



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

**DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN
QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS
SÓLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ**

Erick Andrés Alvarado Gramajo
Asesorado por el Ing. Juan Merck Cos

Guatemala, marzo de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN
QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS
SÓLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

ERICK ANDRÉS ALVARADO GRAMAJO
ASESORADO POR EL ING. JUAN MERCK COS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MARZO DE 2021

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 Vladimir Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADORA	Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
EXAMINADORA	Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
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 LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN
QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS
SÓLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil,
con fecha 14 de octubre 2019.

Erick Andrés Alvarado Gramajo

Guatemala, 29 de octubre de 2020
REF.EPS.D.355.10.2020

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

Estimado Ingeniero Argueta Hernández:

Por este medio atentamente le informo que como Asesor-Supervisor de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Erick Andrés Alvarado Gramajo**, **Registro Académico 201503539** y **CUI 3133 88873 0901** de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ.**

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. Juan Merck Cos
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil

c.c. Archivo
JMC/ra

Guatemala, 03 de noviembre 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 graduación de EPS, **DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil **ERICK ANDRÉS ALVARADO GRAMAJO**, CUI: 3133 88873 0901, Registro Académico: 201503539 , quien contó con la asesoría de el Ing. Juan Merck Cos, considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Rafael Enrique Morales Ochoa
Revisor del Departamento de Hidráulica

FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
U S A C

/mrrm.



Guatemala, 20 de noviembre 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 LA EDIFICACION ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACION QUINTAS HERCILIAS Y SITEMA DE RECOLECCION Y TRATAMIEÑO DE DESECHOS SOLIDOS PAR LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCITEPEQUEUZ"**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **Erick Andres Alvarado Gramajo** Reg. Estudiantil: 2015 03539, quién contó con la asesoría del Ing. **Juan Merck Cos**.

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

ID Y ENSEÑAD A TODOS





Guatemala, 18 de enero de 2021
REF.EPS.D.12.01.2021

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

Estimado Ingeniero Fuentes Ro.ca:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ**, que fue desarrollado por el estudiante universitario **Erick Andrés Alvarado Gramajo, CUI 3133 88873 0901 y Registro Académico 201503539**, quien fue debidamente asesorado y supervisado por el Ing. Juan Merck Cos.

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 Argüeta Hernández
Director Unidad de EPS

OAH/ra





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Juan Merck Cos y del Coordinador de E.P.S. Ing. Oscar Argueta Hernández, al trabajo de graduación del estudiante Erick Andrés Alvarado Gramajo titulado **DISEÑO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Sin otro particular, le saludo muy atentamente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Armando Fuentes Roca

Director Escuela Ingeniería Civil

Guatemala, marzo 2021

/mrrm.



DTG. 099.2021.

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 LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN QUINTAS HERCILIAS Y SISTEMA DE RECOLECCIÓN Y TRATAMIENTO DE DESECHOS SÓLIDOS PARA LA CABECERA MUNICIPAL, SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ**, presentado por el estudiante universitario: **Erick Andrés Alvarado Gramajo**, 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, marzo de 2021.

AACE/asga

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.
Mis padres	Erik Alvarado y Gabriela Gramajo. Su amor y ejemplo será siempre mi inspiración.
Mi hermano	Rodrigo Alvarado. Por su amor incondicional, entre otras cosas.
Mis abuelos	Por su ejemplo y apoyo en mi carrera.
Mis tíos	Por ser una importante influencia en mi carrera, entre otras cosas.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por darme la oportunidad de estudiar en dicha universidad, abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de ser un profesional.

Facultad de Ingeniería

Por recibirme con las puertas abiertas, por todos los conocimientos y experiencias adquiridas durante dichos años y dejarme ser parte de su escuela.

**Mis amigos de la
Facultad**

Por la convivencia y apoyo en mi carrera, entre otras cosas.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XIII
GLOSARIO	XV
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Monografía del casco urbano del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.....	1
1.1.1. Aspectos generales	1
1.1.2. Localización del municipio	1
1.1.3. Ubicación geográfica	1
1.1.4. Colindancia.....	2
1.1.5. Vías de acceso	2
1.1.6. Clima	2
1.1.7. Demografía.....	3
1.1.8. Vivienda.....	4
1.1.9. Economía	4
1.1.9.1. Niveles de pobreza	4
1.1.9.2. Servicios públicos	4
1.1.9.3. Educación.....	5
1.1.9.4. Salud	5
1.1.9.5. Manejo de desechos sólidos	6

1.2.	Diagnóstico de las necesidades de servicios básicos e infraestructura del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez	6
1.2.1.	Descripción de necesidades.....	6
1.2.2.	Análisis y priorización de necesidades	7
2.	SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL	9
2.1.	Diseño de la edificación escolar de dos niveles para la lotificación Quintas Hercilias, San Gabriel, Suchitepéquez	9
2.1.1.	Descripción del proyecto y criterios de diseño	9
2.1.2.	Estudio del suelo	10
2.1.2.1.	Ensayo triaxial y cálculo del valor soporte	10
2.1.3.	Diseño arquitectónico	11
2.1.3.1.	Requerimiento de áreas	12
2.1.3.2.	Distribución de ambientes	13
2.1.3.3.	Alturas y cotas.....	15
2.1.3.4.	Selección del sistema estructural	15
2.1.3.5.	Terreno disponible.....	16
2.1.4.	Análisis estructural	16
2.1.4.1.	Predimensionamiento estructural	16
2.1.4.2.	Cargas aplicadas a marcos dúctiles con nudos rígidos	24
2.1.4.2.1.	Cargas verticales en marcos dúctiles	24
2.1.4.2.2.	Integración de carga vertical.....	25
2.1.4.2.3.	Cargas horizontales según método AGIES ...	29

2.1.4.2.4.	Integración de carga horizontal.....	29
2.1.4.3.	Modelos matemáticos de marcos dúctiles con nudos rígidos	53
2.1.4.4.	Análisis de marcos dúctiles usando software y comprobación por medio de un método numérico	54
2.1.4.5.	Comparación de resultados entre método numérico y software utilizado..	75
2.1.4.6.	Momentos últimos por envolvente de momentos.....	82
2.1.4.7.	Diagramas de corte y momento.....	84
2.1.4.8.	Diseño estructural.....	88
2.1.4.8.1.	Losas.....	89
2.1.4.8.2.	Vigas	91
2.1.4.8.3.	Columnas	106
2.1.4.8.4.	Nudo sísmico.....	122
2.1.4.8.5.	Cimientos.....	127
2.1.4.8.6.	Gradas.....	140
2.1.4.9.	Instalaciones eléctricas.....	145
2.1.4.10.	Instalaciones hidráulicas.....	148
2.1.4.11.	Planos constructivos.....	153
2.1.4.12.	Presupuesto.....	153
2.1.4.13.	Evaluación de impacto ambiental inicial.....	155
2.2.	Diseño del sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos para la cabecera municipal de San Gabriel, Suchitepéquez	155
2.2.1.	Descripción del proyecto	156

2.2.2.	Generalización de los desechos sólidos	156
2.2.2.1.	Definición de los desechos sólidos.....	156
2.2.2.2.	Producción de los desechos sólidos ..	156
2.2.2.3.	Tipos y fuentes de producción de desechos sólidos.....	157
2.2.3.	Disposición actual de los desechos sólidos en el casco urbano del municipio de San Gabriel	158
2.2.4.	Caracterización de los desechos sólidos producidos en el municipio	158
2.2.4.1.	Muestreo de la producción de los desechos sólidos.....	158
2.2.4.2.	Análisis y determinación de los porcentajes, volumen y peso de los desechos sólidos producidos en el municipio	160
2.2.4.3.	Propiedades de los desechos sólidos y determinación del grado de aprovechamiento.....	164
2.2.4.4.	Análisis de resultados de la caracterización	164
2.2.4.5.	Producción per cápita de los desechos sólidos.....	165
2.2.4.6.	Propuesta para el manejo de los desechos sólidos.....	165
2.2.4.7.	Periodo de diseño	166
2.2.4.8.	Población futura	167
2.2.4.9.	Evaluación del método o forma de recolección y propuesta del tren de aseo	168

2.2.5.	Diseño de la planta para la selección y separación de los desechos sólidos	169
2.2.5.1.	Diseño arquitectónico de la planta.....	169
2.2.5.2.	Generalidades de la planta y requerimiento de espacios.....	169
2.2.5.3.	Ubicación geográfica de la planta.....	173
2.2.5.4.	Distribución de las áreas de trabajo...	173
2.2.6.	Levantamiento topográfico	175
2.2.6.1.	Topografía	175
2.2.6.2.	Planimetría.....	175
2.2.6.3.	Altimetría	176
2.2.7.	Estudio de suelos	177
2.2.7.1.	Toma de muestra.....	178
2.2.7.2.	Ensayo del suelo	178
2.2.7.3.	Clasificación del suelo	179
2.2.7.4.	Descripción del suelo.....	180
2.2.8.	Selección del método de tratamiento de los desechos y residuos sólidos.....	180
2.2.8.1.	Diseño del método de tratamiento de desechos sólidos	180
2.2.8.2.	Drenaje de lixiviados.....	184
2.2.9.	Diseño estructural para la planta de tratamiento de desechos sólidos	185
2.2.10.	Juego de planos	186
2.2.11.	Presupuesto.....	186
CONCLUSIONES		189
RECOMENDACIONES.....		191
BIBLIOGRAFÍA		193

APÉNDICE195

ANEXO.....197

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Planta arquitectónica, primer nivel	14
2.	Planta arquitectónica, segundo nivel.....	15
3.	Planta de losas primer nivel	39
4.	Identificación de nodos y elementos del marco X	55
5.	Identificación de nodos y elementos del marco Y	55
6.	Identificación de grados de libertad del marco X.....	56
7.	Identificación de grados de libertad del marco Y.....	56
8.	Cargas aplicadas al marco X	58
9.	Cargas aplicadas al marco Y	59
10.	Matriz de rigidez de un elemento, en coordenadas locales.....	60
11.	Matriz de transformación.....	60
12.	Momentos por carga muerta en vigas, marco X.....	63
13.	Momentos por carga muerta en columnas, marco X.....	63
14.	Momentos por carga viva en vigas, marco X	64
15.	Momentos por carga viva en columnas, marco X	64
16.	Momentos por carga de sismo en vigas, marco X	65
17.	Momentos por carga de sismo en vigas, marco X	65
18.	Momentos por carga muerta en vigas, marco Y.....	66
19.	Momentos por carga muerta en columnas, marco Y.....	66
20.	Momentos carga de sismo en vigas, marco Y.....	67
21.	Momentos de carga de sismo en columnas, marco Y.....	67
22.	Creación de modelo	68
23.	Definir sistema de grilla	69

24.	Definir sección de viga.....	70
25.	Configuración de viga	70
26.	Trazo del pórtico	71
27.	Asignación de empotramiento en la base	72
28.	Asignación de cargas.....	73
29.	Definición de patrones de carga	73
30.	Selección de casos para análisis	74
31.	Momentos por carga muerta, marco X.....	75
32.	Momento de viga del segundo nivel entre ejes 1 y 2, marco X.....	76
33.	Momentos últimos en vigas, marco X	84
34.	Momentos últimos en columnas, marco X	85
35.	Momentos últimos en vigas, marco Y	85
36.	Momentos últimos en columnas, marco Y	86
37.	Cortantes últimos en vigas, marco X	86
38.	Cortantes últimos en columnas, marco X	87
39.	Cortantes últimos en vigas, marco Y	87
40.	Cortantes últimos en columnas, marco Y	88
41.	Sección típica de losa	91
42.	Ejemplo de armado de viga	98
43.	Fuerza de diseño a corte	100
44.	Armado final para viga 1-2 segundo nivel, marco X.....	104
45.	Detalle de estribo a 135 grados	104
46.	Diagrama de interacción columna con flexión biaxial	115
47.	Sección longitudinal de columna C-1.....	121
48.	Sección transversal columna C-1	122
49.	Diagrama de interacción	126
50.	Nudo sísmico	127
51.	Ubicación geográfica de la planta	173
52.	Distribución de las áreas de trabajo.....	174

53.	Polígono planta de tratamiento	176
54.	Curvas de nivel polígono planta de tratamiento	177
55.	Mapa geológico del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.....	179

TABLAS

I.	Datos estación meteorológica Mazatenango Convencional Bocacosta	3
II.	Altura mínima de vigas no preesforzadas	17
III.	Integración de cargas muertas.....	20
IV.	Integración de cargas vivas.....	20
V.	Resumen predimensionamiento de elementos estructurales.....	23
VI.	Fuerzas por nivel.....	38
VII.	Cargas por losa primer nivel	40
VIII.	Cálculo de centro de masa sentido X-X primer nivel.....	40
IX.	Cálculo de centro de masa sentido Y-Y primer nivel.....	41
X.	Cargas por losa, segundo nivel	42
XI.	Cálculo de centro de masa sentido X-X, segundo nivel	42
XII.	Calculo centro de masa sentido Y-Y, segundo nivel	43
XIII.	Resumen de centros de masa calculados.....	43
XIV.	Cálculo del centro de rigidez sentido X-X, segundo nivel.....	46
XV.	Cálculo del centro de rigidez sentido Y-Y, segundo nivel.....	47
XVI.	Cálculo del centro de rigidez sentido X-X, primer nivel	47
XVII.	Cálculo del centro de rigidez sentido Y-Y, primer nivel	48
XVIII.	Excentricidades de diseño	50
XIX.	Fuerzas por marco sentido X-X, segundo nivel.....	52
XX.	Fuerzas por marco sentido Y-Y, segundo nivel.....	52
XXI.	Fuerzas por marco sentido X-X, primer nivel	53
XXII.	Fuerzas por marco sentido Y-Y, primer nivel	53

XXIII.	Momentos de vigas marco X segundo nivel	78
XXIV.	Momentos de vigas marco X primer nivel	78
XXV.	Momentos columnas marco X segundo nivel	79
XXVI.	Momentos columnas marco X primer nivel	79
XXVII.	Momentos vigas marco Y segundo nivel	80
XXVIII.	Momentos vigas marco Y primer nivel	80
XXIX.	Momentos columnas marco Y segundo nivel	81
XXX.	Momentos columnas marco Y primer nivel	81
XXXI.	Valores de losa prefabricada	90
XXXII.	Armado final de vigas marco X segundo nivel	105
XXXIII.	Armado final de vigas marco X primer nivel.....	105
XXXIV.	Armado final de vigas marco Y segundo nivel	106
XXXV.	Armado final de vigas marco Y primer nivel.....	106
XXXVI.	Envolvente de momentos columna eje 1 marco X.....	129
XXXVII.	Envolvente de momentos columna eje 2 marco X.....	129
XXXVIII.	Envolvente de momentos columna eje A marco Y.....	130
XXXIX.	Envolvente de momentos columna eje B marco Y.....	130
XL.	Envolvente de momentos columna eje C marco Y	130
XLI.	Envolvente de momentos columna eje D marco Y	131
XLII.	Envolvente de momentos columna eje E marco Y.....	131
XLIII.	Envolvente de momentos columna eje F marco Y.....	131
XLIV.	Capacidad y características de conductores AWG	147
XLV.	Unidades de gasto para el cálculo de tuberías de distribución	149
XLVI.	Gastos probables para la aplicación del método de Hunter (lt/seg)....	150
XLVII.	Presupuesto de la edificación escolar de dos niveles para lotificación quintas Hercilias	154
XLVIII.	Evaluación de impacto ambiental y su mitigación.....	155
XLIX.	Peso de 4 días de los desechos sólidos	161
L.	Volumen de los desechos sólidos recolectados durante 4 días.....	161

LI.	Peso volumétrico de los desechos sólidos.....	163
LII.	Porcentajes de los desechos sólidos según tipo	163
LIII.	Volúmenes y áreas requeridas para almacenamiento de los desechos sólidos según su clasificación	172
LIV.	Presupuesto de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.....	187

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A	Área
As	Área de acero
AS_{max}	Área de acero máxima
AS_{min}	Área de acero mínima
Ag	Área gruesa
Av	Área de acero a corte
At	Área tributaria
Pu	Carga axial última
CM	Carga muerta
Cm	Centro de masa
Cr	Centro de rigidez
cm	Centímetro
K	Coeficiente de longitud efectiva
Fy	Esfuerzo de fluencia del acero
Fcu	Factor carga última
FS	Factor de seguridad
C	Grado Celsius
Kg	Kilogramo
Kg-m	Kilogramo metro
Kg/m²	Kilogramo metro cuadrado
Kg/m³	Kilogramo metro cubico
PSI	Libras sobre pulgada cuadrada
Es	Módulo de elasticidad del acero

Ec	Módulo de elasticidad del concreto
I	Momento de inercia
d	Peralte efectivo
Ws	Peso sísmico
Rec	Recubrimiento
F'c	Resistencia a compresión del concreto
Vs	Valor soporte

GLOSARIO

ACI 318S-14	Requisitos de reglamento para concreto estructural.
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Análisis estructural	Proceso matemático mediante el cual se determinan desplazamientos, deformaciones y fuerzas.
Bovedilla	Elemento aligerante del sistema prefabricado de losa, apoyadas sobre viguetas para cubrir toda la superficie.
Carga muerta	Cargas de elementos permanentes de la construcción. Incluyen, pero no necesariamente están limitadas al peso propio de la estructura, pisos, rellenos, cielos, vidrieras, tabiques fijos y equipo permanente rígidamente anclado a la estructura
Carga viva	Cargas producidas por el uso y la ocupación de la edificación. En general su intensidad estará establecida por la norma.
Centro de masa	Punto en el cual se concentra el peso de un cuerpo, mediante el cual se puede apoyar y permanecer en equilibrio.

Centro de rigidez	Punto mediante el cual un edificio se desplaza como un todo, y se ven reflejadas las rigideces de los elementos del sistema.
Cortante basal	Fuerzas sísmicas que actúan en la base de una edificación en cada uno de los ejes.
Esbeltez	Relación que existe entre las dimensiones de la sección transversal de un elemento y su altura.
Esfuerzo	Intensidad de fuerza por unidad de área.
Nudo sísmico	Conexión entre elementos estructurales que limitan la rotación y el desplazamiento, además de contribuir con la transferencia de cargas.
Vigueta	Elemento portante que forma parte del sistema de losa prefabricada, transmite cargas a los elementos estructurales.

RESUMEN

El municipio de San Gabriel es uno de los más pequeños en el territorio nacional, por lo que sus recursos se han visto limitados. Como consecuencia, el municipio no ha sido capaz de desarrollar grandes proyectos de infraestructura. Enfrenta además grandes problemas como la falta de centros educativos con capacidad de educar a toda la población del lugar, por lo tanto, una gran parte de la población se queda sin la oportunidad de estudiar. Es por ello que se llega a la conclusión que el municipio necesita una edificación escolar, para ofrecer educación en un centro estructuralmente seguro y con todos los requerimientos necesarios, tener jornadas educativas que cubran una mayor cantidad de población y reducir la tasa de analfabetismo en el país.

Así mismo, la cobertura de las necesidades básicas es indispensable para el desarrollo del municipio y sus habitantes. Es prioridad la implementación de un sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos, ya que muchos de sus pobladores desconocen y no ven la importancia que deriva el tratar los desechos sólidos.

Para el efecto se presentarán los documentos necesarios, memorias de cálculo, planos, presupuesto y cronogramas.

OBJETIVOS

General

Diseñar la edificación escolar de dos niveles y sistema de recolección para la lotificación Quintas Hercilias y del tratamiento de desechos sólidos para la cabecera municipal de San Gabriel, Suchitepéquez.

Específicos

1. Elaborar una investigación monográfica y un diagnóstico sobre las necesidades de servicios básicos e infraestructura en el para el municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.
2. Diseñar una edificación escolar de dos niveles en el casco urbano del municipio de San Gabriel, brindando una estructura segura, estética y económica.
3. Elaborar el juego de planos y presupuesto para cada proyecto.
4. Cumplir con las normas técnicas del país respecto a edificaciones escolares.
5. Implementar una caracterización de los desechos sólidos producidos por los pobladores del municipio de San Gabriel, y de esta forma determinar su posible reutilización.

6. Determinar la cantidad de desechos sólidos producidos por persona, por medio de muestreos en la cabecera municipal.
7. Determinar el método de tratamiento de desechos sólidos según la cantidad producida y por su caracterización.
8. Disminuir la contaminación en el casco urbano del municipio de San Gabriel, promoviendo el hábito de reciclar la basura que se produce.

INTRODUCCIÓN

El Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) es parte fundamental en la formación profesional del estudiante de ingeniería, ya que es un acercamiento en el ambiente laboral y en la aplicación de los conocimientos aprendidos durante la formación académica dentro de la Universidad. El conjunto de conocimientos teóricos es aplicado en situaciones reales, que permiten adquirir experiencia, además de solucionar problemas que estén afectando el desarrollo de la población.

El municipio de San Gabriel es cercano a la cabecera departamental, Mazatenango, Suchitepéquez, que se encuentra a 4 km. Esto causa crecimiento poblacional abundante, por lo cual es necesario construir infraestructura que beneficie la educación y salubridad. Actualmente cuenta con centros educativos, pero debido a la falta de mantenimiento y el tiempo de uso que tienen algunos de estos centros, ya no están en condiciones adecuadas. La propuesta es el diseño de una edificación escolar de dos niveles, de beneficio para el municipio.

Tampoco hay un sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos, lo cual provoca un manejo inadecuado de la basura, y esto genera contaminación hacia el medio ambiente y repercute en la salud de los habitantes. Debido a ello se tiene la propuesta del diseño de una planta de tratamiento de desechos sólidos, que beneficie a la comunidad y evite la contaminación y la propagación de enfermedades.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Monografía del casco urbano del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez

A continuación, se describe la monografía del casco urbano del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.

1.1.1. Aspectos generales

San Gabriel es uno de los 340 municipios de la República de Guatemala y pertenece al departamento de Suchitepéquez. Tiene una extensión territorial aproximadamente 16 kilómetros cuadrados.

1.1.2. Localización

El municipio de San Gabriel está ubicado en el departamento de Suchitepéquez, a 164 km a la ciudad capital y 4 km de la cabecera departamental.

1.1.3. Ubicación geográfica

San Gabriel se encuentra ubicado en la región suroccidente del país, sus coordenadas geográficas son 14°30'36,03" latitud norte y 91°30'27,61" longitud oeste, y se posiciona a una altitud de 284 msnm.

1.1.4. Colindancia

San Gabriel colinda al norte y al poniente con el municipio de Mazatenango; al sur con el municipio de San Lorenzo y al oriente con el municipio de Santo Domingo.

1.1.5. Vías de acceso

San Gabriel cuenta únicamente comuna ruta de acceso, la RD-SCH-9, que se toma por el municipio de Mazatenango.

1.1.6. Clima

Según datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el municipio de San Gabriel tiene clima cálido, con una temperatura mínima que oscila de 17,5 °C hasta una máxima de 33 °C. Se caracteriza por tener un alto porcentaje de humedad y precipitaciones intensas, irregulares y de corta duración. La estación meteorológica más cercana se ubica en Mazatenango, con el nombre de Mazatenango Convencional Bocacosta.

Tabla I. **Datos estación meteorológica Mazatenango Convencional Bocacosta**

Estación:	Mazatenango Convencional Bocacosta					
Departamento	Suchitepéquez					
Municipio	Mazatenango					
Longitud	-91,502778					
Latitud	-14,5283333					
Datos promedio del año 2015 al 2020, según estación Mazatenango Convencional Bocacosta						
Temperatura Máxima (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Media (°C)	Lluvia Media Anual (mm)	Nubosidad Media (octa)	Velocidad del Viento Media (m/s)	Humedad Relativa Media (%)
33	21	27	1 700	7	6	80

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

1.1.7. Demografía

Según el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial de San Gabriel, Suchitepéquez 2019-2032, el municipio está dividido en 14 lugares poblados: cabecera municipal, 1 aldea, 2 colonias, 1 comunidad y 9 cantones.

Según los resultados del censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística Guatemala, en 2018, el municipio tiene una población de 7 383 habitantes, de los cuales 3 602 son hombres y 3 781 mujeres, con una concentración de población de 89,38 % en el área urbana y 10,62 % en el área rural. Posee una población maya de 3 383 personas (45,82 %), garífuna 14 personas (0,19 %), xinca 1 persona (0,01 %), afrodescendiente 41 personas (0,56 %), ladino 3 940 personas (53,37 %) y extranjero 4 personas (0,05 %).

1.1.8. Vivienda

Según los resultados del censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística, en 2018 el municipio de San Gabriel estaba conformado por 1 849 viviendas particulares, de las cuales 1 714 son hogares (92,70 %), que en promedio albergan a 4,31 personas y se refleja un 28,65 % de jefas de hogar.

1.1.9. Economía

Según el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial del municipio de San Gabriel 2019-2032, la economía está basada en producción agropecuaria, principalmente la caña de azúcar y granos básicos como el maíz y frijol. Debido a que cuenta con buenas tierras y diversos pastos, también se cuenta con una gran variedad de ganado vacuno, por lo que se procesan productos lácteos y carnes de buena calidad.

1.1.9.1. Niveles de pobreza

Según los resultados del censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística Guatemala, en 2018, la pobreza es un problema que ataca al municipio, debido a los bajos niveles de ingreso que existen, además de la carencia de oportunidades laborales. Esto se refleja en el 46,89 % de la población, la cual vive en condiciones de pobreza y un 5,97 % que vive en condiciones de pobreza extrema.

1.1.9.2. Servicios públicos

Los servicios públicos son un conjunto de medios que permiten a una población obtener un mejor nivel de calidad de vida. San Gabriel cuenta con

gran diversidad de estos, como el servicio de alumbrado con que cuenta el 100 % de la población y es suministrado por ENERGUATE; el servicio de comunicaciones, el cual abarca telefonía fija, celular y de internet, el cual es prestado por las empresas de Claro y Tigo. El servicio de agua es prestado por la Municipalidad y el 100 % de la población cuenta con este servicio pero no es estable, ya que se regula por horarios su uso y presenta problemas continuos debido a falta de mantenimiento en los puntos de captación. El servicio sanitario el cual ronda un 90 % de la población y próximamente pretende llegar a la totalidad del municipio, ya que se encuentra en construcción los ramales pendientes.

1.1.9.3. Educación

La educación de los habitantes es fundamental para el desarrollo. Según los resultados del censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística Guatemala, en 2018 el promedio de años de estudio de los habitantes es de 7,26 y la tasa de alfabetismo es de 86,50 %. Según el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial de San Gabriel 2019-2032, los servicios de educación son diversos y abarcan distintos niveles. El municipio cuenta con 14 centros educativos que se encuentran en la cabecera, Quintas Hercilias y San Antonio Chimulbua; además, debido a que los establecimientos no se dan abasto, muchos de los pobladores suelen asistir a centros educativos ubicados en el municipio de Mazatenango.

1.1.9.4. Salud

La salud se constituye por la conservación de la vida. San Gabriel cuenta con un puesto de salud fortalecido, según el Plan de Desarrollo Municipal y Ordenamiento Territorial 2019-2032, dicho puesto cuenta con un médico de

medio tiempo, cuatro enfermeras y una ambulancia, los cuales son administrados por la municipalidad. A este puesto se traslada la población para recibir atención médica básica, y cuando se trata de casos de atención médica especializada o emergencias la población se traslada hacia la cabecera departamental, donde es posible encontrar centros especializados privados y públicos.

1.1.9.5. Manejo de desechos sólidos

El servicio de eliminación de basura es suministrado por la municipalidad y prestado principalmente en la cabecera municipal y en los lugares aledaños, y es depositada en el basurero municipal. Este servicio no cubre en total al municipio, por lo que el resto deposita la basura en cualquier lugar o la quema. Esta problemática repercute en problemas de salud para los habitantes.

1.2. Diagnóstico de las necesidades de servicios básicos e infraestructura del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez

A continuación, se describe el diagnóstico de las necesidades de servicios básicos e infraestructura del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.

1.2.1. Descripción de necesidades

Los servicios básicos e infraestructura son claves para el desarrollo de una población. Debido a la cercanía con la cabecera departamental, San Gabriel ha experimentado un gran crecimiento poblacional y un aumento de necesidades, que se ven reflejadas en distintas áreas como la educación y el saneamiento.

1.2.2. Análisis y priorización de necesidades

Las actuales instalaciones educativas no son suficientes para atender a toda la población estudiantil, además algunas ya no se encuentran en buen estado, lo cual es un riesgo para los estudiantes y el personal; debido a ello el municipio requiere el diseño de un nuevo establecimiento educativo que satisfaga las necesidades educativas y de seguridad ocupacional.

Además, se requiere el diseño de un sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos que pueda tratar todos los desechos generados en el casco urbano del municipio. La falta de tratamiento genera contaminación y se corre el riesgo de propagar enfermedades a los pobladores. No existe un control de clasificación que genere beneficio sobre los desechos del municipio.

2. SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Diseño de la edificación escolar de dos niveles para la lotificación Quintas Hercilias, San Gabriel, Suchitepéquez

A continuación, se describe el diseño de la edificación escolar de dos niveles para la lotificación Quintas Hercilias, San Gabriel, Suchitepéquez.

2.1.1. Descripción del proyecto y criterios de diseño

El proyecto consiste en el diseño de un edificio de dos niveles, cuyas instalaciones puedan albergar un centro educativo idóneo para desarrollar los procesos educativos. Contará con servicios básicos de agua potable, drenaje y energía eléctrica. Estará conformado por los siguientes ambientes: en el primer nivel, dos aulas, cocina y servicios sanitarios; y en el segundo nivel, bodega, un aula, una sala pedagógica, y una sala de maestros. Habrá un módulo de gradas dentro del edificio.

Para el diseño estructural se utilizará la filosofía de diseño LRFD (*Load and Resistance Factor Design*), tal como lo indica la norma AGIES NSE-2-2018 capítulo 8.2 sección 8.2.1. Es el método de diseño por factores de carga y resistencia, el cual consiste en aumentar cargas y las resistencias se minoran por factores mayores o menores a la unidad, y por el cual se rige el código de diseño específico de concreto por utilizar, el cual es ACI 318S-14.

De acuerdo con la Norma AGIES NSE-1-2018, la edificación escolar de dos niveles se clasifica dentro de una categoría III, como obra importante para

los requisitos de diseño y supervisión técnica. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica, 2018.

La estructura se diseñará por medio del sistema E1, estructura de marcos resistentes a momento, de alta ductilidad (según AGIES NSE-3-2018), losas de vigueta y bovedilla, muros de mampostería reforzada, ventanas de aluminio, puertas de metal y piso de granito.

La normativa AGIES NSE 2018 (Normas de Seguridad Estructural 2018), mencionada, y la cual se utilizará en todo el documento, hace referencia a la versión última en vigencia, la cual incluye la actualización del 15 de julio del año 2020.

2.1.2. Estudio del suelo

Para todo proyecto de infraestructura se debe estudiar las propiedades del suelo, tales como granulometría, capacidad de drenar el agua, resistencia a corte y resistencia a compresión, El estudio de suelos debe enfocarse en las propiedades mecánicas y físicas. Para conocer tales propiedades es necesario realizar ensayos de laboratorio.

2.1.2.1. Ensayo triaxial y cálculo del valor soporte

El ensayo triaxial es un método de medición para determinar propiedades mecánicas de un suelo tales como la resistencia al cortante. Para realizar el ensayo es necesario extraer una muestra del suelo en forma cilíndrica y debe ser revestida con una membrana de látex, luego se procede a colocar dentro de una cámara de presión. El ensayo consiste en la aplicación de cargas verticales y laterales sobre la muestra de tal forma que se produzcan esfuerzos de corte y

se llegue a la falla. De este ensayo es posible extraer datos tales como el ángulo de resistencia a corte, cohesión y ángulo de dilatación; con dichos datos es posible crear modelos los cuales permiten conocer el comportamiento de dicho suelo ante distintas situaciones.

Este proyecto incluye el ensayo de compresión triaxial, el cual fue realizado por el Laboratorio de Control de Calidad de Concreto, Suelos, Geotecnia, Impacto Ambiental (CONYSU), firmado y sellado por el Ingeniero Civil Oscar A. Herrera Caceros, colegiado No. 9 915, destinado para la Municipalidad de San Gabriel, Suchitepéquez, realizado en la lotificación Quintas Hercilias para el proyecto ampliación Escuela Preprimaria PAIN.

Del ensayo realizado (ver anexo 1), se obtuvieron los siguientes resultados respecto a parámetros de corte:

- Cohesión (Ton/m²): 1,33
- Angulo de fricción interna: 21,05°
- Valor soporte (Ton/m²): 15,07
- Densidad húmeda (lb/pulg³): 0,026

2.1.3. Diseño arquitectónico

El diseño arquitectónico consiste en satisfacer las necesidades de espacios; es estético y a la vez funcional. Para este proyecto el diseño arquitectónico consiste en brindar espacios adecuados para poder llevar a cabo actividades académicas, brindando comodidad y funcionalidad tanto para los alumnos como para los maestros.

2.1.3.1. Requerimiento de áreas

El diseño arquitectónico se llevará a cabo según el Manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales, del Ministerio de Educación de Guatemala.

El conjunto arquitectónico por disposiciones del Ministerio de Educación debe contemplar diferentes áreas, entre ellas:

- Área educativa
- Área administrativa
- Área de apoyo
- Área de circulación

Para el área educativa son requeridos espacios que puedan ser utilizados para el proceso de enseñanza y aprendizaje, por lo que se incluirá 3 aulas para dicha necesidad. Estas cubrirán lo requerido por el manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales, el cual establece que el área mínima por educando es de dos metros cuadrados, por lo que cada aula tendrá un total de sesenta metros cuadrados.

Para el área administrativa son requeridos espacios en los cuales sea posible realizar actividades como la planeación, dirección y ejecución para el correcto desenlace de la comunidad educativa, por lo que se incluirá una sala para educadores.

Para el área de apoyo son requeridos espacios para reforzar todas aquellas actividades de aprendizaje que necesiten de atención personalizada, por lo que se incluirá un centro de recursos pedagógicos.

Para el área de servicio son requeridos espacios que puedan brindar un servicio complementario a los servicios de educación, por lo que se incluirán espacios para servicios sanitarios, bodega y cocina.

Finalmente, para que el centro educativo sea funcional es necesario incluir espacio de circulación peatonal, para facilitar el acceso a educadores y alumnos.

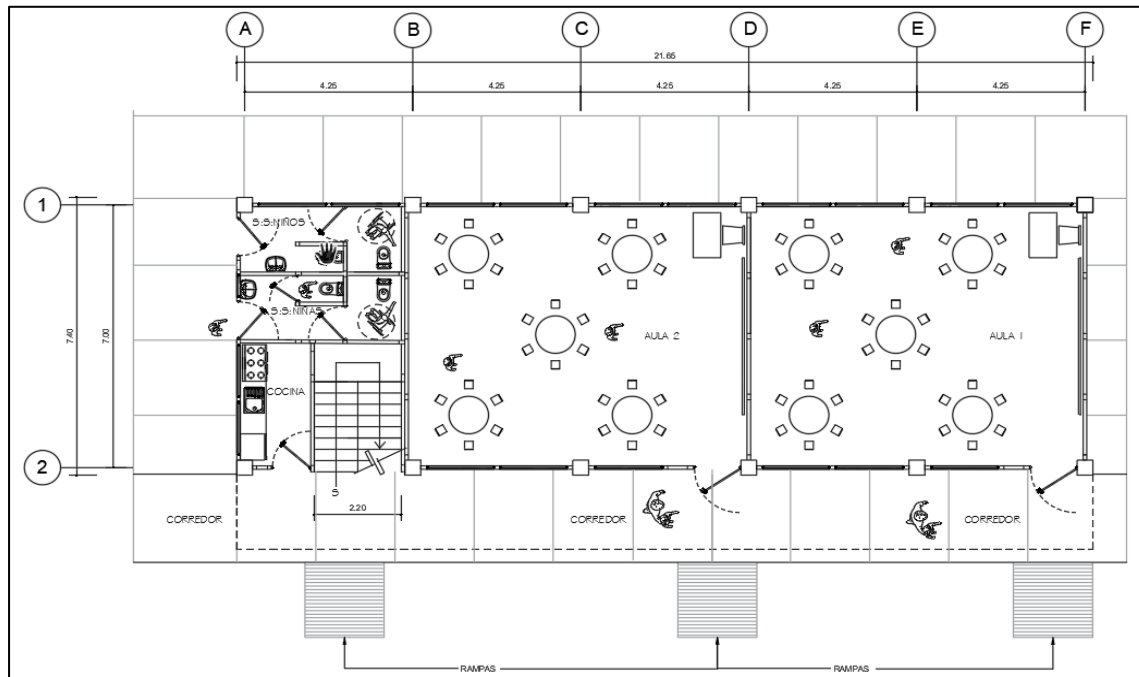
2.1.3.2. Distribución de ambientes

La distribución de ambientes cumple con lo dictado por el requerimiento de áreas, así mismo se diseñó para que el centro educativo cuente con aspectos de funcionalidad, comodidad, iluminación y ventilación.

Las áreas del primer nivel que cumplen con las características antes mencionadas son:

- Aula pura 1: $60,00\text{ m}^2$
- Aula pura 2: $60,00\text{ m}^2$
- Cocina: $7,40\text{ m}^2$
- S.S. Niños: $7,65\text{ m}^2$
- S.S. Niños: $7,65\text{ m}^2$

Figura 1. **Planta arquitectónica, primer nivel**

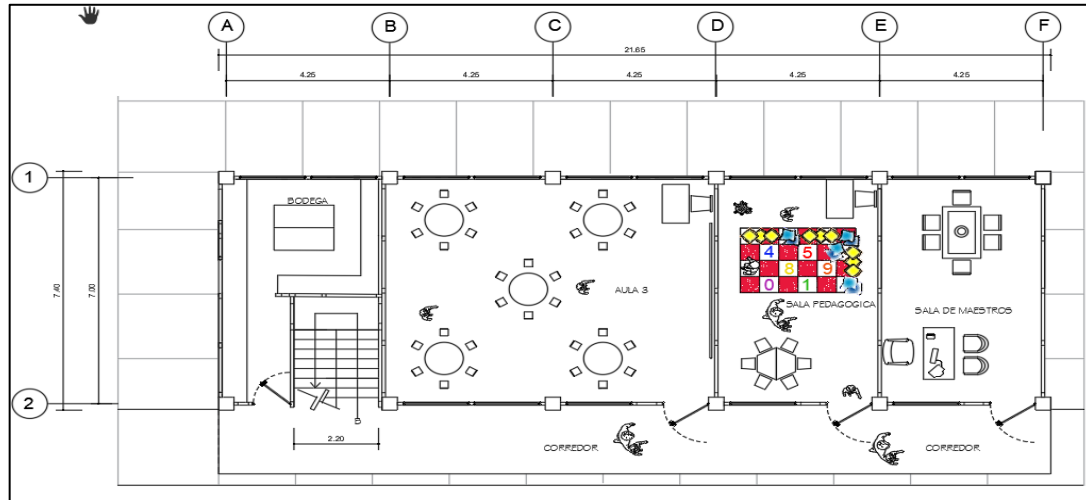


Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

Las áreas del segundo nivel que cumplen con las características mencionadas son:

- Aula pura 3: 60,00 m^2
- Sala pedagógica: 30,00 m^2
- Bodega: 20,90 m^2
- Sala de maestros: 30,00 m^2

Figura 2. **Planta arquitectónica, segundo nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2020.

2.1.3.3. **Alturas y cotas**

Se elige una edificación de dos niveles, debido al espacio disponible. La altura de piso a cielo será de 3,00 m por nivel en todos los ambientes, se dejará con esas medidas para beneficiar la iluminación y la circulación del viento.

2.1.3.4. **Selección del sistema estructural**

La estructura se diseñará por medio del sistema E1, estructura de marcos resistentes a momento, de alta ductilidad (según AGIES NSE-3-2018), losas de vigueta y bovedilla, muros de cerramiento tipo tabique de mampostería reforzada, muros de mampostería reforzada para soportar módulo de gradas en el cual se considera una junta estructural de 2,5 centímetros, además de utilizar un material aislante en la junta; ventanas de aluminio, puertas de metal y piso de granito.

2.1.3.5. Terreno disponible

La Municipalidad de San Gabriel dispone de terreno para la construcción de la edificación escolar en la lotificación Quintas Hercilias, en las coordenadas 14,514050, -91,508771.

2.1.4. Análisis estructural

Es la predicción del desempeño de una estructura ante las cargas prescritas o efectos externos, tales como movimientos en los apoyos y cambios de temperatura.

2.1.4.1. Predimensionamiento estructural

El predimensionamiento es el proceso por el cual se determinan las dimensiones preliminares de los elementos estructurales. Este proceso se realiza con base en distintos criterios tales como, condiciones de apoyo, longitud de los elementos y las cargas que van a soportar.

