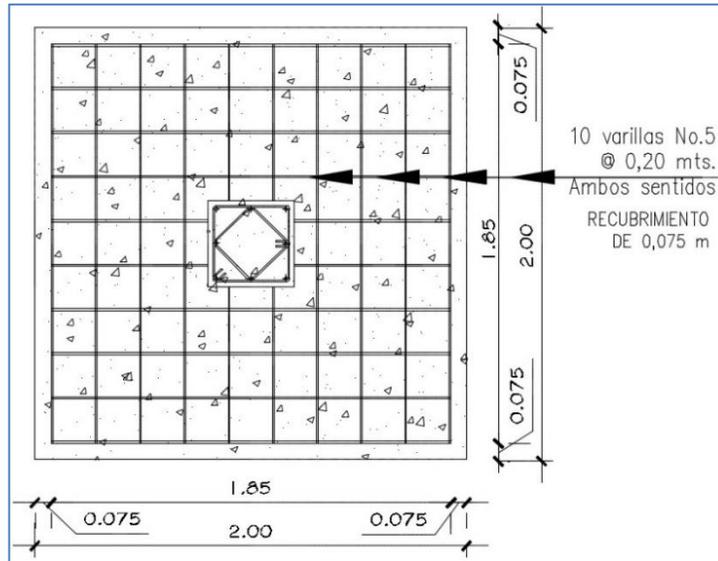
El refuerzo para la cama superior se calcula con el área de acero por temperatura, tomando en consideración lo establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 25 sección 25.2.

$$S = \frac{A_{s_{varilla}} * b_z}{A_{s_{temp}}}$$

$$S = \frac{1,98 \text{ cm}^2 * 200 \text{ cm}}{11,52 \text{ cm}^2}; \quad S = 34,38 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Para la cama superior se colocarán varillas  $\emptyset$  No.5, con un espaciamiento de 35 cm, en ambos sentidos.

Figura 49. **Detalle de armado de zapata Z-1 concéntrica, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Zapata excéntrica aislada

Tabla LXXVI. **Datos preliminares para diseño de zapata aislada**

Datos de zapata concéntrica	NIVEL 1
Sección de la columna	0,40 x 0,40 m
Ancho de zapata	2,00 m
Longitud de zapata	2,00 m
Área de zapata	4,00 m <sup>2</sup>
Peralte de zapata	0,40 m
Desplante de cimentación	1,70 m
Carga axial	48 204,74 kg
Factor de carga última	1,41
Momento último en eje X	8 385,06 kg-m
Momento ultimo eje Y	4 573,64 kg-m

Fuente: elaboración propia.

- Cargas y momentos de trabajo

$$P'_T = \frac{P_U}{F_{CU}}; \quad M_T = \frac{M_U}{F_{CU}}$$

$$P'_T = \frac{48\,204,74 \text{ kg}}{1,41}; \quad P'_T = 34\,187,76 \text{ kg}$$

$$M_{Tx} = \frac{8\,385,06 \text{ kg} - m}{1,41}; \quad M_{Tx} = 5\,946,85 \text{ kg} - m$$

$$M_{Ty} = \frac{4\,573,64 \text{ kg} - m}{1,41}; \quad M_{Ty} = 3\,243,71 \text{ kg} - m$$

- Carga sobre zapata

$$P_U = P'_T + W_{columna} + W_{suelo} + W_{zapata}$$

$$W_{columna} = 0,40 \text{ m} * 0,40 \text{ m} * 8,10 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3; \quad W_{columna} = 3\,110,40 \text{ kg}$$

$$W_{suelo} = 1,70 \text{ m} * 4,00 \text{ m}^2 * 1560 \text{ kg/m}^3; \quad W_{suelo} = 10\,608 \text{ kg}$$

$$W_{zapata} = 0,40 \text{ m} * 4,00 \text{ m}^2 * 2\,400 \text{ kg/m}^3; \quad W_{zapata} = 3\,840 \text{ kg}$$

$$P_U = 34\,187,76 \text{ kg} + 3\,110,40 \text{ kg} + 10\,608 \text{ kg} + 3\,840 \text{ kg}; \quad P_U = 51\,746,16 \text{ kg}$$

- Momento último de trabajo

$$M_U = -M_{Tx} + (P'_T * L_x) + (W_{columna} * L_x); \quad L_x = \frac{b_z - b_{col}}{2}$$

$$L_x = \frac{2,0 \text{ m} - 0,40 \text{ m}}{2}; \quad L_x = 0,80 \text{ m}$$

$$M_U = -5\,946,85 \text{ kg} - m + (34\,187,76 \text{ kg} * 0,80 \text{ m}) + (3\,110,40 \text{ kg} * 0,80 \text{ m})$$

$$M_U = 23\,891,68 \text{ kg} - m$$

- Excentricidades

$$e = \frac{M_U}{P_U}; \quad e = \frac{23\,891,68 \text{ kg} \cdot \text{m}}{51\,746,16 \text{ kg}}; \quad e = 0,46$$

$$a = \frac{L_z}{2} - e; \quad a = \frac{2,00 \text{ m}}{2} - 0,46; \quad a = 0,54$$

$$3a < L_z$$

$$3 * 0,54 \text{ m} < 2,00 \text{ m}$$

$$1,62 \text{ m} < 1,80 \text{ m}; \text{ cumple}$$

$$e < \frac{B_z}{6}$$

$$0,46 < \frac{2,00 \text{ m}}{6}$$

$$0,46 \text{ m} > 0,33 \text{ m}; \text{ no cumple}$$

Debido a que el parámetro anterior no cumplió, con lo establecido, la presión máxima se calcula con la siguiente ecuación modificada.

- Presión máxima

$$q_{max} = \frac{4 * P_U}{3 * L_z * (B_z - 2e)}; \quad q_{max} \leq V_s$$

$$q_{max.} = \frac{4 * 51\,746,16 \text{ kg}}{3 * 2,00 \text{ m} * (2,00 \text{ m} - (2 * 0,46))}; \quad q_{max} = 20\,942,07 \text{ kg/m}^2$$

$$20\,942,07 \text{ kg/m}^2 \leq 21\,430,00 \text{ kg/m}^2 \text{ cumple}$$

- Presión de diseño

$$q_{diseño} = q_{max.} * F_{CU}$$

$$q_{diseño} = 20\ 942,07\ kg/m^2 * 1,41 = 29\ 528,32\ kg/m^2$$

- Presión de suelo-cimiento

$$q_{(C+S)} = F_{CU} * (Df_{cimentacion} * \gamma_{suelo} + t_z * \gamma_{concreto})$$

$$q_{(C+S)} = 1,41 * (1,70\ m * 1\ 560\ kg/m^3 + 0,40\ m * 2\ 400\ kg/m^3);$$

$$q_{(C+S)} = 5\ 092,92\ kg/m^2$$

- Carga de sección

$$W_{x/x} = \frac{q_{diseño}}{3a}$$

$$W_{x/x} = \frac{29\ 528,32\ kg/m^2}{1,62\ m} = 18\ 227,36\ kg/m$$

- Chequeo por corte simple

- Peralte efectivo

Para el peralte efectivo de la zapata se toma un recubrimiento de 7,5 cm establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 20 sección 20.6.1.3.

$$d_z = t - \frac{\phi_{varilla}}{2} - \text{Recubrimiento}$$

$$d_z = 40\ cm - \frac{1,59\ cm}{2} - 7,50\ cm; \quad d_z = 31,71\ cm$$

- Sección crítica

$$X = 3a - (b_{col} + d_{efectivo})$$

$$X = 1,62 \text{ m} - (0,40\text{m} + 0,32 \text{ m}) = 0,90 \text{ m}$$

- Corte actuante

Distancia de corte X':

$$X = \frac{q_{(C+S)}}{\frac{W_{X/X}}{2}}$$

$$X = \frac{5\,092,92 \text{ kg/m}^2}{\left(\frac{18\,227,36 \text{ kg/m}}{2}\right)}; \quad X = 0,56 \text{ m}$$

Corte máximo en X':

$$W_{max.X'} = \left| q_{(C+S)} * (L_z - 3a) + q_{(C+S)}X' - \frac{W_{X/X}}{2} X'^2 \right|$$

$$W_{max.X'} = \left| 5\,092,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * (2,00 \text{ m} - 1,62 \text{ m}) + \left( 5\,092,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,56 \text{ m} \right) - \frac{18\,227,36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{2} (0,56 \text{ m})^2 \right|$$

$$W_{max.X'} = 1\,929,29 \text{ kg}$$

$$W_{max.X} = \left| q_{(C+S)} * (L_z - 3a) + 5\,092,92 \text{ kg/m}^2 * X - \frac{W_{X/X}}{2} X^2 \right|$$

$$W_{max.X} = \left| 5\,092,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * (2,00 \text{ m} - 1,62 \text{ m}) + \left( 5\,092,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 0,90 \text{ m} \right) - \frac{18\,227,36 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}{2} * (0,90 \text{ m})^2 \right|$$

$$W_{max.X'} = 863,14 \text{ kg}$$

- Corte resistente

$$V_r = 0,85 * 0,53 * \sqrt{f'c} * b_z * d_z$$

$$V_r = 0,85 * 0,53 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2} * 200 \text{ cm} * 32,0 \text{ cm}; \quad V_r = 48\,245,16 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$V_{resistente} > V_{actuante}$$

$$48\,245,16 \text{ kg} > 1\,929,29 \text{ kg}; \quad \text{El espesor resiste el corte simple}$$

- Chequeo por punzonamiento

- Sección crítica

$$X = 3a - \frac{(b_{col} + d_{efectivo})}{2}$$

$$X = 1,62 \text{ m} - \left(0,40\text{m} + \frac{0,32\text{m}}{2}\right) = 1,06 \text{ m}$$

- Carga de sección crítica

$$W_X = W_{X/X} * X$$

$$W_X = 18\,227,36 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 1,06 \text{ m} = 19\,321,00 \text{ kg}$$

- Corte actuante

$$V_{act.} = P_U + q_{(C+S)} * \left[(b_{col} + d_z) * \left(b_{col} + \frac{d_z}{2}\right)\right] - (q_{dis} + W_X) * \left[(b_{col} + d_z) * \left(b_{col} + \frac{d_z}{2}\right)\right]$$

$$V_{act} = 48\,204,74 \text{ kg} + 5\,092,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * \left[(0,40 \text{ m} + 0,32 \text{ m}) * \left(0,40 \text{ m} + \frac{0,32 \text{ m}}{2}\right)\right] \\ - \left(29\,528,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 19\,321,00 \text{ kg}\right) * \left[(0,40 \text{ m} + 0,32 \text{ m}) * \left(0,40 + \frac{0,32 \text{ m}}{2}\right)\right]$$

$$V_{act} = 30\,562,16 \text{ kg}$$

- Corte resistente

Para el cortante resistente por punzonamiento se debe tomar en consideración la siguiente ecuación y los factores establecidos por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 22 sección 22.6.5.

$$V_r = 0,53 * \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) * \lambda * \sqrt{f'c} * b_o * d_z; \quad \lambda = 0,85; \quad \beta = 1,00$$

$$b_o = \left[2 * \left(b_{col} + \frac{d_z}{2}\right)\right] + (d_z + b_{col})$$

$$b_o = \left[2 * \left(40 \text{ cm} + \frac{32 \text{ cm}}{2}\right)\right] + (32 \text{ cm} + 40 \text{ cm}); \quad b_o = 184,00 \text{ cm}$$

$$V_r = 0,53 * \left(1 + \frac{2}{1,00}\right) * 0,85 * \sqrt{280 \text{ kg/m}^2} * 184 * 32 \text{ cm}$$

$$V_r = 133 \ 156,65 \text{ kg}$$

Por lo tanto:

$$V_{resistente} > V_{actuante}$$

$$133 \ 156,65 \text{ kg} > 30 \ 562,16 \text{ kg kg} ;$$

*El espesor resiste el corte punzonante*

- Diseño por refuerzo

- Distancia a rostro de columna

$$X = 3a - b_{col}$$

$$X = 1,62 \text{ m} - 0,40 \text{ m} = 1,22 \text{ m}$$

- Distancia de corte X':

$$V(0) = q_{(C+S)} * (L_z - 3a) + q_{(C+S)}X - \frac{W_{X/X}}{2}X^2$$

$$V(0) = 5\,092,92 \text{ kg/m}^2 * (2,00 \text{ m} - 1,62 \text{ m}) + 5\,092,92 \text{ kg/m}^2 X - \frac{19\,321,00 \text{ kg}}{2} X^2$$

$$V(0) = 1935,31 + 5\,092,92 X - 9\,660,5 X^2$$

Resolviendo ecuación se tiene:

$$X_1 = -0,26 \text{ m} \quad X_2 = 0,78 \text{ m}$$

Se utilizará el mayor, X'=0,78 m

- Carga en punto crítico X:

$$W_X = W_{X/X} * X$$

$$W_X = 18\,227,36 \text{ kg/m} * 1,22 \text{ m} = 22\,237,38 \text{ kg}$$

- Carga en punto crítico X':

$$W_{X'} = W_{X/X} * X'$$

$$W_{X'} = 18\,227,36 \text{ kg/m} * 0,78 \text{ m} = 14\,217,34 \text{ kg}$$

- Momento actuante Mx:

$$M_{UX} = q_{(C+S)} * (X + (L_z - 3a))^2 - \left( W_i * \frac{X_i^2}{6} \right)$$

$$M_{UX} = 5\,092,92 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * (1,22 \text{ m} + (2,00 \text{ m} - 1,62 \text{ m}))^2 - \left( 22\,237,38 \text{ kg} * \frac{(1,22 \text{ m})^2}{6} \right)$$

$$M_{UX} = 7\,521,52 \text{ kg/m}$$

- Momento actuante  $Mx'$ :

$$M_{UX'} = q_{(C+S)} * (X + (L_z - 3a))^2 - \left( W_i * \frac{X_i^2}{6} \right)$$

$$M_{UX'} = 5\,092,92 \text{ kg/m}^2 * (0,78 \text{ m} + (2,00 \text{ m} - 1,62 \text{ m}))^2 - \left( 14\,217,34 \text{ kg} * \frac{(0,78\text{m})^2}{6} \right)$$

$$M_{UX'} = 5\,411,39 \text{ kg/m}$$

- Área de acero mínima ( $A_{s_{min}}$ )

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b_z * d_z$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{4\,200 \text{ kg/cm}^2} * 200 \text{ cm} * 32 \text{ cm}; \quad A_{s_{min}} = 21,33 \text{ cm}^2$$

- Área de acero requerida para el momento flector

$$A_{SMU} = \left[ (b_z * d_z) - \sqrt{(b_z * d_z)^2 - \left( \frac{Mu * b_z}{0,003825 * f'c} \right)} \right] * \frac{0,85 * f'c}{f_y}$$

$$A_{SMU} = \left[ (200 \text{ cm} * 32 \text{ cm}) - \sqrt{(200 \text{ cm} * 32 \text{ cm})^2 - \left( \frac{7\,521,52 \text{ kg/m} * 200 \text{ cm}}{0,003825 * 280 \text{ kg/cm}^2} \right)} \right] * \frac{0,85 * 280 \text{ kg/cm}^2}{4\,200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$A_{SMf} = 6,27 \text{ cm}^2$$

El  $A_{SMU}$  es menor que el área de acero mínima calculada, por lo tanto, se utilizará un área de  $21,33 \text{ cm}^2$ .

- Espaciamiento del acero

- ✓ Espaciamiento del refuerzo en cama inferior:

$$S = \frac{A_{s_{varilla}} * b_z}{A_{s_{req}}}$$
$$S = \frac{1,98 \text{ cm}^2 * 200 \text{ cm}}{21,33 \text{ cm}^2}; \quad S = 18,57 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

Para la cama inferior en sentido se colocarán varillas  $\emptyset$  No.5, con un espaciamiento de 20 cm.

- ✓ Área de acero por temperatura:

Para el área de acero por temperatura, se toma en consideración lo establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 24 sección 24.4

$$A_{s_{temp}} = 0,0018 * b_z * d_z$$
$$A_{s_{temp}} = 0,0018 * 200 \text{ cm} * 32 \text{ cm}; \quad A_{s_{temp}} = 11,52 \text{ cm}^2$$

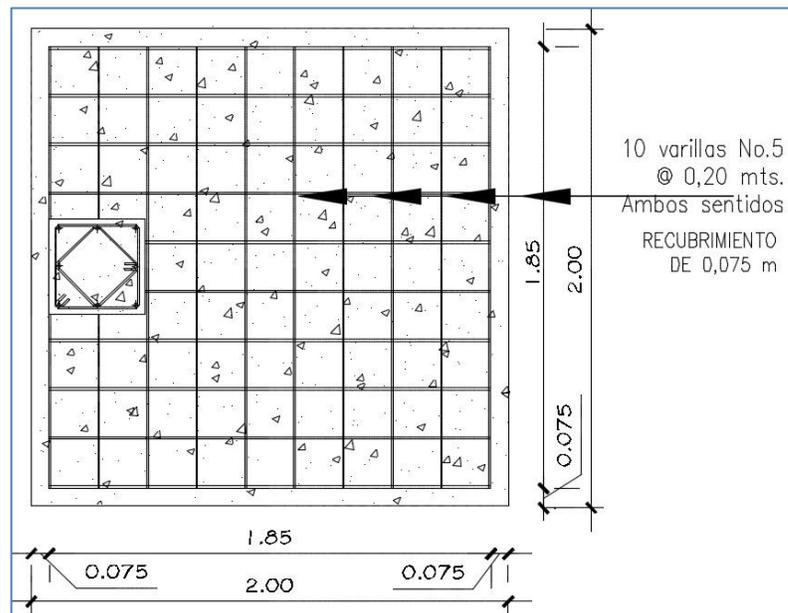
- ✓ Espaciamiento del refuerzo en cama superior:

El refuerzo para la cama superior se calcula con el área de acero por temperatura, tomando en consideración lo establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 25 sección 25.2.

$$S = \frac{A_{s_{varilla}} * b_z}{A_{s_{temp}}}$$
$$S = \frac{1,98 \text{ cm}^2 * 200 \text{ cm}}{11,52 \text{ cm}^2}; \quad S = 34,38 \text{ cm} \approx 35 \text{ cm}$$

Para la cama superior se colocarán varillas  $\emptyset$  No.5, con un espaciamiento de 35 cm, en ambos sentidos.

Figura 50. **Detalle de armado de zapata Z-1 concéntrica, módulo 1**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- **Cimiento corrido**

El cimiento corrido, está diseñado para soportar las cargas del peso propio de los muros de tabique, siendo estas divisorias entre ambientes de la edificación.

Las Normas de Seguridad Estructural para Guatemala NSE-2 AGIES 2010, en su capítulo 5.3, establece las siguientes especificaciones para la cimentación de muros.

Tabla LXXVII. **Especificaciones para cimentación de muros**

Tipo de amenaza	Sección mínima	Refuerzo mínimo	
		Longitudinal	Transversal
Viviendas de block o ladrillo de 1 nivel con techo liviano	20 cm x 35 cm	2 No.3	Esl.No.3 @ 0,20
Viviendas de block o ladrillo de 1 nivel con techo de losa	25 cm x 40 cm	3 No.3	Esl.No.3 @ 0,20
Vivienda de muros de concreto liviano fundidos en el lugar de 1 nivel con techo de losa	30 cm x 50 cm	3 No.3	Esl.No.3 @ 0,20
Viviendas de block o ladrillo de 2 niveles	30 cm x 50 cm	3 No.4	Esl.No.3 @ 0,15
Viviendas con paredes fundidas en el lugar de 2 niveles	30 cm x 50 cm	3 No.4	Esl.No.3 @ 0,15

Fuente: elaboración propia.

De lo anterior, se establece un cimiento corrido con una sección de 0,40 de ancho y un peralte de 0,20 m, con refuerzo de 3 varillas longitudinales  $\emptyset$  No.3, + eslabones  $\emptyset$  No.3, @ 15 cm, se tomará un recubrimiento de 7,5 cm establecido por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 20 sección 20.6.1.3 para elementos construidos contra el suelo y en contacto con él.

#### **2.1.11.5. Diseño de nudo sísmico**

El diseño de nudo sísmico se basa principalmente en detallar las conexiones monolíticas viga-columna de edificaciones de concreto reforzado refiriéndose a la porción de la columna localizada dentro de la altura de la viga, que llega a la columna.