- Predimensionamiento de vigas: para realizar el predimensionamiento de una viga es necesario tomar en cuenta los siguientes criterios: cargas aplicadas a la viga y la longitud que cubre, además de relacionar las dimensiones de la viga con las de los otros elementos estructurales.

Una viga se puede predimensionar utilizando los siguientes criterios:

- El método ACI 318S-14, capítulo 9, tabla 9.3.1.1. "Altura mínima de vigas no preesforzadas; indica distintos casos para

predimensionamiento, en este caso se tomaron los casos de un extremo continuo, ambos extremos continuos y en voladizo”.¹

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

Condición de apoyo	Altura mínima, h ^[1]
Simplemente apoyada	$\ell/16$
Con un extremo continuo	$\ell/18.5$
Ambos extremos continuos	$\ell/21$
En voladizo	$\ell/8$

Fuente: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, capítulo 9, tabla 9.3.1.1.* p. 138.

Por otra parte, el ancho de la viga equivale a $0,5h$ o a lo dictado por ACI 318S-14, capítulo 18, sección 18.6.2.1 inciso b, indica que el ancho (b) de la viga debe ser al menos igual al menor de $0,3h$ y 25 cm.

Con base en dichos criterios se procede a realizar el predimensionamiento de la viga:

$$h = L/18,5$$

$$h = L/21$$

$$h = L/8$$

Donde $L = 7$ m, la cual corresponde a la longitud crítica y se encuentra en el marco en sentido X entre los ejes 1 y 2.

¹ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, capítulo 9, tabla 9.3.1.1.* p. 138.

$$h = \frac{7}{18,5} = 0,38 \text{ m}$$

$$h = \frac{7}{21} = 0,33 \text{ m}$$

Para el tramo de viga que se encuentra en voladizo en el marco en sentido X, se tiene $L = 2,20 \text{ m}$

$$h = \frac{2,20}{8} = 0,28 \text{ m}$$

Tras varias iteraciones de diseño se concluye que se debe utilizar un peralte de viga de 0,50 metros

Para definir la base se utilizarán los criterios mencionados en ACI 318S-14, capítulo 18, sección 18.6.2.1 inciso b, donde indica que el ancho (b) de la viga debe ser al menos igual al menor de $0,3h$ y 25 cm.

$$b = 0,5 * h = 0,5 * 0,50\text{m} = 0,25\text{m}$$

$$b = 0,3 * h = 0,3 * 0,50\text{m} = 0,15\text{m}$$

$$b = 0,25\text{m}$$

Se utilizará $b = 0,30 \text{ m}$

Se utilizará una sección de viga de $0,30\text{m} \times 0,50\text{m}$

- Predimensionamiento de columnas

El predimensionamiento de la sección de una columna se puede realizar con lo indicado por el código ACI 318S-14:

- Sección 18.7.2.1. “La dimensión menor de la sección transversal, medida en una línea recta que pasa a través del centroide geométrico, de ser al menos 30 cm”.²
- Sección 18.7.2.1. “La relación entre la dimensión menor de la sección transversal y la dimensión perpendicular debe ser al menos 0,4”.³
- Sección 18.7.4.1. “El área de refuerzo longitudinal, A_{st} , debe ser al menos $0,01 A_g$ y no debe exceder $0,06 A_g$ ”.⁴

Predimensionamiento de la columna crítica de acuerdo con los criterios dictados anteriormente:

Sección propuesta: 0,40m X 0,40 m

Verificaciones:

- Lado menor: 0,40 m el cual es mayor a los 0,30 que solicita como mínimo el código ACI 318S-14.
- $\frac{0,40}{0,40} = 1 > 0,40$
- Para determinar un porcentaje de área de refuerzo longitudinal sobre el área gruesa, se procede a integrar carga muerta y carga viva y posteriormente utilizar la ecuación de la carga axial pura:

² Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, sección 18.7.21.* p. 297.

³ *Ibíd.*

⁴ *Ibíd.*

Tabla III. **Integración de cargas muertas**

Carga muerta	kg/m2
Losa	260
Muros	135
Sobrecarga	200

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Integración de cargas vivas**

Carga viva	kg/m2
Techo sin acceso	100
Aulas	200
Pasillos	500

Fuente: elaboración propia.

Datos:

Área tributaria en columna: $2,18 * 4,25 + 4,25 * 3,50 = 24,14 \text{ m}^2$

- Techo sin acceso

$$Cm = W_{losa} + W_{vigas} + W_{sc}$$

$$Cm = \left(260 \frac{kg}{m^2} * 24,14 m^2 \right) + \left(9,75 m * 0,30 m * 0,50 m * 2\,400 \frac{kg}{m^3} \right) + \left(24,14 m^2 * \frac{200 kg}{m^2} \right) = 14\,614,40 \text{ kg}$$

$$Cv = 24,14m^2 * 100 \frac{kg}{m^2} = 2\,414\,kg$$

- Entrepiso

$$Cm = W_{losa} + W_{vigas} + W_{sc} + W_{muros}$$

$$\begin{aligned} Cm &= \left(260 \frac{kg}{m^2} * 24,14m^2 \right) + \left(9,75m * 0,30m * 0,50m * 2400 \frac{kg}{m^3} \right) \\ &\quad + \left(24,14m^2 * \frac{200kg}{m^2} \right) + \left(9,75m * 2,5m * 135 \frac{kg}{m^2} \right) \\ &= 17\,905,03\,kg \end{aligned}$$

$$Cv = \left(9,27m^2 * 500 \frac{kg}{m^2} \right) + \left(14,88m^2 * 200 \frac{kg}{m^2} \right) = 7\,611\,kg$$

- Peso propio columna

$$Pp_{col} = \left(7,5m * 0,40m * 0,40m * 2\,400 \frac{kg}{m^2} \right) = 2\,880\,kg$$

- Carga muerta total

$$Cm = Cm_{techo} + Cm_{entrepiso} + Pp_{col}$$

$$Cm = 14\,614,40\,kg + 17\,905,03kg + 2\,880\,kg = 35\,399\,kg$$

- Carga viva total

$$Cv = Cv_{techo} + Cv_{entrepiso}$$

$$Cv = 2\,414\,kg + 7\,611\,kg = 10\,025\,kg$$

- Cargas totales mayoradas

$$Pu = 1,2Cm + 1,6\,Cv$$

$$Pu = 1,2(35\,399\,kg) + 1,6(10\,025\,kg) = 58\,518,8\,kg$$

Con la carga última obtenida de la integración de cargas, se determinará el área gruesa necesaria utilizando la ecuación 22.4.2.2 del ACI 318S-14 y de esta forma se verificará si la sección propuesta proporciona el área requerida.

$$Pn = 0,85 * f'c * (Ag - Ast) + fy * Ast$$

$$\Phi Pn \geq Pu$$

$$Pu = \Phi * 0,85 * f'c * (Ag - Ast) + fy * Ast$$

Donde:

$$Ast = 0,01Ag$$

$$Ag = 40\,cm * 40\,cm = 1\,600\,cm^2$$

$$\Phi = 0,65 \text{ según ACI 318-14 Cap. 21.2.2}$$

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

$$fy = 4200 \frac{kg}{cm^2}$$

Sustituyendo valores en la ecuación:

$$58\,518,8\text{kg} = 0,65 * 0,85 * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * (A_g - 0,01A_g) + 4\,200 \text{ kg/cm}^2 * 0,01A_g$$

Despejando A_g se obtiene:

$$A_g = 299,02 \text{ cm}^2$$

De acuerdo con los resultados anteriores y después de realizar varias iteraciones de diseño se utilizará la propuesta de la columna cuadrada de 0,40 m x 0,40 m.

- Predimensionamiento de losa: se utilizará una losa prefabricada compuesta de vigueta y bovedilla; en consideración a lo que dicta el código ACI 318S-14 en el capítulo 18 sección de diafragmas, se utilizará un topping de concreto de 7 cm, el cual es mayor a las 2,5 pulgadas que solicita el código como mínimo para considerar la losa como diafragma rígido; por lo tanto, se tendrá como resultado final una losa con peralte total de 22 centímetros.

Tabla V. **Resumen predimensionamiento de elementos estructurales**

Resumen predimensionamiento		
Elemento	b (cm)	h (cm)
Viga	30	50
Columna	40	40
Losa (prefabricada) t = 22 cm		

Fuente: elaboración propia.

2.1.4.2. Cargas aplicadas a marcos dúctiles con nudos rígidos

De acuerdo con la Norma AGIES NSE-2-2018, para realizar un diseño estructural de una edificación es necesario tomar en cuenta las cargas mínimas, condiciones de terreno y niveles mínimos de protección sísmica. Para este proyecto se incluirán cargas de gravedad, también llamadas cargas verticales y efectos de sismo también llamadas cargas horizontales.

2.1.4.2.1. Cargas verticales en marcos dúctiles

La Norma AGIES NSE-2-2018, capítulo 2, define las cargas muertas como todas las cargas de elementos permanentes de la construcción. Incluyen, pero no necesariamente están limitadas al peso propio de la estructura, pisos, rellenos, cielos, vidrieras, tabiques fijos y equipo permanente rígidamente anclado a la estructura.

La Norma AGIES NSE-2-2018, capítulo 3, define las cargas vivas como las cargas producidas por el uso y la ocupación de la edificación. En general, su intensidad estará establecida por la norma.

Las cargas vivas para edificaciones se encuentran en la Norma AGIES NSE-2-2018, capítulo 3, tabla 3.7.1-1 —Cargas vivas para edificaciones. Para este proyecto se utilizarán las cargas para edificios educativos, bodegas y cubiertas pesadas.

2.1.4.2.2. Integración de carga vertical

Para la integración de cargas verticales se utilizarán las cargas muertas según tabla II, y las cargas vivas según tabla III:

$$\text{Concreto} = 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Losa} = 260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Muros} = 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Sobrecarga} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Dimensiones de los elementos prediseñados:

$$b_{viga} = 0,30 \text{ m}$$

$$h_{viga} = 0,50 \text{ m}$$

Integración de cargas verticales para el marco 1, del nivel 2.

$$CM = W_{viga}$$

$$CM = A_v * \gamma_c$$

Ejes A-B

$$CM = 0,30m * 0,50 * 2\,400 \frac{kg}{m^3} = 360 \frac{kg}{m}$$

Por su simetría en ejes:

Ejes A-B=B-C=C-D=D-E=E-F

$$CM = 360 \frac{kg}{m}$$

Integración de cargas verticales para el marco 1, del nivel 1.

$$CM = W_{viga} + W_{muro}$$

$$CM = A_v * \gamma_c + \frac{A_{muro} * W_{muro}}{L_{viga}}$$

Ejes A-B ($L_{viga} = 4,25\,m$, $A_{muro} = 10,63\,m^2$)

$$CM = 0,30m * 0,50 * 2\,400 \frac{kg}{m^3} + \frac{10,63\,m^2 * 135 \frac{kg}{m^2}}{4,25\,m} = 697,65 \frac{kg}{m} \cong 700 \frac{kg}{m}$$

Por su simetría en ejes:

Ejes A-B=B-C=C-D=D-E=E-F

$$CM \cong 700 \frac{kg}{m}$$

Debido a que la losa por utilizar es de vigueta y bovedilla y esta trabaja como una losa en una dirección el marco 1 y 2, no reciben carga viva.

Integración de cargas verticales para el marco B, del nivel 2.

$$CM = W_{losa} + W_{sobrecarga} + W_{viga}$$

$$CM = \frac{At_{losa} * W_{losa}}{L_{viga}} + \frac{At_{losa} * W_{sobrecarga}}{L_{viga}} + (A_v * \gamma_c)$$

$$CV = \frac{At_{losa} * CV_{techo}}{L_{viga}}$$

Ejes 1-2 ($L_{viga} = 7,00 \text{ m}$, $At_{losa} = 29,75 \text{ m}^2$)

$$CM = \frac{29,75 \text{ m}^2 * 260 \text{ kg/m}^2}{7,00 \text{ m}} + \frac{29,75 \text{ m}^2 * 200 \text{ kg/m}^2}{7,00 \text{ m}} + \left(0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 2315 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$CV = \frac{29,75 \text{ m}^2 * 100 \text{ kg/m}^2}{7,00 \text{ m}} = 425 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Ejes 2-2' ($L_{viga} = 2,20 \text{ m}$, $At_{losa} = 9,24 \text{ m}^2$)

$$CM = \frac{9,24 \text{ m}^2 * 260 \text{ kg/m}^2}{2,20 \text{ m}} + \frac{9,24 \text{ m}^2 * 200 \text{ kg/m}^2}{2,20 \text{ m}}$$

$$+ \left(0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 2292,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$CV = \frac{9,24 \text{ m}^2 * 100 \text{ kg/m}^2}{2,18 \text{ m}} = 423,85 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Integración de cargas verticales para el marco B, del nivel 1.

$$CM = W_{losa} + W_{sobrecarga} + W_{viga} + W_{muro}$$

$$CM = \frac{At_{losa} * W_{losa}}{L_{viga}} + \frac{At_{losa} * W_{sobrecarga}}{L_{viga}} + (A_v * \gamma_c) + \frac{A_{muro} * W_{muro}}{L_{viga}}$$

$$CV = \frac{At_{losa} * CV_{bodega/aula/pasillo}}{L_{viga}}$$

Ejes 1-2 ($L_{viga} = 7,00 \text{ m}$, $At_{losa} = 22,61 \text{ m}^2$, $A_{muro} = 17,50 \text{ m}^2$)

$$\begin{aligned} CM &= \frac{22,61 \text{ m}^2 * 260 \text{ kg/m}^2}{7,00 \text{ m}} + \frac{22,61 \text{ m}^2 * 200 \frac{\text{kg}^2}{\text{m}}}{7,00 \text{ m}} \\ &+ (0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 2\,400 \text{ kg/m}^3) + \frac{17,50 \text{ m}^2 * 135 \text{ kg/m}^2}{7,00 \text{ m}} \\ &= 2\,183,30 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \end{aligned}$$

Ejes 1-2 ($L1_{viga} = 3,64 \text{ m}$, $L2_{viga} = 7,00 \text{ m}$, $At1_{losa} = 7,73 \text{ m}^2$, $At2_{losa} = 14,88 \text{ m}^2$)

$$CV = \frac{7,73 \text{ m}^2 * 600 \text{ kg/m}^2}{3,64 \text{ m}} + \frac{14,88 \text{ m}^2 * 200 \text{ kg/m}^2}{7,00 \text{ m}} = 1\,699,32 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

Ejes 2-2' ($L_{viga} = 2,20 \text{ m}$, $At_{losa} = 9,24 \text{ m}^2$)

$$CM = \frac{9,24 \text{ m}^2 * 260 \text{ kg/m}^2}{2,20 \text{ m}} + \frac{9,24 \text{ m}^2 * 200 \text{ kg/m}^2}{2,20 \text{ m}} + \left(0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 2400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = 2292,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$CV = \frac{9,24 \text{ m}^2 * 500 \text{ kg/m}^2}{2,20 \text{ m}} = 2100,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

2.1.4.2.3. Cargas horizontales según método AGIES

Según la Norma AGIES NSE-2-2018, capítulo 4, se debe establecer el nivel de protección sísmica que se requiere según las condiciones sísmicas de cada localidad y según la clasificación de cada obra. También se establecen los parámetros y espectros sísmicos que posteriormente sirven para el análisis y diseño de las estructuras.

2.1.4.2.4. Integración de carga horizontal

Para la integración de carga horizontal se debe determinar el peso sísmico de la edificación que según AGIES NSE-3-2018 capítulo 1.11.3, peso sísmico efectivo, se debe tomar en su totalidad la carga muerta y un 25 % de la carga viva.

Cálculo del peso de la estructura:

Cargas muertas del segundo nivel

$$W_{losa} = 202 \text{ m}^2 * 260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 52520,00 \text{ kg}$$

$$W_{vigas} = 0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 98 \text{ m} * 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 35\,280,00 \text{ kg}$$

$$W_{columnas} = 12 * 0,40 \text{ m} * 0,40 \text{ m} * 1,50 \text{ m} * 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 6\,912,00 \text{ kg}$$

$$W_{SC} = 202 \text{ m}^2 * 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 40\,400,00 \text{ kg}$$

$$W_{muros} = 42 \text{ m} * 1,3 \text{ m} * 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 5\,670,00 \text{ kg}$$

$$W_{total \text{ CM}}$$

$$= 52\,520,00 \text{ kg} + 35\,280,00 \text{ kg} + 6\,912,00 \text{ kg} + 40\,400,00 \text{ kg} \\ + 5\,670,00 = 14\,0782,00 \text{ kg}$$

Carga viva del segundo nivel

$$W_{viva \text{ 2N}} = 0,25 * 202 \text{ m}^2 * 100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 5\,050,00 \text{ kg}$$

Carga total segundo nivel

$$W_{total \text{ 2N}} = 14\,0782,00 \text{ kg} + 5\,050,00 = 14\,5832,00 \text{ kg}$$

Cargas muertas del primer nivel:

$$W_{losa} = 202 \text{ m}^2 * 260 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 52\,520,00 \text{ kg}$$

$$W_{vigas} = 0,30 \text{ m} * 0,50 \text{ m} * 98 \text{ m} * 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 35\,280,00 \text{ kg}$$

$$W_{columnas} = 12 * 0,40 \text{ m} * 0,40 \text{ m} * 4,50 \text{ m} * 2\,400 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 20\,736,00 \text{ kg}$$

$$W_{SC} = 202 \text{ m}^2 * 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 40\,400,00 \text{ kg}$$

$$W_{muros} = 42 \text{ m} * 4 \text{ m} * 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 44 \text{ m} * 1,3 \text{ m} * 135 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 30\,402,00 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} W_{total \text{ CM}} &= 52\,520,00 \text{ kg} + 35\,280,00 \text{ kg} + 20\,736,00 \text{ kg} + 40\,400,00 \text{ kg} \\ &+ 30\,402,00 = 179\,338,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

Carga viva del primer nivel

$$\begin{aligned} W_{viva \text{ 1N}} &= 0,25 * (22 \text{ m}^2 * 600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 127 \text{ m}^2 * 200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 45 \text{ m}^2 * 500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}) \\ &= 15\,275,00 \text{ kg} \end{aligned}$$

Carga total segundo nivel

$$W_{total \text{ 2N}} = 179\,338,00 \text{ kg} + 15\,275,00 = 194\,613,00 \text{ kg}$$

Peso sísmico efectivo

$$W_s = 145\,832 \text{ kg} + 194\,613 \text{ kg} = 340\,445 \text{ kg}$$

Cálculo del cortante basal por el método de carga sísmica estática equivalente; AGIES NSE-3-2018 capítulo 2, define el método de la carga sísmica estática equivalente como aquel que permite que las solicitaciones sísmicas sean modeladas, como fuerzas estáticas horizontales aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación.

Datos de ubicación y condiciones de la edificación:

- Ubicación de la obra: San Gabriel, Suchitepéquez.
- Clasificación de la obra, según AGIES NSE-1-2018 capítulo 3, la obra se clasifica como importante III.

Del anexo A1, Listado de amenaza sísmica y velocidad básica del viento por municipios, tabla A-1 de AGIES NSE-2-2018, es posible obtener los datos de la ubicación de la obra correspondientes a la amenaza sísmica:

De la tabla A-1 de AGIES NSE-2.1-2018, es posible clasificar el tipo de suelo:

- Clasificación E, perfil de suelo suave

Para una clasificación de suelo tipo E se tienen los siguientes datos:

- $I_0 = 4,2$
- $S_{cr} = 1,59 \text{ g}$
- $S_{1r} = 1,85 \text{ g}$

La tipología estructural por utilizar es el sistema E1 de marcos dúctiles DA de concreto reforzado, tal como lo enuncia AGIES NSE-3-2018 capítulo 1.6 tabla 1.6.14-1 Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismo-resistentes.

Según la tabla 4.2.2-1 Nivel de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño en AGIES NSE-2-2018, la probabilidad de exceder el sismo de diseño es de 5 % en 50 años y nivel de protección D.

Ajuste por clase de sitio e intensidades sísmicas especiales:

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

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

Donde:

- S_{cs} es la ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con periodo de vibración corto. Ecuación 4.5.3-1 de AGIES NSE-2-2018.
- S_{1s} es la ordenada espectral correspondiente a periodos de vibración de 1 segundo. Ecuación 4.5.3-2 de AGIES NSE-2-2018.
- F_a es el coeficiente de sitio para periodos de vibración cortos y se obtiene de AGIES NSE-2-2018 tabla 4.5-1.
- F_v es el coeficiente de sitio para periodos largos y se obtiene de AGIES NSE-2-2018 tabla 4.5-2.

- Na y Nv son factores que se aplican si existe proximidad a tipos de fuente sísmica descritos en la tabla 4.6.2-1 de AGIES NSE-2-2018.

Para esta edificación se tiene:

- $S_{cr} = 1,59 \text{ g}$
- $F_a = 1,00$
- $N_a = 1,00$
- $S_{1r} = 1,85 \text{ g}$
- $F_v = 1,00$
- $N_v = 1,00$

$$S_{cs} = 1,59 * 1 * 1 = 1,59 \text{ g}$$

$$S_{1s} = 1,85 * 1 * 1 = 1,85 \text{ g}$$

Periodos de vibración de transición según AGIES NSE-2-2018 capítulo 4.5.4.

Periodo T_s separa los periodos cortos de los largos ecuación 4.5.4-1 de la norma AGIES NSE-2-2018.

$$T_s = \frac{S_{1s}}{S_{cs}}$$

$$T_s = \frac{1,85\text{g}}{1,59\text{g}} = 1,16 \text{ s}$$

Periodo T_o define el inicio de la meseta de periodos cortos del espectro ecuación 4.5.4-2 de la norma AGIES NSE-2-2018

$$T_o = 0,2T_s$$

$$T_o = 0,2 * 1,16 = 0,23 \text{ s}$$

Factor K_d de acuerdo con el nivel de sismo según tabla 4.5.4-1 AGIES NSE-2-2018, para un sismo severo con 5 % de probabilidad de ser excedido en 50 años el cual corresponde a un periodo de retorno de 975 años y para el cual se utilizará el factor $K_d = 0,80$.

Ordenadas espectrales de diseño, se calibrarán mediante lo dictado por AGIES NSE-2-2018 capítulo 4.5.5.

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

$$S_{cd} = 0,80 * 1,59 \text{ g} = 1,27 \text{ g}$$

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

$$S_{1d} = 0,80 * 1,85 \text{ g} = 1,48 \text{ g}$$

Cálculo del periodo fundamental de vibración, se realizará de forma empírica y genérica tal como lo indica AGIES NSE-3-2018 capítulo 2.1.6:

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

Para sistemas E1 de concreto reforzado con fachadas rígidas se tienen los siguientes valores:

- $K_t = 0,047$
- $H_n =$ altura total del edificio desde la base = 6,00 m
- $X=0,085$

$$Ta = 0,047(6)^{0,085} = 0,215 \text{ s}$$

Según AGIES NSE-2-2018 capítulo 4.5.6., se debe calcular los espectros genéricos probables, y para ello se debe calcular la ordenada espectral $S_a(T)$ (pseudo - aceleración inducida) para cualquier período de vibración T , y se define con las siguientes expresiones:

$$S_a(T) = S_{cd} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right) \text{ cuando } T < T_o$$

$$S_a(T) = S_{cd} \text{ cuando } T_o \leq T \leq T_s$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T} \leq S_{cd} \text{ cuando } T_s < T < T_L$$

$$S_a(T) = \frac{S_{1d}}{T^2} * T_L \text{ cuando } T \geq T_L$$

Para este caso $T < T_o$

$$0,215 \text{ s} < 0,23 \text{ s}$$

Por lo tanto, se realiza el cálculo de $S_a(T)$ de la siguiente manera:

$$S_a(T) = S_{cd} \left(0,4 + 0,6 \frac{T}{T_o} \right)$$

$$S_a(T) = 1,27g \left(0,4 + 0,6 \frac{0,215 \text{ s}}{0,23 \text{ s}} \right) = 1,216 \text{ g}$$

De acuerdo con AGIES NSE-3-2018, se debe calcular el coeficiente sísmico al límite de cedencia, que está dado por la siguiente ecuación:

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

Donde:

- R = factor de reducción según tipología estructural, que se obtiene en AGIES NSE-3-2018 Capítulo 1.5.2 y que para este caso es 8

$$C_s = \frac{1,216 \text{ g}}{8} = 0,1519 \text{ g}$$

Se debe verificar que el C_s cumpla con lo indicado en AGIES NSE-3-2018 capítulo 2.1.4.

$$C_s \geq 0,044S_{cd} \geq 0,01$$

$$0,1519 \geq 0,056 \geq 0,01 \text{ cumple}$$

$$C_s \geq \frac{0,75K_dS_{1r}}{R}$$

$$0,1519 \geq 0,1388 \text{ cumple}$$

El cortante basal al límite de cedencia indica que el total de las fuerzas sísmicas equivalentes que actúan sobre la edificación, en cada dirección de análisis, se debe representar por medio del cortante estático equivalente al límite de cedencia en la base sísmica de la estructura, también llamado cortante basal estático a cedencia, y se obtiene con la siguiente expresión:

$$V_B = C_s W_s$$

$$V_B = 0,1519 * 340\,445\,kg = 51\,735\,kg$$

Las fuerzas sísmicas deben de ser distribuidas por nivel según lo indica AGIES-NSE-3-2018, capítulo 2.2., ecuaciones 2.2.1-1 y 2.2.1-2 y este procedimiento se realiza de la siguiente manera:

$$F_x = C_{yx} V_B$$

Donde:

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

- F_x = cortante de cedencia en el nivel "x" de la edificación
- h_x = altura del nivel "x" sobre la base sísmica
- $k = 1$ para $T \leq 0,5$ segundos

De acuerdo con la ecuación anterior, se puede resumir las fuerzas por nivel en la siguiente tabla:

Tabla VI. **Fuerzas por nivel**

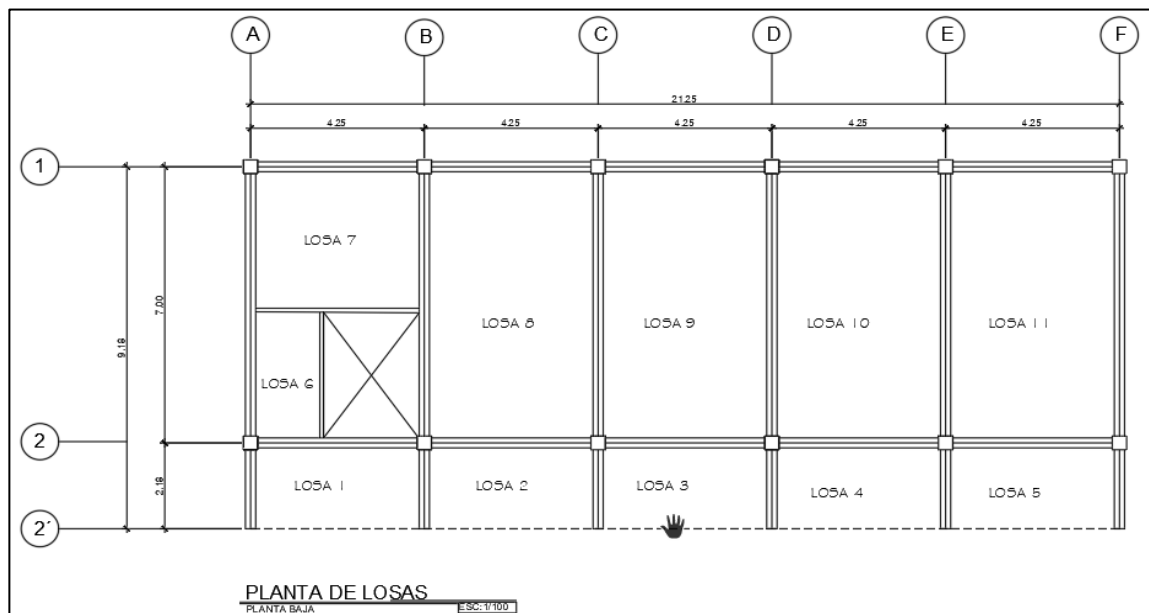
Nivel	h_x (m)	Peso sísmico efectivo de nivel (kg) (w_i)	$w_i h_x$ (kg*m)	F_x (kg)
1	3,00	194 613,00	583 839,00	20 704,88
2	6,00	145 832,00	874 992,00	31 030,14

Fuente: elaboración propia.

La distribución de fuerzas por marco se realizará según lo estipula AGIES-NSE-2018 capítulo 2.3, donde indica que se debe considerar el giro ocasionado por la excentricidad del centro de masa respecto al centro de rigidez de la estructura además de considerar una excentricidad accidental del 5 %.

Para el cálculo del centro de masa se utilizará la planta de la estructura por cada nivel y se dividirá según losas, además se utilizará el peso propio de la losa, sobre carga de losa y la carga viva.

Figura 3. **Planta de losas primer nivel**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Tabla VII. Cargas por losa primer nivel

Primer Nivel							
Losa	Área (m2)	Uso	PP Losa (kg/m2)	SC Losa (kg/m2)	CM (kg/m2)	SC (kg/m2)	CV (kg)
1	9,27	Pasillo	260	200	2410,20	1854,00	4635,00
2	9,27	Pasillo	260	200	2410,20	1854,00	4635,00
3	9,27	Pasillo	260	200	2410,20	1854,00	4635,00
4	9,27	Pasillo	260	200	2410,20	1854,00	4635,00
5	9,27	Pasillo	260	200	2410,20	1854,00	4635,00
6	5,64	Bodega	260	200	1466,40	1128,00	3384,00
7	15,25	Bodega	260	200	3965,00	3050,00	9150,00
8	29,75	Aula	260	200	7735,00	5950,00	5950,00
9	29,75	Aula	260	200	7735,00	5950,00	5950,00
10	29,75	Aula	260	200	7735,00	5950,00	5950,00
11	29,75	Aula	260	200	7735,00	5950,00	5950,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Cálculo de centro de masa sentido X-X primer nivel

CM Sentido X, Primer Nivel						
Losa	Área (m2)	Wcm+SC (kg)	Wcv (kg)	Wi (kg)	Li (m)	Wi*Li (kg*m)
1	9,27	4264,20	4635,00	8899,20	2,125	18 910,80
2	9,27	4264,20	4635,00	8899,20	6,375	56 732,40
3	9,27	4264,20	4635,00	8899,20	10,625	94 554,00
4	9,27	4264,20	4635,00	8899,20	14,875	132 375,60
5	9,27	4264,20	4635,00	8899,20	19,125	170 197,20
6	5,64	2594,40	3384,00	5978,40	0,850	5 081,64
7	15,25	7015,00	9150,00	16165,00	2,125	34 350,63
8	29,75	13685,00	5950,00	19635,00	6,375	125 173,13
9	29,75	13685,00	5950,00	19635,00	10,625	208 621,88
10	29,75	13685,00	5950,00	19635,00	14,875	292 070,63
11	29,75	13685,00	5950,00	19635,00	19,125	375 519,38
Muros 1				7745,00	10,625	82 290,62
Muros 2				7745,00	10,625	82 290,62
Muros A				2551,50	0,000	0,00
Muros B				2551,50	4,250	10 843,87
Muros D				2551,50	12,750	32 531,62
Muros E				2551,50	17,000	43 375,50
Muros F				2551,50	21,250	54 219,37
			Total	160669,40	Total	1 819 138,89

Fuente: elaboración propia.

$$CM_{X-X} = \frac{\sum W_i * Li}{\sum W_i}$$

$$CM_{X-X} = \frac{1\,819\,138,89\,kg * m}{160\,669,40\,kg} = 11,32\,m$$

Tabla IX. **Cálculo de centro de masa sentido Y-Y primer nivel**

CM Sentido Y, Primer Nivel						
Losa	Área (m2)	Wcm +SC (kg)	Wcv (kg)	Wi (kg)	Li (m)	Wi*Li (kg*m)
1	9,27	4 264,20	4 635,00	8 899,20	1,09	9 700,13
2	9,27	4 264,20	4 635,00	8 899,20	1,09	9 700,13
3	9,27	4 264,20	4 635,00	8 899,20	1,09	9 700,13
4	9,27	4 264,20	4 635,00	8 899,20	1,09	9 700,13
5	9,27	4 264,20	4 635,00	8 899,20	1,09	9 700,13
6	5,64	2 594,40	3 384,00	5 978,40	3,84	22 957,06
7	15,25	7 015,00	9 150,00	16 165,00	7,36	119 055,23
8	29,75	13 685,00	5 950,00	19 635,00	5,68	111 526,80
9	29,75	13 685,00	5 950,00	19 635,00	5,68	111 526,80
10	29,75	13 685,00	5 950,00	19 635,00	5,68	111 526,80
11	29,75	13 685,00	5 950,00	19 635,00	5,68	111 526,80
Muros 1				7 745,00	9,18	71 099,10
Muros 2				7 745,00	2,18	16 884,10
Muros A				2 551,50	4,59	11 711,38
Muros B				2 551,50	4,59	11 711,38
Muros D				2 551,50	4,59	11 711,38
Muros E				2 551,50	4,59	11 711,38
Muros F				2 551,50	4,59	11 711,38
			Total	160 669,40	Total	783 160,25

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CM_{Y-Y} = \frac{\sum W_i * Li}{\sum W_i}$$

$$CM_{Y-Y} = \frac{783\,160,25\,kg * m}{160\,669,40\,kg} = 4,87\,m$$

Tabla X. **Cargas por losa, segundo nivel**

Segundo nivel							
Losa	Área (m2)	Uso	PP Losa (kg/m2)	SC Losa (kg/m2)	CM (kg/m2)	SC (kg/m2)	CV (kg)
1	9,27	Techo	260	200	2 410,20	1 854,00	927,00
2	9,27	Techo	260	200	2 410,20	1 854,00	927,00
3	9,27	Techo	260	200	2 410,20	1 854,00	927,00
4	9,27	Techo	260	200	2 410,20	1 854,00	927,00
5	9,27	Techo	260	200	2 410,20	1 854,00	927,00
6	29,75	Techo	260	200	7 735,00	5 950,00	2 975,00
7	29,75	Techo	260	200	7 735,00	5 950,00	2 975,00
8	29,75	Techo	260	200	7 735,00	5 950,00	2 975,00
9	29,75	Techo	260	200	7 735,00	5 950,00	2 975,00
10	29,75	Techo	260	200	7 735,00	5 950,00	2 975,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XI. **Cálculo de centro de masa sentido X-X, segundo nivel**

CM Sentido X, Segundo Nivel						
Losa	Área (m2)	Wcm +SC (kg)	Wcv (kg)	Wi (kg)	Li (m)	Wi*Li (kg*m)
1	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	2,12	11 031,30
2	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	6,37	33 093,90
3	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	10,62	55 156,50
4	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	14,87	77 219,10
5	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	19,12	99 281,70
6	29,75	13 685,00	2975,00	16 660,00	2,12	35 402,50
7	29,75	13 685,00	2975,00	16 660,00	6,37	106 207,50
8	29,75	13 685,00	2975,00	16 660,00	10,62	177 012,50
9	29,75	13 685,00	2975,00	16 660,00	14,87	247 817,50
10	29,75	13 685,00	2975,00	16 660,00	19,12	318 622,50
			Total	109 256,00	Total	1 160 845,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CM_{X-X} = \frac{\sum Wi \cdot Li}{\sum Wi}$$

$$CM_{X-X} = \frac{1\,160\,845,00 \text{ kg} \cdot m}{109\,256,00 \text{ kg}} = 10,63 \text{ m}$$

Tabla XII. **Cálculo centro de masa sentido Y-Y, segundo nivel**

CM Sentido Y, Segundo Nivel						
Losa	Área (m2)	Wcm +SC (kg)	Wcv (kg)	Wi (kg)	Li (m)	Wi*Li (kg*m)
1	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	1,09	5 658,41
2	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	1,09	5 658,41
3	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	1,09	5 658,41
4	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	1,09	5 658,41
5	9,27	4 264,20	927,00	5 191,20	1,09	5 658,41
6	29,75	13 685,00	2 975,00	16 660,00	5,68	94 628,80
7	29,75	13 685,00	2 975,00	16 660,00	5,68	94 628,80
8	29,75	13 685,00	2 975,00	16 660,00	5,68	94 628,80
9	29,75	13 685,00	2 975,00	16 660,00	5,68	94 628,80
10	29,75	13 685,00	2 975,00	16 660,00	5,68	94 628,80
			Total	109 256,00	Total	501 436,04

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CM_{Y-Y} = \frac{\sum Wi \cdot Li}{\sum Wi}$$

$$CM_{Y-Y} = \frac{501\,436,04\,kg \cdot m}{109\,256\,kg} = 4,59\,m$$

Tabla XIII. **Resumen de centros de masa calculados**

	Primer nivel (m)	Segundo nivel (m)
CM X-X	11,32	10,63
CM Y-Y	4,87	4,59

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

- Centro de rigidez (CR): el centro de rigidez de una estructura es el punto central de los elementos verticales, que para este caso son las columnas, que resisten las fuerzas laterales aplicadas al sistema.

Para el cálculo del centro de rigidez es necesario considerar el valor de las rigideces de columna de cada marco por nivel. Los niveles últimos de un edificio se consideran niveles en voladizo y su rigidez se calcula con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{Fh^3}{3E_cI} + \frac{1,2Fh}{AG}}$$

Donde:

F= fuerza actuante en el nivel

H= altura de columna a analizar

I= momento de inercia de la sección del elemento

A= área de la sección transversal del elemento

G= módulo de rigidez del concreto

E_c= módulo de elasticidad del concreto

Momento de inercia de la sección del elemento

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

$$I = \frac{1}{12} * 40 \text{ cm} * (40 \text{ cm})^3 = 213\,333 \text{ cm}^4$$

Área de la sección transversal del elemento:

$$A = b * h$$

$$A = 40 * 40 = 1\,600\,cm^2$$

Módulo de elasticidad del concreto:

$$E_c = 15\,100 * \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 15\,100 * \sqrt{281} = 253\,122 \frac{kg}{cm^2}$$

Módulo de rigidez del concreto:

$$G = 0,4 * E_c$$

$$G = 0,4 * 253\,122 \frac{kg}{cm^2} = 101\,249 \frac{kg}{cm^2}$$

Entonces:

$$K = \frac{1}{\frac{31\,030\,kg * 300\,cm}{3 * 253\,122\,kg/cm^2} + \frac{1,2 * 31\,030\,kg * 300\,cm}{1\,600\,cm^2 * 101\,249\,kg/cm^2}} = 0,19$$

El primer nivel se considera como doblemente empotrado y su rigidez se calcula con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{1}{\frac{Fh^3}{12E_cI} + \frac{1,2Fh}{AG}}$$

$$K = \frac{1}{\frac{20\,705\,kg * 300\,cm}{12 * 253\,122 \frac{kg}{cm^2}} + \frac{1,2 * 20\,705\,kg * 300\,cm}{1\,600\,cm^2 * 101\,249 \frac{kg}{cm^2}}} = 0,34$$

Cálculo del centro de rigidez de la estructura por nivel:

Para realizar el cálculo de rigidez de la estructura por cada nivel se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$CR_x = \frac{\sum K * L_x}{\sum K}$$

$$CR_y = \frac{\sum K * L_y}{\sum K}$$

Tabla XIV. **Cálculo del centro de rigidez sentido X-X, segundo nivel**

Segundo nivel, sentido X-X					
Marco	#Col	Kc (Cm-1)	Kc (Cm-1)	L (m)	Km*L
A	2	0,19	0,3816	0,00	0,000
B	2	0,19	0,3816	4,25	1,622
C	2	0,19	0,3816	8,50	3,244
D	2	0,19	0,3816	12,75	4,866
E	2	0,19	0,3816	17,00	6,488
F	2	0,19	0,3816	21,25	8,110
		TOTAL	2,2898	TOTAL	24,330

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CR_x = \frac{24,9}{2,34} = 10,63\,m$$

Tabla XV. **Cálculo del centro de rigidez sentido Y-Y, segundo nivel**

Segundo nivel, sentido Y-Y					
Marco	#Col	Kc (Cm-1)	Kc (Cm-1)	L (m)	Km*L
1	6	0,19	1,1449	9,18	10,510
2	6	0,19	1,1449	2,18	2,496
		TOTAL	2,2898	TOTAL	13,010

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CR_y = \frac{13,31}{2,34} = 5,68 \text{ m}$$

Tabla XVI. **Cálculo del centro de rigidez sentido X-X, primer nivel**

Primer nivel, Sentido X					
Marco	#Col	Kc (Cm-1)	Kc (Cm-1)	L (m)	Km*L
A	2	0,34	0,671	0,00	0,000
B	2	0,34	0,671	4,25	2,852
C	2	0,34	0,671	8,50	5,703
D	2	0,34	0,671	12,75	8,555
E	2	0,34	0,671	17,00	11,410
F	2	0,34	0,671	21,25	14,260
		TOTAL	4,025	TOTAL	42,780

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CR_x = \frac{43,77}{4,12} = 10,63 \text{ m}$$

Tabla XVII. **Cálculo del centro de rigidez sentido Y-Y, primer nivel**

Primer nivel, Sentido Y					
Marco	#Col	Kc (Cm-1)	Kc (Cm-1)	L (m)	Km*L
1	6	0,34	2,013	9,18	18,480
2	6	0,34	2,013	2,18	4,388
		TOTAL	4,025	TOTAL	22,870

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

$$CR_y = \frac{23,40}{4,12} = 5,68 \text{ m}$$

La excentricidad en una estructura está definida como la distancia que existe entre el centro de rigidez y el centro de masa. La existencia de esta excentricidad provoca que el centro de masa gire alrededor de un eje que se genera en el centro de rigidez y este efecto se conoce como torsión, la cual produce desplazamientos los cuales afectan las cargas laterales y esto es significativo para el análisis estructural.