El diseño se basó en lo establecido por el código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.8 y ACI-352 RS-2002 para nudos viga-columna de pórticos especiales resistentes a momento.

- Criterio columna fuerte viga-débil

Según código ACI 252-RS-2002, la conexión debe poder resistir todas las fuerzas que puedan ser transferidas por los miembros adyacentes, en las secciones críticas.

De acuerdo con el código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.7.3, este criterio se basa a partir de los momentos nominales a flexión de las columnas y de los momentos resistentes nominales a flexión de las vigas que llegan al nudo. Y así garantizar que los momentos de la columna contrarresten los momentos de la viga, evitando fallas dentro de los nudos y por ende el colapso de la estructura, mediante la siguiente condición.

$$\sum M_{nc} \geq (6/5) \sum M_{nb}$$

Se tomará como ejemplo de diseño el nudo ubicado en la intersección de ejes E-5.

Tabla LXXVIII. **Datos preliminares para diseño de nudo**

<b>Datos preliminares</b>	
Sección de columna	0,40 x 0,40 m
Longitud de columna	2,70 m
Fuerza axial columna superior	19,53 Ton
Fuerza axial columna inferior	29,11 Ton
Sección de viga	0,50 x 0,25 m
Área de acero positivo	6,97 cm <sup>2</sup>
Área de acero negativo	11,09 cm <sup>2</sup>

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, para los valores para los momentos resistentes nominales a flexión de vigas.

$$M_{nb} = f_y * AS * \left( d_{viga} - \frac{a}{2} \right)$$

$$a_{1-2} = \frac{f_y * As}{0,85 * f_c * b_{viga}}$$

$$a_1 = \frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2 * 6,97 \text{ cm}^2}{0,85 * 280 \text{ kg/cm}^2 * 25 \text{ cm}}; \quad a_1 = 4,92 \text{ cm}$$

$$M_{nb-1} = 4\,200 \text{ kg/cm}^2 * 6,97 \text{ cm}^2 \left( 44,25 \text{ cm} - \frac{4,92 \text{ cm}}{2} \right);$$

$$M_{nb} = 13,49 \text{ ton} - m$$

$$a_2 = \frac{4\,200 \text{ kg/cm}^2 * 11,09 \text{ cm}^2}{0,85 * 280 \text{ kg/cm}^2 * 25 \text{ cm}}; \quad a_2 = 7,83 \text{ cm}$$

$$M_{nb-1} = 4\,200 \text{ kg/cm}^2 * 11,09 \text{ cm}^2 \left( 44,25 \text{ cm} - \frac{7,83 \text{ cm}}{2} \right);$$

$$M_{nb} = 20,71 \text{ ton} - m$$

$$\sum M_{nb} = 13,49 \text{ ton} - m + 20,71 \text{ ton} - m;$$

$$\sum M_{nb} = 34,20 \text{ ton} - m$$

Para los valores de los momentos nominales a flexión de las columnas se utiliza el diagrama de interacción, tomando en consideración las cargas axiales relacionadas al nudo.

$$\sum M_{nc} = 77 \text{ ton} - m$$

Por lo tanto, realizando la relación se obtiene lo siguiente:

$$\frac{\sum M_{nc}}{\sum M_{nb}} \geq (6/5)$$

$$\frac{77 \text{ ton} - m}{34,20 \text{ ton} - m} \geq (6/5)$$

$$2,25 \geq 1,20 \quad \text{Cumple la condicion}$$

- Refuerzo longitudinal

El refuerzo longitudinal de una viga que termina en una columna, debe prolongarse hasta la cara del núcleo confinado de la columna y anclarse a la misma, esto mediante una longitud de desarrollo.

- Longitud de desarrollo

La longitud de desarrollo se considera según criterios establecidos en el código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.8.2.2. Este valor debe ser al menos igual al mayor de:

$$l_{dh} = \frac{f_y * d_b}{65 * \lambda * \sqrt{f_c}}; \quad \lambda = 1;$$

$$l_{dh} = \frac{4 \text{ 200 kg/cm}^2 * 1,91 \text{ cm}}{65 * 1 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}}; \quad l_{dh} = 7,38 \text{ cm}$$

$$l_{dh} = 8 * \phi_{varilla} = 8 * 1,91 \text{ cm}; \quad l_{dh} = 15,28$$

$$l_{dh} = 6 \text{ pulgadas}; \quad l_{dh} = 15 \text{ cm}$$

Por lo tanto, se propone utilizar una longitud de desarrollo de 15 cm

- Refuerzo transversal y confinamiento

Según requerimiento del código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.8.3.2, cuando existan vigas que lleguen a los cuatro lados del nudo y el ancho de cada viga mida por los menos  $\frac{3}{4}$  partes del ancho de la columna que se intersecta, se considera adecuado el confinamiento, y el espaciamiento especificado en la sección 18.7.5.3 puede incrementarse a 15 cm dentro de la altura de la viga.

$$b_{viga} \geq \frac{3}{4} h_{columna}$$

$$25 \text{ cm} \geq 3/4 (40 \text{ cm})$$

$$25 \text{ cm} \geq 24,75 \text{ cm} \quad \text{Cumple la condicion}$$

- Resistencia a cortante

La resistencia a cortante se considera según lo requerido por el del código ACI 252-RS-2002 en su capítulo 4, sección 4.3, el cual establece la siguiente condición:

$$V_u \leq \phi V_u; \quad \phi = 0,85$$

- Esfuerzo cortante último

Este esfuerzo se considera según los requisitos del código ACI 252-RS-2002 en su capítulo 4, sección 4.3, mediante la siguiente fórmula:

$$V_u = (A_s * f_y) - \frac{M_u}{h_{piso}}$$

El momento último se tomó de la envolvente de momentos de la viga E-F, correspondiente a la tabla LXI ( $M_u = 13\,736,31 \text{ kg-m}$ ).

$$V_u = (11,09 \text{ cm}^2 * 4\,200 \text{ kg/cm}^2) - \frac{13\,736,31 \text{ kg-m}}{4,90 \text{ m}}$$

$$V_u = 43\,774,67 \text{ kg-m}$$

- Resistencia nominal a cortante

La resistencia nominal a cortante se considera según los requisitos del ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.8.4.1 mediante la siguiente fórmula:

$$V_n = 20 * \lambda * \sqrt{f_c} * A_j \quad \lambda = 1;$$

El área efectiva de  $A_j$ , se calcula como el producto de la profundidad del nudo por su ancho efectivo según código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.8.4.3.

$$A_j = h_{nudo} * b_{efectivo}$$

$$A_j = 40 \text{ cm} * 25 \text{ cm}; \quad A_j = 1\,000 \text{ cm}^2$$

Sustituyendo valores:

$$V_n = 20 * 1 * \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2} * 1\,000 \text{ cm}^2$$

$$V_n = 334\,664,01 \text{ kg-m}$$

Por lo tanto:

$$43\,774,67 \text{ kg-m} \leq 0,85 * 334\,664,01 \text{ kg-m}$$

$$43\,774,67 \text{ kg-m} \leq 284\,464,41 \text{ kg-m} \quad \text{Cumple con la condición}$$

### 2.1.11.6. Armado final de elementos estructurales

La tabla LXXIX se hace una descripción del resumen de armado final de los elementos estructurales que conforman el diseño.

Tabla LXXIX. Resumen de armado final de los elementos estructurales que conforman el diseño estructural

Elemento estructural	Espesor	Armado final	
Losa	t= 12 cm	Se propone utilizar varilla $\emptyset$ No.3 Espaciamiento a cada 20 cm	
Elemento estructural	Sección	Refuerzo longitudinal	Refuerzo transversal
Viga	50cm x 25cm	<p><b>Cama superior:</b> 3 varillas corridas <math>\emptyset</math> No.6, más 2 bastones <math>\emptyset</math> No.4 equivalentes a 11,09 cm<sup>2</sup>.</p> <p><b>cama inferior:</b> 2 varillas <math>\emptyset</math> No.6, más 1 bastón <math>\emptyset</math> No.4 equivalentes a 6,97 cm<sup>2</sup></p>	<p>Estribos <math>\emptyset</math> No.3</p> <p><b>Zona confinada:</b> Separación: 10 cm Longitud de confinamiento:100 cm.</p> <p><b>Zona no confinada:</b> Separación =20 cm</p>
Columna	40cm x 40cm	8 varillas $\emptyset$ No.5	<p>Estribos <math>\emptyset</math> No.3, rotados 45 grados entre sí.</p> <p><b>Zona confinada:</b> Separación: 10 cm Longitud de confinamiento: 80 cm.</p> <p><b>Zona no confinada:</b> Separación =15 cm</p>
Elemento estructural	Sección	Armado final	
Zapata aislada concéntrica	200cm x 2 000cm Espesor: 40 cm	<p><b>Cama inferior:</b> varillas <math>\emptyset</math> No.5 Separación: 20 cm, en ambos sentidos.</p> <p><b>Cama superior:</b> varillas <math>\emptyset</math> No.5 Separación: 35 cm, en ambos sentidos.</p>	
Zapata aislada excéntrica	200cm x 200cm Espesor: 40 cm	<p><b>Cama inferior:</b> varillas <math>\emptyset</math> No.5 Separación: 20 cm, en ambos sentidos.</p> <p><b>Cama superior:</b> varillas <math>\emptyset</math> No.5 Separación: 35 cm, en ambos sentidos.</p>	

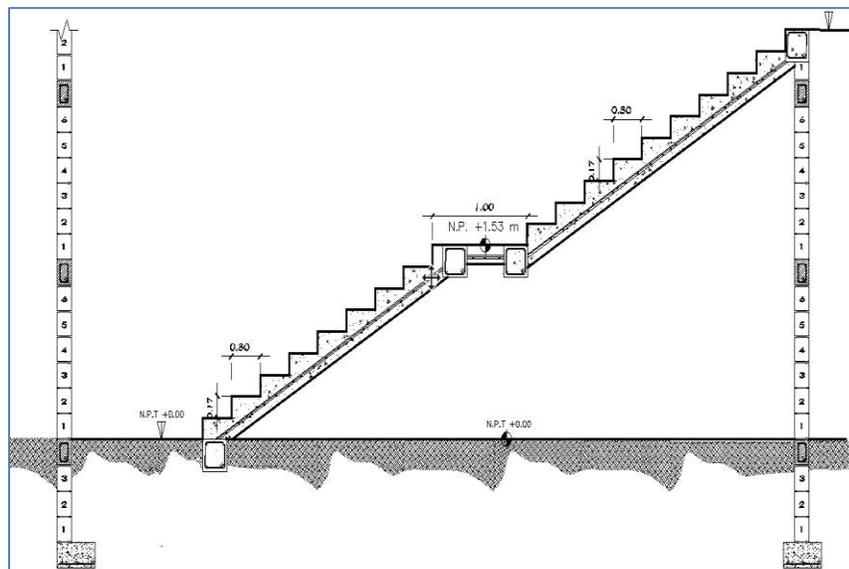
Fuente: elaboración propia.

### 2.1.11.7. Diseño de gradas

El módulo de gradas está conformado por dos tramos de escaleras y un descanso, para proveer seguridad y acceso rápido a los usuarios en la circulación entre niveles. El diseño está basado en el Manual de Criterios Normativos para el Diseño Arquitectónico de Centros Educativos Oficiales del MINEDUC – 2016.

El módulo de gradas se diseñó con mampostería de block pómez tipo cajón, de 2,80 m de ancho y 6,40 m de largo independiente a los módulos de aulas.

Figura 51. Perfil de módulo de gradas



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Dimensiones propuestas

Contrahuella= 17 cm

Huella= 30 cm

Ancho escaleras= 2,80 cm

$$No. Escalones = \frac{h_{piso}}{C}$$

$$No. Escalones = \frac{3,20 m}{0,17 m}; \quad No. Escalones = 19$$

Por lo tanto, se establecen un total de 19 contrahuellas de 17 cm y 18 huellas de 30 cm. Se tomarán 9 contrahuellas, antes del descanso del módulo de gradas.

$$No. Contrahuellas = 9$$

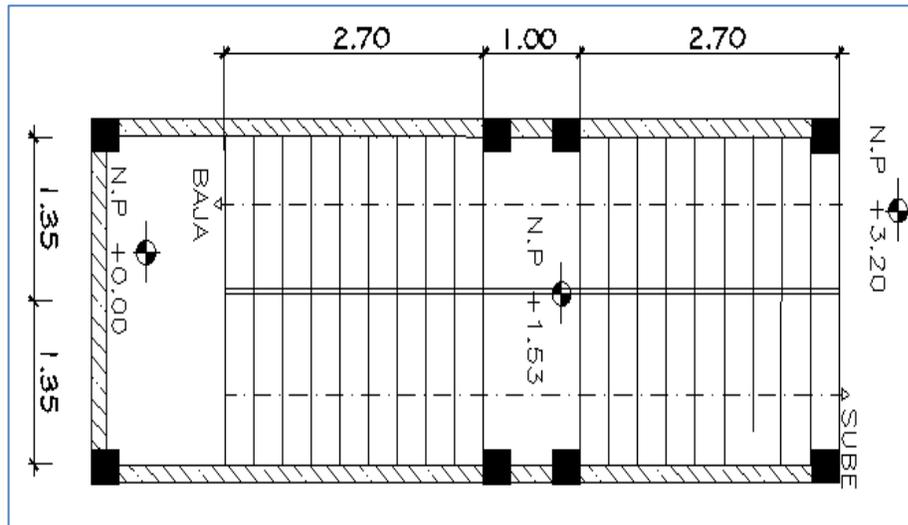
$$No. Huellas = No. Contrahuella - 1; \quad No. Huellas = 8 huellas$$

- Verificación de parámetros de comodidad

- $C < 20 \text{ cm}$   
 $17,00 \text{ cm} < 20 \text{ cm}; \text{ cumple}$
- $2C + H \leq 64 \text{ cm}$   
 $2 * 17 + 30 \leq 64 \text{ cm}$   
 $64 \text{ cm} \leq 64 \text{ cm}; \text{ cumple}$
- $C + H = 45 \text{ cm} - 48 \text{ cm}$   
 $17 \text{ cm} + 30 \text{ cm} = 45 \text{ cm} - 48 \text{ cm}$   
 $47 = 45 \text{ cm} - 48 \text{ cm}; \text{ cumple}$

- $C * H = 480 \text{ cm}^2 - 500 \text{ cm}^2$   
 $17 \text{ cm} * 30 \text{ cm} = 480 \text{ cm}^2 - 500 \text{ cm}^2$   
 $495 = 480 \text{ cm}^2 - 500 \text{ cm}^2$ ; *cumple*

Figura 52. **Planta de módulo de gradas**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

- Diseño de refuerzo
  - Longitud de losa (longitud inclinada)

$$L_{inclinada} = \sqrt{h_{piso}^2 + L_{horizontal}^2}$$

$$L_{inclinada} = \sqrt{(8 * 0,30 \text{ m})^2 + (9 * 0,17\text{m})^2} = 2,85 \text{ m}$$

- Espesor de losa

Según especificaciones del código ACI 318SUS-14 en el capítulo 7 sección 7,3,1 el espesor se calcula de la siguiente manera:

$$t_{losa} = \frac{L}{24} ; t_{losa} = \frac{2,85 m}{24} ; t_{losa} = 0,12 m$$

- Peralte efectivo

$$= t - \text{recubrimiento} - \frac{\phi_{varilla}}{2}$$

$$d = 12 \text{ cm} - 2,5 \text{ cm} - \frac{1,27 \text{ cm}}{2} = 8,87 \text{ cm}$$

- Integración de cargas

- Carga viva

La Norma NSE-2 AGIES 2018, en su capítulo 3.7 establece una carga viva de  $500 \text{ kg/m}^2$ , para el diseño de un módulo de gradas.

- Carga muerta

$$CM = \gamma_{concreto} * \left( t + \frac{c}{2} \right) + W_{Acabados} + W_{SC}$$

$$CM = 2400 \text{ kg/m}^3 * \left( 0,12 \text{ m} + \frac{0,17 \text{ m}}{2} \right) + 100 \text{ kg/m}^2 + 160 \text{ kg/m}^2$$

$$CM = 752 \text{ kg/m}^2$$

o

- Carga última

Las cargas últimas están referidas de la Norma NSE-2 AGIES 2018, en su capítulo 8.3.

$$CU = 1,2CM + 1,6CV$$

$$CU = 1,2(752 \text{ kg/m}^2) + 1,6C(500 \text{ kg/m}^2); \quad CU = 1\,702,40 \text{ kg/m}^2$$

- Momentos actuantes

Los momentos últimos actuantes están referidos por el código ACI 318SUS-14 en el capítulo 6 sección 6.5.

$$M_{(+)} = \frac{CU * L_{total}^2}{9} = \frac{1\,702,40 \text{ kg/m}^2 * (2,85 \text{ m})^2}{9}; \quad M_{(+)} = 1\,536,42 \text{ kg} - m$$

$$M_{(-)} = \frac{CU * L_{total}^2}{14} = \frac{1\,702,40 \text{ kg/m}^2 * (2,85 \text{ m})^2}{14}; \quad M_{(-)} = 987,70 \text{ kg} - m$$

- Área mínima de acero

Referencia en el código ACI 318SUS-14, capítulo 9, sección 9.6.1.2.

$$AS_{min} = \left( \frac{14,1}{4\,200 \text{ kg/cm}^2} \right) * 100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm} \quad ; \quad AS_{min} = 2,98 \text{ cm}^2$$

- Área máxima de acero

Referencia en el código ACI 318SUS-14, capítulo 18, sección 18.6.3.1.

$$AS_{max} = \rho * b * d$$

$$\rho = 0,025$$

$$AS_{max} = 0,025 * 100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm} = 22.18 \text{ cm}^2$$

- Área de acero requerida para momentos

$$As = \left[ (b * d) - \sqrt{(b * d)^2 - \frac{M * b}{0,003825 * f'c}} \right] * \left( \frac{0,85 * f'c}{f_y} \right)$$

Momento positivo:

$$As_+ = \left[ (100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm}) - \sqrt{(100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm})^2 - \frac{1\,536,42 \text{ - m} * 100 \text{ cm}}{0,003825 * 280 \text{ kg/cm}^2}} \right]$$

$$* \left( \frac{0,85 * 280 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} \right) = 4,81 \text{ cm}^2$$

Momento negativo:

$$As_- = \left[ (100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm}) - \sqrt{(100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm})^2 - \frac{987,70 \text{ kg - m} * 100 \text{ cm}}{0,003825 * 280 \text{ kg/cm}^2}} \right]$$

$$* \left( \frac{0,85 * 280 \text{ kg/cm}^2}{4\,200 \text{ kg/cm}^2} \right) = 3,04 \text{ cm}^2$$

Las áreas de acero para los se encuentran dentro de los límites de área mínima y máxima.

- Espaciamiento para refuerzo longitudinal

Para el refuerzo longitudinal se utilizará el  $A_s$  del momento positivo, y lo establecido en el código ACI 318SUS-25, capítulo 18, sección 25.2.

$$S = \frac{A_{s_{varilla}} * base_{gradas}}{A_{s_+}}; \quad S = \frac{1,27 \text{ cm}^2 * 100 \text{ cm}}{4,81 \text{ cm}^2}; \quad S = 26,40 \text{ cm} \cong 20 \text{ cm}$$

Para la cama inferior, se utilizarán varillas No 3. a cada 20 cm, en ambos sentidos.

- Refuerzo transversal
  - Espaciamiento para refuerzo longitudinal

Para el refuerzo transversal o refuerzo por temperatura, se diseñará según lo establecido en el código ACI 318SUS-25, capítulo 7, sección 7.6.

$$A_{s_{temp}} = 0,0018 * base_{gradas} * d$$
$$A_{s_{temp}} = 0,0018 * 100 \text{ cm} * 8,87 \text{ cm}; \quad A_{s_{temp}} = 1,60 \text{ cm}^2$$

- Espaciamiento para refuerzo transversal

$$S = \frac{A_{s_{varilla}} * base_{gradas}}{A_{s_{temp}}}; \quad S = \frac{0,71 \text{ cm}^2 * 100 \text{ cm}}{1,60 \text{ cm}^2}; \quad S = 44,37 \text{ cm} \cong 20 \text{ cm}$$

Por cuestiones de diseño se propone utilizar para el acero por temperatura, varillas No 3. a cada 20 cm.