El cálculo de excentricidad se realiza con las siguientes ecuaciones:

$$e_x = CR_x - CM_x$$

$$e_y = CR_y - CM_y$$

Excentricidad segundo nivel:

$$e_x = 10,63 \text{ m} - 10,63 \text{ m} = 0 \text{ m}$$

$$e_y = 5,68 \text{ m} - 4,59 \text{ m} = 1,09 \text{ m}$$

Excentricidad primer nivel:

$$e_x = 10,63 \text{ m} - 11,32 \text{ m} = 0,70 \text{ m}$$

$$e_y = 5,68 \text{ m} - 4,87 \text{ m} = 0,81 \text{ m}$$

La excentricidad de diseño es aquella que toma en cuenta la excentricidad real y además una excentricidad accidental, tal como lo menciona AGIES NSE-3-2018 capítulo 2.3.2. Este cálculo se realiza en ambos sentidos y se toma el más crítico, para el cálculo de la excentricidad de diseño se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$e_{diseño\ x,y} = |e_{x,y}| \pm 0,05 * b$$

Excentricidad de diseño, segundo nivel:

$$e_{1\ diseño\ x} = |0| + 0,05 * 21,25 = 1,06 \text{ m}$$

$$e_{2\ diseño\ x} = |0| - 0,05 * 21,25 = -1,06 \text{ m}$$

$$e_{1\ diseño\ y} = |1,09| + 0,05 * 9,20 = 1,55 \text{ m}$$

$$e_{2\ diseño\ y} = |1,09| - 0,05 * 9,20 = -0,63 \text{ m}$$

Excentricidad de diseño, primer nivel:

$$e_{1 \text{ diseño } x} = |0,70| + 0,05 * 21,25 = 1,76 \text{ m}$$

$$e_{2 \text{ diseño } x} = |0,70| - 0,05 * 21,25 = -0,37 \text{ m}$$

$$e_{1 \text{ diseño } y} = |1,09| + 0,05 * 9,20 = 1,27 \text{ m}$$

$$e_{2 \text{ diseño } y} = |1,09| - 0,05 * 9,20 = -0,35 \text{ m}$$

Tabla XVIII. **Excentricidades de diseño**

Excentricidades de diseño		
Eje	1 Nivel	2 Nivel
X	1,76	1,06
	-0,37	-1,06
Y	1,27	1,55
	0,35	0,63

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Para el cálculo de fuerzas por torsión se utilizará el método de Rosenblueth Esteva, el cual considera lo siguiente:

- El centro de rigidez se debe calcular con la rigidez de los elementos de cada nivel.
- La fuerza cortante total soportada por todos los elementos en el nivel debe ser igual al valor más crítico de las fuerzas calculadas con la siguiente ecuación:

$$V_{total} = V_s \pm V_t$$

Donde V_s y V_t se calculan con las siguientes ecuaciones:

$$V_s = \frac{K_m * F_n}{K_m}$$

$$V_t = \frac{e_{d(x,y)} * F_n * (K_m * d_i)}{\sum (K_m * d_i^2)}$$

Donde:

V_{total} = fuerza total en el marco (kg)

V_s = fuerza cortante por sismo en el marco (kg)

V_t = fuerza cortante por torsión en el marco (kg)

e = excentricidad de diseño en las direcciones x, y

d_i = distancia entre el CR y el eje de cada marco

F_n = fuerza por nivel (kg)

Tabla XIX. Fuerzas por marco sentido X-X, segundo nivel

Segundo nivel, Sentido X-X											
Marco	e diseño		Fn (kg)	Km	di	Km x Fi	Km x di	Km x di²	Vs (kg)	Vt (kg)	Vs + Vt (kg)
A	e1x	1,06	31030,14	0,38	-10,63	11841,97	-4,05	43,08	5171,69	-1108,22	4063,47
	e2x	-1,06								1108,22	6279,91
B	e1x	1,06	31030,14	0,38	-6,38	11841,97	-2,43	15,51	5171,69	-664,93	4506,76
	e2x	-1,06								664,93	5836,62
C	e1x	1,06	31030,14	0,38	-2,13	11841,97	-0,81	1,72	5171,69	-221,64	4950,05
	e2x	-1,06								221,64	5393,33
D	e1x	1,06	31030,14	0,38	2,13	11841,97	0,81	1,72	5171,69	221,64	5393,33
	e2x	-1,06								-221,64	4950,05
E	e1x	1,06	31030,14	0,38	6,38	11841,97	2,43	15,51	5171,69	664,93	5836,62
	e2x	-1,06								-664,93	4506,76
F	e1x	1,06	31030,14	0,38	10,63	11841,97	4,05	43,08	5171,69	1108,22	6279,91
	e2x	-1,06								-1108,22	4063,47
			TOTAL	2,29			TOTAL	120,63			

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XX. Fuerzas por marco sentido Y-Y, segundo nivel

Segundo nivel, Sentido Y-Y											
Marco	e diseño		Fn (kg)	Km	di	Km x Fi	Km x di	Km x di²	Vs (kg)	Vt (kg)	Vs + Vt (kg)
1	e1y	1,55	31030,14	1,14	4,58	35525,91	5,24	24,02	15515,07	8211,84	23726,91
	e2y	0,63								3339,13	18854,20
2	e1y	1,55	31030,14	1,14	-2,42	35525,91	-2,77	6,70	15515,07	-4339,01	11176,06
	e2y	0,63								-1764,34	13750,73
			TOTAL	2,29			TOTAL	30,72			

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXI. Fuerzas por marco sentido X-X, primer nivel

Primer nivel, Sentido X-X											
Marco	e diseño		Fn (kg)	Km	di	Km x Fi	Km x di	Km x di²	Vs (kg)	Vt (kg)	Vs + Vt (kg)
A	e1x	1,76	20704,88	0,67	-10,63	13892,75	-7,13	75,75	3450,81	-1224,72	2226,09
	e2x	-0,37								254,20	3705,02
B	e1x	1,76	20704,88	0,67	-6,38	13892,75	-4,28	27,27	3450,81	-734,83	2715,98
	e2x	-0,37								152,52	3603,33
C	e1x	1,76	20704,88	0,67	-2,13	13892,75	-1,43	3,03	3450,81	-244,94	3205,87
	e2x	-0,37								50,84	3501,65
D	e1x	1,76	20704,88	0,67	2,13	13892,75	1,43	3,03	3450,81	244,94	3695,76
	e2x	-0,37								-50,84	3399,97
E	e1x	1,76	20704,88	0,67	6,38	13892,75	4,28	27,27	3450,81	734,83	4185,65
	e2x	-0,37								-152,52	3298,29
F	e1x	1,76	20704,88	0,67	10,63	13892,75	7,13	75,75	3450,81	1224,72	4675,53
	e2x	-0,37								-254,20	3196,61
			TOTAL	4,03			TOTAL	212,10			

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXII. Fuerzas por marco sentido Y-Y, primer nivel

Primer nivel, Sentido Y-Y											
Marco	e diseño		Fn (kg)	Km	di	Km x Fi	Km x di	Km x di²	Vs (kg)	Vt (kg)	Vs + Vt (kg)
1	e1y	1,27	20704,88	2,01	4,58	41678,25	9,22	42,22	10352,44	4472,84	14825,28
	e2y	0,35								1221,51	11573,96
2	e1y	1,27	20704,88	2,01	-2,42	41678,25	-4,87	11,79	10352,44	-2363,38	7989,07
	e2y	0,35								-645,43	9707,01
			TOTAL	4,03	TOTAL			54,01			

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

2.1.4.3. Modelos matemáticos de marcos dúctiles con nudos rígidos

Para realizar un análisis estructural es necesario simplificar la estructura, para lo cual se realizan modelos matemáticos. Estos consisten en adaptar la estructura de tal forma que se pueda analizar matemáticamente por medio de métodos numéricos. Para dicha simplificación se asumen los elementos estructurales vigas y columnas como barras a las cuales posteriormente en el

análisis estructural se le asignaran datos geométricos y propiedades mecánicas.

2.1.4.4. Análisis de marcos dúctiles usando software y comprobación por medio de un método numérico

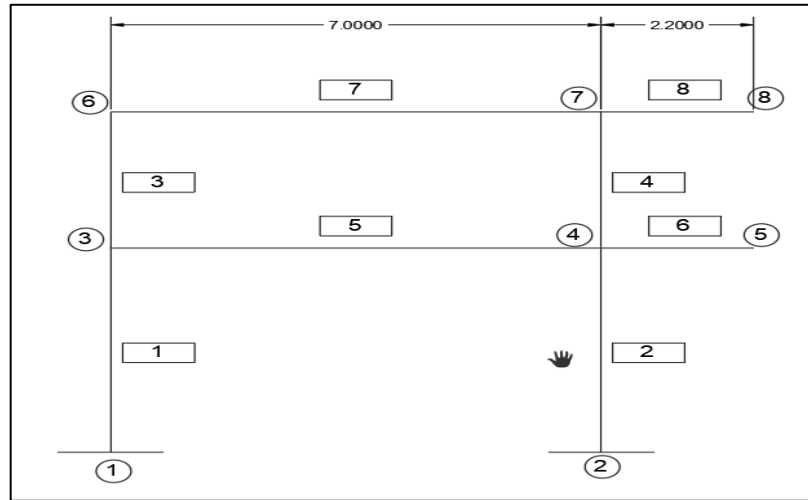
Para el análisis estructural se utilizará el software SAP 2000 y la comprobación se realizará mediante el método de análisis estructural matricial, también conocido como método de las rigideces.

En el método de análisis matricial de rigideces, la estructura está considerada como un conjunto de elementos tipo barra conectados en sus extremos por nodos. Este método es capaz de determinar fuerzas y momentos en los extremos de los elementos mediante la relación de fuerza y desplazamiento.

En el método de las rigideces, el comportamiento de la estructura está compuesto por un sistema global de coordenadas en un plano cartesiano XYZ, además cada elemento está compuesto por un sistema local de coordenadas.

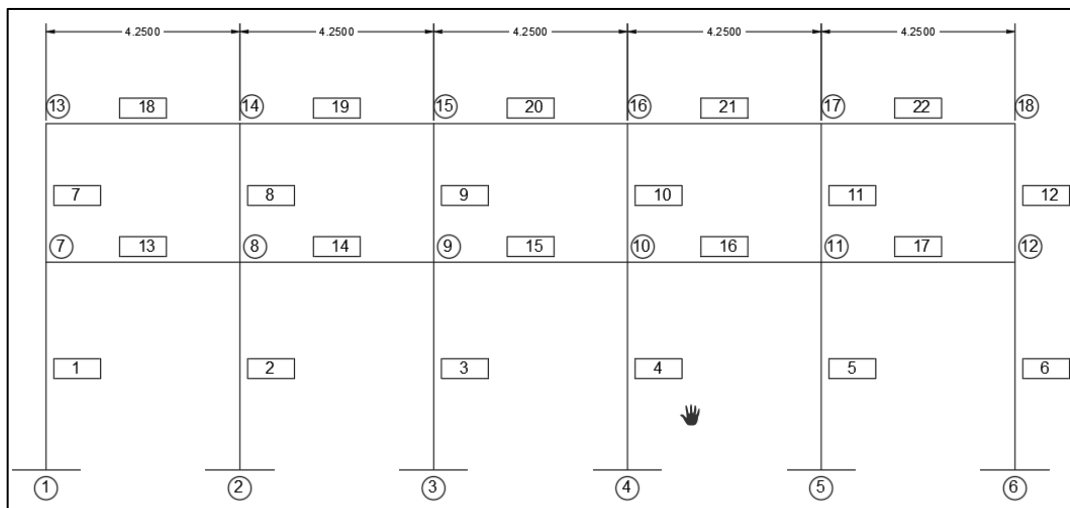
Las estructuras poseen grados de libertad, los cuales representan traslaciones o rotaciones las cuales son provocadas por una carga arbitraria.

Figura 4. Identificación de nodos y elementos del marco X



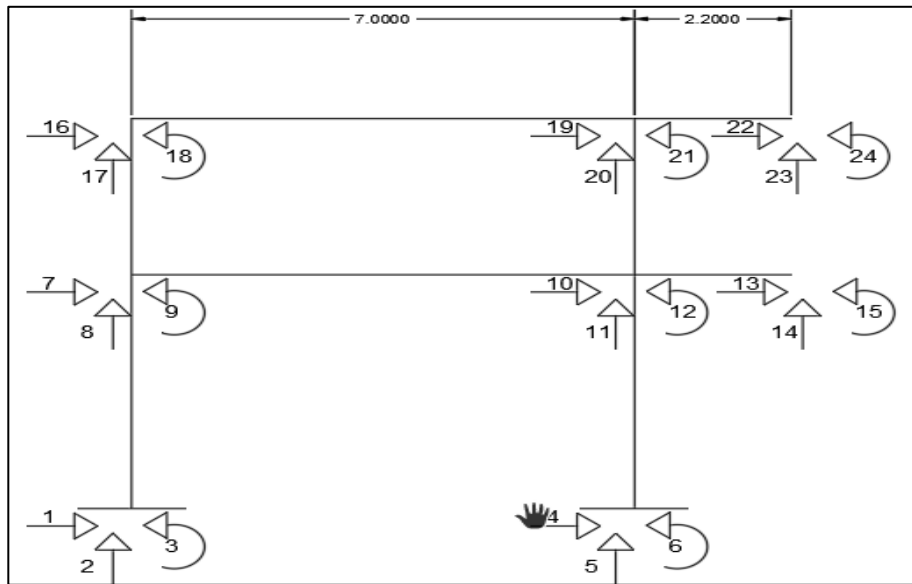
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 5. Identificación de nodos y elementos del marco Y



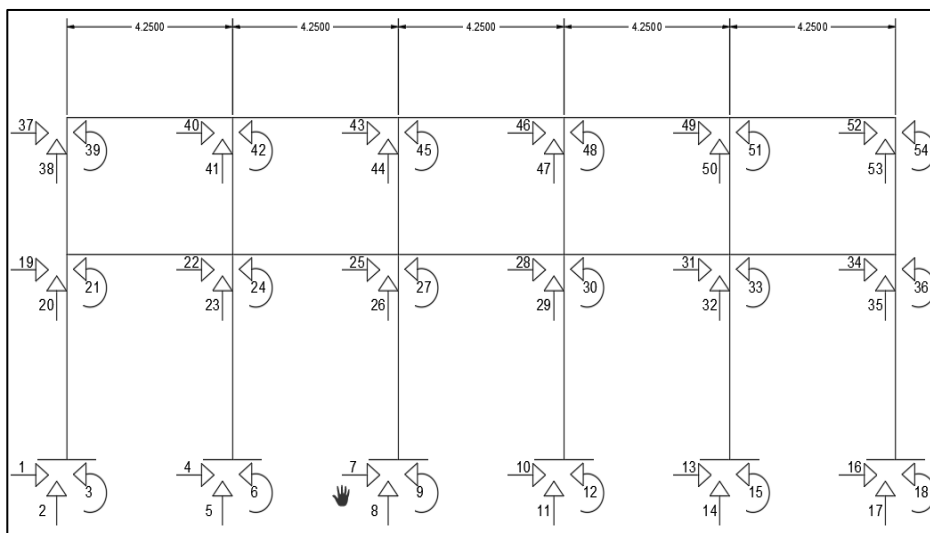
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 6. **Identificación de grados de libertad del marco X**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 7. **Identificación de grados de libertad del marco Y**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Ya que se definieron los nodos, elementos y grados de libertad de la estructura, se deben definir ciertos aspectos que son:

- Secciones de los elementos
- Módulo de elasticidad del concreto
- Definir áreas e inercia de las secciones de los elementos
- Cargas aplicadas a los elementos

Las secciones de los elementos fueron definidas anteriormente y son las siguientes:

- Vigas = 0,30 m * 0,50 m
- Columnas = 0,40 m * 0,40 m

El módulo de elasticidad se calculará con la siguiente ecuación:

$$E = 15\,100 * \sqrt{f'c}$$

$$E = 15\,100 * \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2}} = 253\,122,12 \frac{kg}{cm^2} \cong 2,53 \times 10^9 \frac{kg}{m^2}$$

- Cálculo de área de la sección de los elemento e inercio de la sección:

Área sección viga

$$A = 0,30 * 0,50 = 0,15 m^2$$

Área sección columna:

$$A = 0,40 * 0,40 = 0,16 \text{ m}^2$$

Inercia sección viga:

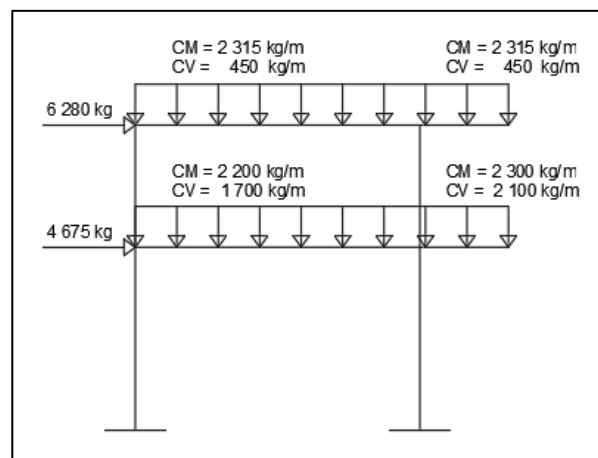
$$I = \frac{1}{12} * 0,30 \text{ m} * (0,50 \text{ m})^3 = 3,125 \times 10^3 \text{ m}^4$$

Inercia sección columna:

$$I = \frac{1}{12} * 0,40 \text{ m} * (0,40 \text{ m})^3 = 2,13 \times 10^3 \text{ m}^4$$

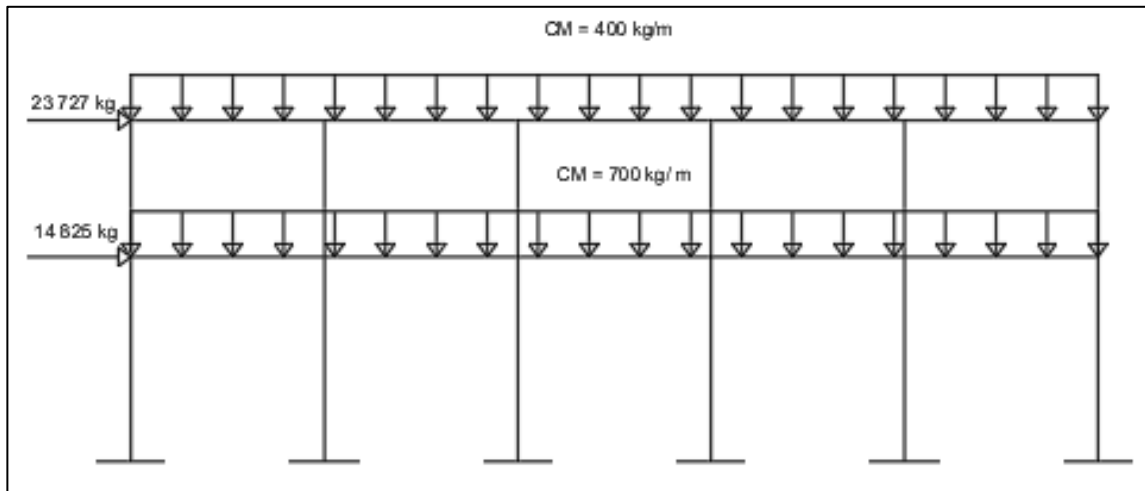
De la integración de cargas verticales y horizontales se obtuvieron las cargas aplicadas a cada marco:

Figura 8. **Cargas aplicadas al marco X**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 9. **Cargas aplicadas al marco Y**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

El marco en sentido Y no soporta carga viva debido a que la losa prefabricada que será utilizada trabaja únicamente en un sentido, por lo tanto, el marco en sentido X es el que soportara toda la carga viva en la edificación.

Seguidamente se debe ensamblar la matriz de rigidez, la cual para un elemento perteneciente a un pórtico plano se define de la siguiente forma:

Figura 10. **Matriz de rigidez de un elemento, en coordenadas locales**

$$k_e := \begin{bmatrix} \frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 & -\frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 12 \frac{E \cdot I}{L^3} & 6 \frac{E \cdot I}{L^2} & 0 & -12 \frac{E \cdot I}{L^3} & 6 \frac{E \cdot I}{L^2} \\ 0 & 6 \frac{E \cdot I}{L^2} & 4 \frac{E \cdot I}{L} & 0 & -6 \frac{E \cdot I}{L^2} & 2 \frac{E \cdot I}{L} \\ -\frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 & \frac{A \cdot E}{L} & 0 & 0 \\ 0 & -12 \frac{E \cdot I}{L^3} & -6 \frac{E \cdot I}{L^2} & 0 & 12 \frac{E \cdot I}{L^3} & -6 \frac{E \cdot I}{L^2} \\ 0 & 6 \frac{E \cdot I}{L^2} & 2 \frac{E \cdot I}{L} & 0 & -6 \frac{E \cdot I}{L^2} & 4 \frac{E \cdot I}{L} \end{bmatrix}$$

Fuente: elaboración propia, utilizando Mathcad Prime 6.0.

Para asignar la matriz de rigidez a cada elemento es necesario utilizar una matriz de transformación, la cual relaciona la rigidez del elemento con la posición que este tiene. La matriz de transformación es la siguiente:

Figura 11. **Matriz de transformación**

$$T_e := \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos(\theta) & -\sin(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin(\theta) & \cos(\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: elaboración propia, utilizando Mathcad Prime 6.0.

Donde θ es el ángulo de cada elemento, el cual se estima desde el nodo de numeral menor hasta el nodo de numeral mayor, los cuales para este caso son:

$$\theta_{\text{vigas}} = 0 \text{ y } \theta_{\text{columnas}} = 90$$

Debido a que el procedimiento es muy extenso se obtuvieron los resultados utilizando el software Mathcad Prime 6.0, sin embargo, se detalla la forma en que se realizó el análisis:

Para obtener la matriz de rigidez en el sistema global de coordenadas se utiliza la siguiente expresión:

$$(K) = T^T * (k) * T$$

Para ensamblar la matriz global, se suma en cada posición cada grado de libertad, según corresponda obteniendo así una matriz de tamaño $n \times n$, donde n es el número de grados de libertad lo cual se expresa de la siguiente manera:

$$K_{global} = \sum_{e=1}^M \Delta k_e$$

Donde M es el número de elementos. Esta matriz relaciona las fuerzas y desplazamientos en el sistema de coordenadas globales:

$$KD = P$$

Donde P y D son vectores de fuerzas y desplazamientos, respectivamente. Una vez resuelto el problema de reacciones y fuerzas internas

de los elementos, se calculan las fuerzas axiales, cortantes y momentos con las siguientes ecuaciones:

$$D_b = K_{bb}^{-1}(P_b - R_b)$$

$$P_a = K_{ab}D_b + R_a$$

$$D_e = T_e D_e$$

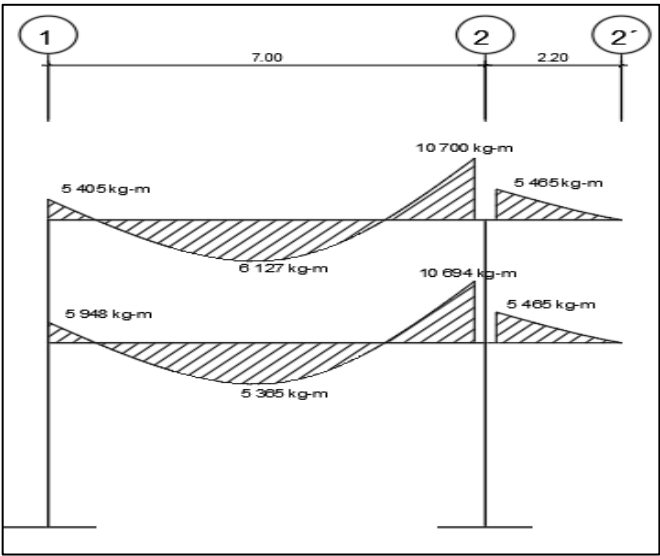
$$p_e = k_e d_e + r_e = k_e T_e D_e + r_e$$

Donde R_a resulta de la extracción de los valores correspondientes a los grados de libertad restringidos del vector R y D_e , de una extracción similar de los desplazamientos e los grados de libertad del elemento desde el vector D .

Una vez resuelto el sistema de ecuaciones matriciales, se obtienen los desplazamientos, fuerzas internas axiales, cortantes y momentos que corresponde a cada uno de los elementos de la estructura.

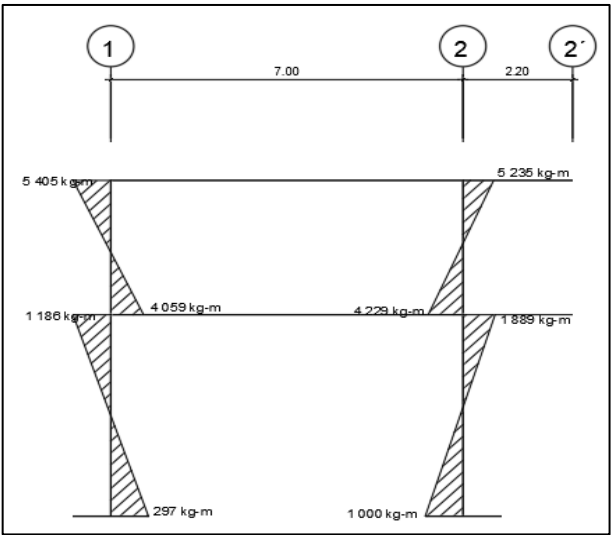
Los resultados fueron los siguientes:

Figura 12. **Momentos por carga muerta en vigas, marco X**



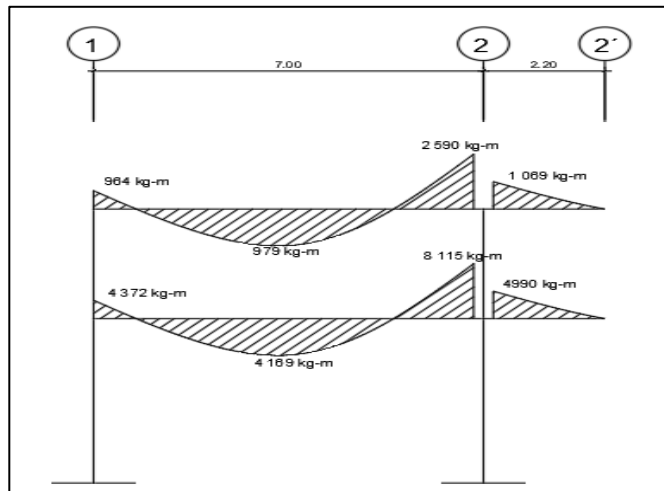
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 13. **Momentos por carga muerta en columnas, marco X**



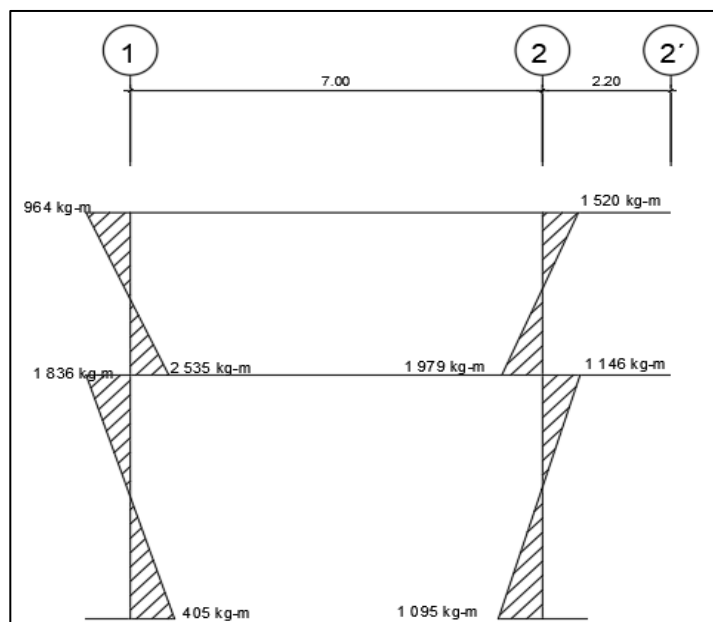
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 14. **Momentos por carga viva en vigas, marco X**



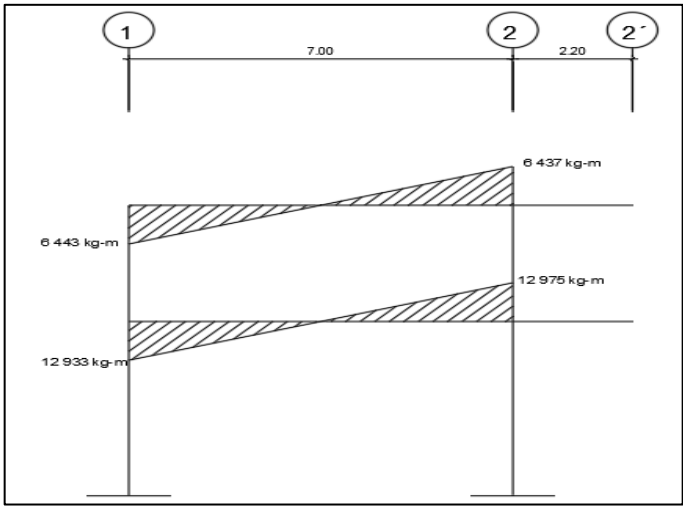
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 15. **Momentos por carga viva en columnas, marco X**



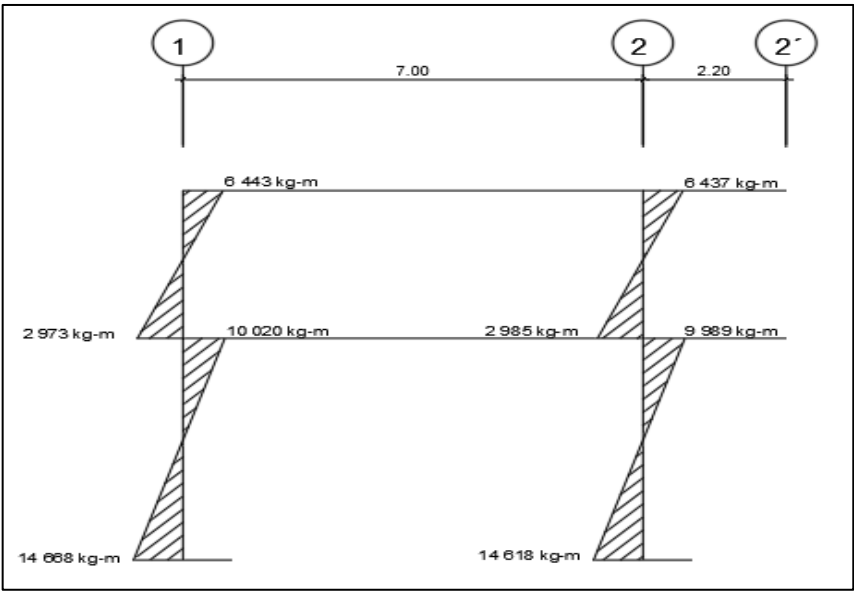
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 16. **Momentos por carga de sismo en vigas, marco X**



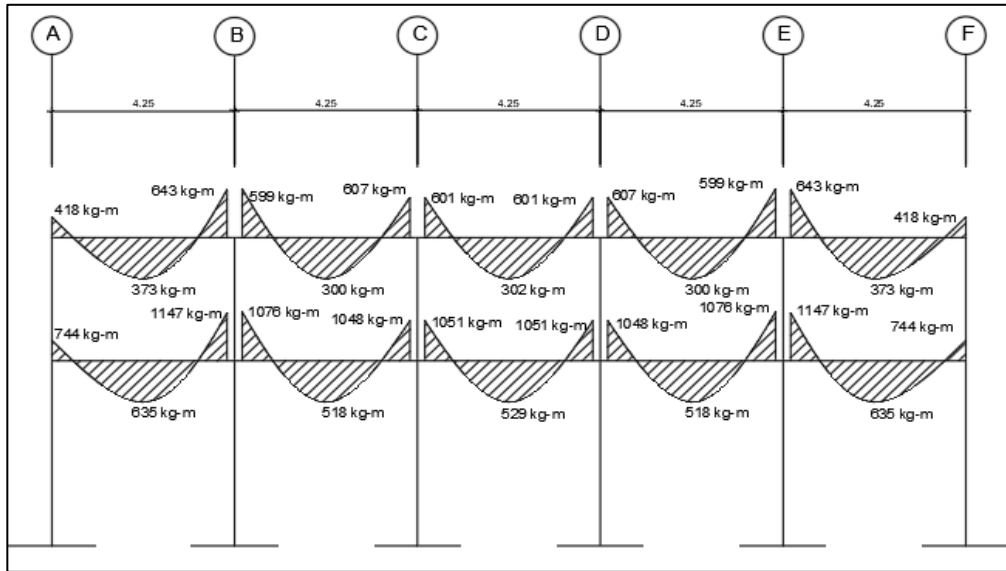
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 17. **Momentos por carga de sismo en vigas, marco X**



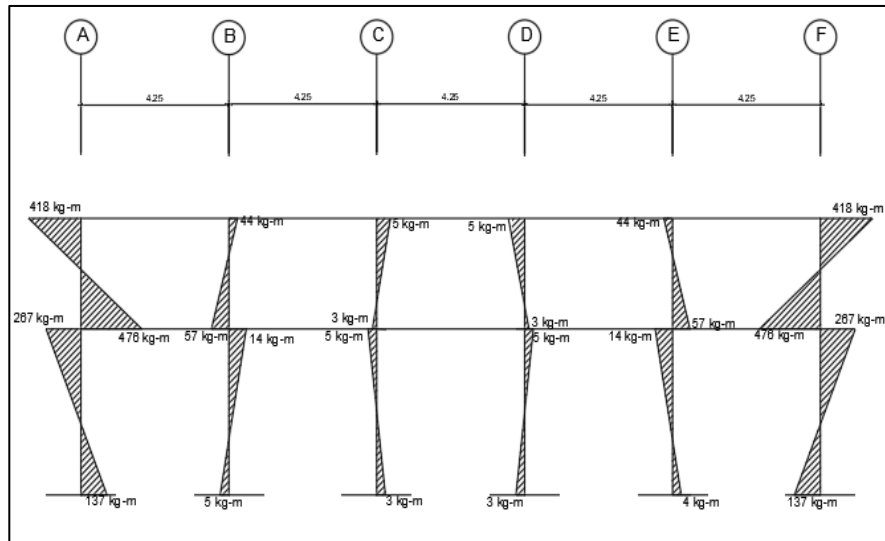
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 18. **Momentos por carga muerta en vigas, marco Y**



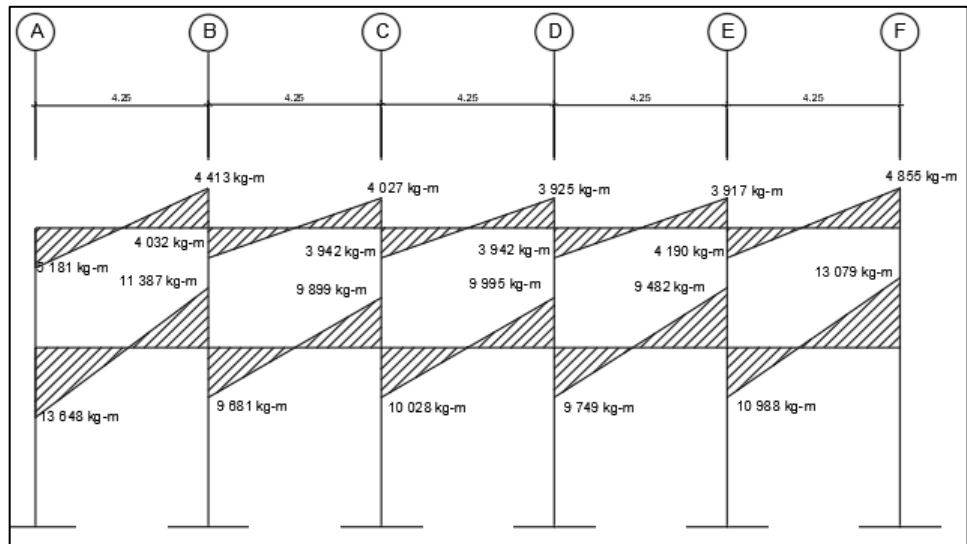
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 19. **Momentos por carga muerta en columnas, marco Y**



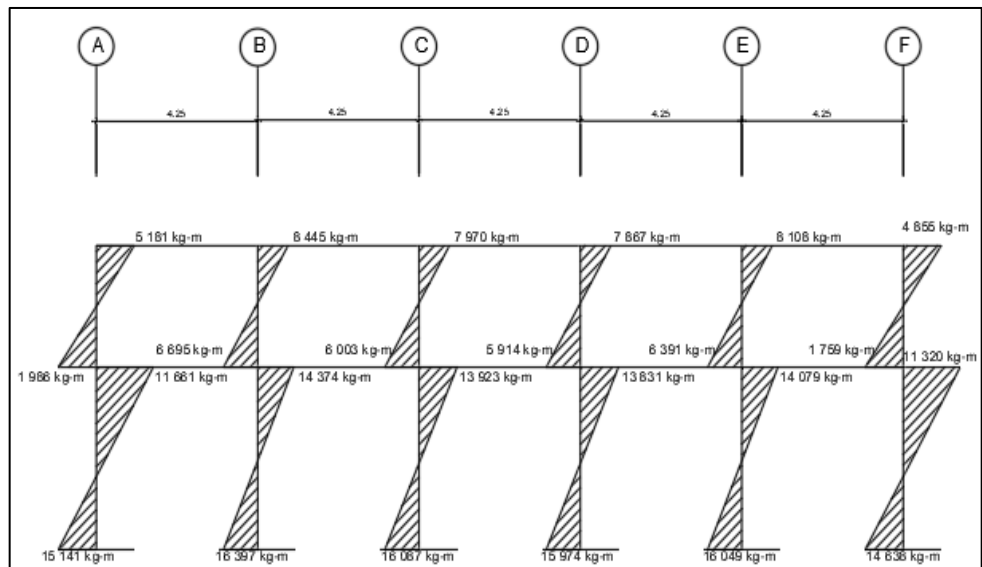
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 20. **Momentos carga de sismo en vigas, marco Y**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

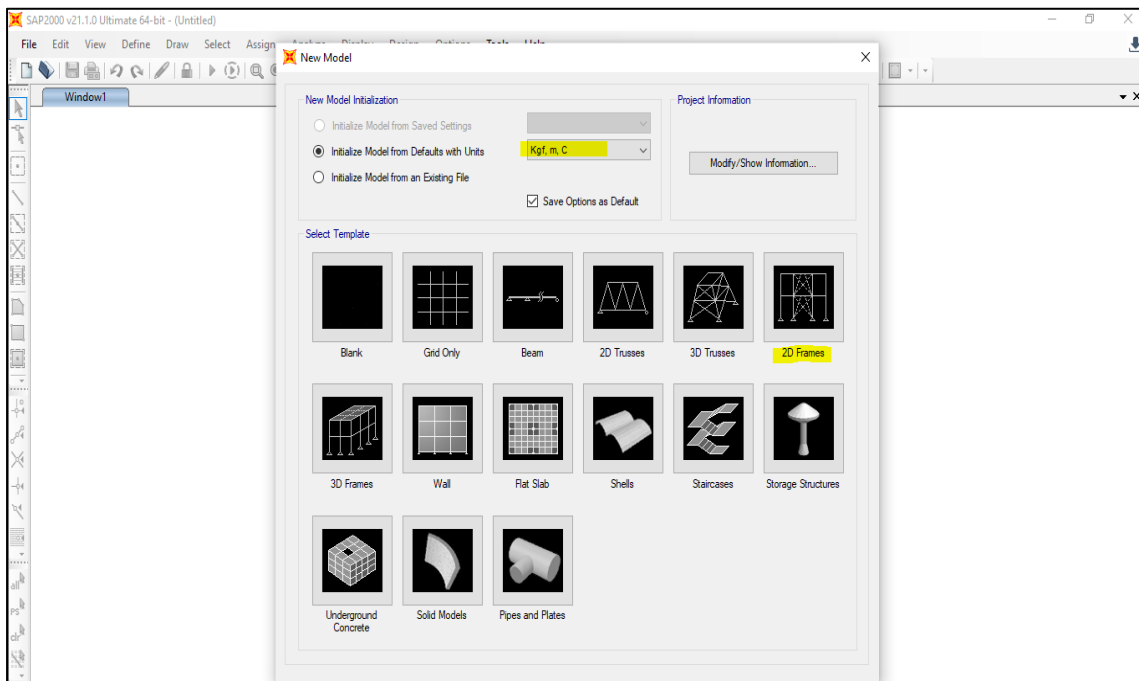
Figura 21. **Momentos de carga de sismo en columnas, marco Y**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Para realizar la comprobación del método numérico se utilizará el programa SAP 2000 versión 21.0.1, en el cual se realizará un modelo para cada uno de los casos de carga. A continuación se detallará el proceso mediante el cual se realizó el análisis:

Figura 22. Creación de modelo



Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Se deben seleccionar las unidades con las que se desea trabajar y el tipo de modelo que deseamos utilizar, que en este caso, será *2D frames* ya que se trabajará con pórticos planos.

Figura 23. Definir sistema de grilla

System Name Marco 'X'

X Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
A	0	Primary	Yes	End	
B	7	Primary	Yes	End	
C	9.20	Primary	Yes	End	

Y Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
1	0	Primary	Yes	Start	

Z Grid Data

Grid ID	Ordinate (m)	Line Type	Visible	Bubble Loc	Grid Color
Z1	0	Primary	Yes	End	
Z2	4.5	Primary	Yes	End	
Z3	7.50	Primary	Yes	End	

Grid Lines
Quick Start...

Display Grids as
☒ Ordinates ☐ Spacing

☐ Hide All Grid Lines
☐ Glue to Grid Lines

Bubble Size 1.3125

Reset to Default Color
Reorder Ordinates
Locate System Origin...

OK Cancel

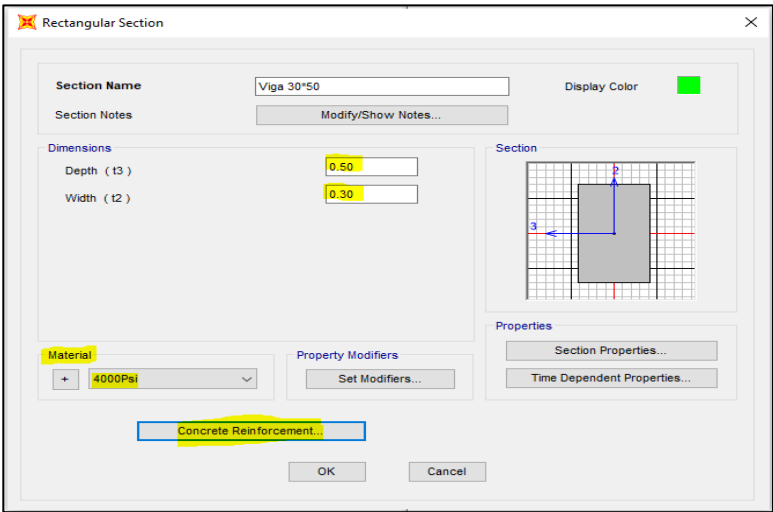
Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Ya que se trata de un pórtico 2D se deben ingresar las dimensiones de este en el eje X y en el eje Z.

Con la grilla trazada es necesario definir las secciones de los elementos que conformaran el pórtico, para ello se debe seleccionar la opción *define*,

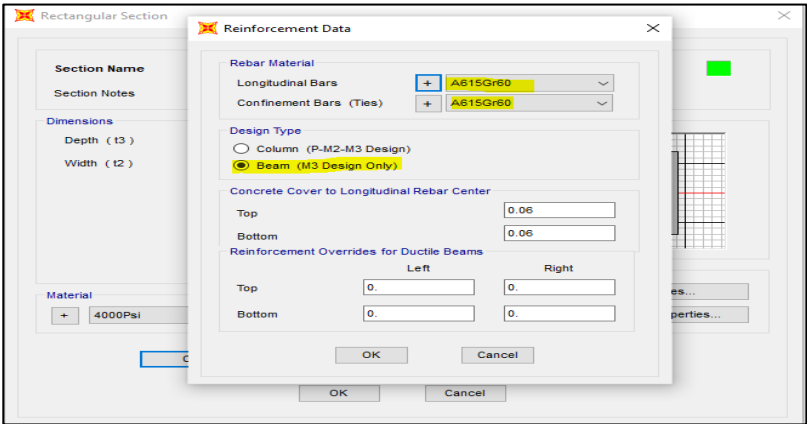
luego *section properties* seguido de *frame section* y finalmente *add new property*.

Figura 24. Definir sección de viga



Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Figura 25. Configuración de viga

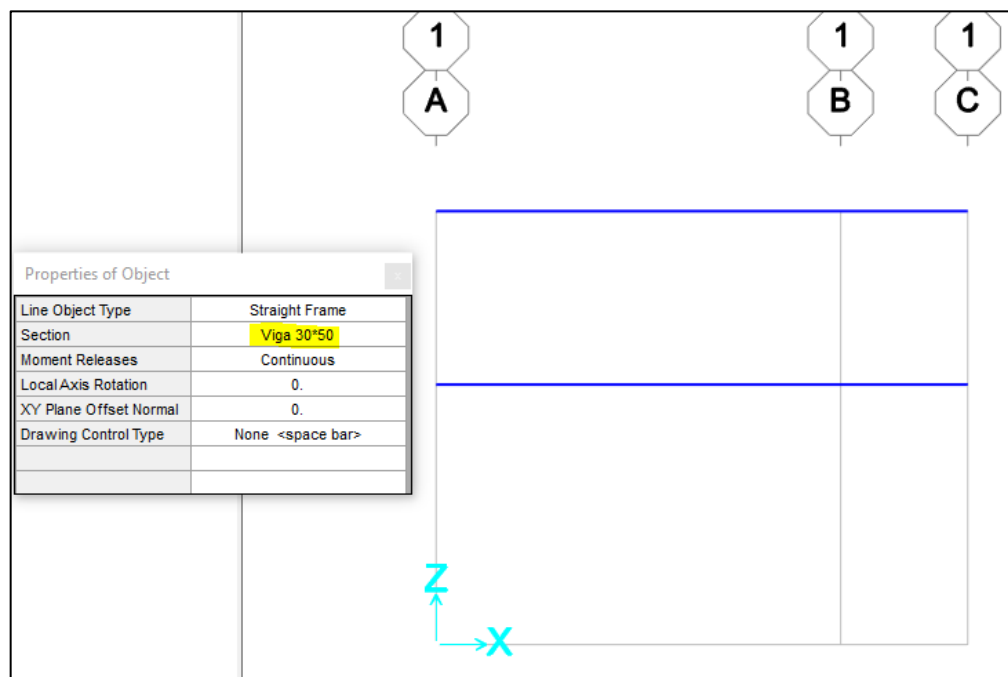


Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Se deben definir propiedades geométricas, tales como altura y ancho de la sección y así mismo propiedades mecánicas tales como, resistencia de los materiales y el tipo de diseño al cual estará sometido el elemento. De igual forma se debe realizar para definir la sección de la columna.

Utilizando la herramienta *draw frame*, se procede a trazar el pórtico, utilizando cada uno de los elementos anteriormente definidos.

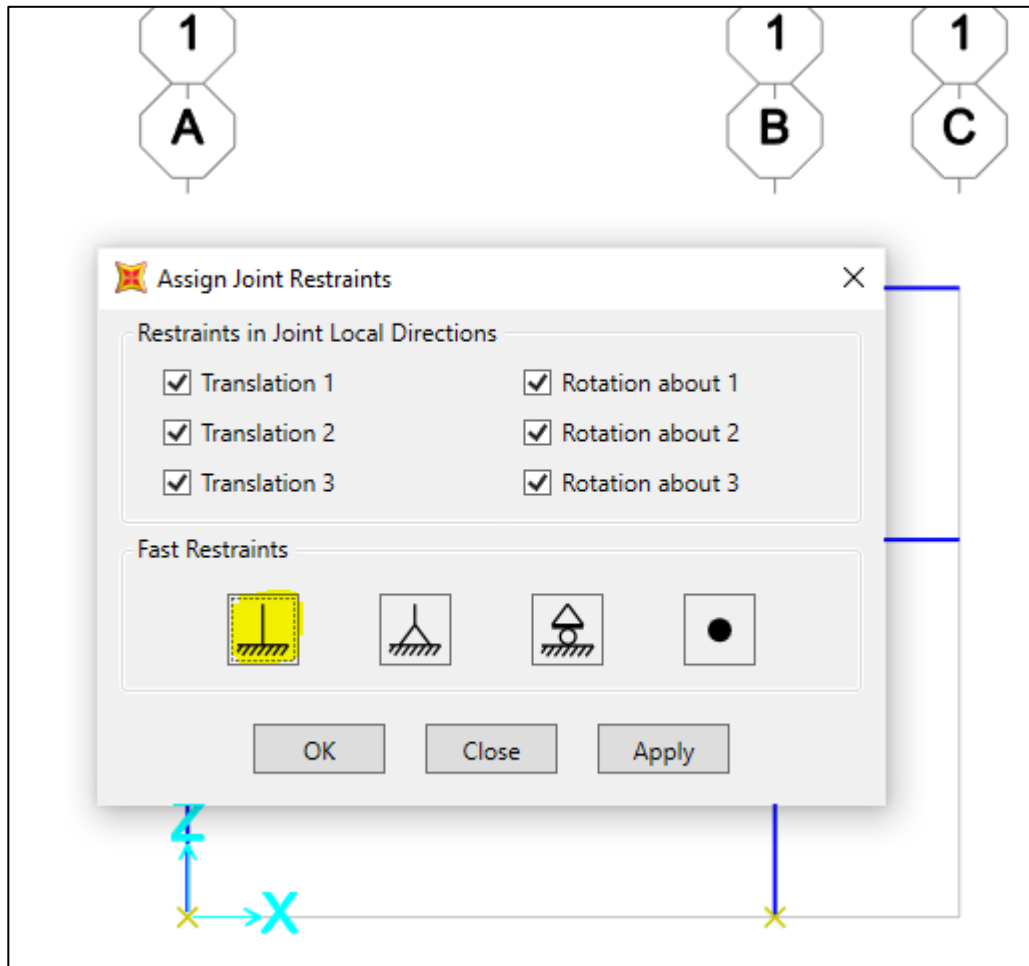
Figura 26. Trazo del pórtico



Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Posterior al trazado, es necesario asignar restricciones a los nodos de la parte inferior del pórtico, ya que estos deben estar empotrados. Para ello es necesario seleccionar los nodos de la base y hacer uso del menú *assign* luego *joint* y finalmente *restraints*.

Figura 27. **Asignación de empotramiento en la base**



Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Con el modelo ya trazado, secciones y restricciones asignadas se procede a asignar cargas. Para ello es necesario seleccionar el elemento o el nodo donde se desea asignar la carga y posteriormente hacer uso del menú *assign* seguido de la función *frame loads*.

Figura 28. Asignación de cargas

Assign Frame Distributed Loads

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

Options

☐ Add to Existing Loads

☒ Replace Existing Loads

☐ Delete Existing Loads

Uniform Load

450 kgf/m

Trapezoidal Loads

	1.	2.	3.	4.
Relative Distance	0	0.25	0.75	1
Loads	0	0	0	0

kgf/m

☒ Relative Distance from End-I ☐ Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Figura 29. Definición de patrones de carga

Define Load Patterns

Load Patterns

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load Pattern
DEAD	Dead	0	
DEAD	Dead	0	

Click To:

Add New Load Pattern

Add Copy of Load Pattern

Modify Load Pattern

Modify Lateral Load Pattern...

Delete Load Pattern

Show Load Pattern Notes...

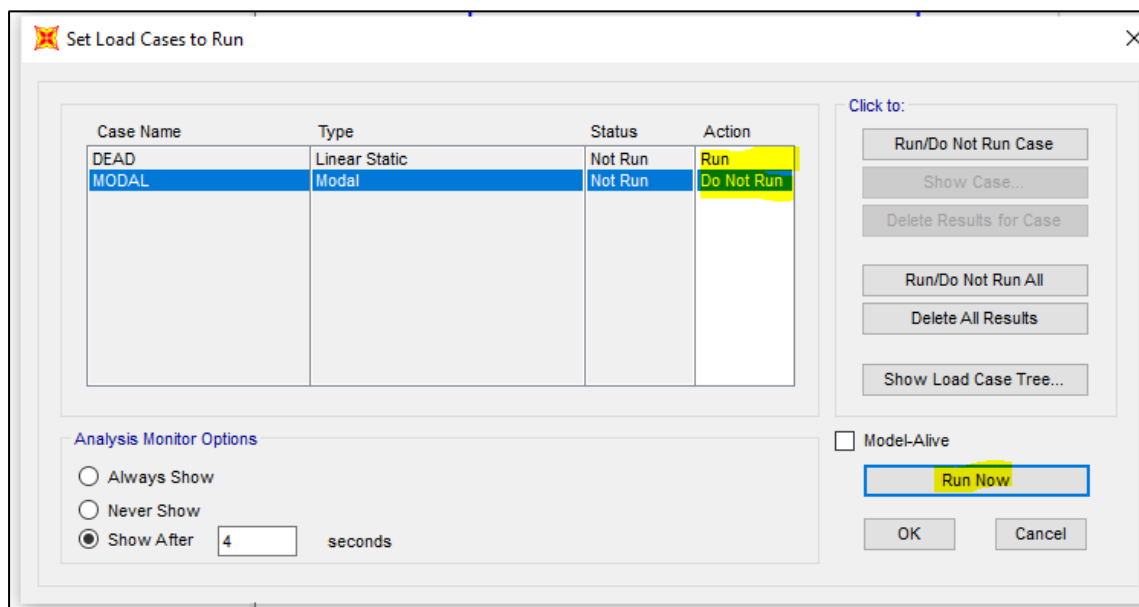
OK Cancel

Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

Es necesario definir patrones de carga, para indicarle al programa que se requiere que tome únicamente en cuenta las cargas que se han asignado anteriormente.

Finalmente, se procede a correr el modelo para que el programa pueda analizarlo. Para ello se debe hacer uso del menú *analyze* seguido de la función *set load cases to run* y desactivar el análisis modal.

Figura 30. Selección de casos para análisis



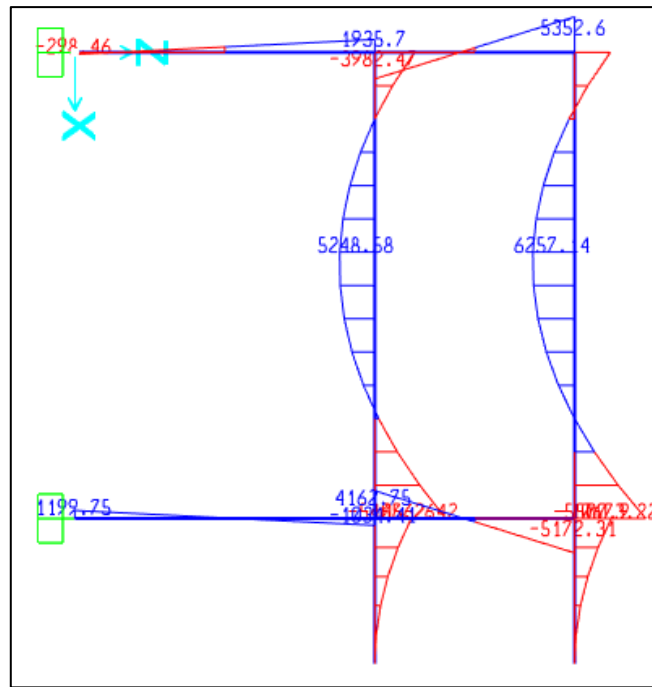
Fuente: elaboración propia utilizando, SAP 2000 V. 21.0.1.

Finalmente, para obtener los resultados del análisis se hace uso de la función *show forces / stresses* ubicada en el menú *display*.

Este procedimiento fue realizado para cada uno de los marcos de interés y sus respectivas cargas.

Luego de realizar el procedimiento, se obtienen resultados tal como se muestra en la siguiente figura:

Figura 31. Momentos por carga muerta, marco X



Fuente elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

2.1.4.5. Comparación de resultados entre método numérico y software utilizado

Para realizar la comparación de los resultados obtenidos mediante el método numérico y el software, es necesario hacer un cálculo de error relativo, para ello se utilizará la siguiente ecuación:

$$\%error = \frac{|D_{aprox} - D_{exact}|}{D_{exact}} * 100$$

Donde:

- D_{aprox} = dato aproximado, el cual se tomará del método numérico
- D_{exact} = dato exacto, el cual se tomará del software SAP 2000

Para dicho cálculo se utilizará como ejemplo la viga del segundo nivel entre ejes 1 y 2 del marco X para el caso de carga viva.

Figura 32. **Momento de viga del segundo nivel entre ejes 1 y 2, marco X**



Fuente: elaboración propia, utilizando SAP 2000 V. 21.0.1.

De la figura 14, se obtendrán los momentos obtenidos mediante el método numérico, y se continuará con el cálculo del error:

- Momento negativo lado izquierdo de la viga

$$\%error = \frac{|964 - 946|}{946} * 100 = 1,90 \%$$

- Momento positivo

$$\%error = \frac{|979 - 995|}{995} * 100 = 1,58 \%$$

- Momento negativo lado derecho de la viga

$$\%error = \frac{|2\,590 - 2\,576|}{2\,576} * 100 = 0,54 \%$$

De esta forma se realizó el cálculo de error entre ambos métodos. Fue inferior al 5 % para todos los elementos, por lo que se determina que tanto los resultados del software como los del método numérico son correctos. Para cuestiones de cálculo en las secciones posteriores se utilizarán los resultados obtenidos del método numérico.

A continuación, se presentan los resultados de todos los elementos para las diferentes cargas:

Tabla XXIII. **Momentos de vigas marco X segundo nivel**

	Marco X Segundo Nivel									
	Analisis Matricial			Analisis SAP 2000			% de Error			
	Carga Muerta, Marco X			Carga Muerta, Marco X						
	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	
	Viga 1-2	-5405	6126,88	-10700	-5353	6166	-10673	0,97 %	0,63 %	0,25 %
Viga 2-2'	-5465	0	0	-5501	0	0	0,65 %	0,00 %	0,00 %	
	Carga Viva, Marco X			Carga Viva, Marco X			Carga Viva, Marco X			
	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	
	Viga 1-2	-964	979,25	-2590	-946	995	-2576	1,90 %	1,58 %	0,54 %
	Viga 2-2'	-1069	0	0	-1069	0	0	0,00 %	0,00 %	0,00 %
	Carga de Sismo, Marco X			Carga de Sismo, Marco X			Carga de Sismo, Marco X			
Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho		
Viga 1-2	6443	0	-6437	6455	0	-6449	0,19 %	0,00 %	0,19 %	
Viga 2-2'	0	0	0	0	0	0	0,00 %	0,00 %	0,00 %	

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXIV. **Momentos de vigas marco X primer nivel**

	Marco X Primer Nivel								
	Analisis Matricial			Analisis SAP 2000			% de Error		
	Carga Muerta, Marco X			Carga Muerta, Marco X					
	Momento (- Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho
Viga 1-2	-5948	5365	-10694	-5918	5185	-10662	0,51 %	3,47 %	0,30 %
Viga 2-2'	-5465	0	0	-5465	0	0	0,00 %	0,00 %	0,00 %
	Carga Viva, Marco X			Carga Viva, Marco X			Carga Viva, Marco X		
	Momento (- Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho
Viga 1-2	-4372	4169	-8115	-4364	4182	-8096	0,18 %	0,31 %	0,23 %
Viga 2-2'	-4990	0	0	-4990	0	0	0,00 %	0,00 %	0,00 %
	Carga de Sismo, Marco X			Carga de Sismo, Marco X			Carga de Sismo, Marco X		
	Momento (- Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (- Derecho
Viga 1-2	12993	0	-12975	12955	0	-12937	0,29 %	0,00 %	0,29 %
Viga 2-2'	0	0	0	0	0	0	0,00 %	0,00 %	0,00 %

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXV. **Momentos columnas marco X segundo nivel**

Marco X Segundo Nivel						
Analisis Matricial		Analisis Sap 2000		% de Error		
Carga Muerta Marco X		Carga Muerta Marco X		Carga Muerta Marco X		
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna 1	-4059	5405	-3982	5353	1,93 %	0,97 %
Columna 2	4229	-5235	4163	-5172	1,59 %	1,22 %
Carga Viva Marco X		Carga Viva Marco X		Carga Viva Marco X		
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna 1	-2535	964	-2519	947	0,64 %	1,80 %
Columna 2	1979	-1520	1959	-1507	1,02 %	0,86 %
Carga Sismo Marco X		Carga Sismo Marco X		Carga Sismo Marco X		
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna 1	2973	-6443	2962	-6366	0,37 %	1,21 %
Columna 2	2985	-6437	2974	-6449	0,37 %	0,19 %

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXVI. **Momentos columnas marco X primer nivel**

Marco X Primer Nivel						
Analisis Matricial		Analisis Sap 2000		% de Error		
Carga Muerta Marco X		Carga Muerta Marco X		Carga Muerta Marco X		
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna 1	-297	1889	-298	1936	0,34%	2,43%
Columna 2	1186	-1000	1199	-1031	1,08%	3,01%
Carga Viva Marco X		Carga Viva Marco X		Carga Viva Marco X		
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna 1	-405	1836	-391	1844	3,58%	0,43%
Columna 2	1095	-1146	1089	-1147	0,55%	0,09%
Carga Sismo Marco X		Carga Sismo Marco X		Carga Sismo Marco X		
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna 1	14668	-10020	14695	-9993	0,18%	0,27%
Columna 2	14618	-9989	14646	-9963	0,19%	0,26%

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXVII. **Momentos vigas marco Y segundo nivel**

Marco Y Segundo Nivel									
Analisis Matricial			Analisis SAP 2000			% de Error			
Carga Muerta, Marco Y			Carga Muerta, Marco Y			Carga Muerta, Marco Y			
Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	
Viga A-B	-418	373	-643	-412	364	-643	1,46%	2,37%	0,00%
Viga B-C	-599	300	-607	-600	288	-606	0,17%	4,21%	0,17%
Viga C-D	-601	302	-601	-601	290	-602	0,00%	4,18%	0,17%
Viga D-E	-607	300	-599	-606	288	-601	0,17%	4,21%	0,33%
Viga E-F	-643	373	-418	-643	364	-413	0,00%	2,37%	1,21%
Carga Sismo, Marco Y			Carga Sismo, Marco Y			Carga Sismo, Marco Y			
Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	
Viga A-B	5181	0	-4413	5241	0	-4420	1,14%	0,00%	0,16%
Viga B-C	4032	0	-4027	4027	0	-4030	0,12%	0,00%	0,07%
Viga C-D	3942	0	-3925	3957	0	-3939	0,38%	0,00%	0,36%
Viga D-E	3942	0	-3917	3949	0	-3916	0,18%	0,00%	0,03%
Viga E-F	4190	0	-4855	4207	0	-4925	0,40%	0,00%	1,42%

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXVIII. **Momentos vigas marco Y primer nivel**

Marco Y Primer Nivel									
Analisis Matricial			Analisis SAP 2000			% de Error			
Carga Muerta, Marco Y			Carga Muerta, Marco Y			Carga Muerta, Marco Y			
Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	
Viga A-B	-744	635	-1147	-741	618	-1145	0,40%	2,75%	0,17%
Viga B-C	-1076	518	-1048	-1075	499	-1049	0,09%	3,90%	0,10%
Viga C-D	-1051	529	-1051	-1051	510	-1051	0,00%	3,82%	0,00%
Viga D-E	-1048	518	-1076	-1049	499	-1076	0,10%	3,90%	0,00%
Viga E-F	-1147	635	-744	-1144	618	-741	0,26%	2,75%	0,40%
Carga Sismo, Marco Y			Carga Sismo, Marco Y			Carga Sismo, Marco Y			
Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	Momento (-) Izquierdo	Momento (+)	Momento (-) Derecho	
Viga A-B	13648	0	-11387	13596	0	-11297	0,38%	0,00%	0,80%
Viga B-C	9681	0	-9899	9653	0	-9867	0,29%	0,00%	0,32%
Viga C-D	10028	0	-9995	9984	0	-9952	0,44%	0,00%	0,43%
Viga D-E	9749	0	-9482	9724	0	-9460	0,26%	0,00%	0,23%
Viga E-F	10988	0	-13079	10915	0	-12963	0,67%	0,00%	0,89%

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXIX. **Momentos columnas marco Y segundo nivel**

	Marco Y Segundo Nivel					
	Analisis Matricial		Analisis Sap 2000		% de Error	
	Carga Muerta Marco Y		Carga Muerta Marco Y		Carga Muerta Marco Y	
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna A	-476	418	-471	413	1,06 %	1,21 %
Columna B	57	-44	55	-43	3,64 %	2,33 %
Columna C	3	-5	3	-5	0,00 %	0,00 %
Columna D	-3	5	-3	5	0,00 %	0,00 %
Columna E	-57	44	-55	43	3,64 %	2,33 %
Columna F	476	-418	471	-413	1,06 %	1,21 %
	Carga Sismo Marco Y		Carga Sismo Marco Y		Carga Sismo Marco Y	
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna A	1986	-5181	1989	-5241	0,15 %	1,14 %
Columna B	6695	-8445	6625	-8447	1,06 %	0,02 %
Columna C	6003	-7970	5963	-7988	0,67 %	0,23 %
Columna D	5914	-7867	5877	-7889	0,63 %	0,28 %
Columna E	6391	-8108	6337	-8124	0,85 %	0,20 %
Columna F	1759	-4855	1771	-4925	0,68 %	1,42 %

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXX. **Momentos columnas marco Y primer nivel**

	Marco Y Primer Nivel					
	Analisis Matricial		Analisis Sap 2000		% de Error	
	Carga Muerta Marco Y		Carga Muerta Marco Y		Carga Muerta Marco Y	
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna A	-137	267	-137	270	0,00 %	1,11 %
Columna B	5	-14	5	-14	0,00 %	0,00 %
Columna C	-3	5	-3	5	0,00 %	0,00 %
Columna D	3	-5	3	-5	0,00 %	0,00 %
Columna E	-4	14	-5	14	20,00 %	0,00 %
Columna F	137	-267	137	-270	0,00 %	1,11 %
	Carga Sismo Marco Y		Carga Sismo Marco Y		Carga Sismo Marco Y	
	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior	Momento Inferior	Momento Superior
Columna A	15141	-11661	15191	-11607	0,33 %	0,47 %
Columna B	16397	-14374	16427	-14325	0,18 %	0,34 %
Columna C	16087	-13923	16128	-13888	0,25 %	0,25 %
Columna D	15974	-13831	16017	-13798	0,27 %	0,24 %
Columna E	16049	-14079	16087	-14039	0,24 %	0,28 %
Columna F	14638	-11320	14697	-11275	0,40 %	0,40 %

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

2.1.4.6. Momentos últimos por envolverte de momentos

Para obtener momentos últimos es necesario realizar una envolverte, la cual consiste en realizar diversas combinaciones entre los momentos obtenidos de los distintos tipos de carga. Las combinaciones de carga que se utilizarán son las que indica la norma AGIES NSE-2-2018 capítulo 8.3 Combinaciones de carga método de resistencia, que establecen las sollicitaciones mayoradas para que el diseño sea controlado por resistencia. Las combinaciones son las siguientes:

Combinaciones carga de gravedad:

1. $CR1 = 1,4M$
2. $CR2 = 1,2M + 1,6V$
3. $CR3 = 1,2M + 1,0V$

Combinaciones de carga de sismo

4. $CR4 = 1,2M + 1,0V + 1,0S_{vd} \pm S_{hd}$
5. $CR5 = 0,9M - 1,0S_{vd} \pm S_{hd}$

Donde:

M = carga muerta

V = carga viva

S_{vd} = carga de sismo en sentido vertical

S_{hd} = carga de sismo en sentido horizontal

Combinaciones de carga de sismo considerando la componente de sismo vertical como parte de la carga muerta, utilizando la ecuación 4.5.9-1 de la norma AGIES NSE-2-2018 capítulo 4.5.9

$$S_{vd} = 0,20 * S_{cd} = 0,20 * 1,27 = 0,25g$$

Combinaciones de carga de sismo incluyendo sismo vertical:

1. $CR4 = 1,45M + 1,0V \pm S_{hd}$
2. $CR5 = 0,65M \pm S_{hd}$

Cálculo de momentos últimos en viga 1-2 segundo nivel marco X extremo izquierdo:

Del análisis estructural:

$$M = 5\,405 \text{ kg-m}$$

$$V = 964 \text{ kg-m}$$

$$S_{hd} = 6\,443 \text{ kg-m}$$

1. $CR1 = 1,4(5\,405 \text{ kg-m}) = 7\,567 \text{ kg-m} = 7\,567 \text{ kg-m}$
2. $CR2 = 1,2(5\,405 \text{ kg-m}) + 1,6(964 \text{ kg-m}) = 8\,028 \text{ kg-m}$
3. $CR3 = 1,2(5\,405 \text{ kg-m}) + 1,0(964 \text{ kg-m}) = 7\,450 \text{ kg-m}$
4. $CR4 = 1,45(5\,405 \text{ kg-m}) + 1,0(964 \text{ kg-m}) + 1,0(6\,443 \text{ kg-m}) = 15\,244 \text{ kg-m}$
5. $CR5 = 0,65(5\,405 \text{ kg-m}) + 1,0(6\,443) = 9\,956 \text{ kg-m}$

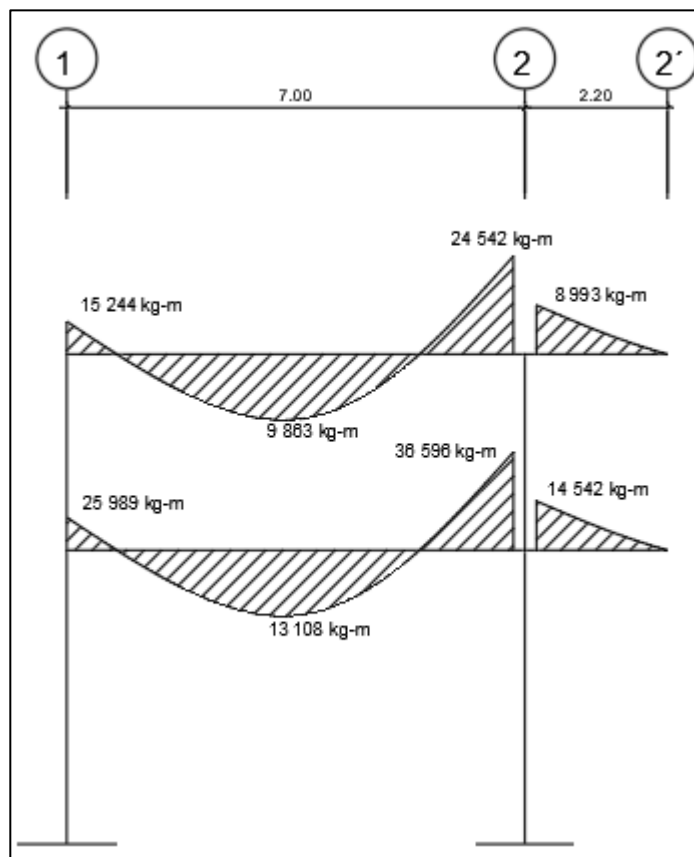
De los resultados anteriores se utilizará $M_u = 15\,244 \text{ kg-m}$, que representa el valor del momento último debido a la envolvente para el momento

negativo del lado izquierdo de la viga 1-2 del segundo nivel del marco X. De igual manera fueron calculados los momentos y cortantes últimos para el resto de los elementos estructurales.

2.1.4.7. Diagramas de corte y momento

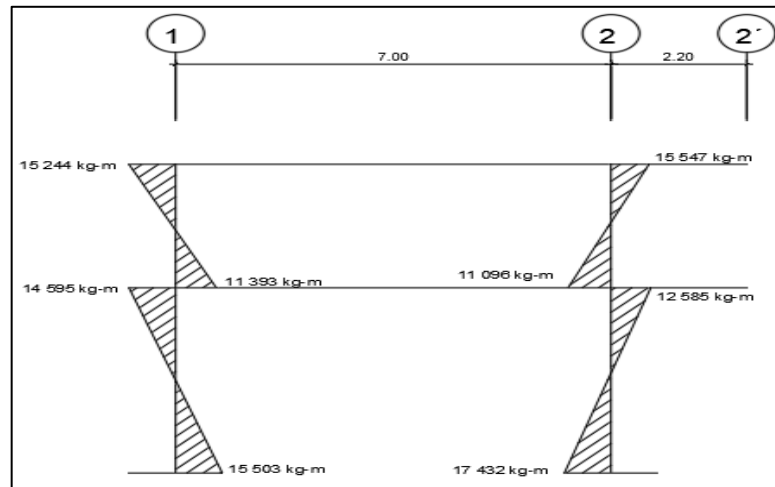
De la envolvente se obtuvieron los momentos y cortantes últimos, los cuales se presenta a continuación:

Figura 33. Momentos últimos en vigas, marco X



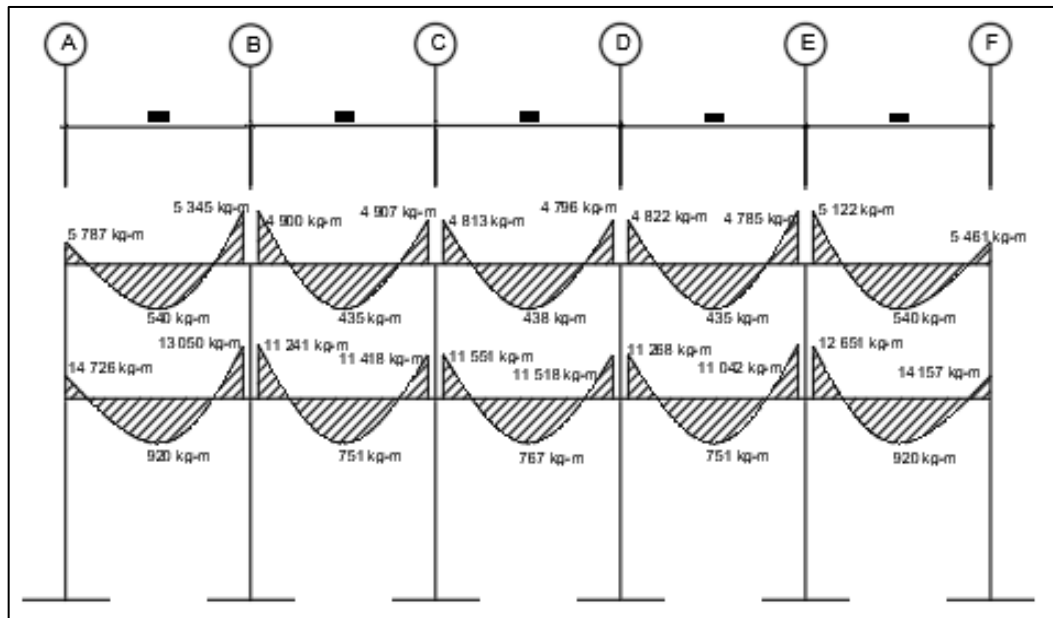
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 34. **Momentos últimos en columnas, marco X**



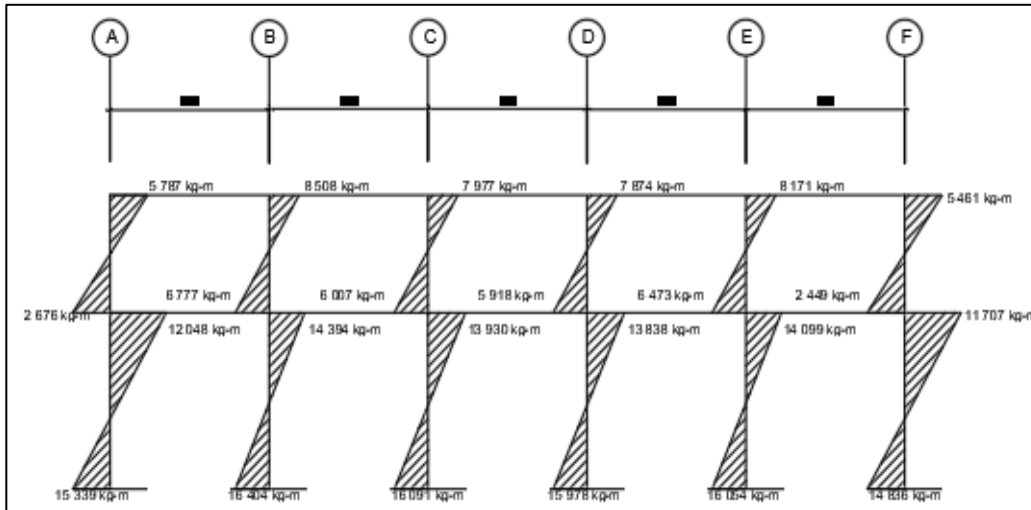
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 35. **Momentos últimos en vigas, marco Y**



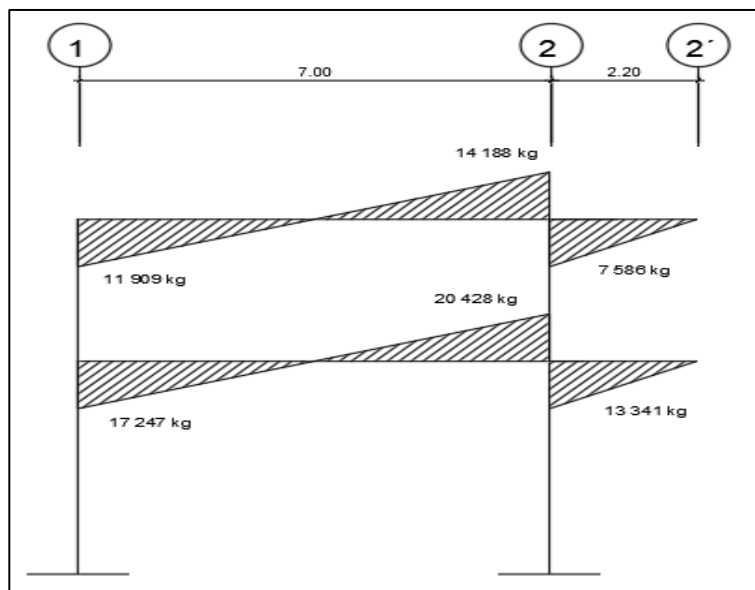
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 36. **Momentos últimos en columnas, marco Y**



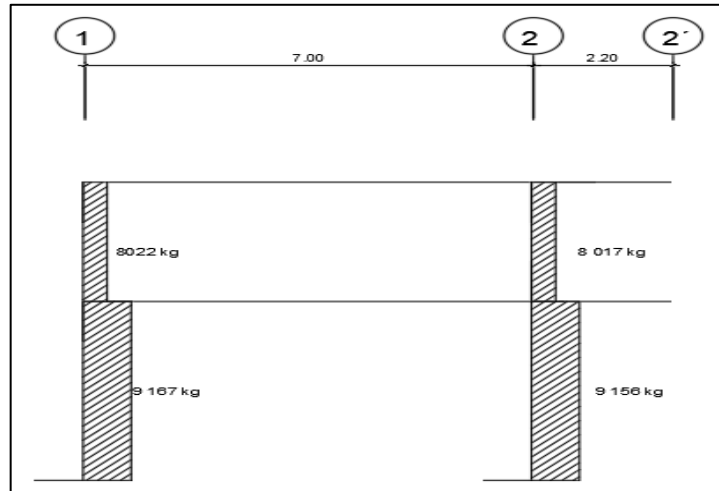
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 37. **Cortantes últimos en vigas, marco X**



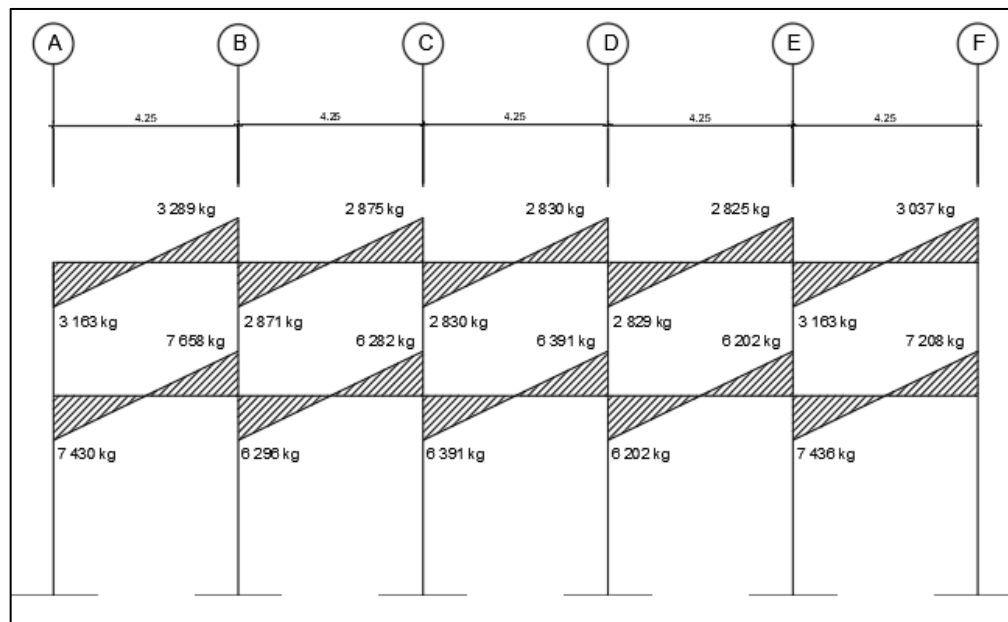
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 38. **Cortantes últimos en columnas, marco X**



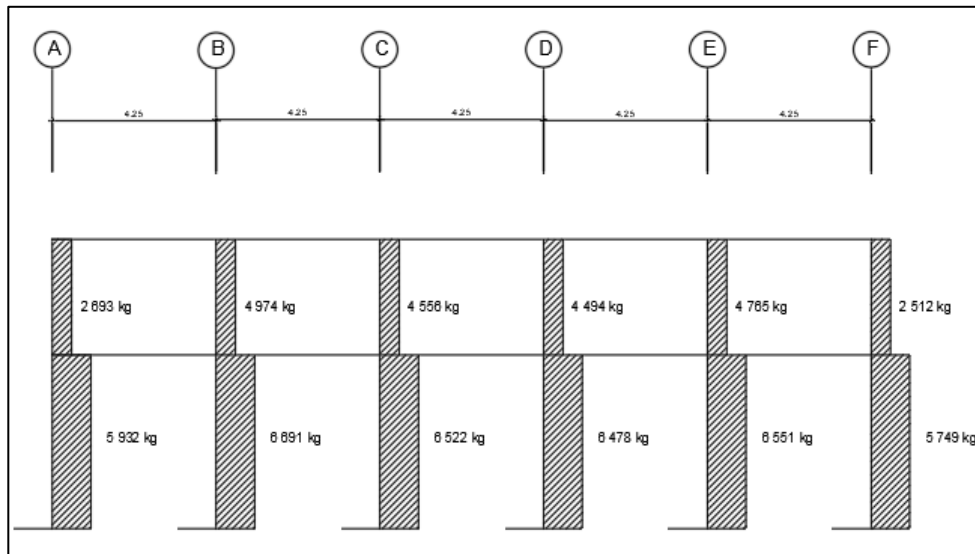
Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 39. **Cortantes últimos en vigas, marco Y**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 40. Cortantes últimos en columnas, marco Y



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

2.1.4.8. Diseño estructural

El diseño estructural es el proceso mediante el cual, una vez obtenidos los momentos últimos y cargas últimas, se determinan los refuerzos necesarios que llevará cada elemento, para satisfacer los criterios de resistencia y estabilidad, además de cumplir con los establecido por el código de diseño a utilizar.