Tabla LXXX. **Resumen de armado final del módulo de gradas**

<b>Espesor</b>	<b>Armado final</b>
Acero por temperatura	Se propone utilizar varilla $\emptyset$ No.3 Espaciamiento a cada 20 cm
Refuerzo longitudinal	Se propone utilizar varillas $\emptyset$ No.3 Espaciamiento a cada 20 cm

Fuente: elaboración propia.

### **2.1.12. Diseño de instalaciones**

A continuación, se presenta el diseño de las instalaciones del edificio escolar, las cuales están diseñadas para garantizar comodidad, seguridad y buen funcionamiento para los usuarios.

#### **2.1.12.1. Diseño de instalaciones hidráulicas**

Las instalaciones hidráulicas, conllevan el diseño de circuitos cerrados para la red de distribución de agua potable en cada uno de los artefactos instalados.

El diseño de las instalaciones hidráulicas se basa en proveer una presión suficiente dentro de cada uno de los ramales de las tuberías, por lo tanto, se establecen los siguientes requerimientos mínimos.

- Dotación mínima de 100 litros/educando/día
- Servicio continuo de agua potable durante 12 horas del día

- Donde exista cruce de tubería de agua potable y drenaje, la tubería de agua potable debe colocarse 0,20 cm sobre la tubería de drenaje.
- La tubería de PVC, no debe dejarse a la intemperie.

A continuación, se presenta el diámetro para cada uno de los artefactos.

Tabla LXXXI. **Diámetros de artefactos**

<b>Artefacto</b>	<b>Diámetro Ø (pulgada)</b>
Lavamanos	1/2
Inodoro con tanque	1/2
Mingitorio	1/2
Grifo para patio	1/2
Grifo para lavatrastos	1/2

Fuente: elaboración propia.

Para las instalaciones hidráulicas se propone utilizar tubería de cloruro de polivinilo (PVC), con un diámetro de ¾" en las derivaciones provenientes de la línea principal de agua potable y tubería con un diámetro de ½" para la acometida final de los artefactos sanitarios instalados.

#### **2.1.12.2. Diseño de instalaciones sanitarias**

Las instalaciones sanitarias, esta diseñadas para la recolección de las aguas residuales que el edificio escolar genere, y estas ser conducidas hacia el colector principal. Se establecen los siguientes requerimientos mínimos.

- Para la tubería enterrada utilizar una pendiente de tubería mínima de 2 % y máxima de 6 %. evitar el cruce con la tubería de agua potable.

- Establecer cajas de registro en las bajadas de agua pluvial para drenar el techo del edificio escolar.

Por lo tanto, se proponer utilizar tubería de cloruro de polivinilo (PVC), con un diámetro de 4” para la bajada aguas residuales generadas, y tubería de 6” para la conexión hacia el colector principal.

### **2.1.12.3. Diseño de instalaciones eléctricas**

Las instalaciones eléctricas, están diseñadas con la finalidad de suministrar la iluminación artificial y fuerza necesaria en los diferentes ambientes, mediante la implementación de circuitos eléctricos con la capacidad de watts requerida.

El diseño de las instalaciones eléctricas, está basado en el Manual de Normas para acometidas de servicio eléctrico de la Empresa Eléctrica de Guatemala EEGSSA.

El sistema de iluminación está constituido por 7 circuitos con un máximo de 9 unidades por circuito, y 15 circuitos de fuerza, con un máximo de 8 unidades.

Por lo tanto, para las instalaciones de iluminación del edificio escolar se proponer utilizar lámparas fluorescentes de 2x40 watts en las aulas y pasillos, en los sanitarios, bombillas led, y reflectores de 150 watts en el exterior de edificio escolar.

Para el circuito de fuerza, se propone utilizar tomacorrientes polarizado de 120 voltios, a una altura de 0,30 m y 1,20 sobre el nivel de piso. Toda la instalación, eléctrica se realizará con cable calibre No. 12 AWG.

### **2.1.13. Planos constructivos**

A continuación, se presentan los planos y detalles correspondientes de la fase arquitectónica, estructural e instalaciones para el edificio escolar de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

- Planta amueblada
- Planta acotada
- Secciones y elevaciones
- Planta de elementos estructurales (losas, vigas, columnas, zapatas)
- Planta acabados
- Planta de instalaciones hidráulicas
- Planta de instalaciones sanitarias
- Planta de instalaciones eléctricas

Los planos se presentan en el apéndice correspondiente

### **2.1.14. Presupuesto**

A continuación, se presenta el presupuesto del edificio escolar. Incluye costo de materiales, mano de obra, prestaciones, gastos por utilidad, administración e impuestos.

Tabla LXXXII. Presupuesto de edificio escolar

PRESUPUESTO					
Diseño de edificio escolar de dos niveles, aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula					
No.	DESCRIPCIÓN DEL RENGLÓN	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
1.1	REPLANTEO TOPOGRÁFICO	668,00	M2	Q 3,65	Q 2 438,,20
1.2	LIMPIEZA, CHAPEO, TRAZO Y PUENTE	668,00	M2	Q 51,18	Q 34 188,24
1.3	EXCAVACIÓN	369,00	M3	Q 197,44	Q 72 855,36
<b>2</b>	<b>CIMENTACIÓN + LEVANTADO DE MUROS</b>				
2.1	ZAPATA TIPO Z-1, Z2	35,00	UNIDAD	Q 7 516,24	Q 263 068,40
2.2	ZAPATA TIPO Z-3	6,00	UNIDAD	Q 1 592,56	Q 9,555,36
2.3	CIMIENTO CORRIDO CC-1	58,00	ML	Q 342,04	Q 19 838,32
2.4	CIMIENTO CORRIDO CC-2	134,00	ML	Q 340,48	Q 45 624,32
2.5	COLUMNA DE CONCRETO TIPO C-1	283,50	M	Q 1 181,80	Q 335 040,30
2.6	COLUMNA DE CONCRETO TIPO C-2	48,00	M	Q 499,94	Q 23 997,12
2.7	COLUMNA DE CONCRETO TIPO C-3	358,60	M	Q 175,36	Q 62 884,10
2.8	COLUMNA DE CONCRETO TIPO C-4	795,10	M	Q 143,42	Q 114 033,24
2.9	VIGA PRINCIPAL-1	481,20	M	Q 1 001,49	Q 481 916,99
2.12	VIGA SECUNDARIA-1	57,00	M	Q 687,96	Q 39 213,72
2.13	VIGA DE GRADAS	12,00	M	Q 722,69	Q 8 672,28
2.14	SOLERA DE HUMEDAD 0,20M X 0,15M	192,00	M	Q 677,23	Q 130 028,16
2.15	SOLERA DE INTERMEDIA 0,20M X 0,15M	407,84	M	Q 315,09	Q 128 506,31
2.16	SOLERA DE CORONA 0,20M X 0,15M	265,00	M	Q 321,55	Q 85 210,75
2.17	LEVANTADO DE BLOCK 0,14MX 0,19M X 0,39M	790,00	M2	Q 258,90	Q 204 531,00
2.18	LEVANTADO DE BLOCK 0,10MX0,19MX0,39M	40,00	M2	Q 185,30	Q 7 412,00
2.19	GRADAS PARA SEGUNDO NIVEL	16,50	M2	Q 682,22	Q 11 256,63
<b>3</b>	<b>LOSAS</b>				
.1	LOSA TRADICIONAL NIVEL 1 Y 2 T= 12 CM	867	M2	Q 1 256,03	Q 1 088 978,01
<b>4</b>	<b>ACABADOS</b>				
4.1	REPELLO + CERNIDO ALISADO EN PAREDES, CIELOS, COLUMNAS Y VIGAS	4 495,00	M2	Q 69,16	Q 310 874,20
4.2	FACHALETA DE BARRO DE 0,065MX0,23M	350,00	M2	Q 435,38	Q 152 383,00
4.3	LETRAS EN LATÓN	43,00	UNIDAD	Q 184,28	Q 7 924,04
4.4	BALCONES	159,00	M2	Q 287,07	Q 45 644,13
4.5	PISO DE GRANITO PULIDO DE 0,40MX0,40M	626,00	M2	Q 401,81	Q 251 533,06
4.6	PISO CERAMICO ANTIDESTILZANTE	114,00	M2	Q 391,03	Q 44 577,42
4.7	AZULEJO	70,00	M2	Q 162,56	Q 11 379,20
<b>5</b>	<b>PUERTAS</b>				
5.1	PUERTA METALICA LISA ABATIBLLE	1,00	UNIDAD	Q 2 800,00	Q 2 800,00
5.2	PUERTA METÁLICA ABATIBLLE A 4 HOJAS	1,00	UNIDAD	Q 3 000,00	Q 3 000,00

Continuación de la tabla LXXXII.

5.3	PUERTA METÁLICA LISA DE 1,20M X 2,10M	13,00	UNIDAD	Q 2 600,00	Q 33 800,00
5.4	PUERTA METÁLICA LISA DE 1,00M X 2,10M P-4	8,00	UNIDAD	Q 1 300,00	Q 10 400,00
5.5	PUERTA METÁLICA LISA DE 0,70M X 1,50M P-5	12,00	UNIDAD	Q 900,00	Q 10 800,00
<b>6</b>	<b>VENTANERIA</b>				
6.1	VENTANA V- 1 DE HERRERÍA 1,20M X 1,55	103,00	M2	Q 1 300,00	Q 133 900,00
6.2	VENTANA V- 2, V3, V4 Y V5 DE PVC	7,20	M2	Q 700,00	Q 504,00
<b>7</b>	<b>INSTALACIONES</b>				
7.1	<b>INSTALACIONES SANITARIAS</b>				
7.1.1	SISTEMA DE DRENAJE SANITARIO	1,00	UNIDAD	Q12 992,03	Q 12 992,03
7.1.2	INODORO	16,00	UNIDAD	Q 2 056,08	Q 32 897,28
7.1.3	LAVAMANOS EN SERVICIOS SANITARIOS	14,00	UNIDAD	Q 3 029,91	Q 42 418,74
7.1.4	MINGITORIO (PUSH)	6,00	UNIDAD	Q 2 305,21	Q 13 831,26
7.1.5	LAVADERO PLASTICO DE DOS LADOS	1,00	UNIDAD	Q 1 887,25	Q 1 887,25
7.2	<b>INSTALACIONES PLUVIALES</b>				
7.2.1	SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL	1,00	UNIDAD	Q21 390,07	Q 21 390,07
7.3	<b>INSTALACIONES HIDRÁULICAS</b>				
7.3.1	SISTEMA DE AGUA POTABLE	1,00	UNIDAD	Q11 606,50	Q 11 606,50
7.4	<b>INSTALACIONES ELÉCTRICAS</b>				
7.4.1	ACOMETIDA ELÉCTRICA	1,00	UNIDAD	Q17,530,60	Q 17 530,60
7.5	<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA FUERZA</b>				
7.5.1	TOMACORRIENTES 120V	112,00	UNIDAD	Q 312,60	Q 35 011,20
7.5.2	TOMACORRIENTES 220V	2,00	UNIDAD	Q 680,40	Q 1 360,80
7.6	<b>INSTALACIÓN ELÉCTRICA ILUMINACIÓN</b>				
7.6.1	LUMINARIA TIPO LED 2X4	47,00	UNIDAD	Q 1 212,49	Q 56 987,03
7.6.2	LUMINARIA TIPO LED 2X2	18,00	UNIDAD	Q 1 175,51	Q 21 159,18
7.6.3	REFLECTORES DOBLES 50W	9,00	UNIDAD	Q 885,15	Q 7 966,35
7.6.4	LUMINARIA TIPO BOMBILLO LED	27,00	UNIDAD	Q 450,88	Q 12 173,76
<b>8</b>	<b>CANCHA POLIDEPORTIVA Y TRABAJOS COMPLEMENTARIOS</b>				
8.1	LOSA PARA CANCHA DEPORTIVA	115,00	M2	Q 610,19	Q 70 171,85
8.2	PINTURA PARA MARCAJE DE ÁREAS	115,00	M2	Q 46,74	Q 5 375,10
8.3	MARCOS PARA CANCHA DEPORTIVA	2,00	UNIDAD	Q12 702,51	Q 25 405,02
8.4	LIMPIEZA FINAL	1,0	GLOBAL	Q 6 067,43	Q 6 067,43
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>Q 4 589 535,31</b>

Fuente: elaboración propia.



### **2.1.16. Evaluación de impacto ambiental**

La evaluación, se realiza con la finalidad de interpretar el impacto que tendrá la construcción del edificio escolar en el medio ambiente.

El proceso de evaluación conlleva el analizar los diferentes factores positivos y negativos que puedan darse en la zona de construcción del edificio escolar, y con ello realizar alternativas de mitigación ante impactos negativos que las actividades de construcción u operación pudiesen causar.

A continuación, se presentan actividades con impacto ambiental negativo.

- Generación de polvo proveniente de la excavación de suelo
- Generación de ruido y vibraciones, durante la etapa de construcción
- Generación de desechos durante la etapa de construcción
- Generación de aguas residuales

De igual manera se presenta un breve listado de las medidas de mitigación ante los factores negativos.

- Riego constante de agua en la zona donde se origine polvo
- Establecer un horario de trabajo diurno, con la finalidad de evitar molestias en los vecinos en horario de descanso.
- Evacuación y transporte constante de los desechos sólidos que se generen en la construcción para mantener un área de trabajo limpia.
- Evacuación directa de aguas residuales hacia candela municipal y de esta hacia el colector principal.
- Establecer letrinas temporales para los trabajadores.



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

#### **3.1. Diseño del sistema de alcantarillado sanitario de la aldea Agua El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula**

A continuación, se describe el proyecto de diseño de alcantarillado sanitario.

##### **3.1.1. Descripción del proyecto**

El proyecto consiste en el diseño hidráulico, planificación, presupuesto, cronograma y planos de un sistema de alcantarillado sanitario, para la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

El sistema de alcantarillado sanitario consta de una longitud de 1 700 metros, con un total de 63 pozos de visita y 198 conexiones domiciliarias, los parámetros de diseño para el proyecto se basaron en las Normas Generales de Diseño de Alcantarillados del Instituto de Fomento Municipal INFOM.

Se estimó un periodo de diseño de 20 años, la dotación asignada fue de 150 lts/habitante/día.

El desfogue de las aguas residuales captadas por el alcantarillado sanitario, será en una planta de tratamiento cercana al sector de la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

### **3.1.2. Levantamiento topográfico**

El estudio topográfico es el punto de partida para la identificación y el señalamiento del terreno donde se desarrollará el proyecto. A través del levantamiento topográfico y actividades de campo y gabinete, se puede visualizar la forma, pendientes, y accidentes topográficos que el terreno posee, representado todo lo anterior en planos a escalas adecuadas.

Para el levantamiento topográfico, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Estación total SOUTH NTS-375R6
- Trípode
- Prisma
- Bipode
- Cinta métrica
- Estacas
- Pintura

Para georreferenciar el área se utilizaron coordenadas geométricas.

#### **3.1.2.1. Altimetría**

La altimetría en un levantamiento topográfico se proyecta en un plano vertical, por lo que a través del proceso de nivelación busca determina la distancia entre los niveles existes de los diferentes puntos del terreno permitiendo determinar las pendientes naturales de los puntos de interés.

### **3.1.2.2. Planimetría**

La planimetría es la proyección del terreno sobre un plano horizontal y en un diseño de alcantarillado sanitario se utiliza para determinar la localización de la red dentro de las calles y avenidas, ubicación de los pozos de vista, y distancias horizontales entre puntos de interés del terreno.

### **3.1.3. Diseño de sistema de alcantarillado**

A continuación, se realiza la descripción del diseño de sistema de alcantarillado del proyecto.

#### **3.1.3.1. Parámetros hidráulicos**

El periodo de diseño es el tiempo durante el cual el sistema funcionara de forma correcta, eficiente y aceptable, cumpliendo con los parámetros y requisitos bajos los cuales fue diseñado.

Según las Normas Generales para el Diseño de Alcantarillados, del Instituto de Fomento Municipal (INFOM), los sistemas de alcantarillado sanitario son proyectados para un periodo de diseño de 30 a 40 años a partir de la fecha en que se realizara el diseño.

Sin embargo, según requerimientos municipales para el sistema de alcantarillado sanitario, se adoptó un periodo de diseño de 20 años tomando en cuenta los recursos económicos que posee la Administración Municipal.

### **3.1.3.2. Cálculo de población futura**

La estimación de la población futura, brinda una proyección futura de la cantidad de usuarios que se espera que utilicen el sistema, así como el aporte de caudales al final del periodo de diseño. La tasa de crecimiento poblacional se determina mediante los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística (INE).

Para el cálculo de la población futura se empleó el método Geométrico debido a que es el más apto para la realidad del crecimiento poblacional. La ecuación del método geométrico está dada por la siguiente fórmula:

$$P_f = P_o(1 + r)^n$$

La tasa de crecimiento poblacional para el municipio de Santa Catarina Pinula se estima en 2,5 % según datos estadísticos.

### **3.1.3.3. Factor de Harmon**

El factor de Harmon también llamado factor de flujo instantáneo, es un valor estadístico adimensional, que determina la probabilidad del número de usuarios que estará usando el servicio de forma simultánea en horas pico, o bien la probabilidad de que la mayoría de accesorios sanitarios de las viviendas estén siendo utilizados.

Este factor de seguridad se encuentra entre los valores de 1,50 y 4,50 dependiendo del tamaño de la población a servir.

La fórmula para el cálculo del factor de Harmon está dada por:

$$FH = \frac{18 + \sqrt{P/1\ 000}}{4 + \sqrt{P/1\ 000}}$$

#### **3.1.3.4. Parámetros de diseño**

Para un diseño óptimo, se debe tomar en cuenta diferentes parámetros de diseño, factores y criterios que influyen en el sistema.

##### **3.1.3.4.1. Dotación de agua potable**

Es la cantidad de agua potable que se le asigna a cada habitante, esta cantidad incluye el agua que consume para todos sus servicios durante un día y se expresa en litros/habitante/día.

Para la aldea El Rosario, Piedra Parada se tomó una dotación de 150 litros/habitante/día, según lo establecido por INFOM, para área urbana.

##### **3.1.3.4.2. Factor de retorno**

El factor de retorno está relacionado con el porcentaje de dotación de agua que retorna al sistema de alcantarillado sanitario y este varía de acuerdo al uso que se le asigna al agua potable que ingresa a cada vivienda. El porcentaje que se le asigna oscila entre el 70 % y 80 %, es evidente que el resto de agua que no regresa al sistema es debido a la evaporación, riego de plantas, y otras pérdidas que se pueden dar.

Para el diseño del sistema sanitario, se asigna un factor de retorno del 80 %.

#### **3.1.3.4.3. Factor de caudal medio**

Este factor regula la aportación del caudal medio en la tubería del sistema y está relacionado con el número de habitantes del tramo en análisis.

Según INFOM este factor oscila entre 0,002 a 0,005, en dado caso fuese inferior se toma el límite más cercano 0,002 o bien si fuese superior se procede a utilizar el valor de 0,005, según sea el caso.

La fórmula para el cálculo del factor de caudal medio está dada por:

$$f_{qm} = \frac{Q_{medio}}{Núm. Habitantes} ; \quad 0,002 \leq f_{qm} \leq 0,005$$

#### **3.1.3.4.4. Caudal sanitario**

A continuación, se describen los caudales que se tomarán en consideración en el diseño del sistema de alcantarillado sanitario.

#### **3.1.3.4.5. Caudal domiciliar**

El caudal domiciliar es el volumen de agua que desfoga directamente de las viviendas hacia el colector principal, es decir, el agua de desecho domestico que ha sido utilizada para limpieza, uso de sanitarios y duchas, lavado de ropa, producción de alimento.

El cálculo del caudal domiciliar este dado por la siguiente formula:

$$Q_{dom} = \frac{Dotacion * Núm. hab - F. R}{86\ 400}$$

#### **3.1.3.4.6. Caudal medio**

El caudal medio es la suma del flujo de los diferentes caudales que circularan en la tubería del alcantarillado sanitario, y está dado por la siguiente fórmula:

$$Q_{med} = Q_{dom} + Q_{com} + Q_{ind} + Q_{inf} + Q_{ci}$$

Es importantes resaltar que en el diseño del alcantarillado sanitario para la aldea El Rosario, Piedra Parada no se tomó en cuenta el caudal comercial e industrial debido a que es un área rural donde no existen fábricas ni comercios y poca probabilidad de instalación de los mismos, así como también se omitió el caudal por infiltración debido a que la tubería a utilizar es de PVC.