El diseño estructural de esta edificación será realiza bajo lo dictado por el código ACI 318S-14, tomando en cuenta los capítulos 9, 10 y 18, además de la norma AGIES NSE-7.1-2018 Diseño de concreto reforzado.

Para el diseño de la edificación se utilizará la filosofía de diseño LRFD *Load and Resistance Factor Design*, el cual implica mayorar las cargas de diseño y minorar las resistencias de los materiales.

2.1.4.8.1. Losas

La losa en la edificación será una losa prefabricada compuesta por vigueta y bovedilla. El proceso es definido por las especificaciones del fabricante.

Para esta edificación se utilizará losa de vigueta armada y bovedilla, el cual es un sistema prefabricado diseñado para la construcción rápida y económica de entresijos y techos.

En esta edificación se cuenta con losas que disponen tres diferentes cargas vivas las cuales dicta la norma AGIES NSE-2-2018 en el capítulo 3.7 tabla 3.7.1-1, Cargas vivas para edificaciones y estas son:

- Aulas 200 kg/m²
- Pasillos y escaleras 500 kg/m²
- Bodega Carga liviana 600 kg/m²

Para la carga muerta se utilizará la carga que brinda el fabricante, la cual es de 260 kg/m².

Se utilizarán viguetas armadas S-2 con peralte 20 cada una diseñada para las distintas cargas vivas.

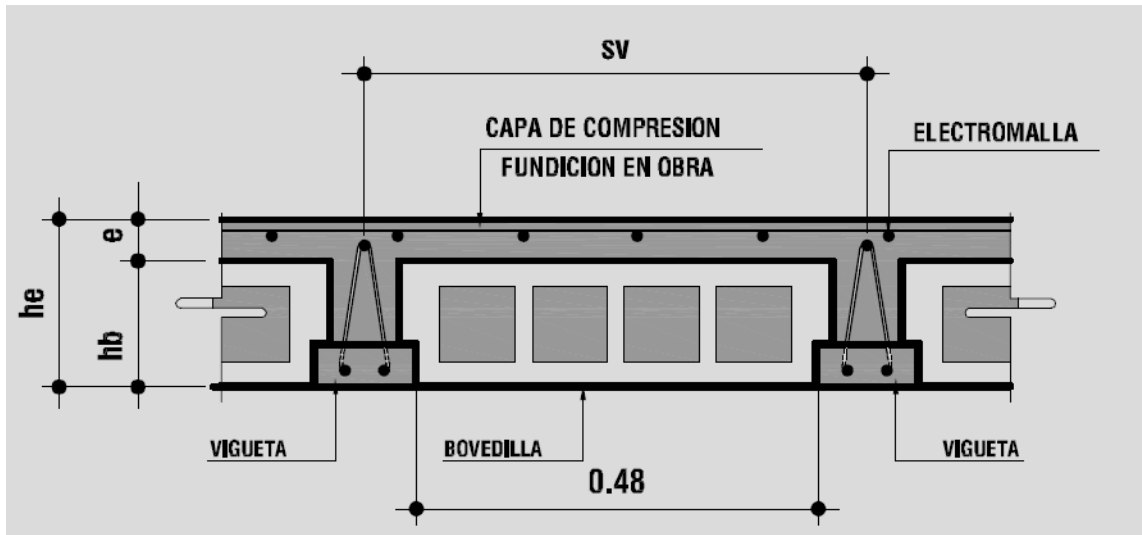
Tabla XXXI. Valores de losa prefabricada

TABLA DE VALORES PARA LOSA MONOLIT						
TIPO DE LOSA S-2	he (cm)	hb (cm)	e (cm)	sv (cm)	Patin (cm)	Tipo de Electromalla
Peralte - 15cm	15	10	5	60	12	6"x6" 9/9
Peralte - 20cm	20	15	5	60	12	6"x6" 9/9
Peralte - 25cm	25	20	5	60	12	6"x6" 9/9
Toppling 7cm	17, 22 y 27	10, 15 y 20	7	60	12	6"x6" 7/7
Toppling 10cm	20, 25 y 30	10, 15 y 20	10	60	12	6"x6" 4.5/4.5

Fuente: Monolit. *Detalles losa de vigueta armada*, 2020.

Se tendrá una separación de 60 centímetros entre viguetas y se utilizarán bovedillas de 15 centímetros, las cuales se fundarán con una capa de compresión de 7 centímetros formada de concreto con resistencia a la compresión de 281 kilogramos por centímetro cuadrado. Además, se hará uso de electromalla 6"x6" 7/7 y de bastones No. 3 en cada una de las viguetas. En cada sección de losa se utilizará un rigidizante en el centro de cada segmento de losa.

Figura 41. Sección típica de losa



Fuente:

Monolit.,++++++
 ++++++
 ++++++ Detalles Losa de Vigueta Armada, 2020.

2.1.4.8.2. Vigas

Las vigas son elementos estructurales sometidas a esfuerzos de flexión y corte. Estas reciben cargas provenientes de la losa y que luego son transmitidas a las columnas debido al anclaje en los nudos.

Según ACI 318-14 capítulo 9, se debe cumplir con lo siguiente:

- La resistencia de diseño en todas las secciones debe cumplir con:
 - $\Phi M_n \geq M_u$
 - $\Phi V_n \geq V_u$

El valor de Φ debe tomarse de ACI 318-14 sección 21.2.

- No se debe considerar en los cálculos de los elementos sometidos a flexión, la resistencia a tracción en el concreto.

Datos:

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

$$fy = 4\,200 \frac{kg}{cm^2}$$

$$recubrimiento = 4\,cm$$

$$base = 30\,cm$$

$$altura = 50\,cm$$

Se utilizarán dichas resistencias en concreto y acero debido a la alta demanda de esfuerzos anteriormente calculada en el análisis estructural, además de obtener un diseño óptimo con secciones de elementos más pequeños.

Diseño a flexión:

Cálculo del peralte efectivo de la viga:

$$d = h - rec - \phi_t - \frac{\phi_l}{2}$$

$$d = 50 \text{ cm} - 4 \text{ cm} - 0,95 \text{ cm} - \frac{1,91 \text{ cm}}{2} = 44,10 \text{ cm}$$

Cálculo de acero mínimo:

Según el código ACI 318-14, sección 9.6.1.2 $A_{s \min}$ debe ser el mayor de:

$$A_{s \min} = \frac{0,80 \sqrt{f'c}}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{0,80 \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2}}}{4\,200 \frac{kg}{cm^2}} * 30 \text{ cm} * 44,10 \text{ cm} = 4,22 \text{ cm}^2$$

$$A_{s \min} = \frac{14}{f_y} b_w d$$

$$A_{s \min} = \frac{14}{4\,200 \frac{kg}{cm^2}} * 30 \text{ cm} * 44,10 \text{ cm} = 4,41 \text{ cm}^2$$

Se utilizará $4,41 \text{ cm}^2$ como acero mínimo.

Según ACI 318-14 sección 18.6.3.1, la cuantía de refuerzo ρ no debe exceder a 0.025, lo cual evita condiciones de congestión de acero.

Donde:

$$\rho = \frac{A_s}{bd}$$

$$A_s = 0,025 * b * d$$

$$A_s = 0,025 * 30 \text{ cm} * 44,10 \text{ cm} = 33,08 \text{ cm}^2$$

Por consiguiente, el área de acero para vigas debe estar entre los siguientes límites:

$$4,41 \text{ cm}^2 < A_s < 33,08 \text{ cm}^2$$

Cálculo del refuerzo longitudinal

Cálculo del área de acero requerido en Viga 1-2 del segundo nivel, marco X:

Utilizando las ecuaciones para el cálculo de área de acero tal como lo indica Jack Mc Cormac, Diseño de Concreto Reforzado décima edición, en el capítulo 3, Análisis por resistencia de vigas de acuerdo con el Código ACI:

$$R_n = \frac{M_u}{\Phi b d^2}$$

$$\rho = \frac{0,85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 * f'_c}} \right)$$

$$A_s = \rho * b * d$$

De los diagramas de momentos últimos en vigas se obtienen los siguientes datos:

$$M_{u \text{ izq}} = 15\,244 \text{ kg} - m$$

$$M_{u \text{ centro}} = 9\,863 \text{ kg} - m$$

$$M_{u\ der} = 24\ 542\ kg - m$$

$$R_n = \frac{(15\ 244 * 100)kg - cm}{0,90 * 30\ cm * (44,10\ cm)^2} = 29,03 \frac{kg}{cm^2}$$

$$\rho = \frac{0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2}}{4\ 200 \frac{kg}{cm^2}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 \left(29,03 \frac{kg}{cm} \right)}{0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2}}} \right) = 0,0074$$

$$A_s = 0,0074 * 30\ cm * 44,10\ cm = 9,79\ cm^2$$

El resultado de áreas de acero requeridas para los momentos de la viga 1-2 son:

$$M_{u\ izq} = 9,79\ cm^2$$

$$M_{u\ centro} = 6,17\ cm^2$$

$$M_{u\ der} = 16,54\ cm^2$$

Ya que los resultados del acero calculado están dentro de los límites dictados anteriormente para acero mínimo y máximo, se procederá a distribuir varillas de refuerzo de tal forma en que se cubra el acero requerido y se cumpla con lo dictado por el código ACI 318-14, acerca del refuerzo en vigas de pórticos especiales resistentes a momento:

Refuerzo longitudinal:

- Sección 18.6.3.1 “Las vigas deben tener al menos dos barras continuas tanto en la cara superior como inferior. En cualquier sección, tanto para el refuerzo superior como para el inferior”.⁵
- Sección 18.6.3.2 “La resistencia a momento positivo en la cara del nudo no deber ser menor que la mitad de la resistencia a momento negativo proporcionada en esa misma cara”.⁶
- Sección 18.6.3.2 “La resistencia a momento negativo o positivo, en cualquier sección a lo largo de la longitud del miembro, debe ser al menos igual a un cuarto de la resistencia máxima a momento proporcionada en la cara de cualquiera de los nudos”.⁷

De acuerdo con el código ACI 318-14 sección 18.8.5.1, la longitud de desarrollo está en base al diámetro de la varilla, tomando una varilla número 6 y un concreto de peso normal se deberá tomar la longitud mayor de las siguientes expresiones:

- $ld = \left(\frac{fy}{65 \cdot \sqrt{f'c}} \right) db = \left(\frac{4v200}{65 \cdot \sqrt{281}} \right) * 1,91 \text{ cm} = 7,36 \text{ cm}$
- $ld = 8 \text{ diametro varilla} = 8 * 1,91 = 15,28 \text{ cm}$
- $ld = 6 \text{ pulg} = 6 * 2,54 = 15,24 \text{ cm}$

⁵ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, sección 18.6.31. p. 292.

⁶ *Ibíd.* p. 293.

⁷ *Ibíd.*

Se utilizará una longitud de desarrollo de 16 cm

Así mismo el código ACI 318-14 indica en la tabla 25.3.2 y tabla 25.3.3 que debe utilizarse un gancho a 90 grados ubicado dentro del núcleo confinado de la columna y que este tendrá una extensión del tamaño de la mayor de las siguientes expresiones:

$$12 \, db = 12 * 1,91 = 22,92 \, cm$$

$$\frac{f_y}{50 * \sqrt{f'_c}} db = \frac{4200}{50 * \sqrt{281}} * 1,91 \, cm = 9,57 \, cm$$

$$8db = 8 * 1,91 = 15,28 \, cm$$

$$6 \, pulg = 6 * 2,54 = 15,24 \, cm$$

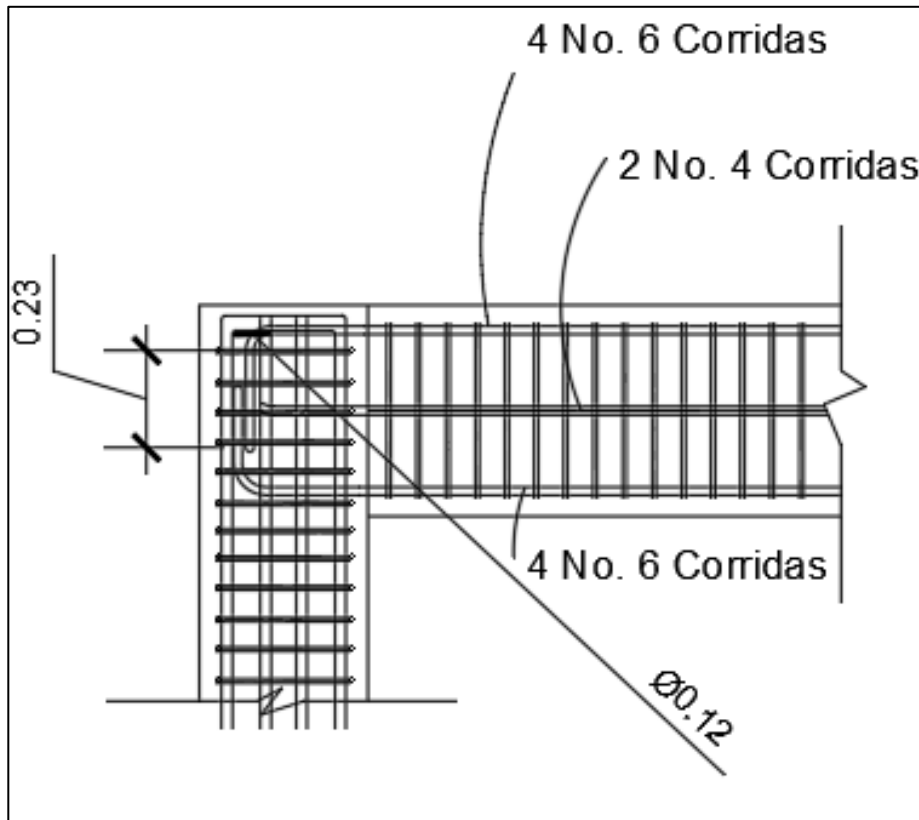
Se utilizará 23 cm.

ACI 318-14 en la tabla 25.3.2 indica el diámetro mínimo interior de doblado el cual es:

$$6db = 6 * 1,91 = 11,46 \, cm$$

A continuación, se detalla el armado de la viga 1-2 del primer nivel, marco X:

Figura 42. Ejemplo de armado de viga



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

- Diseño a corte

La utilización de estribos en vigas tiene funciones diversas, entre ellas resistir el cortante que llega a la viga, fijar las barras de refuerzo longitudinal y confinar el núcleo de la viga evitando que sufra una falla frágil por cortante.

Debido a que el sistema estructural es de marcos especiales de alta ductilidad se debe suponer que la resistencia del concreto a corte es igual a cero y que los estribos resistirán el cien por ciento del cortante actuante.

El diseño se realizará de acuerdo con ACI 318-14 sección 18.6.4 donde se dan a conocer las siguientes especificaciones para el refuerzo transversal:

- Sección 18.6.4.1 Deben colocarse estribos cerrados de confinamiento en las siguientes regiones de las vigas:
 - En 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.
 - En longitudes iguales a dos veces la altura de la viga a ambos lados de una sección donde puede ocurrir fluencia por flexión, debido a los desplazamientos laterales más allá del rango elástico de comportamiento.⁸
- Sección 18.6.4.4 El primer estribo cerrado de confinamiento debe estar situado a no más de 2 pulgadas de la cara de la columna de apoyo. El espaciamiento de los estribos cerrados de confinamiento no debe exceder el menor de:
 - $d/4$.
 - Seis veces el diámetro de las barras principales a flexión más pequeñas.
 - 6 pulgadas.⁹
- Sección 18.6.4.6 “Cuando no se requieran estribos cerrados de confinamiento, deben colocarse estribos con ganchos sísmicos en ambos extremos, espaciados a no más $d/2$ en toda la longitud de la viga”.¹⁰

Para realizar el diseño a corte el código ACI 318-14, sección 18.6.5.1., indica que la fuerza cortante de diseño debe determinarse en la parte de la viga comprendida entre las caras del nudo. Se debe suponer que en las caras de los nudos localizados en los extremos de la viga actúan momentos de signo opuesto correspondientes a la resistencia a flexión probable y que la viga está a

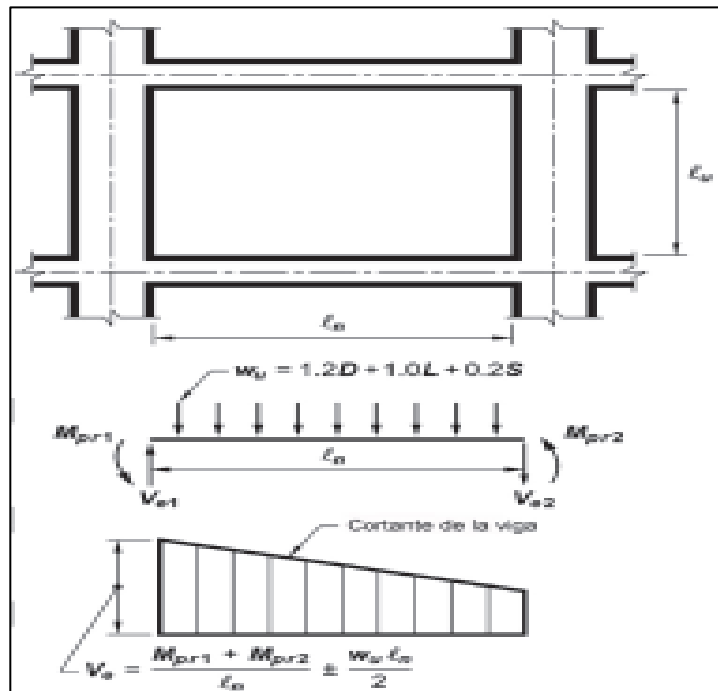
⁸ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, sección 18.6.41.* p. 294.

⁹ *Ibíd.*

¹⁰ *Ibíd.* p. 295.

demás cargada a lo largo de la luz con cargas aferentes gravitacionales mayoradas. En la siguiente imagen se ilustra lo mencionado:

Figura 43. **Fuerza de diseño a corte**



Fuente: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, sección 18.6.5. p. 296.

Diseño a corte de viga 1-2 segundo nivel, marco X

Zona de confinamiento:

$$\text{confinamiento} = 2 * 50 \text{ cm} = 100 \text{ cm}$$

Espaciamiento de estribos en zona confinada:

$$\frac{d}{4} = \frac{44,10}{4} cm = 11,02 cm$$

$$6db = 6 * 1,59 cm = 9,54 cm$$

$$6 pulg = 6 * 2,54 = 15,24 cm$$

Cálculo de cortante de diseño:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \mp \frac{W_u l_n}{2}$$

$$a = \frac{1,25 * A_s * f_y}{0,85 * f'c * b}$$

$$M_{pr} = 1,25 * f_y * A_s * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

$$W_u = 1,2D + 1,0L$$

Datos:

$$A_{s_{izq}} = 11,4 cm^2$$

$$A_{s_{der}} = 17,1 cm^2$$

$$f_y = 4200 \frac{kg}{cm^2}$$

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

$$b = 30 \text{ cm}$$

$$D = 2\,315 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$L = 450 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$l_n = 6,60 \text{ m}$$

$$a_{izq} = \frac{1,25 * 11,4 \text{ cm}^2 * 4\,200 \text{ kg/cm}^2}{0,85 * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 30 \text{ cm}} = 8,35 \text{ cm}$$

$$a_{der} = \frac{1,25 * 17,10 \text{ cm}^2 * 4\,200 \text{ kg/cm}^2}{0,85 * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 30 \text{ cm}} = 12,53 \text{ cm}$$

$$M_{pr1} = \frac{1,25 * 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 9,66 \text{ cm}^2 * \left(44,10 \text{ cm} - \frac{8,35 \text{ cm}}{2}\right)}{100} = 23\,891 \text{ kg} - m$$

$$M_{pr1} = \frac{1,25 * 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 17,10 \text{ cm}^2 * \left(44,10 \text{ cm} - \frac{12,53 \text{ cm}}{2}\right)}{100} = 33\,962 \text{ kg} - m$$

$$W_u = 1,2 \left(2\,315 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\right) + 1,0 \left(450 \frac{\text{kg}}{\text{m}}\right) = 3\,228 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$V_e = \frac{23\,891 \text{ kg} - m + 33\,962 \text{ kg} - m}{6,60 \text{ m}} + \frac{3\,228 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * 6,60 \text{ m}}{2} = 19\,418 \text{ kg}$$

Cálculo de separación de estribos en zona confinada

$$S = \frac{\Phi * A_v * f_y * d}{V_e}$$

Donde:

$$\Phi = 0,75$$

$$A_v = \text{área de acero de refuerzo por corte} = 2 * 0,71 \text{ cm}^2 = 1,42 \text{ cm}^2$$

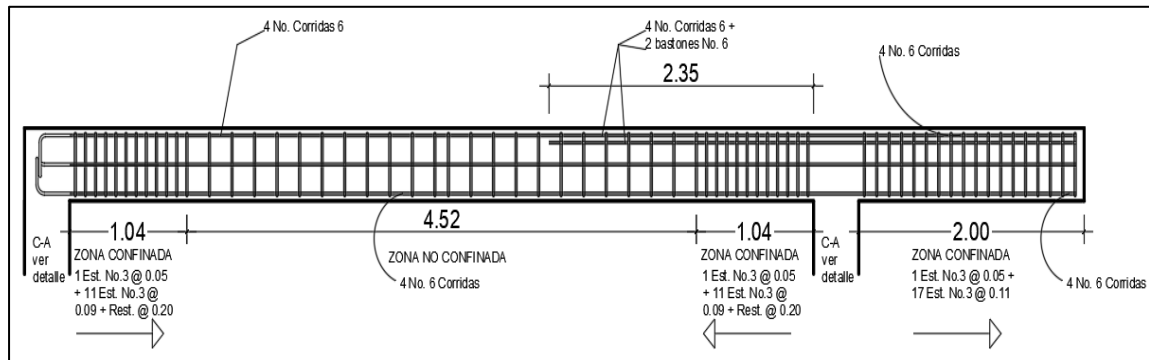
$$S = \frac{0,75 * 1,42 \text{ cm}^2 * 4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 44,10 \text{ cm}}{19\,418 \text{ kg}} = 10,19 \text{ cm}$$

Para la zona no confinada se utilizará una separación igual a $d/2$

$$\frac{d}{2} = \frac{44,10 \text{ cm}}{2} = 22,05 \text{ cm}$$

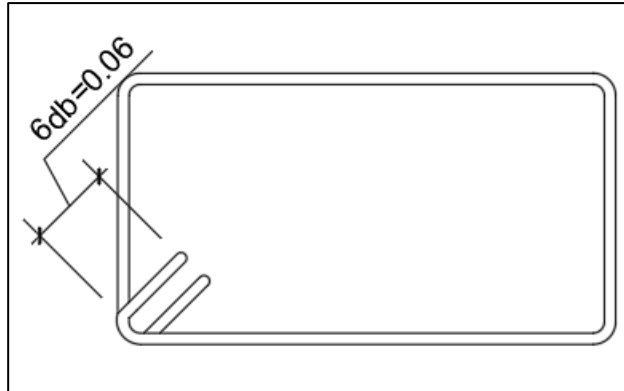
Para la zona confinada se utilizará un espaciamiento de 10 cm y para la zona no confinada, de 20 cm. El armado de la viga quedará de la siguiente manera:

Figura 44. **Armado final para viga 1-2 segundo nivel, marco X**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 45. **Detalle de estribo a 135 grados**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

De igual manera se diseñaron todas las vigas de la edificación las cuales se detallan a continuación:

Tabla XXXII. **Armado final de vigas marco X segundo nivel**

Ejes A, B, C, D, E, F tramo eje 1-2 Segundo Nivel			
Viga V-3			
	M (-) Izq (kg-m)	M (+) Centro (kg-m)	M (-) Der (kg-m)
	15244,25	9863,22	24542,00
As min (cm ²)	4,41	4,41	4,41
As max (cm ²)	37,50	37,50	37,50
As req (cm ²)	9,78	6,17	16,54
Ref. Sup.	4 No. 6 Corridas	4 No. 6 Corridas	4 No. 6 Corridas + 2 Bastones No. 6
Ref. Inf.	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas
Ejes A, B, C, D, E, F tramo eje 2-2' Segundo Nivel			
Viga V-3			
	M (-) Izq (kg-m)	M (+) Centro (kg-m)	M (-) Der (kg-m)
	8993,25	0,00	0,00
As min (cm ²)	4,41	4,41	4,41
As max (cm ²)	37,50	37,50	37,50
As req (cm ²)	5,60	0,00	0,00
Ref. Sup.	4 No. 6 Corridas	4 No. 6 Corridas	4 No. 6 Corridas
Ref. Inf.	2 No. 6 corridas	4 No. 6 Corridas	4 No. 6 Corridas

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXXIII. **Armado final de vigas marco X primer nivel**

Ejes A, B, C, D, E, F tramo eje 1-2 Primer Nivel			
Viga V-4			
	M (-) Izq (kg-m)	M (+) Centro (kg-m)	M (-) Der (kg-m)
	25989,60	13108,40	36596,30
As min (cm ²)	4,41	4,41	4,41
As max (cm ²)	37,50	37,50	37,50
As req (cm ²)	17,67	8,33	26,69
Ref. Sup.	4 No. 8 Corridas	4 No. 8 Corridas	4 No. 8 Corridas + 4 bastones No. 6
Ref. Inf.	3 No. 8 Corridas	3 No. 8 Corridas	3 No. 8 Corridas
Ejes A, B, C, D, E, F tramo eje 2-2' Primer Nivel			
Viga V-4			
	M (-) Izq (kg-m)	M (+) Centro (kg-m)	M (-) Der (kg-m)
	14542,00	0,00	0,00
As min (cm ²)	4,41	4,41	4,41
As max (cm ²)	37,50	37,50	37,50
As req (cm ²)	9,30	0,00	0,00
Ref. Sup.	4 No. 8 Corridas	4 No. 8 Corridas	4 No. 8 Corridas
Ref. Inf.	3 No. 8 Corridas	3 No. 8 Corridas	3 No. 8 Corridas

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXXIV. **Armado final de vigas marco Y segundo nivel**

	Ejes 1 y 2 Tramos A-B, B-C, C-D, D-E, E-F Segundo Nivel		
	Viga V-1		
	M (-) Izq (kg-m)	M (+) Centro (kg-m)	M (-) Der (kg-m)
	5787,10	540,31	5345,35
As min (cm ²)	4,41	4,41	4,41
As max (cm ²)	37,50	37,50	37,50
As req (cm ²)	3,56	0,32	3,28
Ref. Sup.	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas
Ref. Inf.	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXXV. **Armado final de vigas marco Y primer nivel**

	Ejes 1 y 2 Tramos A-B, B-C, C-D, D-E, E-F Primer Nivel		
	Viga V-2		
	M (-) Izq (kg-m)	M (+) Centro (kg-m)	M (-) Der (kg-m)
	14726,80	920,70	13050,15
As min (cm ²)	4,41	4,41	4,41
As max (cm ²)	37,50	37,50	37,50
As req (cm ²)	9,43	0,55	8,29
Ref. Sup.	2 No. 6 corridas + 2 Bastones No. 5	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas + 2 Bastones No. 5
Ref. Inf.	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas	2 No. 6 corridas

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

2.1.4.8.3. Columnas

Las columnas son elementos estructurales verticales que tienen como función soportar el peso de toda la estructura. Transportan las cargas que reciben de las vigas hacia los cimientos de la estructura. Se debe tener en

consideración las dimensiones de la sección transversal respecto a la longitud para evitar el pandeo.

Para el diseño de columna se utilizarán los siguientes datos:

$$b_{col} = 0,40 \text{ m}$$

$$h_{col} = 0,40 \text{ m}$$

$$M_x = 16\,404 \text{ kg} - \text{m}$$

$$M_y = 17\,432 \text{ kg} - \text{m}$$

$$P_u = 58\,518.8 \text{ kg}$$

Según el código ACI 318S-14, sección 6.2.5, se permite ignorar los efectos de esbeltez únicamente si se cumple con la siguiente expresión:

$$\frac{k * l_u}{r} \leq 22$$

De cumplirse lo anterior se considera la columna, como una columna corta y en el diseño no es necesario considerar magnificación de momentos actuantes, caso contrario debe realizarse la magnificación, con el fin de evitar fallas por pandeo.

La esbeltez se calcula con la siguiente ecuación:

$$E = \frac{k * l_u}{r}$$

Donde:

k = coeficiente de rigidez de la columna

l_u = longitud efectiva

r = radio de giro (0,3 h) (según ACI 318S-14, sección 6.2.5.1)

Cálculo de factor que mide el grado de empotramiento a la rotación en las columnas:

$$\psi_A = \frac{\sum k \text{ columnas}}{\sum k \text{ vigas}}$$

Donde las rigideces (k) están dadas por la relación de momentos de inercia sobre la longitud del elemento, tal como lo indica el código ACI 318S-14, Fig. R6.2.5, además, en la tabla 6.6.3.1.1 (a) indica los factores para el cálculo del momento de inercia de la sección transversal, y se representa de la siguiente manera:

$$k_{col} = \frac{I_{col}}{l_{col}} = \frac{0,70 * \frac{b * h^3}{12}}{l_{col}}$$

$$k_{viga} = \frac{I_{viga}}{l_{viga}} = \frac{0,35 * \frac{b * h^3}{12}}{l_{viga}}$$

$$k_{col_2N} = \frac{0,70 * \frac{0,40m * 0,40m^3}{12}}{2,50} = 5,97 * 10^{-4}$$

$$k_{col_{1N}} = \frac{0,70 * \frac{0,40m * 0,40m^3}{12}}{4,00} = 3,73 * 10^{-4}$$

$$k_{viga_{izq}} = \frac{0,35 * \frac{0,30m * 0,50m^3}{12}}{3,85 m} = 2,84 * 10^{-4}$$

$$k_{viga_{der}} = \frac{0,35 * \frac{0,30m * 0,50m^3}{12}}{3,85 m} = 2,84 * 10^{-4}$$

$$\psi_A = \frac{5,97 * 10^{-4} + 3,73 * 10^{-4}}{2,84 * 10^{-4} + 2,84 * 10^{-4}} = 1,71$$

El extremo inferior de la columna se considera empotrado por lo tanto $\psi_B = 0$.

$$\psi_{prom} = \frac{\psi_A + \psi_B}{2}$$

$$\psi_{prom} = \frac{1,71 + 0}{2} = 0,85$$

El cálculo del factor de longitud efectiva (k) se realizará con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{20 - \psi_{prom}}{20} * \sqrt{1 + \psi_{prom}}$$

$$k = \frac{20 - 0,85}{20} * \sqrt{1 + 0,85} = 1,30$$

Cálculo de esbeltez:

$$E_x = \frac{1,30 * 4,00m}{0,3 * 0,40m} = 43,45$$

$$E_y = \frac{1,30 * 4,00m}{0,3 * 0,40m} = 43,45$$

Debido a que E en ambos sentidos es mayor a 22, se deben considerar efectos de esbeltez, lo cual implica realizar una magnificación de momentos.

Se aplicará el método de magnificación de momentos debido a efectos de esbeltez, siguiendo lo que dice el código ACI 318S-14, sección 6.6.4. La estructura, en este caso, se considera como una estructura con desplazamiento lateral no arriostrada, y por ello específicamente el código designa la sección 6.6.4.6.

El análisis por realizar es de primer orden, donde la magnificación de momentos está en función de la fuerza axial mayorada Pu y de la carga de pandeo Pc de la columna.

$$P_c = \frac{\pi^2(EI)_{eff}}{(kl_u)^2}$$

Para columnas no compuestas el código ACI 318S-14, sección 6.6.4.4.4. indica que $(EI)_{eff}$ debe calcularse de acuerdo con:

$$(EI)_{eff} = \frac{0,4E_cI_g}{1 + \beta_{dns}}$$

Donde:

E_c = módulo de elasticidad del concreto

I_g = momento de inercia de la columna

β_{dns} = factor de flujo plástico del concreto

$$\beta_{dns} = \frac{1,2C_m}{1,2C_m + 1,6C_v}$$

$$\beta_{dns} = \frac{1,2 \left(595 \frac{kg}{m^2} \right)}{1,2 \left(595 \frac{kg}{m^2} \right) + 1,6 \left(700 \frac{kg}{m^2} \right)} = 0,40$$

$$(EI)_{eff} = \frac{0,4 \left(15\,100 * \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2} * \frac{(40\,cm)^4}{12}} \right)}{1+0,40} = 1\,554\,ton - m^2$$

$$P_c = \frac{\pi^2 * 1\,554\,ton - m^2}{(1,30 * 4m)^2} = 564,40\,ton$$

El magnificador del momento se calculará según lo indica el código ACI 318S-14, sección 6.6.4.6.2b:

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}}$$

Donde:

δ_s = magnificador de momento

P_u = carga axial mayorada

Pc = carga de pandeo

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{58,52 \text{ ton}}{0,75 * 564,40 \text{ ton}}} = 1,16$$

Cálculo de magnificación de momentos de diseño

$$M_c = \delta_s * M_u$$

$$M_{cx} = 1,16 * 16\,404 \text{ kg} - m = 19\,035 \text{ kg} - m$$

$$M_{cy} = 1,16 * 17\,432 \text{ kg} - m = 20\,228 \text{ kg} - m$$

Se utilizará el método de Bresler para el cálculo de acero longitudinal, el cual consiste en contemplar las excentricidades que se generan en la carga de la columna debido a los momentos que en ella actúan. El procedimiento se describe a continuación:

Cálculo de límites de acero:

El código ACI 318S-14, sección 18.7.4. indica que el área de refuerzo longitudinal debe estar dentro de los límites: $0.01A_g < A_s < 0.06A_g$ para columnas que pertenecen al sistema de marcos especiales resistentes a momento, y que debe haber al menos seis barras longitudinales.

$$A_{s_{min}}: 0,01 * 40 * 40 = 16 \text{ cm}^2$$

$$A_{s_{máx}}: 0,06 * 40 * 40 = 96 \text{ cm}^2$$

Se propone un armado compuesto por 8 No. 8 + 4 No. 6, el cual representa un 0,03 Ag con $48,13 \text{ cm}^2$.

Cálculo de excentricidades:

$$e_x = \frac{M_{cx}}{P_u} = \frac{19\,035 \text{ kg} - \text{m}}{58\,518,8 \text{ kg}} = 0,32 \text{ m}$$

$$e_y = \frac{20\,228 \text{ kg} - \text{m}}{58\,518,8 \text{ kg}} = 0,34 \text{ m}$$

Relación entre la altura del núcleo y la base de la columna:

$$\gamma = \frac{h_c - d'}{h_c}$$

$$d' = h_c - \text{rec} - \phi_t - \frac{\phi_l}{2}$$

$$d' = 40 \text{ cm} - 4 \text{ cm} - 0,95 \text{ cm} - \frac{2,54 \text{ cm}}{2} = 5,22 \text{ cm}$$

$$\gamma = \frac{40 \text{ cm} - 5,22 \text{ cm}}{40 \text{ cm}} = 0,87$$

Cálculo de la curva ρ_u

$$\rho_u = \frac{A_s * f_y}{0,85 * f'_c * A_g}$$

Se propone un armado de 12 varillas No. 8 las cuales concretan un área de acero de 60,80 centímetros cuadrados y la cual representa una cuantía de 0,038 menor a 0,06.

$$\rho_u = \frac{60,80 \text{ cm}^2 * 4 \text{ 200} \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{0,85 * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm}} = 0,67$$

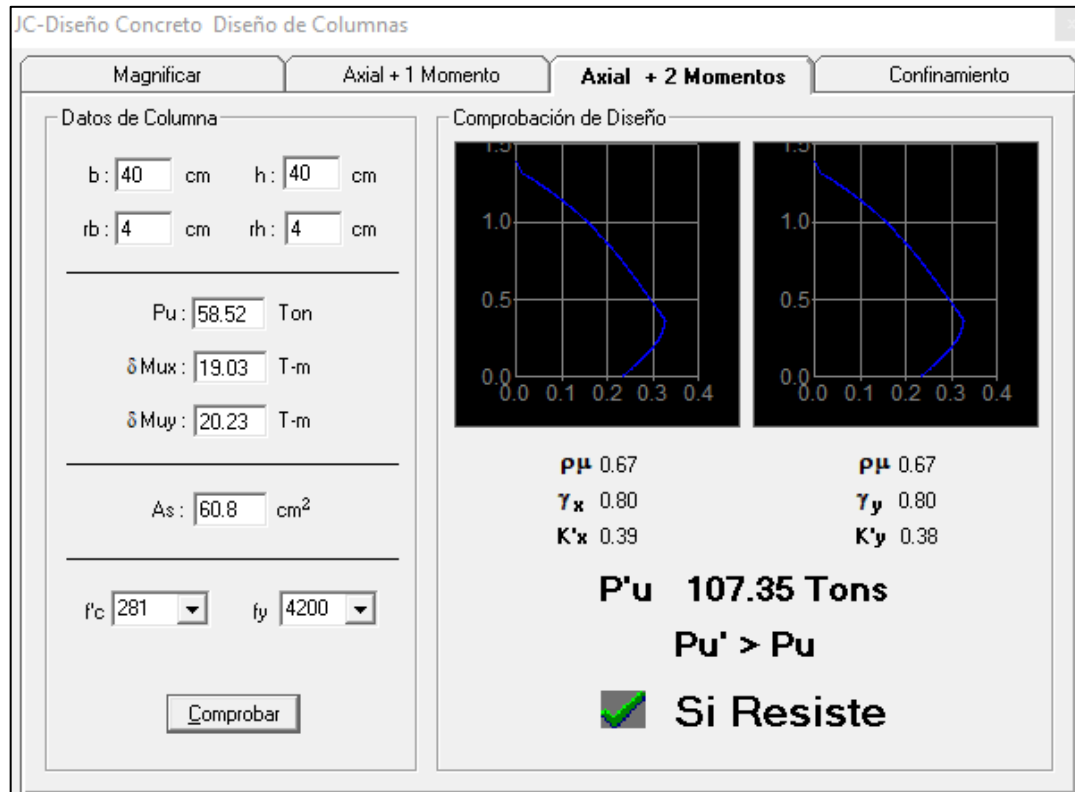
Cálculo del valor de las diagonales en el diagrama de interacción:

$$\frac{e_x}{h_x} = \frac{0,32 \text{ m}}{0,40 \text{ m}} = 0,81$$

$$\frac{e_y}{h_y} = \frac{0,34}{0,40} = 0,86$$

Los resultados de los coeficientes k'_x y k'_y , se han calculado mediante el programa JC-Diseño Concreto, y los valores son 0,39 y 0,38, respectivamente.