#### **3.1.3.4.7. Caudal de conexiones ilícitas**

El caudal de conexiones ilícitas está relacionado con la conexión de tuberías de agua pluvial, por lo cual para su consideración dentro del diseño del sistema de alcantarillado sanitario se toma un porcentaje del 10 %.

#### **3.1.3.4.8. Caudal de diseño**

Es el caudal con el cual se diseñará cada tramo del sistema, permitiendo conocer el volumen de agua que puede circular en cada punto. Sin embargo, este caudal debe regirse a las condiciones hidráulicas actuales y futuras que se requieren en el diseño, considerando un caudal futuro debido a la posible incorporación de conexiones domiciliarias.

$$q_{diseño} = \text{Núm. Habitante} * f_{qm} * FH$$

### **3.1.3.5. Tipo de tubería a utilizar**

Para el diseño de un alcantarillado sanitario se deben utilizar materiales que contrarresten continuamente las presiones externas que se puedan generar en la superficie del suelo. Los materiales comúnmente utilizados en tubería son:

- Tubos de concreto
- Tubos de concreto reforzado
- Tubos de cloruro de polivinilo (P.V.C)

Para la propuesta de diseño se utilizará tubería y accesorios de cloruro de polivinilo (PVC) según Norma ASTM F-949.

Para tubería de cloruro de polivinilo (PVC) el diámetro mínimo a utilizar es de 6 pulgadas, sin embargo, según requerimientos y especificaciones de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, el diámetro mínimo a utilizar en el diseño es de 8 pulgadas. En el diseño propuesto se utilizará tubería de 8" y 10".

### **3.1.3.6. Pendiente**

Es conveniente trabajar el diseño con las pendientes naturales del terreno, esto para evitar altos costos de excavación, siempre que se cumplan con las velocidades de diseño y las relaciones hidráulicas requeridas, caso contrario proponer nuevas pendientes.

El cálculo de la pendiente se calcula mediante la siguiente formula:

$$S\% = \frac{CT_i - CT_f}{DH} * 100$$

### **3.1.3.7. Relaciones hidráulicas**

Todo sistema de alcantarillado sanitario trabaja a sección llena o bien a sección parcialmente llena, por lo que requiere de cálculos hidráulicos que involucren las relaciones  $q/Q$ ,  $d/D$  y  $v/V$ , y estas se sujetan a los siguientes límites.

- El caudal de diseño debe ser menor que el caudal a sección llena  $q < Q$
- La relación de  $q/Q$ , no debe ser mayor a 0,75.
- La relación de  $d/D$ , no debe ser menor de 0,10 ni mayor a 0,75

Implementando las tablas de relaciones hidráulicas (Apéndice C) se procede a buscar el valor de  $q/Q$  calculado o un valor aproximado, de esta forma en la columna izquierda se localizan las relaciones de velocidad de la tubería parcialmente llena  $v/V$  y la de diámetros o tirantes  $d/D$ .

### **3.1.3.8. Velocidades mínimas y máximas**

Todo sistema de alcantarillado sanitario debe estar sujeto a velocidades mínimas y máximas. Es por ello que el INFOM para tuberías de PVC establece una velocidad mínima de 0,60 m/s, y una velocidad máxima de 3,0 m/s.

Estos límites se establecen para evitar sedimentación de sólidos o bien efectos abrasivos o de erosión en la tubería producido por los mismos sólidos.

$$0,60 \text{ m/s} \leq V_{\text{diseño}} \leq 3,0 \text{ m/s}$$

Sin embargo, la Norma ASTM F-949 para tubería de cloruro de polivinilo (PVC) permite extender los límites de velocidad, estableciendo una velocidad mínima de 0,40 m/s, y una velocidad máxima de 5,00 m/s.

$$0,40 \text{ m/s} \leq V_{\text{diseño}} \leq 5,0 \text{ m/s}$$

### **3.1.3.9. Cotas invert**

La cota Invert es la distancia vertical a la cual estará localizada la parte inferior de la tubería de drenaje respecto a la rasante del suelo que conecta dos pozos de visita.

Es necesario conocer la altura de la cota de salida del pozo de visita previo a la siguiente cota de entrada del pozo posterior, con el fin de establecer que las aguas residuales circularan de forma eficaz a lo largo de la tubería.

Las cotas invert se calculan de la siguiente forma:

$$CT_f = CT_i - (DH * \%S)$$

$$CIE = CIS - (DH * \%S)$$

$$CIS = CT_i - 0,03$$

$$H_{\text{pozo}} = CT_i - CIS$$

### 3.1.3.10. Pozos de visita

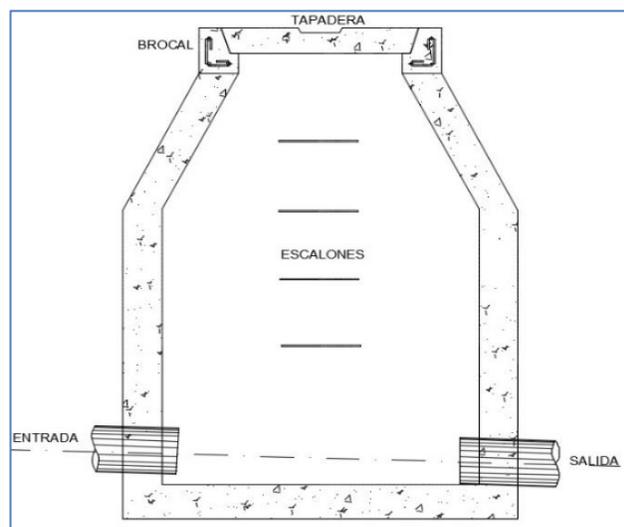
Los pozos de visita son accesorios de infraestructura en un sistema de alcantarillado sanitario, que permiten la inspección, mantenimiento y limpieza del sistema. Estos a la vez controlan el flujo hidráulico que circula en el sistema.

Los diámetros a utilizar en los pozos de visita son acordes al diámetro de la tubería del sistema y se designan de la siguiente manera:

- Diámetro de 1,20 m para tuberías de hasta 24 pulgadas de diámetro
- Diámetro de 1,50 m para tuberías entre 30 y 42 pulgadas de diámetro
- Diámetro de 2,00 m para tuberías entre 48 y 80 pulgadas de diámetro

Los pozos de visita pueden ser de concreto o ladrillo tuyuyo, dependiendo de las condiciones del terreno y profundidad del pozo.

Figura 53. Partes de pozo de visita



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2015.

Los diámetros a utilizar en los pozos de visita son acordes al diámetro de la tubería del sistema y se designan de la siguiente manera:

- Diámetro de 1,20 m para tuberías de hasta 24 pulgadas de diámetro
- Diámetro de 1,50 m para tuberías entre 30 y 42 pulgadas de diámetro
- Diámetro de 2,00 m para tuberías entre 48 y 80 pulgadas de diámetro

Los pozos de visita pueden ser de concreto o ladrillo tuyuyo, dependiendo de las condiciones del terreno y profundidad del pozo.

#### **3.1.3.10.1. Especificaciones físicas y de colocación**

Se deben de tomar en cuenta ciertas especificaciones y aspectos para el correcto funcionamiento de los pozos de visita en el sistema, y se relacionan con las cotas invert de entrada y salida de las tuberías en los pozos de visita, las cuales se detallan a continuación:

- Cuando a un pozo de visita ingresa una tubería y sale otra tubería de igual diámetro la cota invert de salida deber estar como mínimo 3 cm por debajo de la cota invert de entrada.

$$\varnothing_{entrada} = \varnothing_{salida}$$

$$Cota\ Invert_{salida} = Cota\ Invert_{entrada} - 0,03\ m$$

- Cuando en un pozo de visita entra una tubería y sale otra tubería de diferente diámetro la cota invert de salida debe estar como mínimo por debajo de la cota invert de entrada la diferencia de los diámetros.

$$\Phi_{entrada} < \Phi_{salida}$$

$$Cota\ Invert_{salida} = Cota\ Invert_{entrada} - \Phi_{salida}(\Phi_{salida} - \Phi_{entrada}) * 0,0254$$

- Cuando a un pozo de visita entra más de una tubería y sale una tubería, todas del mismo diámetro la cota invert de salida debe estar como mínimo 3 cm por debajo de la cota invert de entrada más profunda.

$$\Phi\ tubería\ A_{entrada} + \Phi\ tubería\ B_{entrada} = \Phi_{salida}$$

$$Cota\ Invert_{salida} = Cota\ Invert_{entrada+profunda} - 0,03\ m$$

- Cuando a un pozo de visita llegan dos o más tuberías y sale una tubería de distinto o igual diámetro la cota invert de salida se calcula de acuerdo al caso 1 y 2.

Los pozos de visita deben ir colocados según normas y especificaciones de INFOM en los siguientes casos.

- En cambios de diámetro.
- En cambios de pendiente y dirección horizontal.
- En las intersecciones de dos o más tuberías colectoras.
- En los extremos superiores de los ramales iniciales.
- A distancias no mayores de 100 metros en diámetros de hasta 24".
- A distancias no mayores de 300 metros en diámetros superiores a 24".

### **3.1.3.10.2. Normas y recomendaciones**

- Se debe de tener un control en la fundición de los pozos para colocar las pendientes de entrada y salida como lo especifiquen los planos, evitando sedimentación de sólidos.
- El área de excavación debe estar libre de obstáculos y agua que pudiera acumularse, esto con la finalidad de trabajar en seco.
- Los pozos de visita deben tener estabilidad en toda su estructura, y evitar efectos de carga de empuje, por lo que debe colocarse una base de concreto con un espesor de 10 cm.
- Los pozos de visita deben impermeabilizarse con repello más cernido liso, para evitar fuga de las aguas residuales en suelo.
- Se deben de colocar escalones de hierro, empotrados en las paredes de los pozos de visita, con la finalidad de facilitar su acceso.

### **3.1.3.10.3. Profundidad de tubería**

La profundidad de la tubería se calcula mediante las cotas invert y se debe considerar protección contra cargas de tráfico, para evitar rupturas. Se toma de la parte superior de la tubería, con respecto al nivel de la superficie del terreno, es por ello, que se recomienda utilizar un recubrimiento mínimo de 1,20 metros, o dependiendo del tipo de tráfico a circular.

Tabla LXXXIV. **Profundidad mínima de tubería PVC**

Diámetro de tubería (pulg)	Profundidad	
	tráfico normal (m)	tráfico pesado (m)
4	1,11	1,31
6	1,17	1,37
8	1,22	1,42
10	1,28	1,48
12	1,33	1,53
15	1,41	1,61
18	1,50	1,70

Fuente: CABRERA RIEPELE, Ricardo Antonio. *Apuntes de Ingeniería Sanitaria 2*. p. 35.

#### 3.1.3.10.4. **Volumen de excavación**

Es el volumen de tierra que se debe de excavar y retirar en la colocación de la tubería y sus respectivos accesorios.

El ancho de zanja, no debe ser menor a los 60 cm o bien según lo requiera el diámetro y la altura de la tubería, esto con la finalidad de tener un espacio amplio para una cómoda instalación.

El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$V = \left( \frac{H_1 + H_2}{2} \right) * d * Z$$

#### 3.1.3.11. **Conexiones domiciliare**

Una conexión domiciliar se da en forma de Y o de T, para cada vivienda o en cada lote donde pudiese existir un desfogue doméstico, todo lo anterior

consiste en un tubo que conduce las aguas residuales de la vivienda hacia el colector de la tubería principal.

La forma de la conexión domiciliar dependerá de las condiciones del sistema ya que en colectores pequeños es conveniente una conexión en Y debido a que proporciona una unión menos violenta de escurrimiento, mientras la conexión T es más fácil de instalar en condiciones difíciles.

Las conexiones domiciliarias constan de los siguientes elementos:

- Candela o caja domiciliar

Esta caja es realizada de mampostería o de tubos de concreto colocados verticalmente (candelas). Es el punto donde se une la tubería proveniente del drenaje de la vivienda con la tubería del colector principal. En caso de ser un tubo de concreto su diámetro debe ser por lo menos de 12 pulgadas con una altura de 1 m, o bien si es una caja rectangular, su lado menor es debe ser de 45 cm.

- Tubería secundaria

Es la tubería que une la caja domiciliar con el colector principal teniendo un diámetro no menor a 4 pulgadas para tubería de PVC y de 6 pulgadas para tubería de concreto, la tubería debe colocarse con una pendiente del 2 % como mínimo con un ángulo de 45° aguas abajo para una correcta evacuación de las aguas residuales.

Para el diseño del sistema de alcantarillado sanitario en la aldea El Rosario, Piedra Parada, se utilizarán candelas de concreto de 12 pulgadas de diámetro y 1 metro de altura, la tubería secundaria será de PVC de 4 pulgadas, y la conexión con el colector principal será por medio de silletas tipo yee.

### **3.1.3.12. Ecuación de Manning**

La ecuación de Manning es utilizada en el cálculo de la velocidad del agua en canales abiertos y tuberías para alcantarillados sanitarios.

La fórmula está dada de la siguiente manera:

$$V = \frac{1}{n} * \frac{D^{\frac{2}{3}}}{4} * S^{\frac{1}{2}}$$

Para el cálculo del caudal a sección llena se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = A * V$$

La altura del tirante debe estar comprendida entre el 10 % y el 75 % del diámetro de la tubería para garantizar el arrastre de los sólidos.

### **3.1.4. Cálculo hidráulico**

Se incluyen los parámetros y criterios de diseño considerados en los cálculos pertinentes al sistema de alcantarillado sanitario.

### **3.1.4.1. Especificaciones técnicas**

El diseño del sistema de alcantarillado sanitario para la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula se basa en las Normas del Instituto de Fomento Municipal INFOM. Los parámetros a considerar son los siguientes:

Tipo de sistema:	Alcantarillado sanitario
Periodo de diseño:	20 años a partir de su fecha de construcción
Tasa de Crecimiento:	2,45 %
Población actual:	2 153 habitantes
Densidad de vivienda:	5 habitantes/vivienda
Dotación de agua:	150 litros/habitante/día
Factor de retorno:	0,80
Tipo de tubería:	PVC Norma ASTM F-949
Coeficiente de rugosidad:	0,01 para tubería PVC
Forma de evacuación:	Por gravedad
Velocidad máxima	5,00 m/s
Velocidad mínima	0,40 m/s
Factor de caudal medio:	0,002
Conexión domiciliar:	198 conexiones, pendiente del 2 %, diámetro de candelas 12", tubería secundaria de 4"

### **3.1.4.2. Cálculo de un tramo de red de alcantarillado sanitario**

A continuación, se detalla el desarrollo de un tramo del sistema de alcantarillado sanitario para la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula. Los demás cálculos se presentan en el apéndice D.

### Ejemplo del tramo PV7-PV8

- Cota inicial del terreno: 1 820,56m
- Cota final del terreno: 1 816,83 m
- Longitud horizontal entre los pozos de visita: 72,86 m
- No. de viviendas del tramo: 5 viviendas
- No. de vivienda acumuladas: 61 viviendas
- Diámetro de la tubería 8 pulgadas

- Población

- Actual

$$P_o = \text{densidad de vivienda} * \text{Núm, viviendas}$$

Local

$$P_o = \frac{5 \text{ habitantes}}{\text{vivienda}} * 5 \text{ viviendas}; \quad P_o = 25 \text{ habitantes}$$

Acumulada

$$P_o = \frac{5 \text{ habitantes}}{\text{vivienda}} * 61 \text{ viviendas}; \quad P_o = 305 \text{ habitantes}$$

- Futura

$$P_f = P_o(1 + r)^n$$

Local

$$P_f = 25(1 + 0,0245)^{20}; \quad P_f = 41 \text{ habitantes}$$

Acumulada

$$P_f = 305(1 + 0,0245)^{20}; \quad P_f = 495 \text{ habitantes}$$

- Cálculo de pendiente (S %)

$$S\% = \frac{CTI-CTF}{DF} * 100$$

$$S\% = \frac{1820,56-1816,83}{72,86} * 100; \quad S\% = 5,12 \%$$

- Cálculo del factor de Harmon

$$FH = \frac{18 + \sqrt{\frac{Pf}{1\,000}}}{4 + \sqrt{\frac{Pf}{1\,000}}}$$

Actual

$$FH = \frac{18 + \sqrt{\frac{305}{1\,000}}}{4 + \sqrt{\frac{305}{1\,000}}}; \quad FH = 4,08$$

Futura

$$FH = \frac{18 + \sqrt{\frac{495}{1\,000}}}{4 + \sqrt{\frac{495}{1\,000}}}; \quad FH = 3,98$$

- Caudal de diseño ( $q_{\text{diseño}}$ )

$$q = FQM * \text{No. Habitantes} * FH$$

Actual:

$$q = (0,002 \text{ Lts/s/hab}) * (305 \text{ hab}) * (4,08) = 2,49 \text{ L/s}$$

Futuro:

$$q = (0,002 \text{ Lts/s/hab}) * (495 \text{ hab}) * (3,98) = 3,94 \text{ L/s}$$

- Velocidad a sección llena

$$V = \frac{1}{n} * \frac{D^{\frac{2}{3}}}{4} * S^{\frac{1}{2}}$$

$$V = \frac{(\frac{8}{4} * 0,0254)^{\frac{2}{3}} * (5,12 \%)^{\frac{1}{2}}}{0,010}; \quad V = 3,10 \text{ m/s}$$

- Área a sección llena

$$\text{Área} = \frac{\pi}{4} * \phi^2$$

$$\text{Area} = \frac{\pi}{4} * (8 * 0,0254)^2; \quad \text{Area} = 0,0324 \text{ m}^2$$

- Caudal a sección llena

$$Q = V * A$$

$$Q = 3,10 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 0,0324 \text{ m}^2 * 1000 \text{ L/m}^3; \quad Q = 100,53 \text{ L/s}$$

- Relación hidráulica q/Q

Actual:

$$\frac{q}{Q} = \frac{2,49 \text{ L/s}}{100,53 \text{ L/s}} = 0,02477$$

Futura:

$$\frac{q}{Q} = \frac{3,94 \text{ L/s}}{100,53} = 0,03919$$

- Relación hidráulica de velocidades

La relación de velocidades se determina mediante la relación de caudales obtenida anteriormente localizada en la columna derecha de la tabla de relaciones hidráulicas (apéndice C) de relaciones hidráulicas  $V_{\text{Secllena}}$

Actual:

$$\frac{v}{V_{\text{Secllena}}} = 0,4211$$

$$V = \text{Relacion} \frac{v}{V} * V_{\text{Secllena}}$$

$$V = 0,4211 * 3,10; \quad V = 1,31 \text{ m/s}$$

$$0,40 \leq 1,31 \leq 5,00 \text{ m/s} \quad \text{CUMPLE}$$

Futuro:

$$\frac{v}{V_{\text{Secllena}}} = 0,4842$$

$$V = \text{Relacion} \frac{v}{V} * V_{\text{Secllena}}$$

$$V = 0,4842 * 3,10; \quad V = 1,50 \text{ m/s}$$

$$0,40 \leq 1,50 \leq 5,00 \text{ m/s} \quad \text{CUMPLE}$$

- Relación hidráulica  $d/D$

Actual:

$$\frac{d}{D} = 0,1080$$

$$\frac{d}{D} = 10,80 \%$$

Futura:

$$\frac{d}{D} = 0,1350$$

$$\frac{d}{D} = 13,50 \%$$

El tirante es el adecuado, debido a que se encuentra dentro de los parámetros permisibles de 10 % a 75 % del diámetro de la tubería.

- Cotas invert
  - Cota invert salida

$$CIS = CTi - 0,03$$

$$CIS = 1819,13 - 0,03; \quad CIS = 1819,10m$$

Cota invert entrada

$$CIE = CIS - \left(\frac{\%S}{100}\right) * D$$

$$CIE = 1819,10 - \left(\frac{5,10 \%}{100}\right) * 72,86 m; \quad CIE = 1815,38$$

- Altura de pozos

Entrada

$$Inicial = CTi - CIS \text{ m}$$

$$Inicial = 1820,56 m - 1819,10 m; \quad Inicial = 1,46m$$

Salida

$$Final = CTf - CIE \text{ m}$$

$$Final = 1\,816,83\,m - 1\,815,38\,m; \quad Final = 1,45m$$

- Volumen de excavación

$$V = \left( \frac{H1 + H2}{2} \right) * d * Z$$
$$V = \left( \frac{1,46\,m + 1,45\,m}{2} \right) * 72,86m * 0,70m; \quad V = 74,21\,m^3$$

### **3.1.5. Propuesta de tratamiento para aguas negras**

El desfogue de las aguas residuales generadas por el sistema de alcantarillado sanitario estará ubicado en una planta de tratamiento prevista por la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, que permitirá tratar los desechos generados mediante métodos y sistemas adecuados.

### **3.1.6. Planos constructivos**

A continuación, se presentan los planos y detalles correspondientes para el sistema de alcantarillado sanitario para la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula.

- Planta general del sistema de alcantarillado sanitario
- Planta topográfica general y curvas de nivel
- Planta conjunto de la aldea
- Croquis de línea de alcantarillado sanitario
- Planta-perfil de cada tramo
- Detalles estructurales de los pozos

Los planos se presentan en el apéndice correspondiente

### 3.1.7. Presupuesto

A continuación, se presenta el presupuesto requerido para la ejecución del proyecto de alcantarillado sanitario, este incluye costo de materiales, mano de obra, maquinaria, prestaciones, gastos por utilidad, administración e impuestos. El presupuesto se realizó al costo actual de los materiales y mano de obra que se maneja en la localidad.

Tabla LXXXV. **Presupuesto de sistema de alcantarillado sanitario para la aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula**

PRESUPUESTO					
Diseño de alcantarillado sanitario, aldea El Rosario, Piedra Parada, Santa Catarina Pinula					
No.	DESCRIPCIÓN DEL RENGLÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
<b>1</b>	<b>TRABAJOS PRELIMINARES</b>				
1.1	TRAZO Y NIVELACIÓN	1 697,62	M	Q 12,15	Q 20 626,08
1.2	LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DE TERRENO	1 625,70	M2	Q 5,52	Q 8 973,86
<b>2</b>	<b>ALCANTARILLADO</b>				
2.1	POZO DE VISITA, H=1,40m	2,39	M3	Q 4 129,61	Q 9 869,77
2.2	POZO DE VISITA, H= 2,00m	4,75	M3	Q 3 988,07	Q 18 943,33
2.3	POZO DE VISITA, H= 1,45m,	8,60	M3	Q 4 066,55	Q 34 972,33
2.4	POZO DE VISITA, H= 1,50 m	2,50	M3	Q 4 201,60	Q 10 504,00
2.5	POZO DE VISITA, H= 3,00 m	4,45	M3	Q 4 117,18	Q 18 321,45
2.6	POZO DE VISITA, H = 1,80m	1,45	M3	Q 4 214,32	Q 6 110,76
2.7	POZO DE VISITA, H= 1,25m	31,90	M3	Q 3 958,37	Q 126 272,00
2.8	POZO DE VISITA, H = 1,70 m	1,39	M3	Q 4 238,80	Q 5 891,93
2.9	POZO DE VISITA, H = 1,20 m	4,27	M3	Q 4 108,13	Q 17 541,72
2.10	POZO DE VISITA, H = 3,43 m	2,50	M3	Q 4 194,31	Q 10 485,78
2.11	POZO DE VISITA, H= 2,10 m	4,94	M3	Q 4 087,45	Q 20 192,00
2.12	POZO DE VISITA, H = 1,75 m	2,84	M3	Q 4 205,18	Q 11 942,71
2.13	POZO DE VISITA, H = 1,30 m	2,26	M3	Q 4 094,51	Q 9 253,59
2.14	POZO DE VISITA, H= 6,12 m	4,23	M3	Q 4 280,53	Q 18 106,64
2.15	POZO DE VISITA, H = 5,96 m	4,13	M3	Q 4 241,20	Q 17 516,16
2.16	POZO DE VISITA, H = 3,66 m,	2,65	M3	Q 4 252,64	Q 11 269,50
2.17	POZO DE VISITA, H = 1,49 m,	1,25	M3	Q 4 341,83	Q 5 427,29
2.18	POZO DE VISITA, H = 2,57 m	1,95	M3	Q 4 198,79	Q 8 187,64
2.19	TUBERÍA PVC Ø 8", NORMA ASTM F949	1 581,52	M	Q 162,60	Q 257 155,15

Continuación de la tabla LXXXV.

2.20	TUBERÍA PVC Ø 10", NORMA ASTM F949	2 12,92	M	Q 247,89	Q 52 780,74
2.21	CAIDA DE POZO DE VISITA	3,00	UNIDAD	Q 2 106,50	Q 6 319,50
<b>3</b>	<b>TRABAJOS VARIOS</b>				
3.1	EXCAVACIÓN EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO	2 097,10	M3	Q 115,28	Q 241 753,69
3.2	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL SELECTO EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO	940,75	M3	Q 242,51	Q 228 141,28
3.3	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL GRANULAR (ASFALTO Y CONCRETO)	160,50	M3	Q 327,92	Q 52 631,16
3.4	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL EXTRAÍDO EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO	1316,96	M3	Q 75,28	Q 99 140,75
3.5	CONEXIONES DOMICILIARES	198,00	UNIDAD	Q 1 689,07	Q 334 435,86
3.6	REPARACIÓN DE ASFALTO	365,53	M2	Q 290,36	Q 106 135,29
3.7	REPARACIÓN DE PAVIMENTO	477,90	M2	Q 405,43	Q 193 755,00
3.8	LIMPIEZA GENERAL	1 625,70	M2	Q 6,40	Q 10 404,48
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>					<b>Q 1 973,061,44</b>

Fuente: elaboración propia

### 3.1.8. Cronograma de trabajo

En la tabla LXXXVI que describe el cronograma de actividades a ejecutarse para la elaboración del proyecto de alcantarillado sanitario.

Tabla LXXXVI. Cronograma de ejecución para sistema de alcantarillado sanitario

No	DESCRIPCIÓN														
1	TRAZO Y NIVELACIÓN	■													
2	LIMPIEZA Y PREPARACIÓN DE TERRENO	■	■												
3	POZO DE VISITA		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		
4	TUBERÍA PVC Ø 8"		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		Q 257 155,15
5	TUBERÍA PVC Ø 10"							■	■	■	■	■	■		Q 52 780,74
6	CAIDA DE POZO DE VISITA			■						■		■			Q 6 319,50
7	EXCAVACIÓN EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO Y POZOS DE VISITA		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		Q 241 753,69
8	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL SELECTO EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		Q 228 141,28
9	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL GRANULAR EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO (ASFALTO Y CONCRETO)		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		Q 52 631,16
10	RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL EXTRAÍDO EN LÍNEA DE ALCANTARILLADO		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		Q 99 140,75
11	CONEXIONES DOMICILIARES		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		Q 334 435,86
12	REPARACIÓN DE ASFALTO												■	■	Q 106 135,29
13	REPARACIÓN DE PAVIMENTO			■	■							■	■		Q 193 755,00
14	LIMPIEZA GENERAL												■	■	Q 10 404,48
<b>COSTO TOTAL</b>														<b>Q1 973 061,44</b>	

Fuente: elaboración propia.

### **3.1.9. Evaluación de impacto ambiental**

Según evaluaciones realizadas para el proyecto del sistema de alcantarillado sanitario se ha determinado que el mismo no generará un impacto ambiental negativo permanente.

A continuación, se presentan actividades con impacto ambiental negativo.

- Obstaculización en el flujo vehicular
- Generación de polvo proveniente de la excavación de suelo
- Generación de ruido y vibraciones, durante la etapa de construcción

De igual manera se presenta un breve listado de las medidas de mitigación ante los factores negativos.

- Planificación de lapsos de tiempo en el flujo de tránsito vehicular
- Riego constante de agua en la zona donde se origine polvo
- Establecer un horario de trabajo diurno, con la finalidad de evitar molestias.
- Establecer letrinas temporales para los trabajadores.

Sin embargo, el impacto ambiental positivo será la eliminación de las aguas servidas que circulan sobre la superficie de calles y callejones, disminuyendo la proliferación de plagas, tales como zancudos, mosquitos y enfermedades que se puedan dar en el ambiente. Así como, se eliminará el uso de fosas sépticas y pozos ciegos disminuyendo la contaminación en el manto freático.

## CONCLUSIONES

1. El edificio escolar de dos niveles para la aldea el Rosario, Piedra Parada está basado en un sistema estructural sismo resistente de marcos rígidos, con elementos estructurales conectados entre sí, considerando efectos laterales causados por el sismo, brindando seguridad e integridad a los usuarios.
2. La infraestructura del edificio escolar se desarrolló para un total de 230 alumnos basándose en un diseño arquitectónico con ambientes amplios y seguros, contribuyendo al desarrollo académico. Se estimó un área mínima de 1,50 m<sup>2</sup> por estudiante, proponiendo salones con una capacidad de 35 alumnos.
3. El sistema de alcantarillado sanitario, para la aldea el Rosario, Piedra Parada, se desarrolló para un periodo de vida útil de 20 años, mejorando la calidad de vida de los usuarios y evitar la proliferación de enfermedades ocasionadas por el desfogue inadecuado de las aguas residuales que circulan a flor de tierra.
4. La planificación realizada para ambas infraestructuras se estimó de manera que el presupuesto sea accesible al momento de ser ejecutadas por la Municipalidad de Santa Catarina Pinula. Los proyectos diseñados son factibles económicamente debido a que contribuyen al desarrollo de la comunidad.

5. Respecto a las evaluaciones de impacto ambiental, se pudo concluir que ninguno de los proyectos antes mencionados causaría daños irreversibles al medio ambiente, sin embargo, se proponen medidas de mitigación para eliminar cualquier efecto secundario.

## RECOMENDACIONES

A la Municipalidad de Santa Catarina Pinula, Guatemala:

1. Supervisar las obras por personal calificado y evitar riesgos durante su ejecución, de tal manera que los métodos utilizados sean los óptimos.
2. Ejecutar los proyectos conforme las especificaciones propuestas en el diseño y en planos, teniendo un control constante en la calidad de materiales a utilizar durante la construcción, con la finalidad de garantizar la vida útil para la cual fue diseñada.
3. Supervisar de manera continua el funcionamiento de cada infraestructura, teniendo en consideración el uso para el cual fue diseñada y la cantidad de usuarios que pueden hacer uso de la misma.
4. Concientizar a la población de la aldea el Rosario, Piedra Parada, sobre el uso correcto de las instalaciones y el cuidado apropiado que se le debe de proporcionar a cada una, evitando de esta manera costos económicos de reparación adicionales.
5. Ejecutar programas de mantenimiento constante, tanto para el edificio escolar como para el sistema de alcantarillado sanitario con la finalidad de evitar un deterioro prematuro y brindar un servicio adecuado durante su vida útil.



## BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318SUS-14) y comentario ACI 318RSUS-14*. Estados Unidos de América: ACI, 2014. 592 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Normas de seguridad estructural para Guatemala*. Guatemala: AGIES, 2018. 66 p.
3. BRAJA, M. Das. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 7a ed. México, D.F. Thomson, 2016. 165 p.
4. CORZO ÁVILA, Mario Rodolfo. *Concepción de una sabandija sobre edificios de hormigón armado*. Guatemala: USAC, 2018. 300 p.
5. GONZALES CUEVAS, Oscar. *Análisis estructural*. México: Limusa, 2002. 763 p.
6. GRAJEDA FÉRNANDEZ, Carlos Alberto. *Diseño de edificio escolar de dos niveles para la aldea El Carmen y una red de alcantarillado sanitario para el sector El Riíto de la aldea El Pajón, Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2017. 326 p.

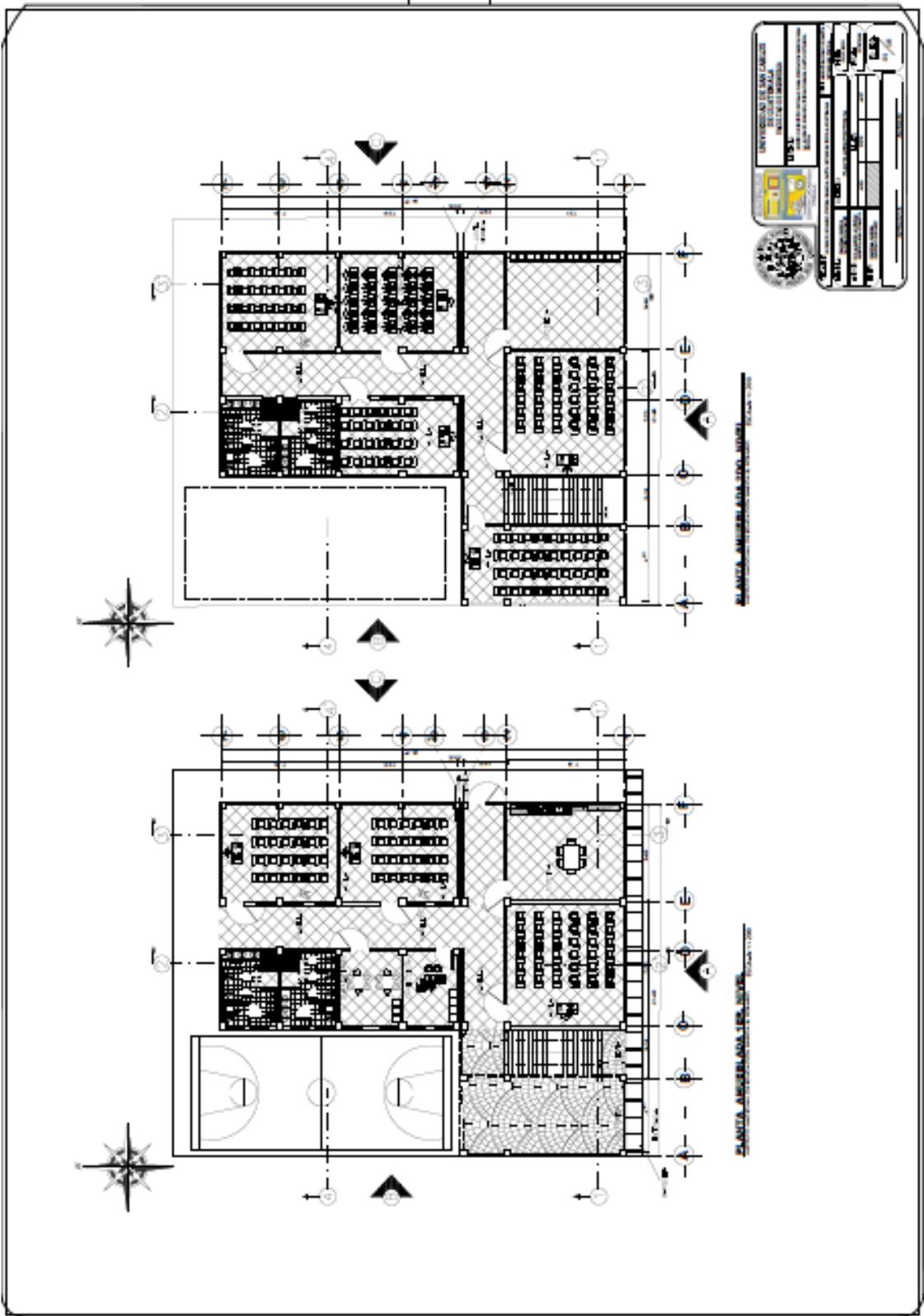
7. Instituto de Fomento Municipal. *Normas generales para el diseño de alcantarillados*. Guatemala: INFOM, 2001. 22 p.
8. Ministerio de Educación. *Manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales*. Guatemala: MINEDUC, 2016. 168 p.
9. P H. NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*, 12a ed. Colombia: McGraw-Hill, 2001. 505 p.

# APÉNDICES

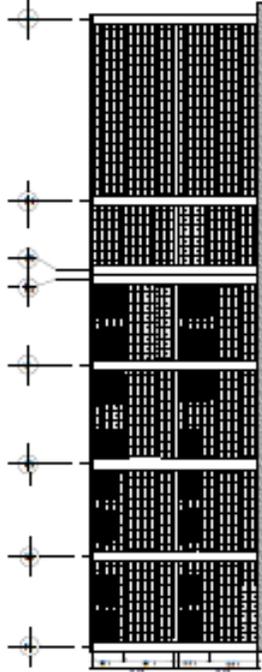
## Apéndice.1 **Planos constructivos para edificio escolar**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.

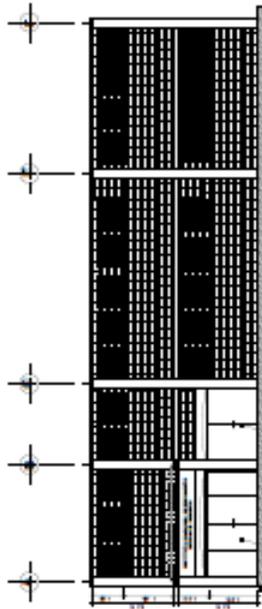




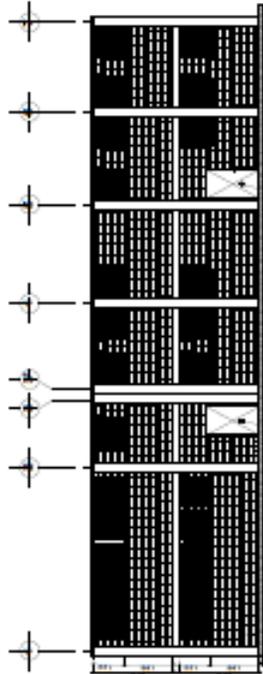




**ELEVACION 3B**  
 PROYECTO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCALA 1:150



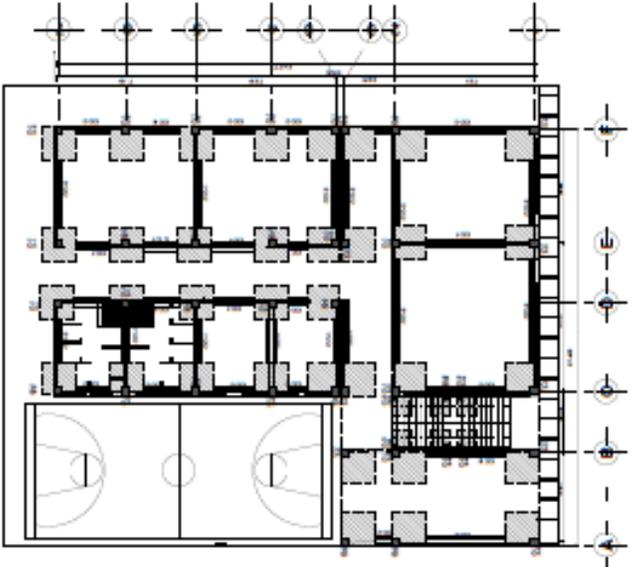
**ELEVACION 3A**  
 PROYECTO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCALA 1:150



**ELEVACION 3C**  
 PROYECTO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCALA 1:150

		UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE CAGAYAN FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	
TITULO PROYECTO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA	AÑO 2015	AUTOR JUAN CARLOS...	ESCALA 1:150
FECHA 15/05/2015	LUGAR CAGAYAN DE ORO	INSTITUCION UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE CAGAYAN	PROYECTO FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA





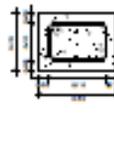
MATERIALS	
1	CONCRETO
2	ACEROS
3	ALUMINIO
4	VIDRIO
5	ISOLACION
6	PAVIMENTO
7	TEJADO
8	ACABADOS



4.00 + ET 100 x 100  
SOLETA DE HUMEDAD



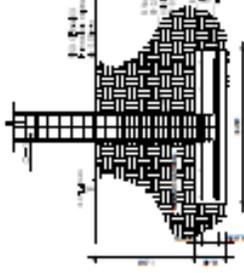
4.00 + ET 100 x 100  
SOLETA INTERMEDIA



4.00 + ET 100 x 100  
SOLETA DE CORONA



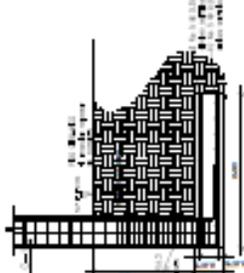
PLANTA ZAPATA 2-1  
COLOCACION CONCENTRICA