Figura 46. Diagrama de interacción columna con flexión biaxial



Fuente: elaboración propia, utilizando JC-Diseño Concreto.

Cálculo de la resistencia a carga axial:

La carga axial será calculada mediante la ecuación de Bresler:

$$\frac{1}{P_{ni}} = \frac{1}{P_{nx}} + \frac{1}{P_{ny}} - \frac{1}{P_o}$$

Donde:

- P_{ni} = carga normal resistente de diseño, aplicada con excentricidades e_x y e_y .
- P_o = carga axial resistente de diseño, suponiendo $e_x=e_y=0$.
- P_{nx} = carga normal resistente de diseño, aplicada con una excentricidad e_x en un plano de simetría.
- P_{ny} = carga normal resistente de diseño, aplicada con una excentricidad e_y en el otro plano de simetría.

$$P_{nx} = k'x * f'c * b * h$$

$$P_{nx} = 0,39 * 281 \frac{kg}{cm^2} * 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm} = 175\,344 \text{ kg}$$

$$P_{ny} = k'y * f'c * b * h$$

$$P_{ny} = 0,38 * 281 \frac{kg}{cm^2} * 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm} = 170\,848 \text{ kg}$$

$$\Phi P_o = \Phi * [0,85 * f'c * (A_g - A_s) + A_s * f_y]$$

$\Phi = 0,65$ según ACI 318-14 sección 21.2.2

$$\Phi P_o = 0,65 * \left[0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2} * (1\,600 \text{ cm}^2 - 60,80 \text{ cm}^2) + 60,80 \text{ cm}^2 * 4200 \frac{kg}{cm^2} \right]$$

$$\Phi P_o = 404\,948 \text{ kg}$$

$$\frac{1}{P_{ni}} = \frac{1}{175\,344\,kg} + \frac{1}{170\,848\,kg} - \frac{1}{404\,948\,kg}$$

$$P_{ni} = 110\,049\,kg$$

Condiciones:

Si $P_{ni} > \frac{P_u}{0,65}$ el área de acero es adecuada

Si $P_{ni} < \frac{P_u}{0,65}$ se debe aumentar el área de acero o sección de la columna

$$\frac{P_u}{0,65} = \frac{58\,518\,kg}{0,65} = 90\,028\,kg$$

$$110\,049\,kg > 90\,028\,kg$$

Ya que se cumple con la condición, el área de acero es la adecuada por lo que el armado final es de 12 No. 8

Refuerzo transversal:

El refuerzo transversal se proveerá a través de estribos, los cuales, con elementos capaces de dar ductilidad a la columna, la ductilidad permite a la columna soportar grandes deformaciones elásticas y sin disminuir la capacidad de resistir al colapso.

El diseño de refuerzo transversal se realizará, de acuerdo con el código ACI 318S-14, sección 18.7.5 la cual indica lo siguiente:

- Sección 18.7.5.1 Debe colocarse refuerzo transversal en una longitud lo medida desde cada cara del nudo y a ambos lados de cualquier sección donde pueda ocurrir fluencia por flexión como resultado de desplazamientos laterales más allá del rango elástico. La longitud lo debe ser al menos igual a la mayor de:
 - La altura de la columna en la cara del nudo o en la sección donde puede ocurrir fluencia por flexión.
 - Un sexto de la luz libre de la columna.
 - 46 centímetros.¹¹
- Sección 18.7.5.2 El refuerzo transversal debe disponerse de acuerdo con:
 - El refuerzo transversal debe consistir en estribos cerrados de confinamiento circulares o rectilíneos con o sin ganchos suplementarios.
 - Los dobleces de estribos cerrados de confinamiento rectilíneos y de ganchos suplementarios deben abrazar barras periféricas longitudinales de refuerzo.
 - El refuerzo debe disponerse de tal manera que el espaciamiento de las barras longitudinales soportadas lateralmente por la esquina de un gancho suplementario o una rama de estribo de confinamiento no exceda 35 centímetros alrededor del perímetro de la sección de la columna.¹²
- Sección 18.7.5.3 La separación del refuerzo transversal no debe exceder la menor de:
 - La cuarta parte de la dimensión menor de la columna.
 - Seis veces el diámetro de la menor barra de refuerzo longitudinal.
 - S según se calcule por medio de: $s = 4 + \left(\frac{14-h}{3}\right)$ el valor de s no debe ser mayor a 15 centímetros y no es necesario tomarlo menor a 10 centímetros, donde h se refiere a la separación que existe entre las varillas longitudinales.¹³

Separación de refuerzo transversal

¹¹ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, sección 18.7.5.1.* p. 298.

¹² *Ibíd.*

¹³ *Ibíd.* p. 300.

$$\frac{1}{4} * h_c = \frac{1}{4} * 40 \text{ cm} = 10 \text{ cm}$$

$$6d_b = 6 * 1,91 \text{ cm} = 11,46 \text{ cm}$$

$$s = 4 + \left(\frac{14 - h}{3} \right) = 4 + \left(\frac{14 - 5}{3} \right) = 7 \text{ cm}$$

Se utilizará una separación de 7 centímetros.

Cantidad de refuerzo transversal:

La cantidad de refuerzo transversal según ACI 318S-14, sección 18.7.5.4., debe cumplir con al menos lo que establece la mayor de las siguientes expresiones:

$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{A_g}{A_{ch}} - 1 \right) * \frac{s * b * f'c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,3 \left(\frac{(40 \text{ cm})^2}{(36 \text{ cm})^2} - 1 \right) * \frac{7 \text{ cm} * 40 \text{ cm} * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 1,32 \text{ cm}^2$$

$$A_{sh} = 0,09 * \frac{s * b * f'c}{f_{yt}}$$

$$A_{sh} = 0,09 * \frac{7 \text{ cm} * 40 \text{ cm} * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} = 1,69 \text{ cm}^2$$

Debido al armado propuesto de varillas longitudinales, con la finalidad de confinar el núcleo y que cada varilla sea abrazada por el refuerzo transversal, se utilizarán un confinamiento con dos estribos.

Longitud de zona de confinamiento

$$h = 40 \text{ cm}$$

$$\frac{1}{6} * l_u = \frac{1}{6} * 400 \text{ cm} = 67 \text{ cm}$$

$$46 \text{ cm}$$

La zona de confinamiento en columna será de 67 centímetros en ambos extremos.

Refuerzo transversal en zona no confinada:

Para la zona no confinada se requieren estribos cerrados con gancho sísmico, con una separación del menor de:

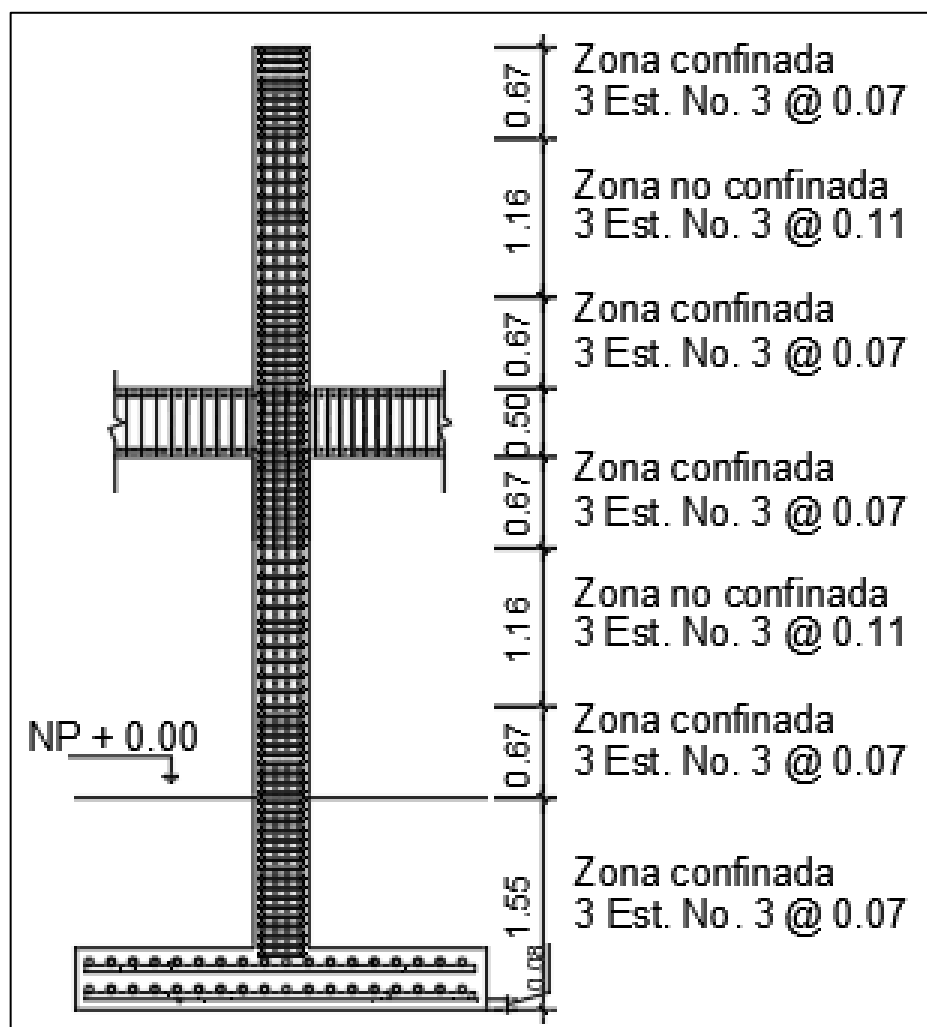
$$6d_b = 6 * 1,91 \text{ cm} = 11,46 \text{ cm}$$

$$15 \text{ cm}$$

La separación por utilizar en la zona no confinada será de 11 centímetros.

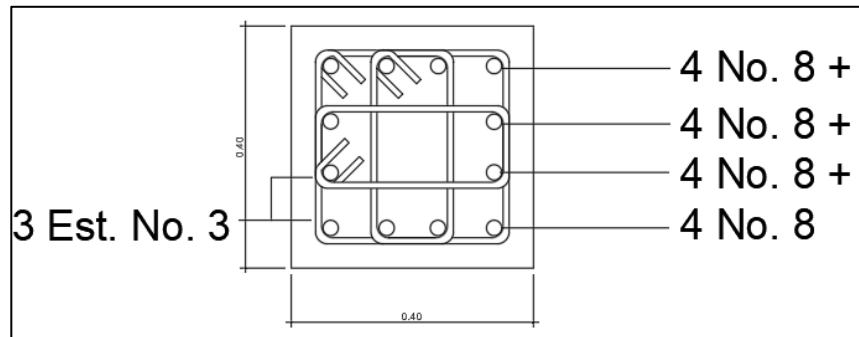
De igual forma se realizó el cálculo para la columna del segundo nivel, y se presentan los resultados en la siguiente figura:

Figura 47. Sección longitudinal de columna C-1



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

Figura 48. **Sección transversal columna C-1**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

2.1.4.8.4. Nudo sísmico

El nudo de una estructura con sistema estructural de marcos especiales resistentes a momento es parte fundamental para su funcionamiento, ya que por medio del nudo se realiza el anclaje entre las vigas y las columnas. Por ello el comportamiento del nudo debe ser conforme a lo que dicta el código de diseño.

El código ACI 318S-14, sección 18.8, indica las directrices con las que debe cumplir el nudo, las cuales se enuncian a continuación:

- Sección 18.8.2.1. “Las fuerzas en el refuerzo longitudinal de la viga en la cara del nudo debe determinarse suponiendo que la resistencia en el refuerzo de tracción por flexión es de $1,25 f_y$ ”.¹⁴

¹⁴ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural*, sección 18.8.2.1. p. 302.

- Sección 18.8.2.2. “El refuerzo longitudinal de una viga que termine en una columna, debe prolongarse hasta la cara del núcleo confinado de la columna más distante y anclarse en tracción”.¹⁵
- Sección 18.8.2.3. “Donde el refuerzo longitudinal de una viga atraviese el nudo viga-columna, la dimensión de la columna paralela al refuerzo de la viga no debe ser menor que 20 veces el diámetro de la barra longitudinal de viga de mayor diámetro”.¹⁶
- Sección 18.8.2.4. “ altura h del nudo no debe ser menor que la mitad de la altura de cualquier viga que llegue al nudo”.¹⁷

El refuerzo transversal del nudo debe cumplir con lo estipulado para el refuerzo transversal en columnas.

En la sección 18.8.3.2 el código ACI 318-14, indica que cuando existan vigas que lleguen a los cuatro lados del nudo y el ancho de cada viga mida por lo menos tres cuartas partes del ancho de la columna, se permite reducir la cuantía de refuerzo especificada para columnas siempre que este no exceda los 15 centímetros.

En la sección 18.8.3.3 el código ACI 318-14, indica que se debe disponer refuerzo transversal que pase a través del nudo para dar confinamiento al refuerzo longitudinal de la viga que pasa fuera del núcleo de la columna, cumpliendo con el espaciamiento de lo solicitado en vigas.

¹⁵ Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14). *Comentario a Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, sección 18.8.2.2.* p. 302.

¹⁶ *Ibíd.* p. 303.

¹⁷ *Ibíd.*

Cumpliendo con lo que dice el código el nudo se considera confinado ya que las vigas miden tres cuartas partes del ancho de la columna, además, debido al sistema estructural de marcos especiales resistentes a momento o de alta ductilidad, el área del nudo se considera en su totalidad igual al área de la sección transversal de la columna.

Según ACI 318-14, en la sección 18.8.4.1 indica que se debe calcular la resistencia a cortante del nudo:

$$V_n = 5.3\lambda\sqrt{f'c}A_j$$

Donde:

$$\lambda = 1 \text{ para concreto de peso normal}$$

$$A_j = \text{Area del nudo (sección transversal columna)}$$

$$V_n = 5,3 * 1 \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2} * 40 \text{ cm} * 40 \text{ cm}} = 142 \ 151 kg$$

$$\phi V_n = 142 \ 151 kg * 0,75 = 106 \ 613 \ kg$$

Y el cortante actuante en el nudo debido a los momentos mayores producidos por las vigas es de 61 071 kg, para el cual se utilizó el 1.25 fy tal como lo indica el código ACI 318S-14 en la sección 18.8, por lo tanto, el nudo se confinará con estribos al igual que la columna.

Además del chequeo a corte el código ACI 318S-14 indica en el capítulo 18 sección 18.7.3.2 que se debe cumplir con lo establecido en la siguiente expresión:

$$\sum M_{nc} \geq \left(\frac{6}{5}\right) \sum M_{nb}$$

Donde:

M_{nc} = momento nominal en columna

M_{nb} = momento nominal en viga

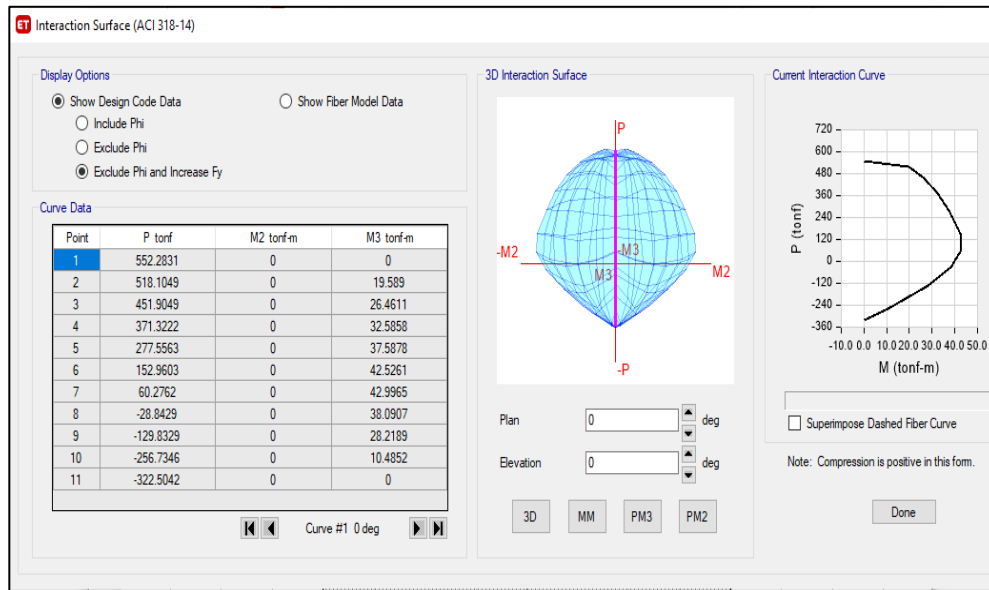
Para los momentos nominales en vigas se utilizará los calculados en el capítulo 2.1.4.8.2 de este documento, donde se realiza el cálculo de momentos probables en vigas aumentando en 1,25 el f_y , los cuales son los siguientes:

M derecha: 23,89 ton-m

M izquierda: 33,962 ton-m

Para el cálculo de momentos nominales en columna se hará uso del software CSI ETABS, en el cual se hará uso de la función *Section Designer*, en la cual se extraerá el diagrama de interacción de la columna, a continuación, se encuentra dicho diagrama.

Figura 49. Diagrama de interacción



Fuente: elaboración propia, empleando CSI ETABS, versión 18.0.1

Del diagrama de interacción se extrae que, para una carga axial de 58,52 toneladas, la columna cuenta con un momento nominal de 42,90 toneladas metro. Debido a que la sección de columna de primer nivel es igual a la del segundo nivel, el momento nominal de la columna será exactamente igual en ambos niveles.

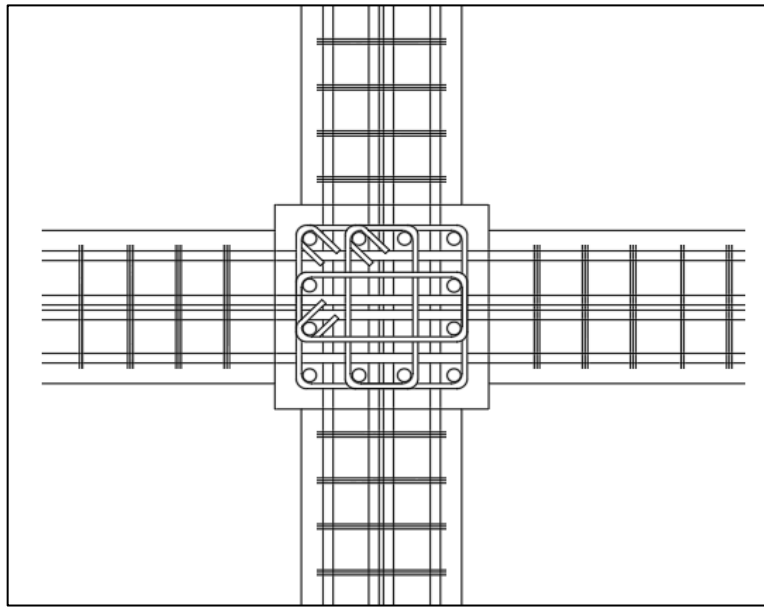
Por lo tanto:

$$2 * (42,90 \text{ ton} - m) \geq \left(\frac{6}{5}\right) (23,89 \text{ ton} - m + 33,96 \text{ ton} - m)$$

$$85,80 \text{ ton} - m \geq 69,42 \text{ ton} - m$$

Por lo tanto, se comprueba que el elemento estructural tipo columna cumple con el requerimiento de viga débil columna fuerte.

Figura 50. **Nudo sísmico**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

2.1.4.8.5. Cimientos

La cimentación en una estructura, son los elementos que se encargan de transmitir las cargas de la estructura hacia el suelo, se encarga de distribuir las cargas y evitar que se supere el valor soporte del suelo.

Por la configuración estructural, se procede a realizar el diseño de zapatas aisladas cuadradas, cargadas concéntricamente.

Para el diseño de la cimentación se utilizará como base lo que dicta la norma AGIES NSE-2-2018 Capítulo 9 y lo que indica el código ACI 318S-14 para cimentaciones superficiales.

Según ACI 318S-14 Capítulo 13.3 sección 13.3.1.1, indica que el área mínima de la base de la cimentación debe calcularse a partir de las fuerzas y momentos no mayorados, por lo que se hará uso de la sección 9.2 de la norma AGIES NSE-2-2018, en la cual se encuentran las combinaciones de carga para dimensionar cimientos.

En la sección 9.2.2 de AGIES NSE-2-2018 se encuentran las combinaciones gravitacionales, las cuales son:

$$CCS1 = M + V_p$$

$$CCS2 = M + V$$

En la sección 9.2.3 de AGIES NSE-2-2018 se encuentran las combinaciones para solicitaciones sísmicas, las cuales son:

$$CCS3 = M + V_p + 0,7k_zS_v \pm 0,7k_zS_h$$

$$CCS4 = M \pm 0,7k_zS_h$$

Donde:

M = carga muerta

V_p = carga viva permanente

V = carga viva

$k_z = 1,20$ para suelos tipo C a F

S_v = carga sísmica vertical

S_h = carga sísmica horizontal

Para este caso de análisis no se cuenta con carga viva permanente, por lo que se utilizara la carga viva. El resultado de las combinaciones de carga es el siguiente:

Tabla XXXVI. **Envolvente de momentos columna eje 1 marco X**

Envolvente de momentos columna eje 1 primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	297	1889	kg-m
Carga viva	405	1836	kg-m
Carga de sismo	14668	10020	kg-m
CCS1	702	3725	kg-m
CCS2	702	3725	kg-m
CCS3	12788,49	10649,49	kg-m
CCS4	12618,12	10305,8	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXXVII. **Envolvente de momentos columna eje 2 marco X**

Envolvente de momentos columna eje 2 primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	1186	1000	kg-m
Carga viva	1095	1146	kg-m
Carga de sismo	14618	9989	kg-m
CCS1	2281	2146	kg-m
CCS2	2281	2146	kg-m
CCS3	13623,18	9746,76	kg-m
CCS4	13465,12	9390,76	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XXXVIII. **Envolvente de momentos columna eje A marco Y**

Envolvente de momentos columna eje A primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	137	267	kg-m
Carga viva	0	0	kg-m
Carga de sismo	15141	11661	kg-m
CCS1	137	267	kg-m
CCS2	137	267	kg-m
CCS3	12747,21	9851,31	kg-m
CCS4	12855,44	10062,24	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel

Tabla XXXIX. **Envolvente de momentos columna eje B marco Y**

Envolvente de momentos columna eje B primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	5	14	kg-m
Carga viva	0	0	kg-m
Carga de sismo	16397	14374	kg-m
CCS1	5	14	kg-m
CCS2	5	14	kg-m
CCS3	13774,53	12077,1	kg-m
CCS4	13778,48	12088,16	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XL. **Envolvente de momentos columna eje C marco Y**

Envolvente de momentos columna eje C primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	3	5	kg-m
Carga viva	0	0	kg-m
Carga de sismo	16087	13923	kg-m
CCS1	3	5	kg-m
CCS2	3	5	kg-m
CCS3	13513,71	11696,37	kg-m
CCS4	13516,08	11700,32	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XLI. **Envolvente de momentos columna eje D marco Y**

Envolvente de momentos columna eje D primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	3	5	kg-m
Carga viva	0	0	kg-m
Carga de sismo	15974	13831	kg-m
CCS1	3	5	kg-m
CCS2	3	5	kg-m
CCS3	13418,79	11619,09	kg-m
CCS4	13421,16	11623,04	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XLII. **Envolvente de momentos columna eje E marco Y**

Envolvente de momentos columna eje E primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	4	14	kg-m
Carga viva	0	0	kg-m
Carga de sismo	16049	14079	kg-m
CCS1	4	14	kg-m
CCS2	4	14	kg-m
CCS3	13482	11829,3	kg-m
CCS4	13485,16	11840,36	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla XLIII. **Envolvente de momentos columna eje F marco Y**

Envolvente de momentos columna eje F primer nivel			
Momentos kg-m	Inferior	Superior	
Carga muerta	137	267	kg-m
Carga viva	0	0	kg-m
Carga de sismo	14638	11320	kg-m
CCS1	137	267	kg-m
CCS2	137	267	kg-m
CCS3	12324,69	9564,87	kg-m
CCS4	12432,92	9775,8	kg-m

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

De las combinaciones, se obtienen los siguientes datos:

$$P = 45\,424\text{ kg}$$

$$M_{ux} = 13\,623\text{ kg}$$

$$M_{uy} = 13\,778\text{ kg}$$

Para el diseño de la cimentación se tendrán los siguientes datos:

$$V_s = 15\,070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$d_f = 1,5\text{ m}$$

$$f'_c = 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

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

Según el código ACI 318S-14 capítulo 20 sección 20.6.1.3.4 el recubrimiento mínimo para elementos contruidos contra el suelo y permanentemente expuestos a él, debe de ser al menos de 7,5 centímetros.

Además, el código ACI 318S-14 capítulo 13 sección 13.3.1.2, indica que la altura total de la cimentación debe seleccionarse de tal manera que la altura efectiva del refuerzo sea al menos de 15 centímetros.

Se propone un espesor de zapata de 45 centímetros.

$$t = 45 \text{ cm} = 0,45 \text{ m}$$

Cálculo de recubrimiento:

$$r = 1,5(dv) + 0,075m$$

Utilizando varilla No. 6

$$r = 1,5\left(\frac{3}{4} * 2,54cm\right) + 0,075m = 0,1036 \text{ m}$$

Cálculo de altura efectiva:

$$d = t - r$$

$$d = 0,45 - 0,1036 = 0,3464 \text{ m}$$

Cálculo de área de zapata:

$$A_z = \frac{P}{V_s} = \frac{45\,424 \text{ kg}}{15070 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}} = 3,014 \text{ m}^2$$

Tras varias iteraciones de diseño y además de analizar otras opciones como estabilizar el suelo para obtener un mejor valor soporte, pero se descartaron las opciones debido a que encarecían la obra, por lo que se concluye que las dimensiones adecuadas son las siguientes:

$$B = 3 \text{ m}$$

$$L = 3 \text{ m}$$

Con dichas dimensiones se obtiene un área total de 9 metros cuadrados, superior a los 3,014 metros cuadrados requeridos; además, se propone el espesor de 0,45 metros cumpliendo con el recubrimiento mínimo y altura efectiva mínima que dicta el código ACI 318S-14.

Cálculo del módulo de sección:

$$S_x = S_y = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 3m * (3m)^2 = 4,5 m^3$$

Cálculo de la carga total que soporta el suelo:

$$P = P + P_{col} + P_{suelo} + P_{cimienta}$$

$$P_{col} = 0,4 m * 0,4m * 1,5m * \frac{2\,400kg}{m^3} = 576 kg$$

$$P_{suelo} = 3m * 3m * 1,5m * 719,68 \frac{kg}{m^3} = 9\,715,65 kg$$

$$P_{cimienta} = 3m * 3m * 0,45m * 2\,400 \frac{kg}{m^3} = 9\,720 kg$$

$$P = 45\,424 kg + 576 kg + 9\,715,65 kg + 9\,720 kg = 65\,435,68 kg$$

Cálculo de presiones del suelo:

$$q = \frac{P}{A_z} \pm \frac{M_{tx}}{S_x} \pm \frac{M_{ty}}{S_y}$$

$$q_{max} = \frac{65\,435,68\text{ kg}}{9\text{ m}^2} + \frac{13\,623,18\text{ kg} - m}{4,5\text{m}^3} + \frac{13\,778,48\text{ kg} - m}{4,5\text{m}^3} = 13\,359,89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$q_{min} = \frac{65\,435,68\text{ kg}}{9\text{ m}^2} - \frac{13\,623,18\text{ kg} - m}{4,5\text{m}^3} - \frac{13\,778,48\text{ kg} - m}{4,5\text{m}^3} = 1\,181,37 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

Ya que la presión máxima no supera el valor soporte del suelo y la presión mínima no es menor a cero, se comprueba que las dimensiones son las adecuadas para soportar con las cargas y momentos que actúan sobre la cimentación.

Cálculo de corte actuante en una dirección:

Según ACI 318S-14 capítulo 13 sección 13.2.7.2, la sección crítica para cortante en una dirección o en dos direcciones debe medirse desde la ubicación de la sección crítica para Mu.

Según ACI 318S-14 capítulo 13 tabla 13.2.7.1-1, localización de la sección crítica para Mu, para una columna o pedestal, la sección crítica debe medirse desde la cara de la columna o pedestal.

$$V_{act} = \left(\frac{Bz - b_{col}}{2} - d \right) * Bz * q_{max}$$

$$V_{act} = \left(\frac{3\text{ m} - 0,4\text{m}}{2} - 0,3464\text{m} \right) * 3\text{m} * 13\,359,89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} = 38\,218,97\text{ kg}$$

Según ACI 318S-14 capítulo 22.5.51 el cortante resistente en una dirección debe calcularse con la siguiente ecuación:

$$V_R = 0,53 * \sqrt{f'c} * Bz * d$$

$$V_R = 0,53 * \sqrt{\frac{281kg}{cm^2}} * 300\text{ cm} * 35cm = 92\ 333,54\text{ kg}$$

$$\phi V_R \geq V_{act}$$

Según ACI 318S-14 capítulo 21 tabla 21.2.1, factores de reducción de resistencia, indica que para elementos sometidos a cortante se debe utilizar un factor de 0,75.

$$\phi = 0,75$$

$$\phi V_R = 0,75 * 92\ 333,54 = 69\ 250,16\text{ kg}$$

$$V_R \geq V_{act} \text{ por lo tanto cumple}$$

Chequeo de cortante en dos direcciones o punzonamiento:

$$V_{act} = q_{max} * A_{punzonante}$$

$$A_{punzonante} = Bz^2 - (b_{col} - d)^2 = (3m)^2 - (0,40\text{ m} - 0,35m)^2 = 8,44\text{ m}^2$$

$$V_{act} = 13\ 359,89 \frac{kg}{m^2} * 8,44\text{ m}^2 = 38\ 218,97\text{ kg}$$

Cálculo del corte resistente:

Según ACI 318S-14 capítulo 22 sección 22.6.5 tabla 22.6.5.2 el cortante en dos direcciones debe ser el menor, de las siguientes ecuaciones:

$$V_R = 4 * \sqrt{f'c}$$

$$V_R = \left(2 + \frac{4}{\beta}\right) * \sqrt{f'c}$$

$$V_R = \left(2 + \frac{\alpha * d}{b_o}\right)$$

Donde:

$$b_o = 2(b_{col} + d) + 2(b_{col} + d)$$

$$b_o = 2(0,40 \text{ m} + 0,35 \text{ m}) + 2(0,40 \text{ m} + 0,35 \text{ m}) = 3 \text{ m} \cong 300 \text{ cm}$$

$\alpha = 40$ para columnas interiores, según ACI 318S-14 sección 22.6.5.3

$$V_R = 4 * \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2}} = 190\,722,20 \text{ kg}$$

$$V_R = \left(2 + \frac{4}{\frac{40}{40}}\right) * \sqrt{281 \frac{kg}{cm^2}} = 275\,680 \text{ kg}$$

$$V_R = \left(2 + \frac{40 * 35}{300}\right) = 310\,895 \text{ kg}$$

Se utilizará 190 722 kg debido a que es el menor.

$$\phi V_R = 0,75 * 190\,722 = 143\,041\,kg$$

$$\phi V_R \geq V_{act} \text{ por lo tanto, cumple}$$

Diseño de refuerzo por flexión:

$$M_U = \left(B * \left(\frac{B - b}{2} \right) \right) * q_{max} * \left(\frac{B - b}{4} \right)$$

$$M_U = \left(3,00m * \left(\frac{3,00m - 0,40m}{2} \right) \right) * 13\,359,89 \frac{kg}{m^2} * \left(\frac{3,00m - 0,40m}{4} \right)$$

$$M_U = 33\,867,32\,kg - m$$

Cálculo de acero mínimo:

$$A_{s_{min}} = \frac{0,80\sqrt{f'c}}{f_y} * b * d$$

$$A_{s_{min}} = \frac{0,80\sqrt{281\,kg/cm^2}}{4\,200\,kg/cm^2} * 300\,cm * 35\,cm = 33,18\,cm^2$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b * d$$

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{4\,200\,kg/cm^2} * 300\,cm * 35\,cm = 34,64\,cm^2$$

Cálculo de acero requerido:

$$R_n = \frac{M_u}{\Phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{33\,867,32\text{ kg} - m * 100}{0,85 * 300\text{ cm} * (35\text{ cm})^2} = 10,45$$

$$\rho = \frac{0,85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 * f'_c}}\right)$$

$$\rho = \frac{0,85 * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4\,200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(10,45)}{0,85 * 281 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}}\right) = 0,0025$$

$$A_s = 0,0025 * 300\text{ cm} * 35\text{ cm} = 26,46\text{ cm}^2$$

Se utilizará un área de acero de 34,64 centímetros de acero ya que es el más crítico entre el acero mínimo y el acero calculado.

Espaciamiento requerido

$$s = \frac{Bz - 2rec}{No.\text{ varillas}}$$

Utilizando varilla numero 6 la cual posee un área de 2,85 centímetros cuadrados, se deberán utilizar 14 varillas:

$$s = \frac{300cm - 2(7,5 cm)}{14 \text{ varillas}} = 20,35 cm \cong 20 cm$$

Se utilizará armado por flexión de 14 No. 6 @ 20 cm, en ambos sentidos para la cama inferior, adicionalmente se realizará el cálculo de acero por temperatura el cual corresponde a la cama superior.

Cálculo de acero por temperatura:

$$Ast = 0,0018 * 100 cm * t$$

$$Ast = 0,0018 * 100 cm * 45 cm = 8,1 cm^2$$

Espaciamiento requerido:

Utilizando 12 varillas numero 3

$$s = \frac{300cm - 2(7,5 cm)}{12 \text{ varillas}} = 24,98 cm \cong 24 cm$$

Se utilizará armado por temperatura de 12 No. 3 @ 24 cm en ambos sentidos.

2.1.4.8.6. Gradas

Las gradas en una edificación pueden tener distintas configuraciones. Para esta edificación se diseñarán como losas apoyadas en sus extremos. El diseño debe cumplir condiciones de comodidad, que garanticen que su uso sea seguro y funcional. Las gradas en esta edificación son independientes de la

estructura principal y serán soportadas por muros de carga, los cuales estarán de forma independiente a la estructura principal mediante una junta sísmica.

Las condiciones de comodidad son las que garantizan que la pendiente y relación de dimensiones sean adecuadas. Para ello es necesario tomar en cuenta la relación de huella y contrahuella.

Las relaciones de comodidad a cumplir son las siguientes:

$$C \leq 20 \text{ cm}$$

$$H > C$$

$$2C + H \leq 64 \text{ cm}$$

$$C + H = 45 \text{ a } 48 \text{ cm}$$

$$C * H = 480 \text{ a } 500 \text{ cm}^2$$

Donde:

C = contrahuella

H = huella

Para el diseño se empezará asumiendo un valor de contrahuella de 0,17 metros, y una huella de 0,29 metros; con lo cual se cumplen las primeras dos relaciones de comodidad.

$$\text{No. de escalones mínimo} = \frac{\text{Altura de nivel}}{c} = \frac{3,00 \text{ m}}{0,17 \text{ m}} = 17,64 \cong 18$$

$$\text{No. de huellas} = \text{No. de contrahuellas} - 1 = 18 - 1 = 17 \text{ huellas}$$

$$2(17\text{cm}) + (29 \text{ cm}) = 63\text{cm} \leq 64\text{cm}$$

$$17\text{cm} + 29\text{cm} = 46 \text{ cm}$$

$$17\text{cm} * 29\text{cm} = 493 \text{ cm}^2$$

Todas las relaciones de comodidad se cumplen por lo que las dimensiones de huella y contrahuella son válidas.

Para determinar el espesor mínimo de losas en una dirección el código ACI 318S-14 en la tabla 7.3.1.1., indica que para condición de apoyo de un extremo continuo el h mínimo es de $L/24$.

$$t = \frac{L}{24}$$

$$L = \sqrt{(1,4\text{m})^2 + (2,32\text{m})^2} = 2,71 \text{ m}$$

$$t = \frac{2,71 \text{ m}}{24} \cong 0.11 \text{ m}$$

Integración de cargas:

$$CM = \gamma_{\text{concreto}} * \left(t + \frac{C}{2} \right) + W_{\text{sobrecarga}}$$

$$CM = 2\,400 \frac{kg}{m^3} * \left(0,11m + \frac{0.17\,m}{2}\right) + 100 \frac{kg}{m^2} = 568 \frac{kg}{m^2}$$

Según AGIES NSE-3-2018 capítulo 3 tabla 3.7.1-1, la carga viva de pasillos y escaleras en centros educativos es de $500 \frac{kg}{m^2}$

Determinación de carga última:

$$CU = 1,2 \left(568 \frac{kg}{m^2}\right) + 1,6 \left(500 \frac{kg}{m^2}\right) = 1\,481,6 \frac{kg}{m^2}$$

Se utilizará una franja unitaria de 1 metro.

Cálculo de momentos:

$$M_{-} = \frac{CU * L^2}{14} = \frac{1\,481,6 \frac{kg}{m} * (2,71m)^2}{14} = 777,04\,kg - m$$

$$M_{+} = \frac{CU * L^2}{14} = \frac{1\,481,6 \frac{kg}{m} * (2,71m)^2}{9} = 1\,208,72\,kg - m$$

Se utilizará un peralte efectivo $d = 7\,cm$.

Cálculo del acero de refuerzo:

$$f'_c = 281 \frac{kg}{cm^2}$$

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

$$A_{s_{min}} = \frac{14}{f_y} * b * d = \frac{14}{4\,200 \frac{kg}{cm^2}} * 100cm * 7 = 2,33 \, cm^2$$

$$A_{s_{temperatura}} = 0,0018 * 100 * 7 = 1,98 \, cm^2$$

Cálculo de acero requerido momento negativo:

$$R_n = \frac{M_u}{\Phi b d^2}$$

$$R_n = \frac{777,04 \, kg - m * 100}{0,85 * 100 \, cm * (7 \, cm)^2} = 18,66$$

$$\rho = \frac{0,85 * f'_c}{f_y} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2R_n}{0,85 * f'_c}}\right)$$

$$\rho = \frac{0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2}}{4\,200 \frac{kg}{cm^2}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(18,66)}{0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2}}}\right) = 0,005$$

$$A_s = 0,005 * 100 \, cm * 7 \, cm = 3,24 \, cm^2$$

Espaciamiento requerido:

$$s = A_{var} * \frac{100}{A_s}$$

$$s = 0,71 \, cm^2 * \frac{100 \, cm}{3,24 \, cm^2} = 21,98 \, cm$$

Cálculo de acero requerido momento negativo

$$R_n = \frac{1\,208,72\,kg - m * 100}{0,85 * 100\,cm * (7\,cm)^2} = 29,02$$

$$\rho = \frac{0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2}}{4\,200 \frac{kg}{cm^2}} * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2(29,02)}{0,85 * 281 \frac{kg}{cm^2}}} \right) = 0,007$$

$$A_s = 0,007 * 100\,cm * 7\,cm = 5,17\,cm^2$$

Espaciamiento requerido:

$$s = A_{var} * \frac{100}{A_s}$$

$$s = 0,71\,cm^2 * \frac{100\,cm}{5,17\,cm^2} = 13,77\,cm$$

Para el refuerzo superior se utilizará un armado de varillas No. 3 @ 20 cm y para el refuerzo inferior, un armado de varillas No.3 @ 12 cm.

2.1.4.9. Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas se dividen en dos partes. La primera abarca las instalaciones de iluminación y la segunda, las instalaciones de fuerza.

Para las instalaciones de iluminación habrá dos circuitos en cada nivel, cada uno contempla un número no mayor a diez unidades. Los circuitos de

fuerza están constituidos en dos por cada nivel y cada uno considera un número no mayor a diez unidades.

La edificación contará con un tablero de distribución ubicado en la sala de maestros, en donde se controlarán los diferentes circuitos. La iluminación será con lámparas de tubo led de 2x18 W. Cada aula contará con cuatro unidades, cada baño con dos, la cocina con una; la bodega, sala pedagógica y sala de maestros con dos unidades cada una.