SECCION ZAPATA 2-1  
COLOCACION CONCENTRICA



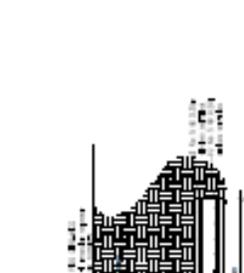
PLANTA ZAPATA 2-2  
COLOCACION EXCENTRICA



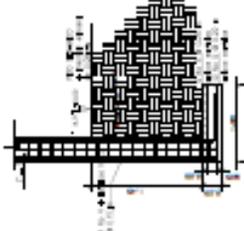
SECCION ZAPATA 2-2  
COLOCACION EXCENTRICA



PLANTA ZAPATA 2-3  
COLOCACION EXCENTRICA



SECCION ZAPATA 2-3  
COLOCACION EXCENTRICA



SECCION ZAPATA 2-3  
COLOCACION EXCENTRICA



SECCION CORRIDO CC-1  
CIMENTO CORRIDO CC-1

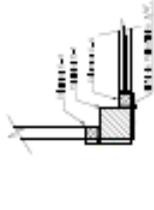
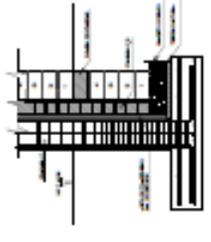
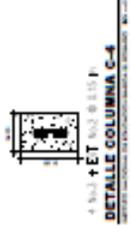
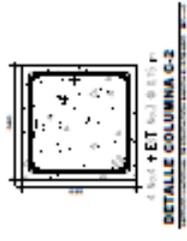
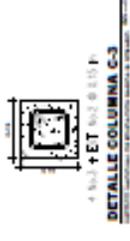
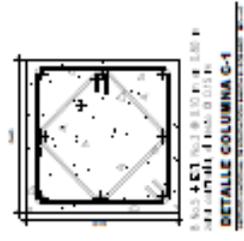
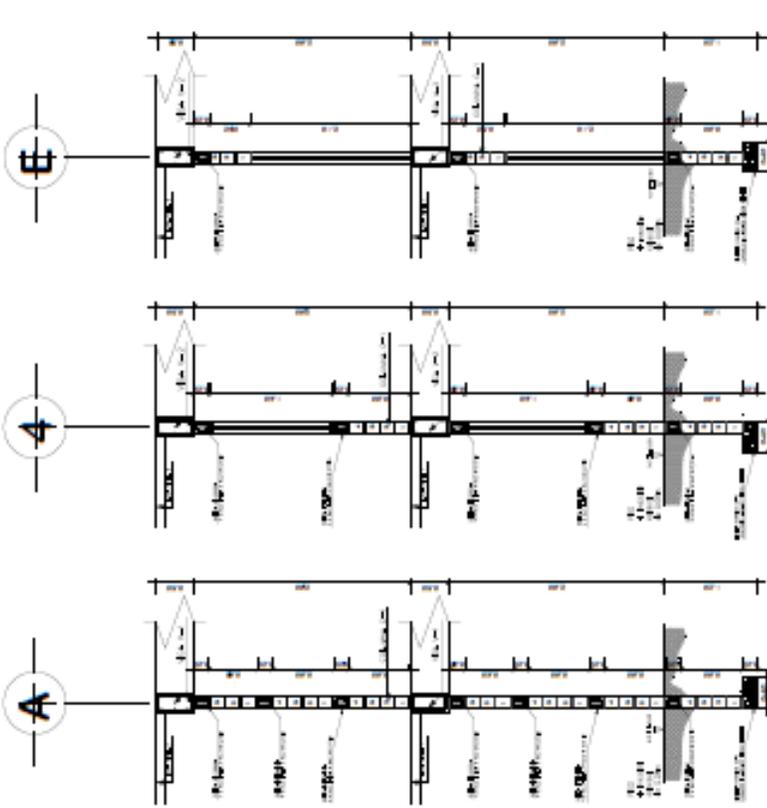


SECCION CORRIDO CC-2  
CIMENTO CORRIDO CC-2

MATERIALS	
1	CONCRETO
2	ACEROS
3	ALUMINIO
4	VIDRIO
5	ISOLACION
6	PAVIMENTO
7	TEJADO
8	ACABADOS

MATERIALS	
1	CONCRETO
2	ACEROS
3	ALUMINIO
4	VIDRIO
5	ISOLACION
6	PAVIMENTO
7	TEJADO
8	ACABADOS

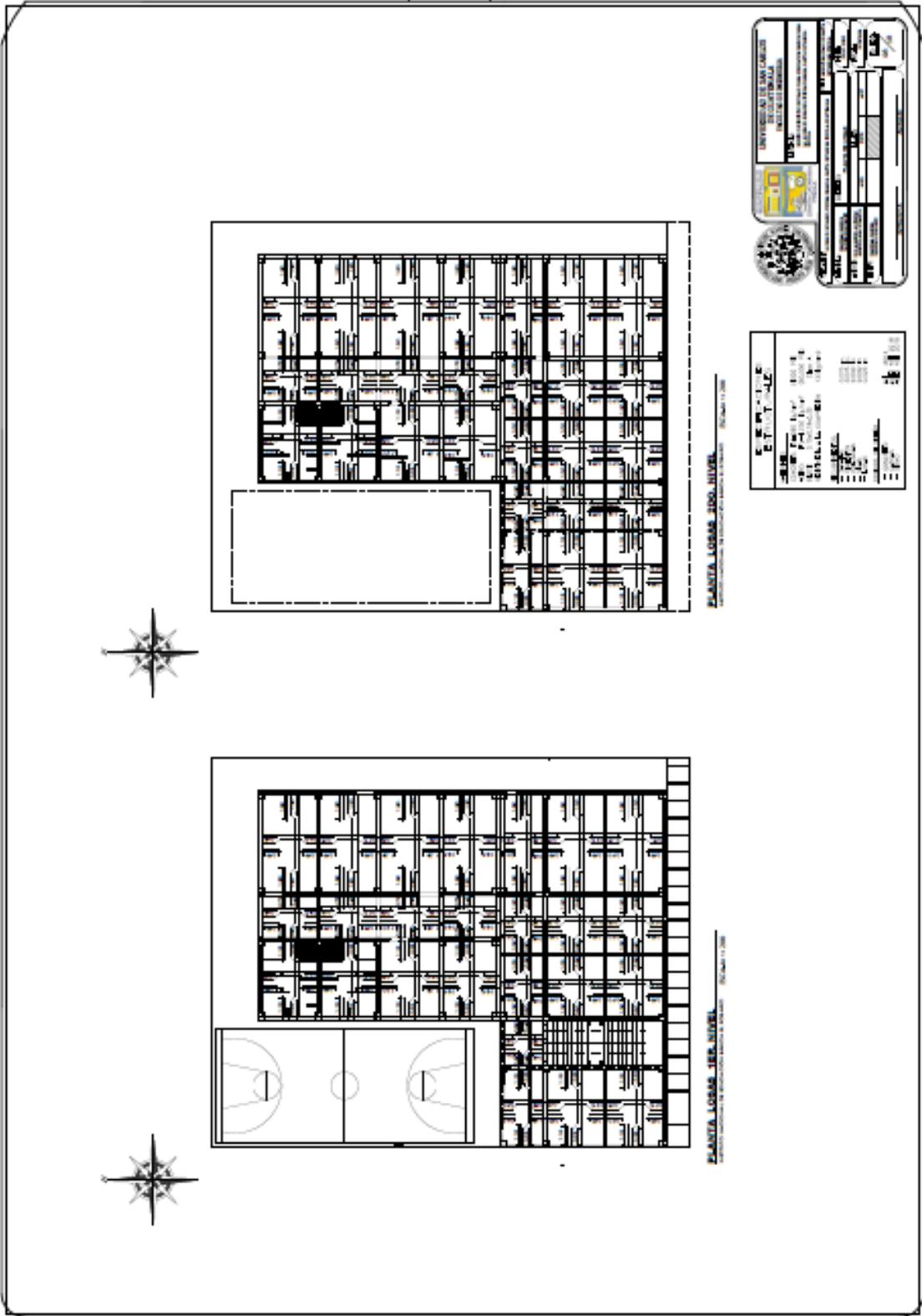




DETALLE DE UNION DE MURO DE MAMPUESTRIA EN COLUMNAS PRINCIPALES C-3

ELEVACION DE UNION DE MURO DE MAMPUESTRIA EN COLUMNAS PRINCIPALES C-1

E.T. 102-102	
PROYECTISTA	ING. J. P. ...
REVISOR	ING. J. P. ...
ELABORADOR	ING. J. P. ...
APROBADO	ING. J. P. ...
FECHA	...
ESCALA	...
...	...



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
FACULTAD DE INGENIERIA  
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS	INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
FACULTAD DE INGENIERIA	INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS	INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

PLANTA LOGGAS - 2DO. NIVEL

PLANTA LOGGAS - 3ER. NIVEL



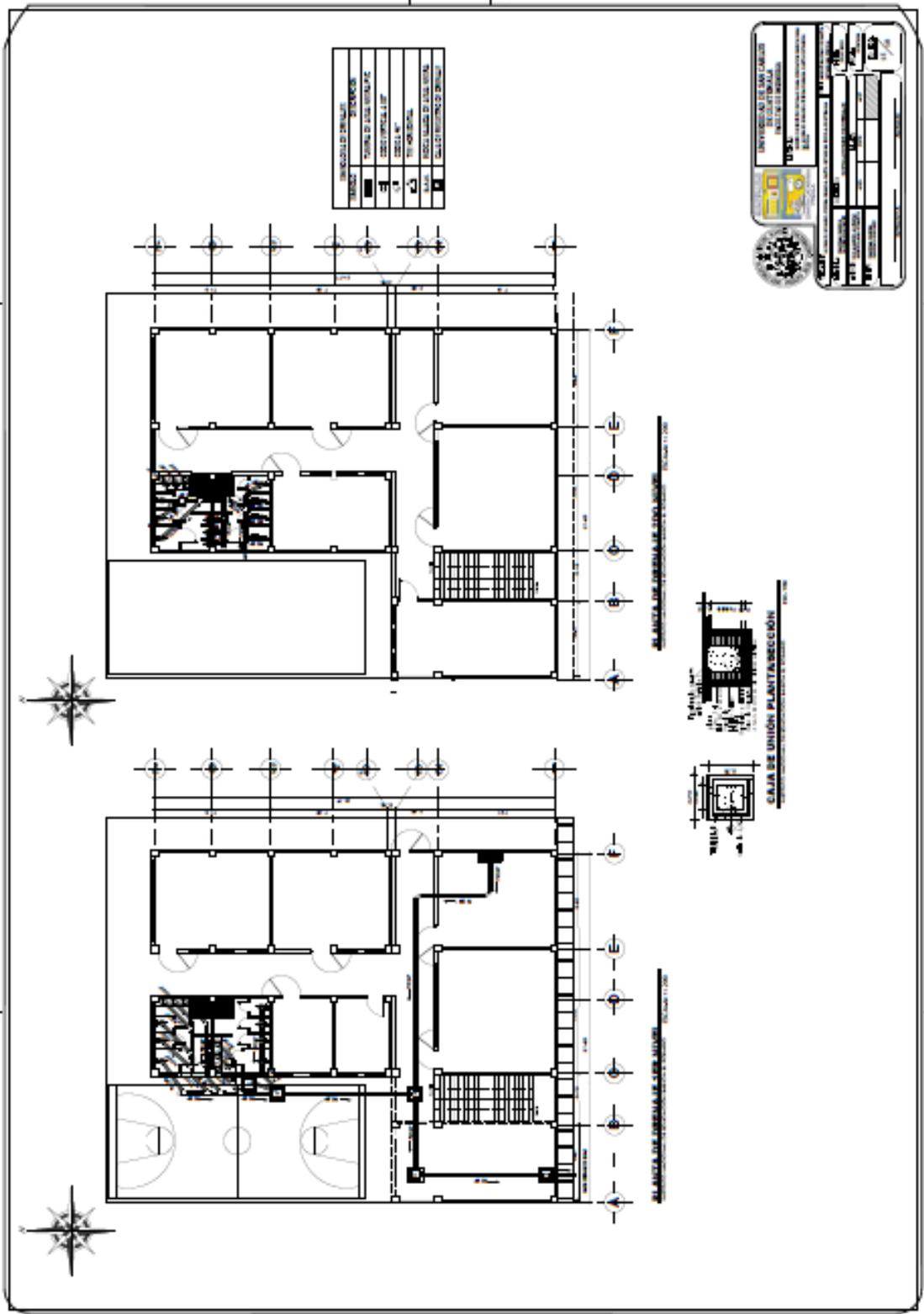


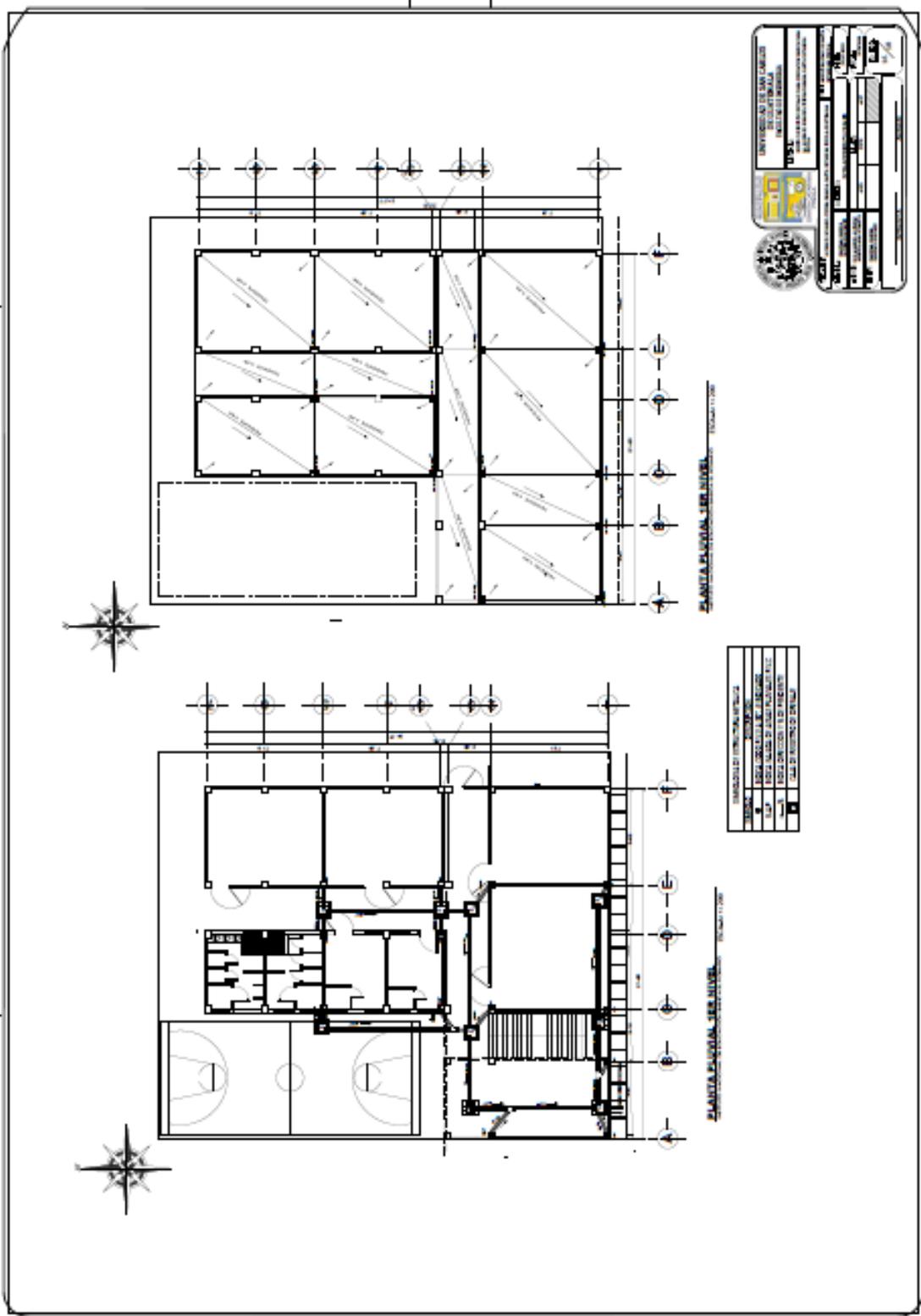










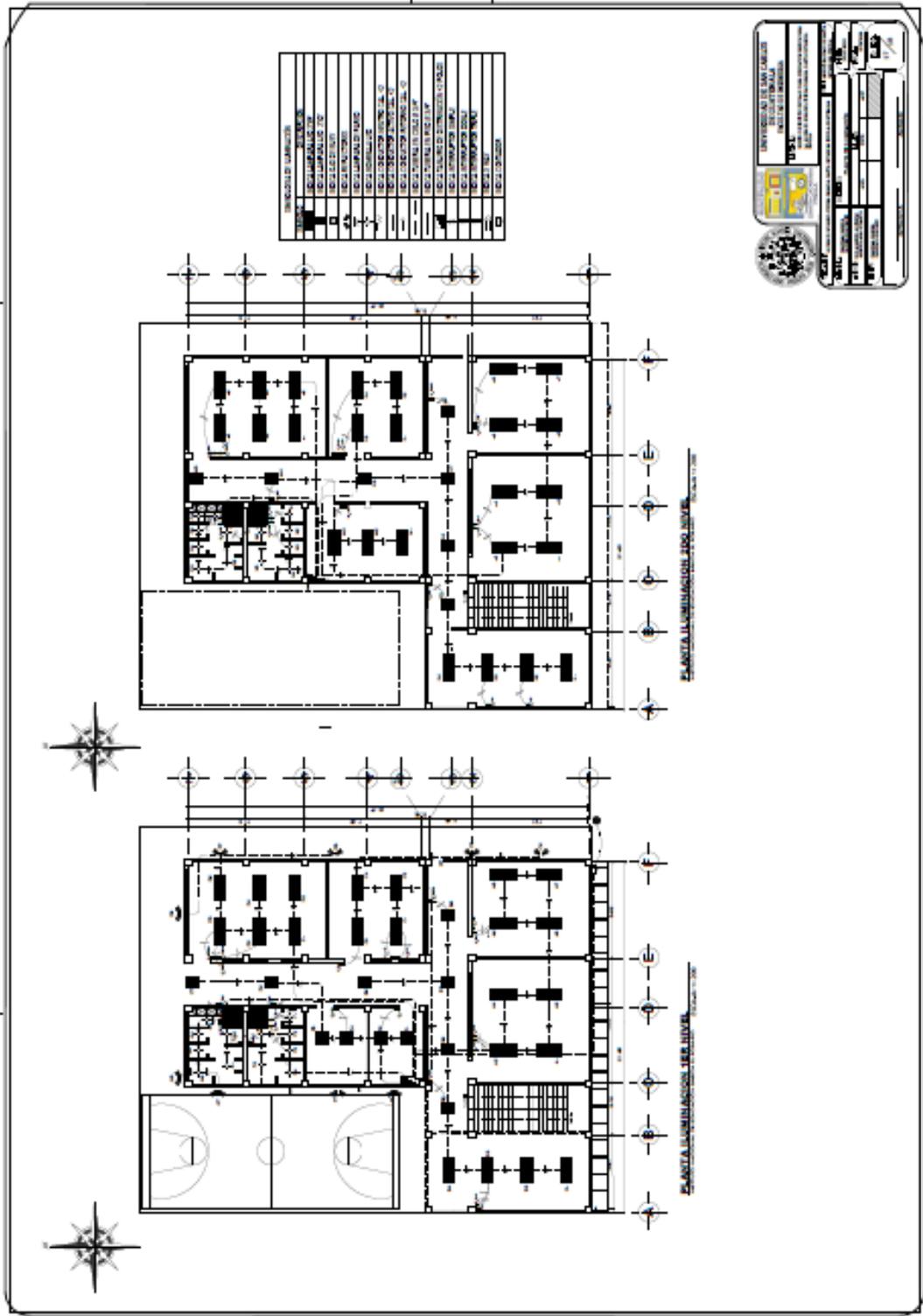


UNIVERSIDAD DE LA AMBA INSTITUTO VESPERTINO	
FACULTAD DE INGENIERIA	
CARRERA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA	
PROYECTO DE GRADUACION	
TITULO: DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CENTRO DE INVESTIGACION EN SISTEMAS DE INGENIERIA	
AUTOR: JUAN CARLOS GARCIA	
FECHA: 2014	
LUGAR: QUITO	
ESCALA: 1:50	
PROYECTO: 01	
FOLIO: 10	

PLANTA SEGUNDA - SEGUNDA NIVEL

LEGENDA	
■	ESTRUCTURA
■	REDES Y SERVICIOS
■	MEBLES Y EQUIPOS
■	ACCESORIOS Y DETALLES
■	OTROS

PLANTA SEGUNDA - SEGUNDA NIVEL



LEGENDA

1	RUANG BELAJAR
2	RUANG BELAJAR
3	RUANG BELAJAR
4	RUANG BELAJAR
5	RUANG BELAJAR
6	RUANG BELAJAR
7	RUANG BELAJAR
8	RUANG BELAJAR
9	RUANG BELAJAR
10	RUANG BELAJAR
11	RUANG BELAJAR
12	RUANG BELAJAR
13	RUANG BELAJAR
14	RUANG BELAJAR
15	RUANG BELAJAR
16	RUANG BELAJAR
17	RUANG BELAJAR
18	RUANG BELAJAR
19	RUANG BELAJAR
20	RUANG BELAJAR
21	RUANG BELAJAR
22	RUANG BELAJAR
23	RUANG BELAJAR
24	RUANG BELAJAR
25	RUANG BELAJAR
26	RUANG BELAJAR
27	RUANG BELAJAR
28	RUANG BELAJAR
29	RUANG BELAJAR
30	RUANG BELAJAR
31	RUANG BELAJAR
32	RUANG BELAJAR
33	RUANG BELAJAR
34	RUANG BELAJAR
35	RUANG BELAJAR
36	RUANG BELAJAR
37	RUANG BELAJAR
38	RUANG BELAJAR
39	RUANG BELAJAR
40	RUANG BELAJAR
41	RUANG BELAJAR
42	RUANG BELAJAR
43	RUANG BELAJAR
44	RUANG BELAJAR
45	RUANG BELAJAR
46	RUANG BELAJAR
47	RUANG BELAJAR
48	RUANG BELAJAR
49	RUANG BELAJAR
50	RUANG BELAJAR
51	RUANG BELAJAR
52	RUANG BELAJAR
53	RUANG BELAJAR
54	RUANG BELAJAR
55	RUANG BELAJAR
56	RUANG BELAJAR
57	RUANG BELAJAR
58	RUANG BELAJAR
59	RUANG BELAJAR
60	RUANG BELAJAR
61	RUANG BELAJAR
62	RUANG BELAJAR
63	RUANG BELAJAR
64	RUANG BELAJAR
65	RUANG BELAJAR
66	RUANG BELAJAR
67	RUANG BELAJAR
68	RUANG BELAJAR
69	RUANG BELAJAR
70	RUANG BELAJAR
71	RUANG BELAJAR
72	RUANG BELAJAR
73	RUANG BELAJAR
74	RUANG BELAJAR
75	RUANG BELAJAR
76	RUANG BELAJAR
77	RUANG BELAJAR
78	RUANG BELAJAR
79	RUANG BELAJAR
80	RUANG BELAJAR
81	RUANG BELAJAR
82	RUANG BELAJAR
83	RUANG BELAJAR
84	RUANG BELAJAR
85	RUANG BELAJAR
86	RUANG BELAJAR
87	RUANG BELAJAR
88	RUANG BELAJAR
89	RUANG BELAJAR
90	RUANG BELAJAR
91	RUANG BELAJAR
92	RUANG BELAJAR
93	RUANG BELAJAR
94	RUANG BELAJAR
95	RUANG BELAJAR
96	RUANG BELAJAR
97	RUANG BELAJAR
98	RUANG BELAJAR
99	RUANG BELAJAR
100	RUANG BELAJAR

UNIVERSITAS BINA SARASWATI  
 DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
 DAN PERENCANAAN  
 LABORATORIUM PERENCANAAN  
 CONTOH RENCANA

NO. 1001/2019

SKALA: 1:100

DISUSUN OLEH:  
 NAMA: ...  
 NIM: ...

PROFESOR PEMBINA:  
 NAMA: ...  
 NIDP: ...

DOSEN PEMBANTU:  
 NAMA: ...  
 NIDP: ...

REVISI

NO. REVISI

ALASAN REVISI

REVISI

NO. REVISI

ALASAN REVISI

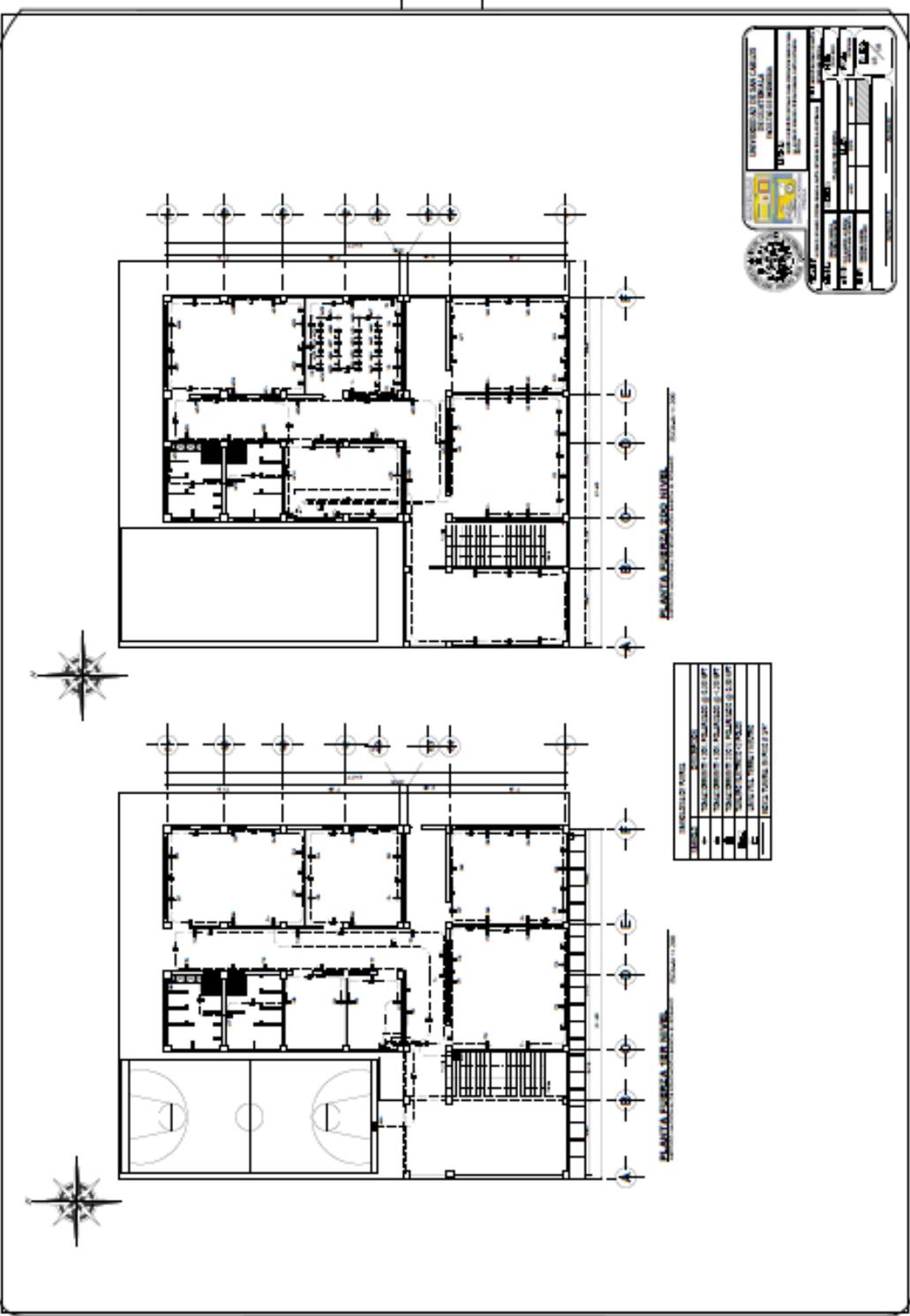
REVISI

NO. REVISI

ALASAN REVISI

PLOTTING DAN PERENCANAAN

PLOTTING DAN PERENCANAAN



LEGENDA

□	TELA DE ALUMINIO

UNIVERSIDAD DEL CAJAMA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA

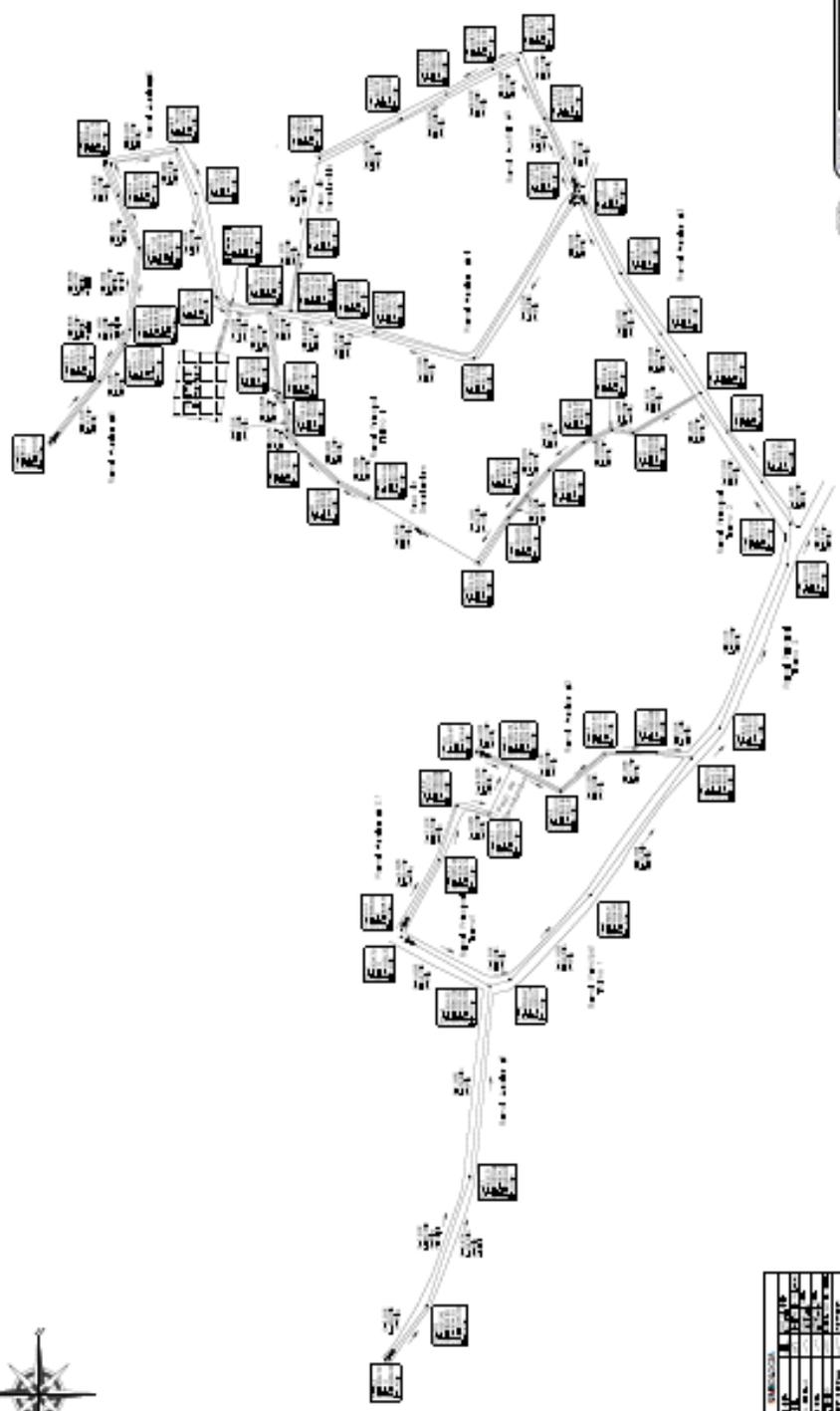
UNIVERSIDAD DEL CAJAMA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA EN SISTEMAS DE INGENIERIA

PROYECTO	...
FECHA	...
PROFESOR	...
ESTUDIANTE	...
...	...

Apéndice 2. **Planos constructivos de sistema de alcantarillado sanitario**

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.





**PLANTA GENERAL DE ALCANTARILLADO SANITARIO**  
 ESCALA: 1:1750

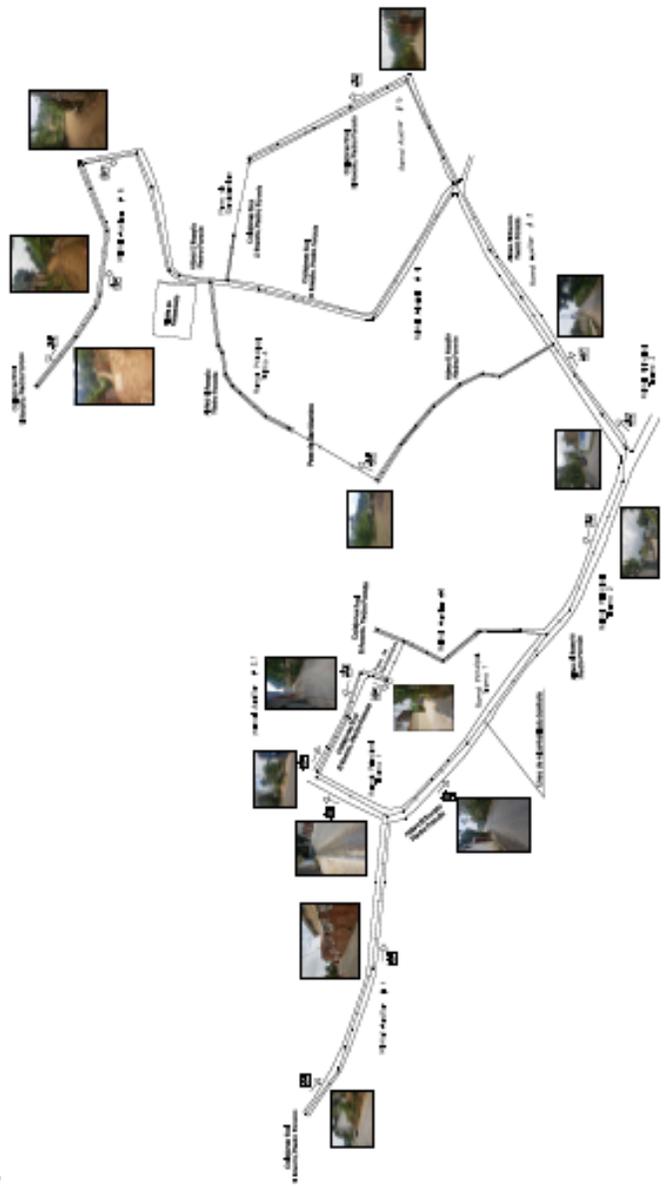
DESCRIPCION		CANTIDAD	
1	TRINCHES	1	1
2	TRINCHES	1	1
3	TRINCHES	1	1
4	TRINCHES	1	1
5	TRINCHES	1	1
6	TRINCHES	1	1
7	TRINCHES	1	1
8	TRINCHES	1	1
9	TRINCHES	1	1
10	TRINCHES	1	1
11	TRINCHES	1	1
12	TRINCHES	1	1
13	TRINCHES	1	1
14	TRINCHES	1	1
15	TRINCHES	1	1
16	TRINCHES	1	1
17	TRINCHES	1	1
18	TRINCHES	1	1
19	TRINCHES	1	1
20	TRINCHES	1	1
21	TRINCHES	1	1
22	TRINCHES	1	1
23	TRINCHES	1	1
24	TRINCHES	1	1
25	TRINCHES	1	1
26	TRINCHES	1	1
27	TRINCHES	1	1
28	TRINCHES	1	1
29	TRINCHES	1	1
30	TRINCHES	1	1
31	TRINCHES	1	1
32	TRINCHES	1	1
33	TRINCHES	1	1
34	TRINCHES	1	1
35	TRINCHES	1	1
36	TRINCHES	1	1
37	TRINCHES	1	1
38	TRINCHES	1	1
39	TRINCHES	1	1
40	TRINCHES	1	1
41	TRINCHES	1	1
42	TRINCHES	1	1
43	TRINCHES	1	1
44	TRINCHES	1	1
45	TRINCHES	1	1
46	TRINCHES	1	1
47	TRINCHES	1	1
48	TRINCHES	1	1
49	TRINCHES	1	1
50	TRINCHES	1	1
51	TRINCHES	1	1
52	TRINCHES	1	1
53	TRINCHES	1	1
54	TRINCHES	1	1
55	TRINCHES	1	1
56	TRINCHES	1	1
57	TRINCHES	1	1
58	TRINCHES	1	1
59	TRINCHES	1	1
60	TRINCHES	1	1
61	TRINCHES	1	1
62	TRINCHES	1	1
63	TRINCHES	1	1
64	TRINCHES	1	1
65	TRINCHES	1	1
66	TRINCHES	1	1
67	TRINCHES	1	1
68	TRINCHES	1	1
69	TRINCHES	1	1
70	TRINCHES	1	1
71	TRINCHES	1	1
72	TRINCHES	1	1
73	TRINCHES	1	1
74	TRINCHES	1	1
75	TRINCHES	1	1
76	TRINCHES	1	1
77	TRINCHES	1	1
78	TRINCHES	1	1
79	TRINCHES	1	1
80	TRINCHES	1	1
81	TRINCHES	1	1
82	TRINCHES	1	1
83	TRINCHES	1	1
84	TRINCHES	1	1
85	TRINCHES	1	1
86	TRINCHES	1	1
87	TRINCHES	1	1
88	TRINCHES	1	1
89	TRINCHES	1	1
90	TRINCHES	1	1
91	TRINCHES	1	1
92	TRINCHES	1	1
93	TRINCHES	1	1
94	TRINCHES	1	1
95	TRINCHES	1	1
96	TRINCHES	1	1
97	TRINCHES	1	1
98	TRINCHES	1	1
99	TRINCHES	1	1
100	TRINCHES	1	1

EMPRESA DE SERVICIOS  
 DE INGENIERIA Y  
 ARQUITECTURA  
 S.A.