La corriente eléctrica está dada por la siguiente ecuación:

$$I = \frac{P}{V}$$

Donde:

I = corriente (amperios)

P = potencia (watts)

V = voltaje (voltios)

Calculando el circuito F de iluminación:

El circuito F cuenta con 10 luminarias 2x18 watts, las cuales consumirán 360 watts de potencia:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{360 \text{ watt}}{120 \text{ V}} = 3 \text{ Amperios}$$

Calculando el circuito D de fuerza:

El circuito D cuenta con 10 tomacorrientes que tienen un consumo promedio de 240 watts cada uno, los cuales consumirán 2 400 watts de potencia.

$$I = \frac{P}{V} = \frac{2\,400\text{ watt}}{120\text{ V}} = 20\text{ Amperios}$$

Dada la corriente de cada circuito y basado en la tabla siguiente, se procede a seleccionar el tipo de conductor y flipon que se adapte a cada circuito.

Tabla XLIV. **Capacidad y características de conductores AWG**

Designación	Área nominal de la sección transversal	Capacidad de conducción de corriente (Amperes)		
AWG / kcmil	mm ²	60 C	75 C	90 C
14	2 082	15	20	25
12	3 307	20	25	30
10	5 260	30	35	40
8	8 367	40	50	55

Fuente: elaboración propia.

Tanto para iluminación como para fuerza se utilizará un conductor eléctrico AWG calibre 12. Para iluminación se utilizarán flipones independientes 1x15A para cada uno de los circuitos y para fuerza se utilizará flipones independientes 1x20A para cada uno de los circuitos. Toda la tubería eléctrica será de PVC de diámetro ¾".

2.1.4.10. Instalaciones hidráulicas

Las instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios son aquellas que se componen de tuberías y accesorios cuyo fin es la distribución del suministro de agua potable, como también el drenaje de aguas con desechos y, por otra parte, aguas de lluvia.

Para el suministro de agua potable es necesario considerar ciertos factores como la dotación y la presión necesaria para satisfacer las necesidades de los usuarios dentro de las instalaciones.

El diseño del agua potable se realizará mediante circuitos cerrados, los cuales serán subramales alimentados por un ramal principal. Los artefactos que se incluirán en las instalaciones son los siguientes:

- Lavamanos / lavatrastos con tubería de $\frac{1}{2}$ "
- Inodoros con tanques, tubería de $\frac{1}{2}$ "
- Urinales con tubería de $\frac{1}{2}$ "
- Cálculo de la línea principal de abastecimiento mediante Método de Hunter.

El consumo de agua está directamente relacionado con la cantidad de usuarios y el número de artefactos sanitarios a instalar. Para ello es necesario determinar el consumo total que tendrán los artefactos. A continuación, se enuncian criterios dictados en el Manual de criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos oficiales, del Ministerio de Educación:

- Toda tubería de agua potable debe colocarse apartada de la tubería de drenaje.
- Nunca se colocará tubería dentro de una estructura vertical u horizontal.
- La dotación de agua no debe ser menor a 50 litros por educando, por día y por jornada.

La edificación contará con dos lavamanos, tres inodoros, un urinal y un lavatrastos. Para cada artefacto es necesario determinar las unidades de gasto, para lo cual se hará uso de la siguiente tabla:

Tabla XLV. **Unidades de gasto para el cálculo de tuberías de distribución**

Pieza	Tipo	Unidades de gasto		
		Total	Agua fría	Agua caliente
Tina		4	3	3
Lavadero de Ropa		8	4.50	4.50
Ducha		4	3	3
Inodoro	Con tanque	5	5	---
Inodoro	Con válvula semiautomática	8	8	---
Lavadero	Cocina hotel, restaurante	4	3	3
Lavadero	Repostería	3	2	2
Bebedero	Simple	1	1	---
Bebedero	Múltiple	1*	1*	---
Lavatorio	Corriente	2	1.50	1.50
Lavatorio	Múltiple	2*	1.50	1.50
Botadero		3	2	2
Urinario	Con tanque	3	3	---
Urinario	Con válvula semiautomática	5	5	---

Fuente: RODRÍGUEZ, Luis Carlos. *Guía para instalaciones sanitarias en edificios*. p. 48.

La cantidad de unidades de gasto será la siguiente:

2 lavamanos x 2 UH = 4

3 inodoros con tanque x 5 UH = 15

1 urinal x 5 UH = 5

1 lavatrastos x 4 UH = 4

En total la edificación cuenta con 28 UH, se concluye con base en la siguiente tabla que el gasto probable será de $Q = 2,22$ l/seg. (0,71 l/s artefactos con tanque + 1,51 l/s artefactos con válvula).

Tabla XLVI. **Gastos probables para la aplicación del método de Hunter (lt/seg)**

No. de	Gasto	
	Tanque	Válvula
3	0.12	---
4	0.16	---
5	0.23	0.91
6	0.25	0.94
7	0.28	0.97
8	0.29	1.00
9	0.32	1.03
10	0.34	1.06
12	0.38	1.12
14	0.42	1.17
16	0.46	1.22
18	0.50	1.27
20	0.54	1.33
22	0.58	1.37
24	0.61	1.42
26	0.67	1.45
28	0.71	1.51
30	0.75	1.55
32	0.79	1.59
34	0.82	1.63
36	0.85	1.67
38	0.88	1.70

Fuente: RODRÍGUEZ, Luis Carlos. *Guía para instalaciones sanitarias en edificios*. p. 50.

Para determinar el diámetro del ramal principal se hará uso de la ecuación de Hazen y Williams, a través de la siguiente expresión:

$$D = \sqrt[4,87]{\frac{1\,743,811 * L * Q^{1,85}}{C^{1,85} * hf}}$$

Donde:

D = diámetro de la tubería (pulg.).

L = longitud de la tubería (m).

Q = caudal (l/s).

C = constante de Hazen y Williams para cada material

hf = pérdida por fricción interna (m)

Para tubería de PVC la constante C es igual a 150:

$$D = \sqrt[4,87]{\frac{1\,743,811 * 25 * (2,22)^{1,85}}{150^{1,85} * 0.6}} = 2''$$

Dados los resultados el ramal principal será de tubería PVC de 2" de diámetro y los sub-ramales de tubería PVC de 1/2" de diámetro.

- Drenajes: el drenaje de la edificación debe ser capaz de evacuar eficientemente las aguas negras.

La instalación está conformada por tubería PVC, cajas de unión y cajas de registro. Las instalaciones deben ser capaces de evacuar

rápidamente las aguas negras, además de impedir el paso del aire, olores y organismos patógenos.

Según la guía para instalaciones sanitarias en edificios, se debe utilizar tubería de 3" de diámetro para evacuar aguas negras de inodoros, tubería de 2" de diámetro para lavamanos y lavatrastos, tubería de 2" diámetro para urinales.

Se procede a calcular el número de unidades de descarga (UM) de los artefactos:

$$5 \text{ inodoros} \times 4\text{UM} = 20$$

$$2 \text{ lavamanos} \times 1 \text{ UM} = 2$$

$$1 \text{ lavatrastos} \times 3 \text{ UM} = 3$$

$$1 \text{ urinal} \times 2 \text{ UM} = 2$$

$$\text{Total} = 27$$

De acuerdo con los resultados anteriores, el diámetro de tubería para el colector será de 3 pulgadas.

- Drenaje pluvial

El objetivo del drenaje pluvial es evacuar las aguas que provienen de la precipitación, es necesario un tubo con diámetro de 2 ½" por cada 60 metros cuadrados, ya que se tienen aproximadamente 200 metros cuadrados se instalaran 6 tubos de 2 ½" pulgadas de diámetro debidamente distribuidos para evitar problemas con las pendientes en los pañuelos de la losa.

2.1.4.11. Planos constructivos

- Planta amueblada
- Planta acotada
- Planta de acabados
- Planta de cimentación y columnas
- Planta de losa prefabricada y detalles estructurales.
- Planta de instalaciones hidráulicas, drenajes y pluviales
- Planta de instalaciones eléctricas (iluminación)
- Planta de instalaciones eléctricas (fuerza)
- Cortes y secciones

2.1.4.12. Presupuesto

El presupuesto está integrado por los costos directos e indirectos de una obra. Dentro de los costos directos están materiales de construcción, mano de obra, maquinaria y equipo, y fletes. Los costos indirectos se representan mediante un porcentaje de los costos directos, este porcentaje se calcula con base en los impuestos, utilidad, gastos administrativos e imprevistos.

El porcentaje de costos indirectos se consideró en 42 %, el precio de materiales y mano de obra se aplicó a partir de los precios que ofrecen las empresas nacionales distribuidores de materiales que se ubican en el municipio o municipios cercanos.

**Tabla XLVII. Presupuesto de la edificación escolar de dos niveles para
lotificación Quintas Hercilias**

PRESUPUESTO DE LA EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA LOTIFICACIÓN QUINTAS HERCILIAS					
REGLONES DE TRABAJO					
No.	REGLON	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	PRELIMINARES	299.00	M2	Q 58.54	Q 17,502.92
2	ZAPATAS Z-1	12.00	UNIDAD	Q 10,685.15	Q 128,221.74
3	CIMIENTO CORRIDO CC-1	80.00	ML	Q 396.11	Q 31,688.72
4	SOLERA S1	222.00	ML	Q 287.89	Q 63,911.36
5	COLUMNAS C-A	90.00	ML	Q 1,432.34	Q 128,910.44
6	COLUMNAS C-2	375.00	ML	Q 316.07	Q 118,527.40
7	COLUMNAS C-3	27.00	ML	Q 226.20	Q 6,107.42
8	LEVANTADO DE MUROS TABIQUE	204.00	M2	Q 216.48	Q 44,162.00
9	VIGAS V-1	43.50	ML	Q 1,015.22	Q 44,162.00
10	VIGAS V-2	43.50	ML	Q 1,090.95	Q 47,456.40
11	VIGAS V-3	56.40	ML	Q 1,106.97	Q 62,433.14
12	VIGAS V-4	56.40	ML	Q 1,117.14	Q 63,006.82
13	ESTRUCTURA DE LOSA DE ENTREPISO	202.00	M2	Q 729.61	Q 147,381.09
13	ESTRUCTURA DE LOSA DE TECHO	202.00	M2	Q 716.71	Q 144,775.39
14	INSTALACION ELECTRICA (ILUMINACION Y FUERZA)	66.00	UNIDAD	Q 785.82	Q 51,864.08
15	INSTALACION DE DRENAJE	1.00	GLOBAL	Q 19,630.08	Q 19,630.08
16	INSTALACION HIDRAULICA	1.00	GLOBAL	Q 7,954.84	Q 7,954.84
17	COLOCACION PISO GRANITO	500.00	M2	Q 175.73	Q 87,862.50
18	VENTANAS (aluminio + vidrio)	71.00	M2	Q 745.50	Q 52,930.50
19	PUERTAS P-1 (metal)	5.00	UNIDAD	Q 2,804.50	Q 14,022.50
20	PUERTAS P-2 (metal)	4.00	UNIDAD	Q 2,662.50	Q 10,650.00
21	PUERTAS P-3 (metal)	2.00	UNIDAD	Q 2,378.50	Q 4,757.00
22	PUERTAS P-4 (metal)	1.00	UNIDAD	Q 2,307.50	Q 2,307.50
23	BARANDA DE METAL	26.00	M2	Q 235.94	Q 6,134.40
24	GRADAS	1.00	GLOBAL	Q 11,942.20	Q 11,942.20
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION INSTITUTO					Q 1,318,302.44

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

2.1.4.13. Evaluación de impacto ambiental inicial

A continuación, se presenta la evaluación de impacto ambiental inicial.

Tabla XLVIII. Evaluación de impacto ambiental y su mitigación

Construcción de la edificación escolar de dos niveles para la lotificación Quintas Hercilias				
Medio	Aspecto ambiental	Impacto ambiental	Causa	Medida de mitigación
Físico biológico	Polvo	Provocara molestias a los vecinos debido a las partículas finas de polvo en el aire	Excavaciones, corte y movimiento de los materiales	Cerco provisional de cerramiento
	Contaminación auditiva	Provocara molestias a los vecinos al intentar llevar a cabo sus actividades con normalidad	Uso de maquinaria y herramientas durante la ejecución del proyecto	Manipulación adecuada de la maquinaria y herramienta, horario restringido para su utilización
	Desechos sólidos	Se producirá desperdicios, los cuales mediante un mal manejo pueden llegar a ser perjudiciales	Sobranse de materiales cortopunzantes, ripio en general	Traslado hacia botadero autorizado, acumular sobranse en áreas alejadas de la zona de circulación en obra

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

2.2. Diseño del sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos para la cabecera municipal de San Gabriel, Suchitepéquez

A continuación, se describe del diseño del sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos para la cabecera municipal de San Gabriel, Suchitepéquez.

2.2.1. Descripción del proyecto

El proyecto consiste en el diseño del sistema de recolección y tratamiento de desechos sólidos para la cabecera municipal de San Gabriel, Suchitepéquez, para lo cual se llevará a cabo el diseño de una planta que cuente con ambientes de separación, tratamiento y almacenaje. Estos ambientes se destinarán según sea necesario, con base en los resultados que se obtengan de un muestro realizado en el municipio de San Gabriel, el cual permita conocer cantidades, volúmenes y peso de los distintos desechos que son producidos en el municipio.

2.2.2. Generalización de los desechos sólidos

Todo habitante del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez, contribuye a la producción de desechos sólidos. Estos deben de ser trasladados, procesados y almacenados de forma adecuada, con el fin de que no se produzca contaminación en el ambiente. De esta forma se reduce la probabilidad de propagación de enfermedades.

2.2.2.1. Definición de los desechos sólidos

Los desechos sólidos son todos aquellos materiales de uso descartable, basura o desperdicio, de consistencia solida que carece de valor y, por lo tanto, se convierte en indeseable para el poseedor.

2.2.2.2. Producción de los desechos sólidos

Según la Guía práctica para la formulación de planes municipales para la gestión integral de residuos y desechos sólidos, se estima que Guatemala

genera en promedio 0,519 kilogramos por habitante al día de residuos y desechos sólidos domiciliarios en áreas urbanas.

Sin embargo, para las áreas rurales esto puede variar, por lo que es necesario realizar un muestreo en la zona de interés y determinar las cantidades y porcentajes que se producen. En la mayoría de los municipios no existe una clasificación para estos desechos, únicamente se busca provecho de los residuos que presentan algún valor en el mercado.

2.2.2.3. Tipos y fuentes de producción de desechos sólidos

Los desechos y residuos sólidos se dividen en los siguientes tipos:

- Materia orgánica
- Pañal y papel sanitario
- Plástico
- Papel y cartón
- Vidrio
- Residuos peligrosos
- Latas

Los desechos y residuos sólidos se encuentran en las distintas fuentes de producción:

- Doméstico
- Comercial
- Institucional
- Agrícola

Es importante conocer las distintas fuentes donde tiene origen la producción de desechos sólidos, porque esto permite tener una idea del tipo de desecho que se encontrará en el municipio.

2.2.3. Disposición actual de los desechos sólidos en el casco urbano del municipio de San Gabriel

Actualmente, el municipio de San Gabriel no cuenta con una planta de tratamiento de desechos sólidos, únicamente con un basurero municipal en el cual se deposita toda la basura. De esta forma no es posible dar un correcto tratamiento y se produce contaminación, lo cual deja propensa a la población de contraer enfermedades. Gran parte de los desechos sólidos que son botados en el basurero del municipio son quemados y otros terminan en el río.

2.2.4. Caracterización de los desechos sólidos producidos en el municipio

Para la correcta caracterización de los desechos sólidos producidos en el municipio de San Gabriel se realizará un muestreo, y de esta forma se conocerán datos de interés que permitan propiciar espacios adecuados para un correcto tratamiento.

2.2.4.1. Muestreo de la producción de los desechos sólidos

Para realizar el muestreo de la producción de los desechos sólidos, se tomó en cuenta la población del municipio de San Gabriel, obtenida de los resultados del censo de población y vivienda del año 2018, realizado por el Instituto Nacional de Estadística Guatemala. Este indica que la población del

municipio al año 2018 es de 7 383 habitantes y, en promedio, 4,31 habitantes por hogar.

Para el cálculo del número de muestras se utilizará la siguiente ecuación:

$$n = \frac{N}{(0,05^2 * (N - 1) + 1)}$$

Donde:

n= número de habitantes a realizar muestro

N= tamaño de población total

Para este caso N será la población total del municipio de San Gabriel (7 383 habitantes).

$$n = \frac{7\ 383}{(0,05^2 * (7\ 383 - 1) + 1)} \cong 380 \text{ habitantes}$$

Debido a que el muestreo no puede ser por habitantes se procede a calcular el número de hogares:

$$nh = \frac{n}{hph}$$

Donde:

nh = número de hogares a realizar muestreo

n = número de habitantes a realizar muestreo

$$nh = \frac{380 \text{ habitantes}}{431 \text{ habitantes/hogar}} \cong 80 \text{ hogares}$$

Dados los resultados se analizaron 80 hogares en 4 días en el municipio de San Gabriel, con el fin de conocer qué desechos y residuos sólidos se producen. Para dicho muestreo se utilizó equipo de protección como guantes y mascarilla. El procedimiento consistió en la apertura de las bolsas de basura para luego realizar un proceso separativo, en el cual se clasificó según los tipos de desechos y residuos sólidos que se mencionan en la sección 2.2.2.3. Tipos y fuentes de producción de desechos sólidos. Para esta clasificación se introdujeron los desechos ya clasificados según tipo en bolsas plásticas con capacidad de 30 galones para pesarlas y determinar el volumen de cada una de ellas.

2.2.4.2. Análisis y determinación de los porcentajes, volumen y peso de los desechos sólidos producidos en el municipio

Del muestreo realizado se clasificaron los desechos según su tipo y se efectuaron pesajes y medición de volúmenes, con el fin de saber qué porcentaje representa cada uno de los desechos sólidos que se producen y qué necesidades se afrontan para su tratamiento.

Tabla XLIX. **Peso de 4 días de los desechos sólidos**

Peso de 4 días de los desechos sólidos	
Tipo	Cantidad (kg)
Orgánico	350
Papel sanitario y pañal	85
Plástico	60
Papel y cartón	40
Vidrio	10
Residuos peligrosos	5
Latas	5
Otros	80
Total	635

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla L. **Volumen de los desechos sólidos recolectados durante 4 días**

Volumen de los desechos sólidos recolectados durante 4 días	
Tipo	Cantidad (m3)
Orgánico	0,60
Papel sanitario y pañal	0,40
Plástico	0,40
Papel y cartón	0,30
Vidrio	0,05
Residuos peligrosos	0,01
Latas	0,05
Otros	0,20
Total	2,01

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Con los datos obtenidos del muestreo se procede a encontrar el peso volumétrico y el porcentaje que cada uno de estos desechos representa. Para ello se usará las siguientes ecuaciones:

$$\rho_{desecho} = \frac{\text{Peso obtenido del muestreo}}{\text{Volumen obtenido del muestreo}}$$

$$\% = \frac{\text{Peso obtenido del muestreo}}{\text{Sumatoria de los pesos}} * 100$$

Peso volumétrico de los desechos:

$$\rho_{\text{organico}} = \frac{350 \text{ kg}}{0,6 \text{ m}^3} = 583,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{Papel y pañal}} = \frac{85 \text{ kg}}{0,4 \text{ m}^3} = 212,50 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{plastico}} = \frac{60 \text{ kg}}{0,4 \text{ m}^3} = 150,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{papel y carton}} = \frac{40 \text{ kg}}{0,3 \text{ m}^3} = 133,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{vidrio}} = \frac{10 \text{ kg}}{0,05 \text{ m}^3} = 200,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{residuo peligroso}} = \frac{5 \text{ kg}}{0,01 \text{ m}^3} = 500,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{latas}} = \frac{5 \text{ kg}}{0,05 \text{ m}^3} = 100,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{\text{otros}} = \frac{80 \text{ kg}}{0,2 \text{ m}^3} = 400,00 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Porcentaje de los desechos sólidos:

$$\% \text{ Orgánico} = \frac{350 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 55,12 \%$$

$$\% \text{ Papel sanitario y pañal} = \frac{85 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 13,39 \%$$

$$\% \text{ Plástico} = \frac{60 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 9,45 \%$$

$$\% \text{ Papel y cartón} = \frac{40 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 6,30 \%$$

$$\% \text{ Vidrio} = \frac{10 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 1,57 \%$$

$$\% \text{ Residuos peligrosos} = \frac{5 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 0,79 \%$$

$$\% \text{ Latas} = \frac{5 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 0,79 \%$$

$$\% \text{ Otros} = \frac{80 \text{ kg}}{635 \text{ kg}} * 100 = 12,60 \%$$

Tabla LI. **Peso volumétrico de los desechos sólidos**

Peso volumétrico de los desechos sólidos	
Tipo	ρ (kg/m ³)
Orgánico	583,33
Papel sanitario y pañal	212,50
Plástico	150,00
Papel y cartón	133,33
Vidrio	200,00
Residuos peligrosos	500,00
Latas	100,00
Otros	400,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Tabla LII. **Porcentajes de los desechos sólidos según tipo**

Porcentajes de los desechos sólidos según tipo	
Tipo	Porcentaje (%)
Orgánico	55,12
Papel sanitario y pañal	13,39
Plástico	9,45
Papel y cartón	6,30
Vidrio	1,57
Residuos peligrosos	0,79
Latas	0,79
Otros	12,60
Total	100,00

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

2.2.4.3. Propiedades de los desechos sólidos y determinación del grado de aprovechamiento

Dados los resultados del muestreo de los desechos sólidos del municipio de San Gabriel, se estima que el 73 % representa la materia orgánica, la cual está compuesta por restos de comida, de jardinería y otros materiales fermentables; plástico, el cual está compuesto por botellas y envases tipo PET y rígidos; papel y cartón, los cuales abarcan los periódicos, hojas de papel y cajas; vidrio, compuesto por envases de alimentos y botellas; y latas de envases de alimentos. Tienen valor de aprovechamiento, ya que se pueden reciclar, tratar y vender, para obtener así un beneficio de los desechos sólidos.

El 27 % restante resultante del papel de baño y pañal; residuos peligrosos tales como combustibles, aceites y restos de equipo médico; y otros constituidos por textiles, metales, madera y cenizas, que no tienen grado de aprovechamiento, lo cual limita las opciones para su tratamiento.

2.2.4.4. Análisis de resultados de la caracterización

Como resultado de la caracterización se puede inferir que la mayoría de los desechos sólidos que se producen en el municipio se pueden reciclar o tratar para darle un nuevo uso, lo cual es de gran beneficio. Por otra parte, los desechos que no se pueden reciclar para un nuevo uso deberán ser tratados con procedimientos especiales que permitan destrucción sin generar contaminación.

2.2.4.5. Producción per cápita de los desechos sólidos

La producción per cápita de los desechos sólidos se refiere a la producción por habitante, que para este caso está dada en kilogramos por habitante por cada día. Para ello es necesario relacionar la cantidad de desechos que se producen con la cantidad de habitantes de un lugar. Se tomará en cuenta los datos obtenidos del muestreo de desechos sólidos del municipio de San Gabriel y la cantidad de habitantes a la cual se realizó dicho muestreo.

El cálculo de la producción per cápita se realizará utilizando la siguiente ecuación:

$$PPC = \frac{W_t}{Pob_t * 4 \text{ días}}$$

Donde:

W_t = Peso total de la muestra de 4 días

Pob_t = Población muestra

$$PPC = \frac{641 \text{ kg}}{380 \text{ habitantes} * 4 \text{ día}} = 0,42 \frac{\text{kg}}{\text{hab} - \text{día}}$$

2.2.4.6. Propuesta para el manejo de los desechos sólidos

Los desechos sólidos se caracterizan por ser de tipo municipal; es decir, que provienen de la generación domiciliar, comercial e institucional, además del

barrido de calles. Para su manejo se propone una gestión municipal en la cual se consideran aspectos técnicos, sociales, económicos y ambientales.

Se propone una serie de actividades, las cuales se enumeran a continuación:

- Generación de desechos sólidos
- Almacenamiento
- Recolección y transporte
- Separación
- Tratamiento y disposición final

Esta serie de actividades tienen como fin la reducción de impactos al medio ambiente, los cuales son los malos olores que se generan por la descomposición; el impacto visual dado por una mala disposición final y el impacto ambiental en general, el cual puede dañar la flora y la fauna del lugar.

2.2.4.7. Periodo de diseño

El periodo de diseño en una obra es el número de años durante los cuales una obra debe prestar el servicio para el cual fue diseñada. En este periodo la obra tendrá un 100 % de efectividad. Para este proyecto se consideró un periodo de diseño de 20 años y, adicionalmente, 2 años en los cuales se considera se realicen todos los trámites administrativos, además de la construcción de la obra.

2.2.4.8. Población futura

Para el cálculo de población futura se utilizará el periodo de diseño, el cual se consideró de 20 años. Además, se utilizarán datos estadísticos obtenidos del Instituto Nacional de Estadística, cuyos datos reflejan los resultados del censo del año 2018.

$$P_t = P_0(1 + r)^T$$

Donde:

Po = población al inicio del periodo

Pt = población al final del periodo

T = tiempo en años, entre Po y Pt

r = índice de crecimiento poblacional

Según el Instituto Nacional de Estadística, la población del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez en 2018, es de 7 383 habitantes, con un índice de crecimiento poblacional de 2,3 %. Este es el dato más reciente.

Por lo tanto, se procede a realizar el cálculo de la población futura:

$$P_t = 7\,383(1 + 0,023)^{22} \cong 12\,176 \text{ habitantes}$$

El diseño de la obra se realizará para una población de 12 176 habitantes y deberá conservar el total de su efectividad hasta el año 2040.

2.2.4.9. Evaluación del método o forma de recolección y propuesta del tren de aseo

Para la selección del método o forma de recolección es necesario considerar ciertos aspectos tales como:

- Cantidad y tipo de equipo
- Numero de tripulantes
- Frecuencia de recolección
- Distancia
- Trafico en ruta
- Condiciones de los caminos
- Horario de recolección

Para la recolección se utilizará un vehículo motorizado con capacidad de 12 metros cúbicos, con una tripulación de 4 personas. La frecuencia de recolección será de dos veces por semana. Debido a que el municipio tiene una extensión territorial pequeña, la distancia máxima a recorrer es de 3 kilómetros. Para evitar el tráfico en la ruta se utilizará el horario 6 de la mañana. Finalmente, la ruta quedará trazada por caminos pavimentados para evitar problemas en el vehículo transportador.

Para el tren de aseo se fijarán las esquinas como punto de recolección, para la cual el usuario deberá participar. La ruta será simple, con trazos rectos en su mayoría, y deberá ser óptima para reducir los costos del consumo de combustible del vehículo y reducir el tiempo en el cual se llevará a cabo todo el proceso.

2.2.5. Diseño de la planta para la selección y separación de los desechos sólidos

A continuación, se describe el diseño de la planta para la selección y separación de los desechos sólidos.

2.2.5.1. Diseño arquitectónico de la planta

El diseño arquitectónico consiste en la distribución de espacios destinados para cada una de las actividades por desarrollar, así como brindar confort al usuario. Para este proyecto se destinaron áreas para cada una de las actividades, entre las cuales se encuentran:

- Garita
- Cuarto de control y baño
- Zona de recepción
- Zona de clasificación
- Zona de captación
- Zona de almacenamiento
- Zona de tratamiento

2.2.5.2. Generalidades de la planta y requerimiento de espacios

Los espacios de cada área dentro de la planta serán calculados con base en los volúmenes necesarios para almacenar cada uno de los desechos. Para ello se utilizará la producción per cápita de desechos en el municipio y se hará una proyección respecto a la población futura dada por el periodo de diseño de la planta y la acumulación de estos durante 4 días, debido a la frecuencia de recolección.

Para el cálculo de áreas necesarias para el almacenamiento de cada uno de los desechos, según su clasificación se utilizarán los volúmenes acumulados durante cuatro días para la población futura, obtenida mediante el período de diseño. Ya que se conocen los volúmenes se asumirá una altura de 0,8 metros para el almacenamiento y, de esta forma, se obtendrá el área necesaria para cada desecho. Posteriormente se realizará una distribución dentro de la planta arquitectónica que cumpla con criterios técnicos y estéticos.

Para obtener los volúmenes de desechos se hará uso de la siguiente ecuación:

$$V_{4\text{días}} = \frac{PPC * P_t * \%_{\text{desecho}} * 4}{\rho_{\text{desecho}}}$$

Donde:

PPC = producción per cápita

P_t = población total

$\%_{\text{desecho}}$ = porcentaje del desecho sólido de interés

ρ_{desecho} = peso volumétrico del desecho sólido de interés

$$V_{\text{organico}} = \frac{0,42 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{día}} * 12\ 176\ \text{hab} * 55,12\% * 4\ \text{día}}{583,33\ \text{kg/m}^3} = 19,22\ \text{m}^3$$

$$V_{\text{papel y pañal}} = \frac{0,42 \frac{\text{kg}}{\text{hab} * \text{día}} * 12\ 176\ \text{hab} * 13,39\% * 4\ \text{día}}{212,50\ \text{kg/m}^3} = 12,82\ \text{m}^3$$

$$V_{plastico} = \frac{0,42 \frac{kg}{hab * día} * 12\ 176\ hab * 9,45\% * 4\ día}{150\ kg/m^3} = 12,82\ m^3$$

$$V_{papel\ y\ carton} = \frac{0,42 \frac{kg}{hab * día} * 12\ 176\ hab * 6,30\% * 4\ día}{133,33\ kg/m^3} = 9,62\ m^3$$

$$V_{vidrio} = \frac{0,42 \frac{kg}{hab * día} * 12\ 176\ hab * 1,57\% * 4\ día}{200\ kg/m^3} = 1,60\ m^3$$

$$V_{residuos\ peligrosos} = \frac{0,42 \frac{kg}{hab * día} * 12\ 176\ hab * 0,79\% * 4\ día}{500\ kg/m^3} = 0,32\ m^3$$

$$V_{latas} = \frac{0,42 \frac{kg}{hab * día} * 12\ 176\ hab * 0,79\% * 4\ día}{100\ kg/m^3} = 1,60\ m^3$$

$$V_{otros} = \frac{0,42 \frac{kg}{hab * día} * 12\ 176\ hab * 12,60\% * 4\ día}{400\ kg/m^3} = 6,41\ m^3$$

Con los volúmenes obtenidos procedentes de la recolección en el municipio de los desechos generados durante 4 días, se procede a calcular las áreas requeridas dentro de la planta. Para ello se asumirá una altura de 0,80 m y se utilizará la siguiente ecuación:

$$A_{desecho} = \frac{V_{4días}}{0,80\ m}$$

$$A_{organico} = \frac{19,22\ m^3}{0,80\ m} = 24,03\ m^2$$

$$A_{papel\ y\ pañal} = \frac{12,82\ m^3}{0,80\ m} = 16,02\ m^2$$

$$A_{plastico} = \frac{12,82\ m^3}{0,80\ m} = 16,02\ m^2$$

$$A_{papel\ y\ carton} = \frac{9,62\ m^3}{0,80\ m} = 12,01\ m^2$$

$$A_{vidrio} = \frac{1,60\ m^3}{0,80\ m} = 2,00\ m^2$$

$$A_{residuos\ peligrosos} = \frac{0,32\ m^3}{0,80\ m} = 0,40\ m^2$$

$$A_{latas} = \frac{1,60\ m^3}{0,80\ m} = 2,00\ m^2$$

$$A_{otros} = \frac{6,41\ m^3}{0,80\ m} = 8,01\ m^2$$

Tabla LIII. **Volúmenes y áreas requeridas para almacenamiento de los desechos sólidos según su clasificación**

Volúmenes y áreas requeridas para almacenamiento		
Tipo	V (m ³)	Área (m ²)
Orgánico	19,23	24,03
Papel sanitario y pañal	12,82	16,02
Plástico	12,82	16,02
Papel y cartón	9,61	12,02
Vidrio	1,60	2,00
Residuos peligrosos	0,32	0,40
Latas	1,60	2,00
Otros	6,41	8,01

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel 365.

2.2.5.3. Ubicación geográfica de la planta

La ubicación geográfica de la planta es dentro del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez; y las coordenadas son las siguientes:

- Latitud 14,500270
- Longitud -91,504502

Figura 51. Ubicación geográfica de la planta



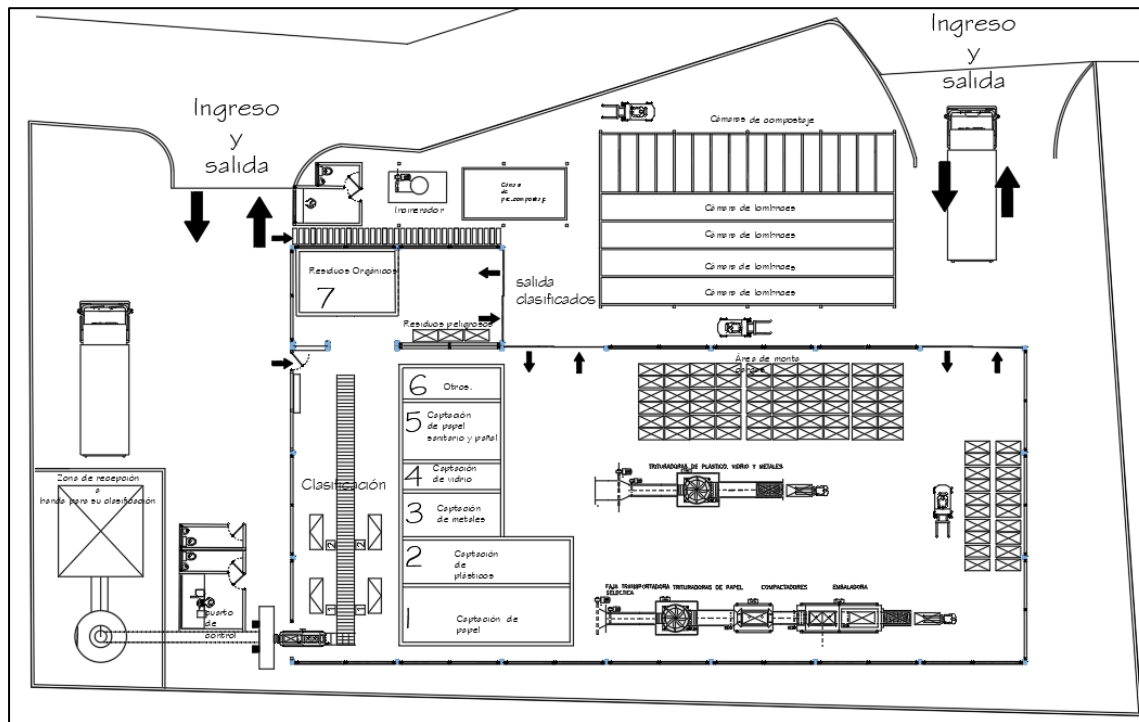
Fuente: elaboración propia, utilizando Google Earth Pro

2.2.5.4. Distribución de las áreas de trabajo

Con las áreas obtenidas, se realizó una distribución eficaz de las áreas de trabajo, las cuales satisfacen todas las zonas mencionadas en el capítulo 2.2.5.1 de este documento. La distribución satisface las necesidades de captación de los desechos sólidos y de la disposición final de cada uno.

La distribución de áreas se muestra en la siguiente figura:

Figura 52. Distribución de las áreas de trabajo



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

La distribución incluye las siguientes áreas:

- Zona de recepción
- Cuarto de control
- Garita
- Zona de clasificación
- Captación de papel
- Captación de plásticos
- Captación de metales

- Captación de vidrio
- Captación de papel sanitario y pañal
- Captación de residuos orgánicos
- Captación de residuos peligrosos
- Área de monta cargas
- Zona de incinerador
- Zona de compost

2.2.6. Levantamiento topográfico

A continuación, se describe el levantamiento de topografía.

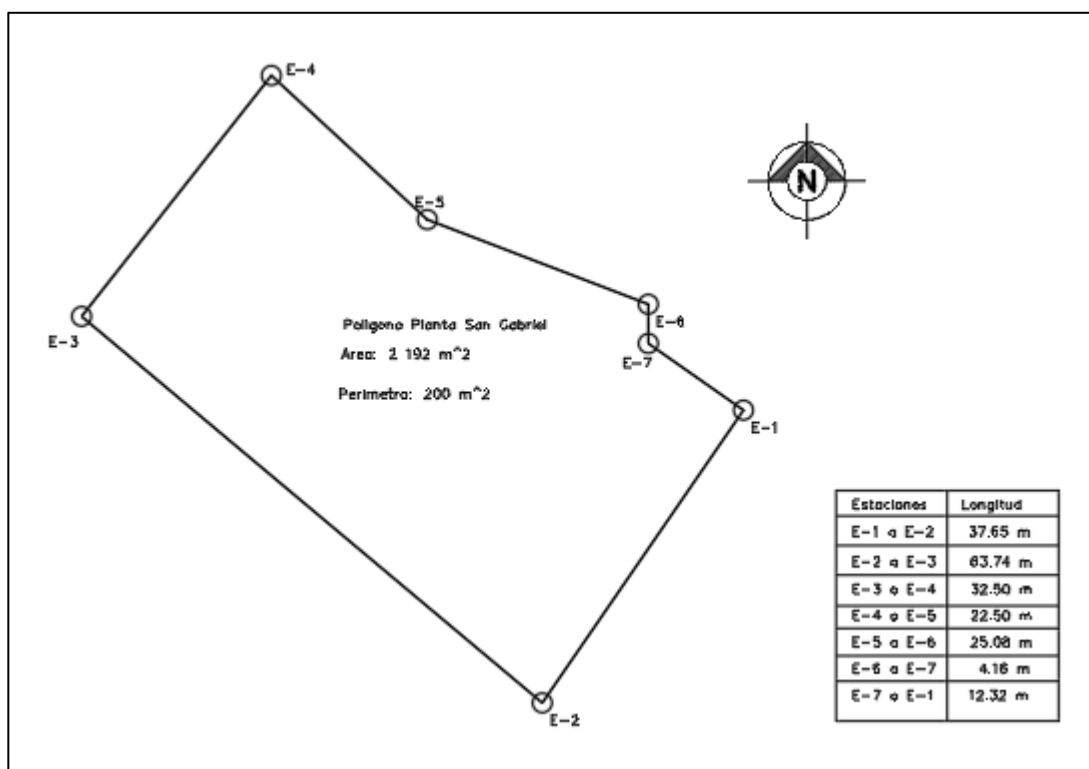
2.2.6.1. Topografía

La topografía tiene como objetivo representar gráficamente una superficie de interés. La representación incluye las condiciones de planimetría y altimetría. La topografía utiliza coordenadas tridimensionales para ubicar superficies dentro de un sistema cartesiano. Mediante procedimientos geométricos es posible extraer datos de interés tales como áreas y pendientes; además, en obras civiles instruye al conocimiento de límites y dimensiones.

2.2.6.2. Planimetría

La planimetría es la parte de la topografía que mediante procesos matemáticos representa a escala una superficie plana. Suele incluir todos los detalles de interés útiles para dar a conocer una proyección horizontal. En este proyecto se realizó planimetría de la cual se obtuvo un polígono, el cual se utilizó para disponer del área a trabajar para el diseño de la planta de tratamiento.