NOMBRE DEL PROYECTO: **ALCANTARILLADO SANITARIO**  
 NOMBRE DEL CLIENTE: **COMUNIDAD DE LA ZONA**  
 NOMBRE DEL DISEÑADOR: **ING. JUAN PABLO GONZALEZ**  
 NOMBRE DEL ASESOR: **ING. JUAN PABLO GONZALEZ**  
 NOMBRE DEL EJECUTOR: **ING. JUAN PABLO GONZALEZ**  
 NOMBRE DEL REVISOR: **ING. JUAN PABLO GONZALEZ**  
 NOMBRE DEL APROBADO: **ING. JUAN PABLO GONZALEZ**  
 FECHA: **15/03/2017**  
 ESCALA: **1:1750**







REVISIÓN	
1	ELABORACIÓN
2	REVISIÓN
3	APROBACIÓN
4	REVISIÓN
5	APROBACIÓN
6	REVISIÓN
7	APROBACIÓN
8	REVISIÓN
9	APROBACIÓN
10	REVISIÓN
11	APROBACIÓN
12	REVISIÓN
13	APROBACIÓN
14	REVISIÓN
15	APROBACIÓN
16	REVISIÓN
17	APROBACIÓN
18	REVISIÓN
19	APROBACIÓN
20	REVISIÓN
21	APROBACIÓN
22	REVISIÓN
23	APROBACIÓN
24	REVISIÓN
25	APROBACIÓN
26	REVISIÓN
27	APROBACIÓN
28	REVISIÓN
29	APROBACIÓN
30	REVISIÓN
31	APROBACIÓN
32	REVISIÓN
33	APROBACIÓN
34	REVISIÓN
35	APROBACIÓN
36	REVISIÓN
37	APROBACIÓN
38	REVISIÓN
39	APROBACIÓN
40	REVISIÓN
41	APROBACIÓN
42	REVISIÓN
43	APROBACIÓN
44	REVISIÓN
45	APROBACIÓN
46	REVISIÓN
47	APROBACIÓN
48	REVISIÓN
49	APROBACIÓN
50	REVISIÓN
51	APROBACIÓN
52	REVISIÓN
53	APROBACIÓN
54	REVISIÓN
55	APROBACIÓN
56	REVISIÓN
57	APROBACIÓN
58	REVISIÓN
59	APROBACIÓN
60	REVISIÓN
61	APROBACIÓN
62	REVISIÓN
63	APROBACIÓN
64	REVISIÓN
65	APROBACIÓN
66	REVISIÓN
67	APROBACIÓN
68	REVISIÓN
69	APROBACIÓN
70	REVISIÓN
71	APROBACIÓN
72	REVISIÓN
73	APROBACIÓN
74	REVISIÓN
75	APROBACIÓN
76	REVISIÓN
77	APROBACIÓN
78	REVISIÓN
79	APROBACIÓN
80	REVISIÓN
81	APROBACIÓN
82	REVISIÓN
83	APROBACIÓN
84	REVISIÓN
85	APROBACIÓN
86	REVISIÓN
87	APROBACIÓN
88	REVISIÓN
89	APROBACIÓN
90	REVISIÓN
91	APROBACIÓN
92	REVISIÓN
93	APROBACIÓN
94	REVISIÓN
95	APROBACIÓN
96	REVISIÓN
97	APROBACIÓN
98	REVISIÓN
99	APROBACIÓN
100	REVISIÓN

**CROQUIS DE LINEA DE ALCANTARILLADO SANITARIO**  
 ESCALA: 1: 2000

MINISTERIO DE SALUD  
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y DEMOGRAFÍA

PROYECTO: [ ]  
 FECHA: [ ]  
 LUGAR: [ ]

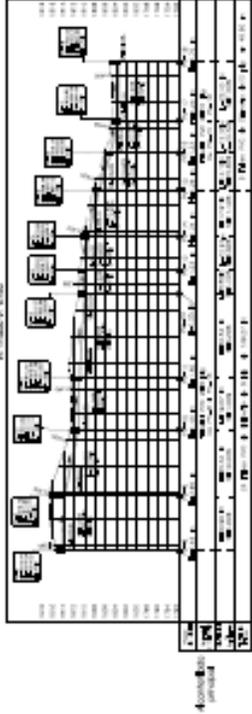
ELABORADO POR: [ ]  
 REVISADO POR: [ ]  
 APROBADO POR: [ ]





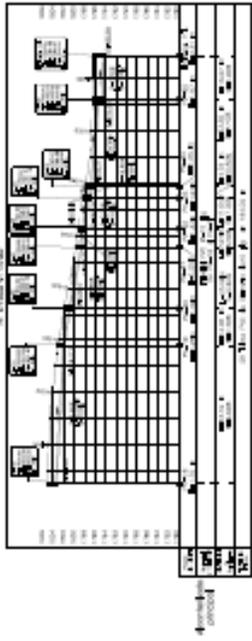


PROYECTO: PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO  
 ALIQUILADO: 1/200

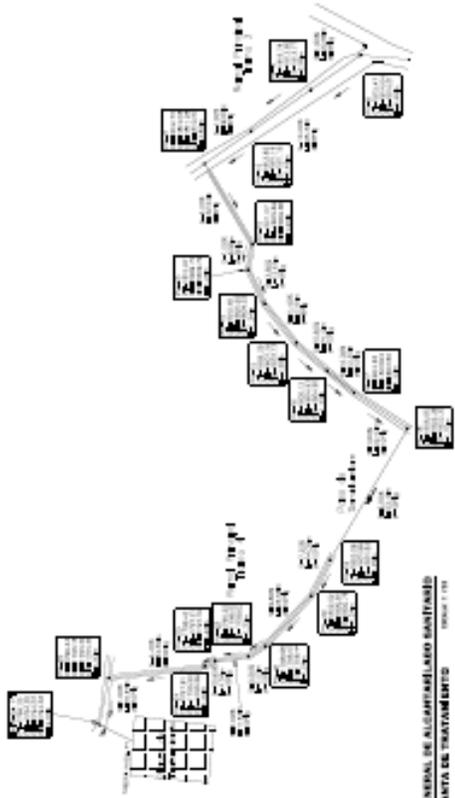


**PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO**  
 ALIQUILADO: 1/200  
 ESCALA: 1:200

PROYECTO: PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO  
 ALIQUILADO: 1/200



**PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO**  
 ALIQUILADO: 1/200  
 ESCALA: 1:200



**PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO**  
 ALIQUILADO: 1/200  
 ESCALA: 1:200

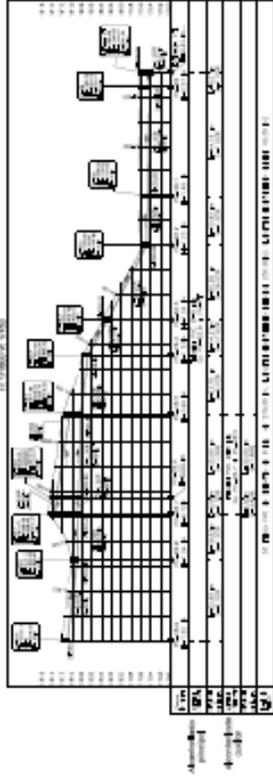
NO.	DESCRIPCION	AREA (M <sup>2</sup> )	VOLUMEN (M <sup>3</sup> )
1	ALMACEN	100	1000
2	OFICINA	50	500
3	LABORATORIO	150	1500
4	PLANTA DE TRATAMIENTO	200	2000
5	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	120	1200
6	PLANTA DE TRATAMIENTO	180	1800
7	PLANTA DE TRATAMIENTO	160	1600
8	PLANTA DE TRATAMIENTO	140	1400
9	PLANTA DE TRATAMIENTO	120	1200
10	PLANTA DE TRATAMIENTO	100	1000
11	PLANTA DE TRATAMIENTO	80	800
12	PLANTA DE TRATAMIENTO	60	600
13	PLANTA DE TRATAMIENTO	40	400
14	PLANTA DE TRATAMIENTO	20	200
15	PLANTA DE TRATAMIENTO	10	100
16	PLANTA DE TRATAMIENTO	5	50
17	PLANTA DE TRATAMIENTO	2	20
18	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	10
19	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.5	5
20	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.2	2
21	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.1	1
22	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.05	0.5
23	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.02	0.2
24	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.01	0.1
25	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.005	0.05
26	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.002	0.02
27	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.001	0.01
28	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.0005	0.005
29	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.0002	0.002
30	PLANTA DE TRATAMIENTO	0.0001	0.001

**EMPRESA DE AGUAS Y SANEAMIENTO**  
 S.A. (E.A.S.A.)  
 INSTITUCION FINANCIERA  
 S.A. (I.F.S.A.)

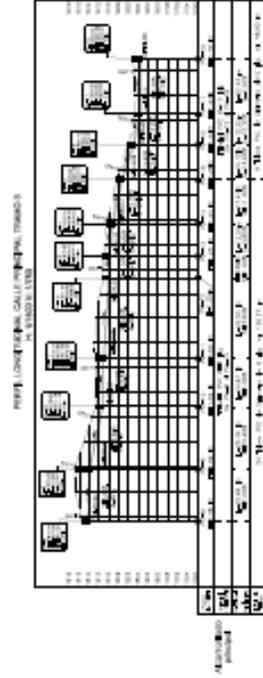
**PROYECTO: PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO**  
 ALIQUILADO: 1/200  
 ESCALA: 1:200

**PROYECTO: PLANTA GENERAL DE ALGAMBILOS SANTANDRO**  
 ALIQUILADO: 1/200  
 ESCALA: 1:200

PLANTA GENERAL DE LA ZONA ALMACENADA



PLANTA GENERAL DE ENTRADA PLANTAS DE TRATAMIENTO



PLANTA GENERAL DE ALMACENAMIENTO

DESCRIPCION		CANTIDAD	
1	ALMACEN	1	1
2	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
3	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
4	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
5	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
6	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
7	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
8	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
9	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
10	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
11	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
12	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
13	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
14	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
15	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
16	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
17	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
18	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1
19	PLANTA DE ALMACENAMIENTO	1	1
20	PLANTA DE TRATAMIENTO	1	1

PLANTA GENERAL DE LA ZONA ALMACENADA

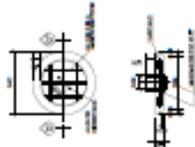



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERIA EN ARQUITECTURA**

**PROYECTO:** [Blank]  
**FECHA:** [Blank]  
**ALUMNO:** [Blank]



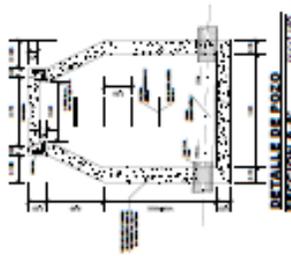
DETALLE CONEXION DOMICILIARIA TYPICA  
SECCION F-F



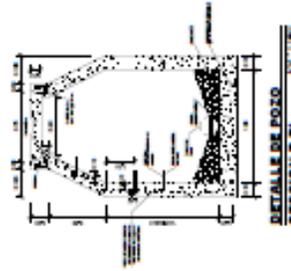
DETALLE TAPADERA CONEXION DOMICILIARIA TYPICA  
PLANTA Y SECCION G-G'



DETALLE CONEXION HACIA CARRIBELA



DETALLE DE POZO  
SECCION A-A'



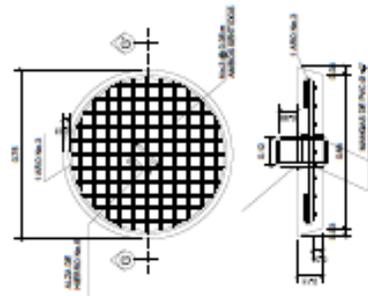
DETALLE DE POZO  
SECCION B-B'



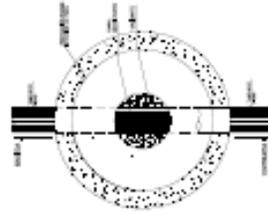
DETALLE DE POZO  
SECCION C-C'



DETALLE DE POZO CON CAIDA DE POZO  
SECCION D-D'



DETALLE DE TAPADERA



PLANTA DE POZO

		<b>ESTADIMÉTRICO</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA	
<b>UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS</b> INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS		<b>PROYECTO</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA	
<b>FECHA</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA		<b>ESCALA</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA	
<b>PROYECTANTE</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA		<b>REVISOR</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA	
<b>PROYECTO</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA		<b>FECHA</b> DE CUBIERTA DE CUBIERTA DE CUBIERTA	

## ANEXOS

### Anexo 1. Listado de amenazas sísmicas para el municipio de Santa Catarina Pinula

No.	Municipio	Departamento	Amenaza sísmica			Velocidad básica del viento (kph)
			I <sub>o</sub>	S <sub>cr</sub>	S <sub>tr</sub>	
258	San Rafael La Independencia	Huehuetenango	3.2	1.10 g	0.43 g	100
259	San Rafael Las Flores	Santa Rosa	4.2	1.50 g	0.55 g	100
260	San Rafael Petzal	Huehuetenango	4.1	1.30 g	0.50 g	100
261	San Rafael Pie de la Cuesta	San Marcos	4.3	1.65 g	0.60 g	100
262	San Raymundo	Guatemala	4.2	1.50 g	0.55 g	100
263	San Sebastián	Retalhuleu	4.3	1.65 g	0.60 g	100
264	San Sebastián Coatán	Huehuetenango	3.2	1.10 g	0.43 g	100
265	San Sebastián Huehuetenango	Huehuetenango	4.1	1.30 g	0.50 g	100
266	San Vicente Pacaya	Escuintla	4.3	1.65 g	0.60 g	100
267	Sanarate	El Progreso	4.1	1.30 g	0.50 g	100
268	Sansare	El Progreso	4.1	1.30 g	0.50 g	100
269	Santa Ana	Petén	2.1	0.50 g	0.20 g	100
270	Santa Ana Huista	Huehuetenango	4.1	1.30 g	0.50 g	100
271	Santa Apolonia	Chimaltenango	4.2	1.50 g	0.55 g	100
272	Santa Bárbara	Huehuetenango	4.1	1.30 g	0.50 g	100
273	Santa Bárbara	Suchitepéquez	4.3	1.65 g	0.60 g	100
274	Santa Catalina La Tinta	Alta Verapaz	4.1	1.30 g	0.50 g	100
275	Santa Catarina Barahona	Sacatepéquez	4.2	1.50 g	0.55 g	100
276	Santa Catarina Ixtahuacán	Sololá	4.2	1.50 g	0.55 g	100
277	Santa Catarina Mita	Jutiapa	4.1	1.30 g	0.50 g	100
278	Santa Catarina Palenque	Sololá	4.2	1.50 g	0.55 g	100
279	Santa Catarina Pinula	Guatemala	4.2	1.50 g	0.55 g	100
280	Santa Clara La Laguna	Sololá	4.2	1.50 g	0.55 g	100
281	Santa Cruz Balanyá	Chimaltenango	4.2	1.50 g	0.55 g	100

Fuente: Municipalidad de Santa Catarina Pinula, Guatemala. *Listado de amenazas sísmicas*.  
[https://conred.gob.gt/mapas/municipales\\_ameindes/GUATEMALA/SAN%20JOSE%20PINULA/GUATEMALA%20103.pdf](https://conred.gob.gt/mapas/municipales_ameindes/GUATEMALA/SAN%20JOSE%20PINULA/GUATEMALA%20103.pdf). Consulta: 15 de febrero de 2020.

Anexo 2. **Relaciones hidráulicas para sección circular**

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,0100	0,0017	0,0880	0,00015	0,1025	0,0540	0,4080	0,02202
0,0125	0,0237	0,1030	0,00024	0,1050	0,0558	0,4140	0,02312
0,0150	0,0031	0,1160	0,00036	0,1075	0,0578	0,4200	0,02429
0,0175	0,0039	0,1290	0,00050	0,1100	0,0599	0,4260	0,02550
0,0200	0,0048	0,1410	0,00067	0,1125	0,0619	0,4320	0,02672
0,0225	0,0057	0,1520	0,00087	0,1150	0,0639	0,4390	0,02804
0,0250	0,0067	0,1630	0,00108	0,1175	0,0659	0,4440	0,02926
0,0275	0,0077	0,1740	0,00134	0,1200	0,0680	0,4500	0,03059
0,0300	0,0087	0,1840	0,00161	0,1225	0,0701	0,4560	0,03194
0,0325	0,0099	0,1940	0,00191	0,1250	0,0721	0,4630	0,03340
0,0350	0,0110	0,2030	0,00223	0,1275	0,0743	0,4680	0,03475
0,0375	0,0122	0,2120	0,00258	0,1300	0,0764	0,4730	0,03614
0,0400	0,0134	0,2210	0,00223	0,1325	0,0786	0,4790	0,03763
0,0425	0,0147	0,2300	0,00338	0,1350	0,0807	0,4840	0,03906
0,0450	0,0160	0,2390	0,00382	0,1375	0,0829	0,4900	0,04062
0,0475	0,0173	0,2480	0,00430	0,1400	0,0851	0,4950	0,04212
0,0500	0,0187	0,2560	0,00479	0,1425	0,0873	0,5010	0,04375
0,0525	0,0201	0,2640	0,00531	0,1450	0,0895	0,5070	0,04570
0,0550	0,0215	0,2730	0,00588	0,1475	0,0913	0,5110	0,04665
0,0575	0,0230	0,2710	0,00646	0,1500	0,0941	0,5170	0,04863
0,0600	0,0245	0,2890	0,00708	0,1525	0,0964	0,5220	0,05031
0,0625	0,0260	0,2970	0,00773	0,1550	0,0986	0,5280	0,05208
0,0650	0,0276	0,3050	0,00841	0,1575	0,1010	0,5330	0,05381
0,0675	0,0292	0,3120	0,00910	0,1600	0,1033	0,5380	0,05556
0,0700	0,0308	0,3200	0,00985	0,1650	0,1080	0,5480	0,05916
0,0725	0,0323	0,3270	0,01057	0,1700	0,1136	0,5600	0,06359
0,0750	0,0341	0,3340	0,01138	0,1750	0,1175	0,5680	0,06677
0,0775	0,0358	0,3410	0,01219	0,1800	0,1224	0,5770	0,07063
0,0800	0,0375	0,3480	0,01304	0,1850	0,1273	0,5870	0,07474
0,0825	0,0392	0,3550	0,01392	0,1900	0,1323	0,6960	0,07885
0,0850	0,0410	0,3610	0,01479	0,1950	0,1373	0,6050	0,08304
0,0875	0,0428	0,3680	0,01574	0,2000	0,1424	0,6150	0,08756
0,0900	0,0446	0,3750	0,01672	0,2050	0,1475	0,6240	0,09104
0,0925	0,0464	0,3810	0,01792	0,2100	0,1527	0,6330	0,09663

Continuación del anexo 2.

d/D	a/A	v/V	q/Q	d/D	a/A	v/V	q/Q
0,2200	0,1631	0,6510	0,10619	0,5900	0,6140	1,0700	0,65488
0,2250	0,1684	0,6590	0,11098	0,6000	0,6265	1,0700	0,64157
0,2300	0,1436	0,6690	0,11611	0,6100	0,6389	1,0800	0,68876
0,2350	0,1791	0,6760	0,12109	0,6200	0,6513	1,0800	0,70537
0,2400	0,1846	0,6840	0,12623	0,6300	0,6636	1,0900	0,72269
0,2450	0,1900	0,6920	0,13148	0,6400	0,6759	1,0900	0,73947
0,2500	0,1955	0,7020	0,13726	0,6500	0,6877	1,1000	0,75510
0,2600	0,2066	0,7160	0,14793	0,6600	0,7005	1,1000	0,77339
0,2700	0,2178	0,7300	0,15902	0,6700	0,7122	1,1100	0,78913
0,3000	0,2523	0,7760	0,19580	0,7000	0,7477	1,1200	0,85376
0,3100	0,2640	0,7900	0,20858	0,7100	0,7596	1,1200	0,86791
0,3200	0,2459	0,8040	0,22180	0,7200	0,7708	1,1300	0,88384
0,3300	0,2879	0,8170	0,23516	0,7300	0,7822	1,1300	0,89734
0,3400	0,2998	0,8300	0,24882	0,7400	0,7934	1,1300	0,91230
0,3500	0,3123	0,8430	0,26327	0,7500	0,8045	1,1300	0,92634
0,3600	0,3241	0,8560	0,27744	0,7600	0,8154	1,1400	0,93942
0,3700	0,3364	0,8680	0,29197	0,7700	0,5262	1,1400	0,95321
0,3800	0,3483	0,8790	0,30649	0,7800	0,8369	1,3900	0,97015
0,3900	0,3611	0,8910	0,32172	0,7900	0,8510	1,1400	0,98906
0,4000	0,3435	0,9020	0,33693	0,8000	0,8676	1,1400	1,00045
0,4100	0,3860	0,9130	0,35246	0,8100	0,8778	1,1400	1,00045
0,4200	0,3986	0,9210	0,36709	0,8200	0,8776	1,1400	1,00965
0,4400	0,4238	0,9430	0,39963	0,8400	0,8967	1,1400	1,03100
0,4500	0,4365	0,9550	0,41681	0,8500	0,9059	1,1400	1,04740
0,4600	0,4491	0,9640	0,43296	0,8600	0,9149	1,1400	1,04740
0,4800	0,4745	0,9830	0,46647	0,8800	0,9320	1,1300	1,06030
0,4900	0,4874	0,9910	0,48303	0,8900	0,9401	1,1300	1,06550
0,5000	0,5000	1,0000	0,50000	0,9000	0,9480	1,1200	1,07010
0,5100	0,5126	1,0090	0,51719	0,9100	0,9554	1,1200	1,07420
0,5200	0,5255	1,0160	0,53870	0,9200	0,9625	1,1200	1,07490
0,5300	0,5382	1,0230	0,55060	0,9300	0,9692	1,1100	1,07410
0,5400	0,5509	1,0290	0,56685	0,9400	0,9755	1,1000	1,07935
0,5500	0,5636	1,0330	0,58215	0,9500	0,9813	1,0900	1,07140

Fuente: Municipalidad de Santa Catarina Pinula, Guatemala. *Relaciones hidráulicas para sección circular*. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/13882/1/Bairon%20Mariano%20N%C3%A1jera%20Morales.pdf> . Consulta: 15 de febrero de 2020.