Figura 53. **Polígono planta de tratamiento**

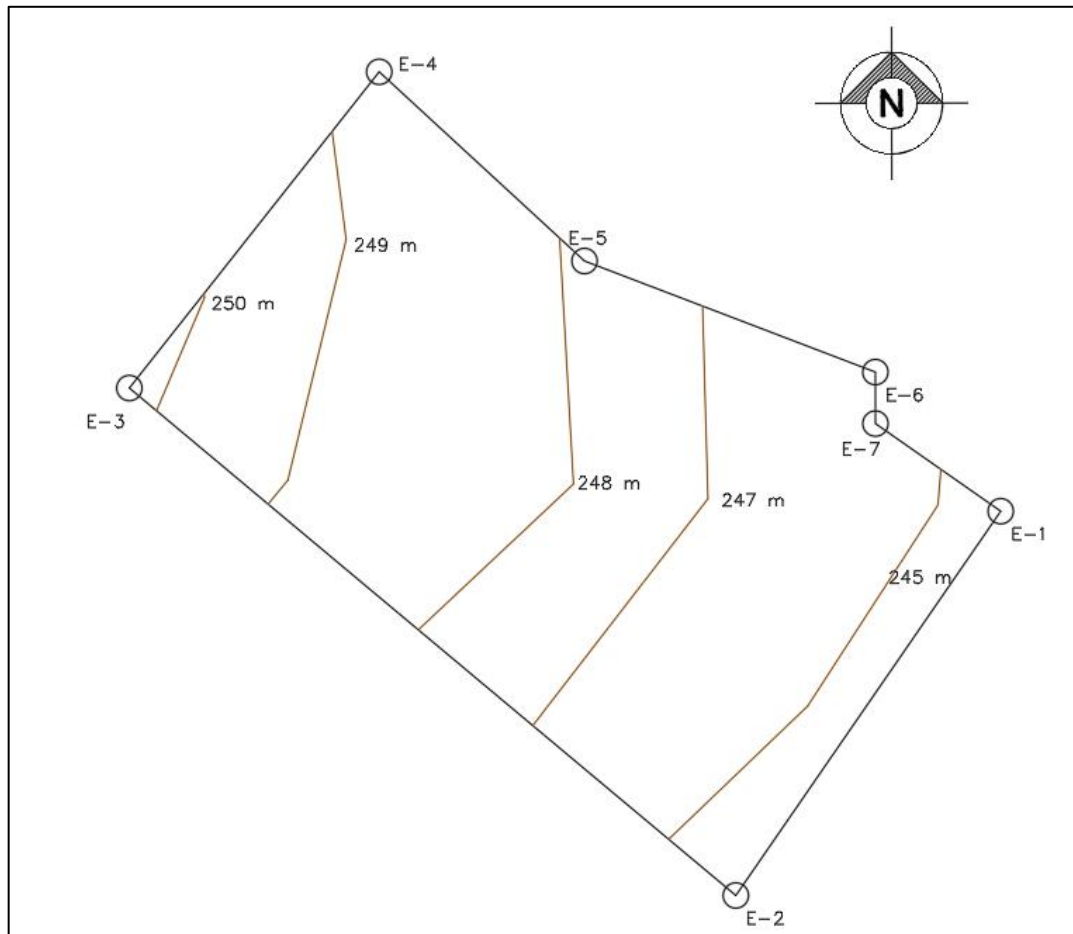


Fuente: Elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

2.2.6.3. Altimetría

La altimetría es la parte de la topografía que, mediante procesos matemáticos, representa a escala la elevación de una superficie. Suele incluir todos los detalles de interés útiles para dar a conocer una proyección vertical. En este proyecto se realizó altimetría de la cual se obtuvo curvas de nivel, las cuales se utilizaron para determinar la pendiente del terreno y analizar posibles cortes para nivelar el terreno.

Figura 54. **Curvas de nivel polígono planta de tratamiento**



Fuente: elaboración propia, utilizando AutoCAD 2020.

2.2.7. Estudio de suelos

El estudio de suelos es una serie de procedimientos mediante los cuales se obtienen características físicas y mecánicas que permiten analizar si es conveniente su uso para un fin determinado, o si es necesario modificar determinado suelo de manera controlada para mejorar sus características y que sea apropiado para el fin determinado.

Para este proyecto se utilizará el estudio de suelos realizado por la Municipalidad de San Gabriel, Suchitepéquez, el cual se detalla en los anexos. El ensayo realizado fue tipo triaxial.

2.2.7.1. Toma de muestra

La toma de muestra para un ensayo triaxial debe ser una muestra inalterada, es decir, la muestra debe extraerse sin alterar el estado natural en el cual se encuentra. Para que esto se cumpla deben permanecer intactas las propiedades del suelo: estructura, densidad, humedad, granulometría y plasticidad; el volumen de esta muestra es de 1 pie cúbico. La muestra debe extraerse al nivel al cual se planea utilizar el suelo.

2.2.7.2. Ensayo del suelo

El ensayo triaxial debe ser realizado bajo las normas ASTM 2850/87 y ASTM 4767/88. Consiste en una probeta cilíndrica con una relación de dos veces el diámetro, envuelta en una membrana de látex. La cámara del equipo se rellena con agua y se aplica presión hidrostática a la muestra, además de una carga vertical. Se aumentan sucesivamente las tensiones hasta que las deformaciones se vuelven inestables, lo que indica que se ha alcanzado la carga de rotura. El proceso debe repetirse en tres probetas, únicamente puede variar la presión hidrostática.

De este ensayo se obtienen los siguientes datos:

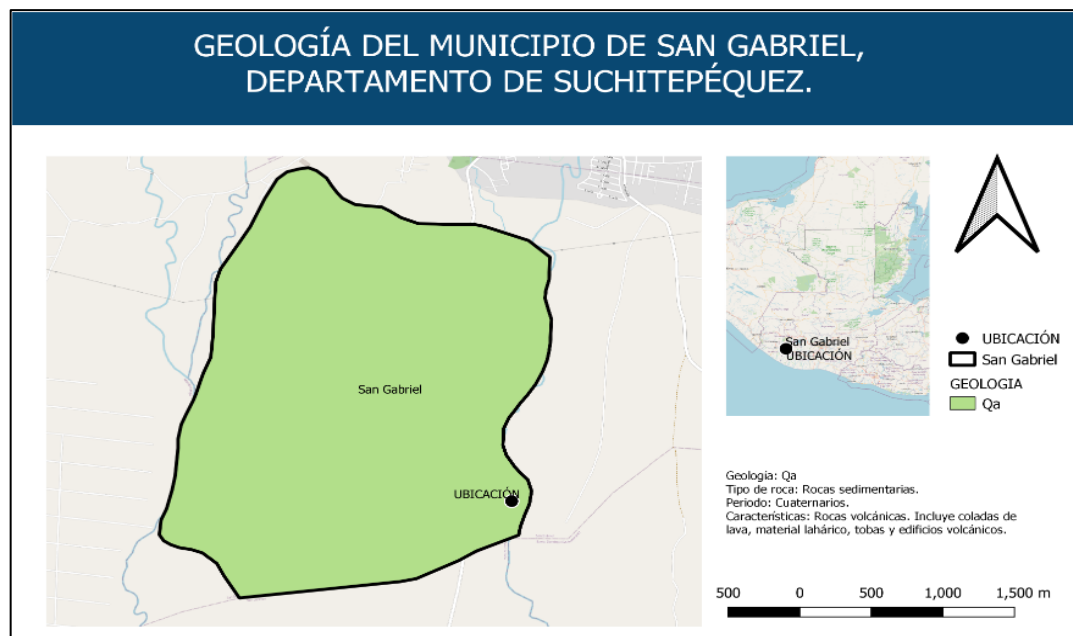
- Presión lateral
- Desviador en rotura
- Deformación en rotura

Con los datos obtenidos es posible graficar círculos de Mohr, y mediante el análisis de la gráfica se puede determinar valores como la cohesión y el ángulo de fricción interna.

2.2.7.3. Clasificación del suelo

Para clasificar el suelo se realizó un análisis mediante el software QGis, del cual se obtuvo un mapa de la geología del municipio de San Gabriel. El resultado de la geología del municipio indica que posee una clasificación Qa, con un tipo de roca sedimentaria perteneciente al periodo cuaternario.

Figura 55. **Mapa geológico del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez**



Fuente: elaboración propia, utilizando QGis 2020.

2.2.7.4. Descripción del suelo

Mediante la clasificación geológica del municipio se conoce que el suelo está conformado por rocas volcánicas, coladas de lava, material lahárico, tobas y edificios volcánicos. Esta zona se caracteriza por tener depósitos de suelo de tipo arcillas arenosas las cuales suelen ser suelos con alto contenido de partículas finas.

2.2.8. Selección del método de tratamiento de los desechos y residuos sólidos

Para la selección del método de tratamiento, es necesario recalcar que se realizarán tratamientos distintos para la materia orgánica y para cada una de las divisiones de la materia inorgánica. La disposición final de cada una deberá contribuir al beneficio del ambiente y de ser posible generar un ingreso económico a la planta con el fin de contribuir al gasto de operación de esta.

2.2.8.1. Diseño del método de tratamiento de desechos sólidos

El tratamiento de los desechos sólidos tiene como fin dar un uso adecuado de ellos y de esta manera erradicar la contaminación que estos pudiesen generar al darles un mal manejo. Se tendrá un tratamiento o disposición final específico para cada uno de los desechos según su clasificación.

Para iniciar el tratamiento de los desechos sólidos se utilizará un sistema de clasificación. El proceso da inicio una vez el vehículo motorizado destinado al tren de aseo llega a las instalaciones de la planta de tratamiento. El vehículo debe descargar los desechos en el área asignada para dicha operación;

posteriormente, todos los desechos se trasladan a una banda transportadora, la cual permite la circulación de los desechos por una línea de operaciones donde operadores tienen la tarea de separar y almacenar los desechos según su clasificación. Para ello, la planta de tratamiento contará con áreas de almacenamiento con capacidad para almacenar el volumen completo de los desechos que ingresen cada día en el cual se realice la recolección.

Para el tratamiento de los desechos orgánicos se utilizará el sistema de tratamiento de compostaje, el cual es un proceso de transformación biológica de los desechos. Tiene distintas alternativas según sea necesario. Para este caso en particular se utilizará compostaje normal y lombricompostaje.

El tratamiento principal en la planta será el de los desechos orgánicos, ya que del muestreo se obtuvo que más del 50 % de los desechos producidos en el municipio se compone de materia orgánica. Se utilizarán dos tipos de procesos, ya que el método de lombricompostaje no es eficaz con todo tipo de materia orgánica.

Del 100 % de materia orgánica que es captada para tratamiento solamente el 80 % puede ir al lombricompostaje y el 20 % restante deberá tener un compostaje normal. El compostaje normal deberá incluir materia orgánica de densidad alta con elementos como huesos y cáscara de huevo, ya que la lombriz no posee dientes, por lo que resulta imposible triturar.

Para el lombricompostaje se utilizará la lombriz roja californiana, la cual es capaz de ingerir grandes cantidades de materia orgánica previamente procesada; debido a esto es necesario un proceso de precompostaje mediante el cual se preparará la materia orgánica para posteriormente trasladarla a las cámaras de lombricompostaje. En el proceso de precompostaje se añadirán

microorganismos efectivos o eficaces que ayudarán a disminuir el tiempo de compostaje, mejorar la calidad del producto final, eliminar los malos olores y reducir la propagación de plagas de moscas. Los microorganismos permiten la producción de un excelente abono mediante un proceso de fermentación aeróbico natural, ya que aporta la liberación de sustancias benéficas.

Los microorganismos efectivos o eficaces consisten en la mezcla de tres grupos de microorganismos los cuales son: bacterias afototrópicas, bacterias ácido lácticas y levaduras; estos microorganismos están presentes en los ecosistemas naturales y son compatibles entre ellos sin necesidad de ser manipulados genéticamente.

El proceso de pre-compostaje durará 7 días en los cuales se deberá añadir microorganismos efectivos, además de proporcionar agua y dar movimiento a cada dos días, este proceso se realizará con el fin de controlar la humedad de la materia orgánica, la cual debe mantenerse en un rango del 45% al 70%. Pasados los 7 días de precompostaje se deberá transportar la materia orgánica a las cámaras de lombricompostaje.

Con la materia obtenida del precompostaje y ya almacenada en las cámaras de lombricompostaje, se deberá añadir la lombriz roja californiana. Debido al alto y ancho de la cámara se deberá añadir una cantidad de 300 lombrices por metro cuadrado. Como la población de lombriz se duplica cada 3 meses no será necesaria la compra de más lombriz al pasar el tiempo, sino solo una compra inicial y posteriormente beneficiarse de su propia producción. En la parte inferior, las cámaras de compostaje deberán tener una cama de paja, la cual ayudará a filtrar el lixiviado producido durante el proceso y a elevar la relación de carbono/nitrógeno en la cámara.

El proceso de lombricompostaje durará 21 días y consiste en agregar microorganismos eficientes al igual que en el precompostaje, dar movimiento a la materia cada 2 o 3 días y agregar agua. Para este proceso la humedad deberá estar entre el 80 % y 90 %, el pH deberá estar entre 5 y 9, y la relación de carbono/nitrógeno entre 30 a 40/1. Pasados los 21 días se deberá retirar la lombriz de la materia para luego ser empaquetada en costales para su venta. El lixiviado se deberá extraer periódicamente de la cámara.

Para el 20 % de materia orgánica que no es factible agregar al lombricompostaje se realizará el compostaje normal, el cual tiene un proceso menos elaborado ya que únicamente se deberá agregar agua y dar movimiento semanalmente, además de agregar microorganismos eficientes para mejorar su calidad. Pasados los 2 meses se podrá empaquetar para su venta.

Como tratamientos secundarios se tratará la disposición final del resto de materia que llega a la planta, la cual se divide en plásticos, vidrio, papel y cartón, latas, peligrosos y otros; para su tratamiento deberán ser separados y almacenados en el área correspondiente dentro de las instalaciones.

Para una mayor eficiencia en la disposición final de estos elementos se propone el uso de dos máquinas trituradoras, una específicamente para uso de papel y cartón; y otra para uso de plástico, vidrio y metales. Mediante el uso de estas máquinas la materia se podrá triturar y compactar para posteriormente ser vendida a las empresas recicladoras. En caso de no contar con los fondos suficientes para la compra de dicha maquinaria, el proceso se reduce a la compactación manual y al almacenamiento de dicho elemento para una venta posterior a un menor precio a las empresas recicladoras.

En el caso de los residuos peligrosos se propone el uso de un incinerador el cual, debido al manejo de altas temperaturas, es capaz de destruir las toxinas y reduce todo a cenizas. En el caso de que no se posean fondos para su compra únicamente deberán ser almacenados en estanterías en el área asignada dentro de las instalaciones y programar su recolección con empresas destinadas a ello, ya que el volumen es pequeño y su grado de aprovechamiento es nulo; lo cual implica que realizar un sistema de tratamiento sería excesivamente costoso y poco útil.

2.2.8.2. Drenaje de lixiviados

Los lixiviados son un producto líquido obtenido de los residuos orgánicos de origen animal y vegetal producidos a partir de procesos bioquímicos y microbianos ejercidos por la lombriz roja californiana. Este líquido es un abono orgánico y ecológico de excelente calidad, es utilizado para nutrir plantas debido a que tiene un alto contenido de ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales lo convierten en abono de fácil asimilación por los cultivos.

El lixiviado obtenido del lombricompostaje ayuda a las plantas a aumentar su resistencia ante plagas y agentes patógenos. Sus características también permiten anular el desarrollo de bacterias en los cultivos. Posee un pH neutro, lo cual lo caracteriza para utilizarlo en plantas de tratamiento delicado.

El uso del lixiviado de lombriz en cultivo debe ser mezclado con agua, con una relación de 1:1; es decir, un litro de lixiviado mezclado con un litro de agua.

Para la extracción del lixiviado en el proceso de lombricompostaje se utilizará una tubería de extracción colocada en el fondo de la cámara, la cual deberá tener en el fondo una pendiente del 1 % hacia el tubo de extracción. La

salida deberá estar protegida por una rejilla metálica para filtrar posible material sólido.

2.2.9. Diseño estructural para la planta de tratamiento de desechos sólidos

Para el diseño estructural de la planta de tratamiento se utilizó el software CSI ETABS. Se realizó mediante un sistema compuesto de acero-concreto bajo el sistema E1 de marcos resistentes a momento de ductilidad intermedia. Tal como lo indica la norma AGIES NSE 3 2018, el sistema está compuesto de columnas de concreto reforzado y estructura de acero en el techo.

Se tomó en cuenta cargas verticales, cargas de sismo y de viento, cada una de ellas bajo lo dictado en la norma AGIES NSE 2 2018. Después de la asignación de cargas y sus combinaciones, se realizaron verificaciones por derivas, deflexiones y estabilidad en columnas; por último se realizó el diseño por resistencia de los elementos.

Finalmente, el resultado de la estructura es la utilización de columnas cuadradas de concreto reforzado con sección de 25 centímetros. Para el techo se utilizará una cercha metálica compuesta de tubo de rectangular de acero con dimensiones de 4 pulgadas de ancho y 6 pulgadas de alto. La estructura metálica estará conformada por uniones soldadas, y para el anclaje a la columna se utilizarán platinas y pernos de anclaje.

2.2.10. Juego de planos

El juego de planos del proyecto deberá incluir los siguientes planos:

- Planta arquitectónica
- Planta de cotas
- Planta de techos
- Planta de elementos estructurales
- Planta de cimentaciones y columnas
- Planta de instalaciones hidráulicas
- Planta de instalaciones de drenaje
- Planta instalaciones eléctricas
- Planta de acabados y detalles
- Elevaciones y secciones

2.2.11. Presupuesto

A continuación, se presenta el presupuesto de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez.

Tabla LIV. Presupuesto de la planta de tratamiento de desechos sólidos del municipio de San Gabriel, Suchitepéquez

PRESUPUESTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS DEL MUNICIPIO DE SAN GABRIEL, SUCHITEPEQUEZ.					
REGLONES DE TRABAJO					
No.	REGLON	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
1	PRELIMINARES	2,155.00	M2	Q 60.39	Q 130,135.90
2	ZAPATAS Z-1	20.00	UNIDAD	Q 1,940.43	Q 38,808.60
3	ZAPATAS Z-2	3.00	UNIDAD	Q 3,793.77	Q 11,381.30
4	CIMIENTO CORRIDO	226.00	ML	Q 382.49	Q 86,442.50
5	SOLERAS	1,130.00	ML	Q 305.37	Q 345,067.10
6	COLUMNAS C-1	126.00	ML	Q 495.93	Q 62,487.10
7	COLUMNAS C-2	416.00	ML	Q 306.99	Q 127,707.70
8	LEVANTADO DE MUROS TABIQUE	791.00	M2	Q 236.50	Q 187,070.80
9	ESTRUCTURA DE TECHO + LAMINA	1.00	GLOBAL	Q 752,990.50	Q 752,990.50
10	COMPOSTERAS	6.00	UNIDAD	Q 7,451.45	Q 44,708.70
11	PISO DE CONCRETO	880.00	M2	Q 164.53	Q 144,783.20
12	INSTALACION ELECTRICA (ILUMINACION Y FUERZA)	44.00	UNIDAD	Q 1,155.28	Q 50,832.45
13	INSTALACION DE DRENAJE	1.00	GLOBAL	Q 28,977.94	Q 28,977.94
14	INSTALACION HIDRAULICA	1.00	GLOBAL	Q 13,363.62	Q 13,363.62
15	VENTANAS (aluminio + rejilla)	45.00	M2	Q 639.00	Q 28,755.00
16	VENTANAS (aluminio + vidrio)	5.00	M2	Q 745.50	Q 3,727.50
17	PUERTAS P-1 (metal)	1.00	UNIDAD	Q 2,556.00	Q 2,556.00
18	PUERTAS P-2 (metal)	4.00	UNIDAD	Q 1,988.00	Q 7,952.00
19	PUERTAS P-3 (metal)	1.00	UNIDAD	Q 1,704.00	Q 1,704.00
			TOTAL		Q 2,074,982.81
COSTO TOTAL DE CONSTRUCCION INSTITUTO					Q 2,074,982.81

Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

CONCLUSIONES

1. Se diseñó la edificación escolar de dos niveles para la lotificación Quintas Hercilias, ya que el municipio de San Gabriel del departamento de Suchitepéquez no cuenta con la infraestructura para brindarle a los estudiantes un lugar adecuado para asistir a clases.
2. Se diseñó el sistema de recolección y el tratamiento de desechos sólidos para la cabecera municipal del municipio de San Gabriel del departamento de Suchitepéquez, mediante el cual se elaboró un estudio detallado de cómo es el sistema de recolección de basura actual. Se estableció que no se le da el tratamiento; se determinó que es necesario crear un sistema de recolección y tratar los desechos sólidos, el cual disminuirá la contaminación además de generar dinero, lo cual haría que este proyecto sea autosustentable. Dadas las circunstancias, la municipalidad debe llevarlo a cabo en el menor tiempo posible.
3. Se diseñó la edificación escolar de dos niveles mediante marcos estructurales de concreto reforzado para el casco urbano del municipio de San Gabriel, la cual está estructurada para brindar seguridad y comodidad para desarrollar todas las actividades académicas. Por ninguna circunstancia se deberá modificar lo contenido en planos ni cambiar el diseño.
4. La caracterización de los desechos sólidos producidos por los pobladores del municipio de San Gabriel dio como resultado que la producción per cápita de esta es de 0,42 kg/hab/día y que al compararla

con datos del país se encuentra en un rango menor al promedio, esto es consecuencia de las actividades económicas del municipio.

5. El método de tratamiento para cada una de las categorías de desechos sólidos que se producen en el municipio fue producto del aprovechamiento y segundo uso que puede llegar a tener, además de considerar las operaciones y el área necesaria para realizarse.

RECOMENDACIONES

A la Municipalidad de San Gabriel:

1. Verificar que se cumpla con la supervisión técnica establecida por la norma AGIES NSE 1, en el proceso de la construcción, a través de un profesional de obra civil para cada uno de los proyectos.
2. Organizar a la población del municipio de San Gabriel para obtener colaboración en cualquier aspecto y facilitar la construcción de los proyectos para el beneficio del municipio.
3. Establecer un plan de mantenimiento para ambos proyectos, priorizando actividades que contribuyan a la prolongación del tiempo de vida de los materiales utilizados en la construcción de las edificaciones.
4. Elaborar una normativa que regule el uso adecuado de ambos proyectos, para que sean eficientes y de esta manera evitar problemas posteriores debido al mal uso de las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

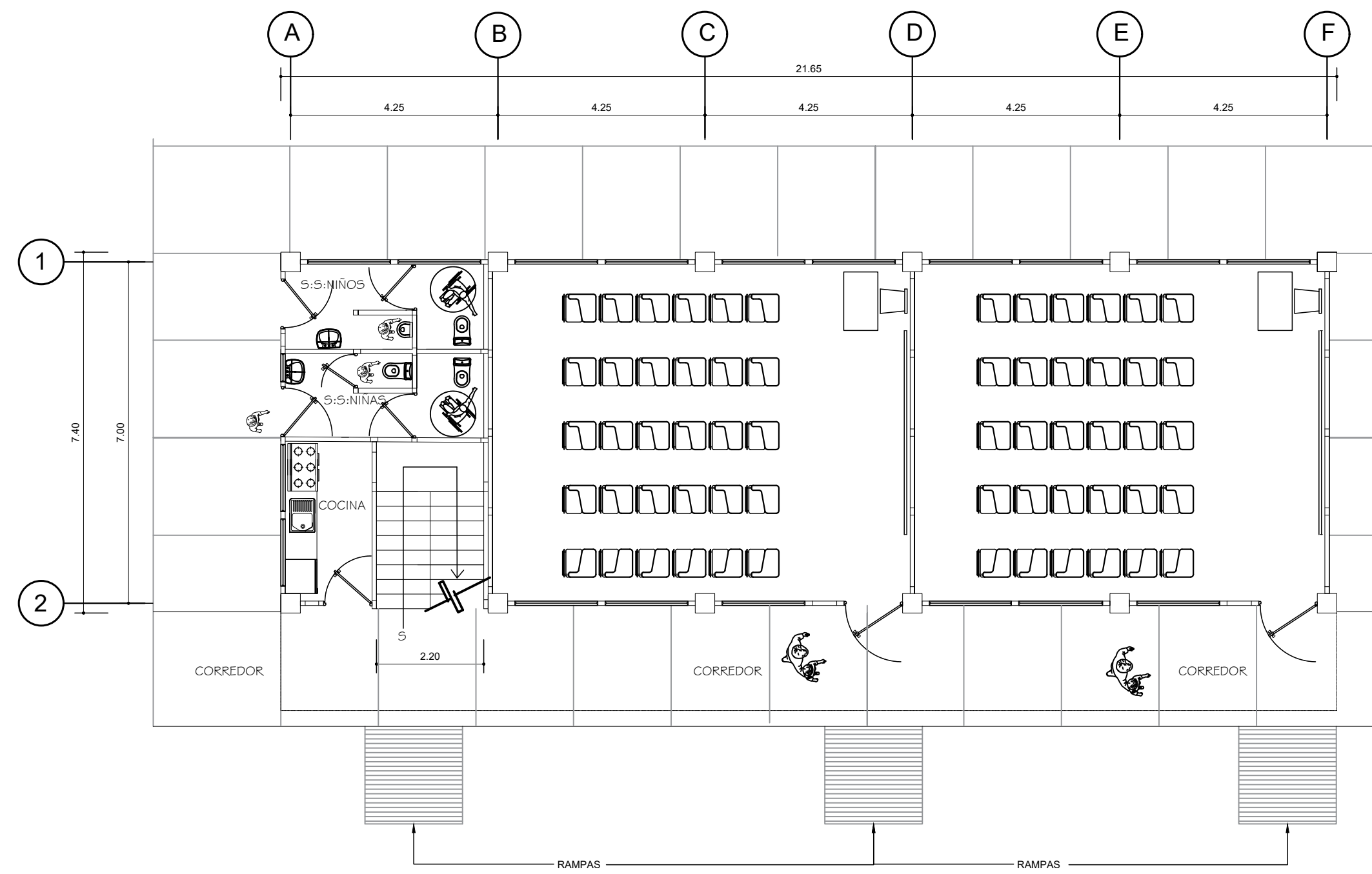
1. American Concrete Institute. *Requisitos de reglamento para concreto estructural. (ACI 318S-14)*. California, USA: ACI, 2014. 592 p.
2. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. NSE-1-2018 Actualización 15/07/2020. *Demandas estructurales y condiciones de sitio*. Guatemala: AGIES, 2018. 110 p.
3. _____. *Diseño estructural de edificaciones*. Guatemala: AGIES, 2018. 71 p.
4. _____. *Diseño de concreto reforzado*. Guatemala: AGIES, 50 p.
5. _____. *Estudios geotécnicos*. Guatemala: AGIES, 2018. 49 p.
6. _____. *Generalidades, administración de las normas y supervisión técnica*. [en línea]. <<https://www.agies.org/actualizacion-nse-2018/>> 18>. [Consulta: 25 de mayo de 2020].
7. DAS, Braja. *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. 4a ed. México: CENGAGE Learning, 2013. 630 p.
8. KASSIMALI, Aslam. *Análisis estructural*. 5a ed. Illinois, USA: CENGAGE Learning, 2015. 789 p.

9. MCCORMAC, Jack y BROWN, Russell. *Diseño de concreto reforzado*. 10a ed. México: Alfaomega Grupo Editor, 2017. 649 p.
10. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. *Guía práctica para la formulación de planes municipales para la gestión integral de residuos y desechos sólidos*. Guatemala: MARN, 2016. 62 p.
11. _____. *Política nacional para la gestión integral de residuos y desechos sólidos; Acuerdo Gubernativo 281-2015*. Guatemala: MARN, 2015. 92 p.
12. RISCHMAGUI, Gabriela. *Manual para el manejo de desechos sólidos en barrios populares de Tegucigalpa*. Tegucigalpa, Honduras: 2019. 46 p.

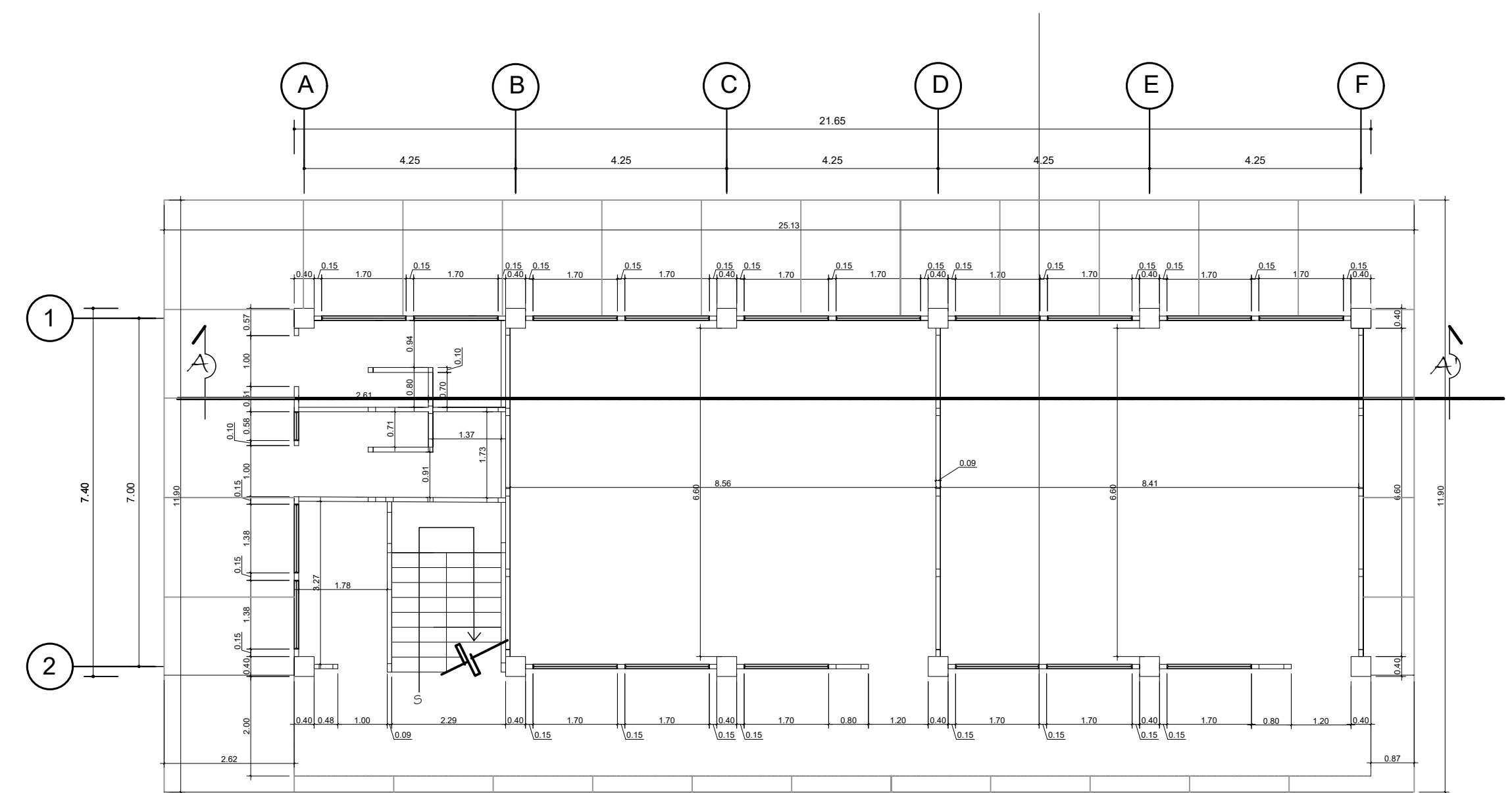
APÉNDICE

Apéndice 1. Planos de edificación escolar de dos niveles

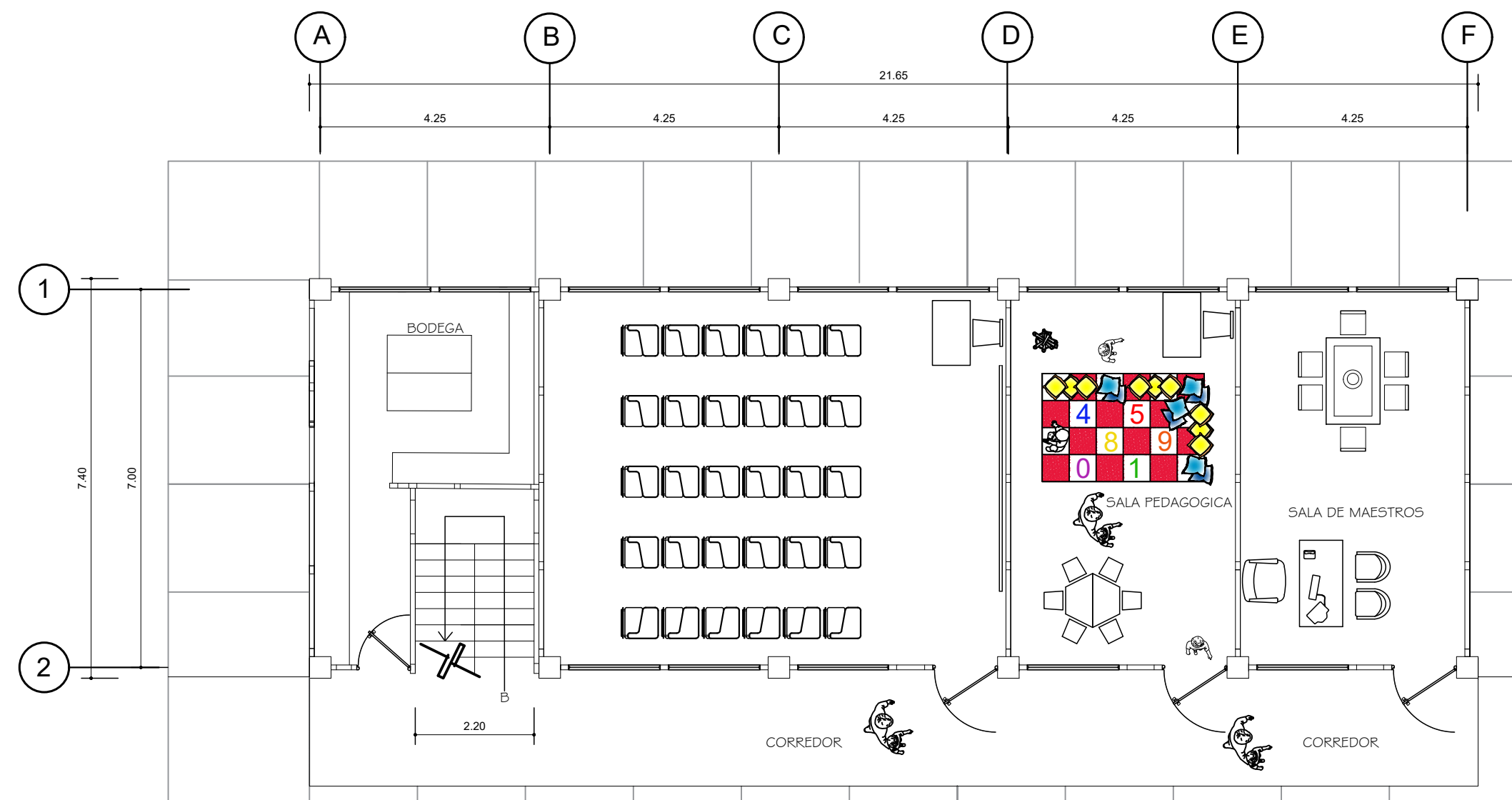
Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2018.



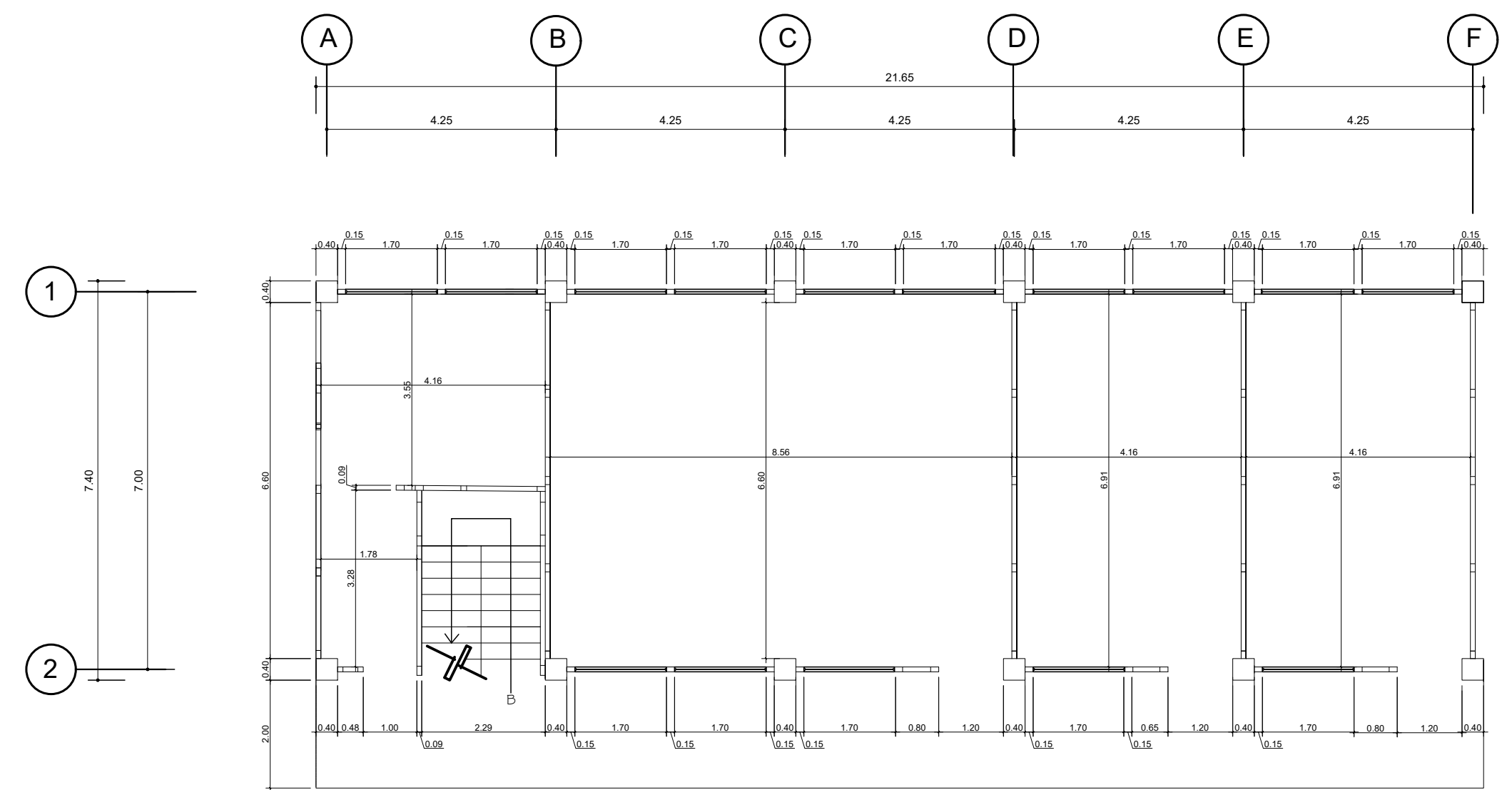
PLANTA ARQUITECTONICA
PLANTA BAJA
ESC: 1/100



PLANTA ACOTADA
PLANTA BAJA
ESC: 1/100

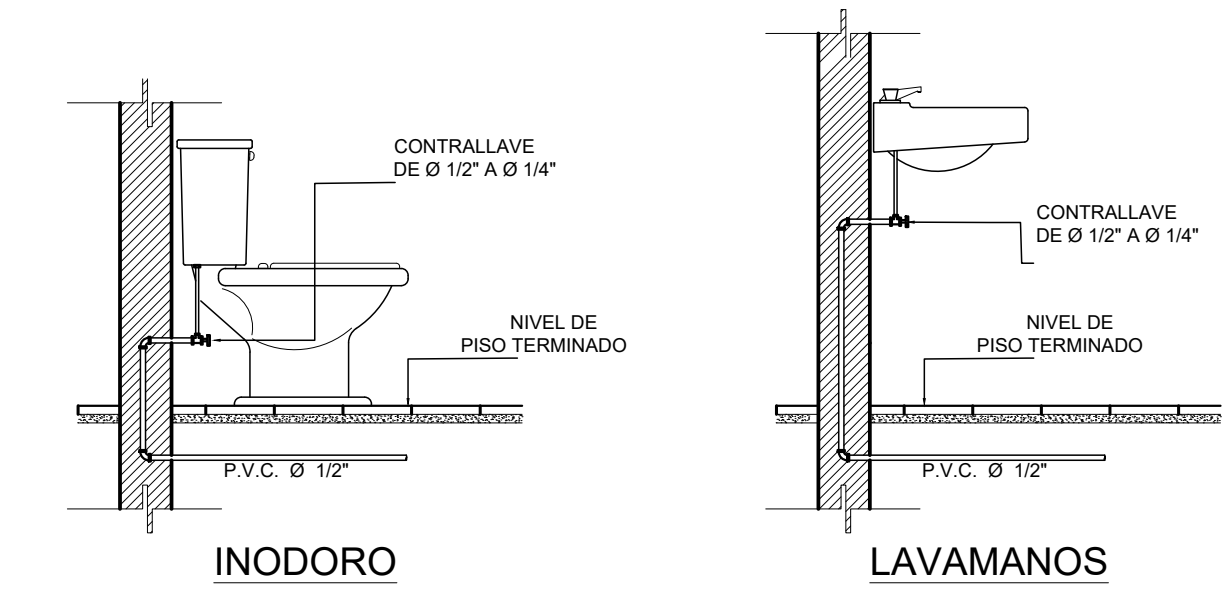
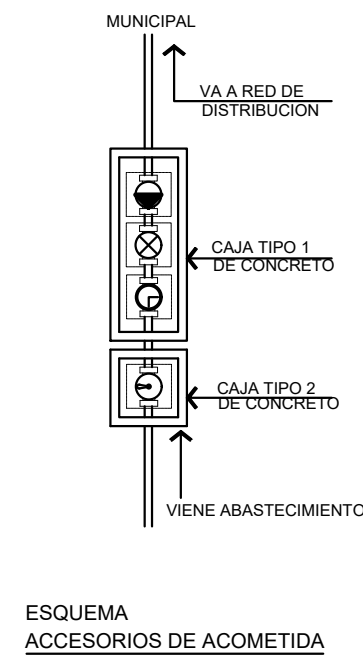
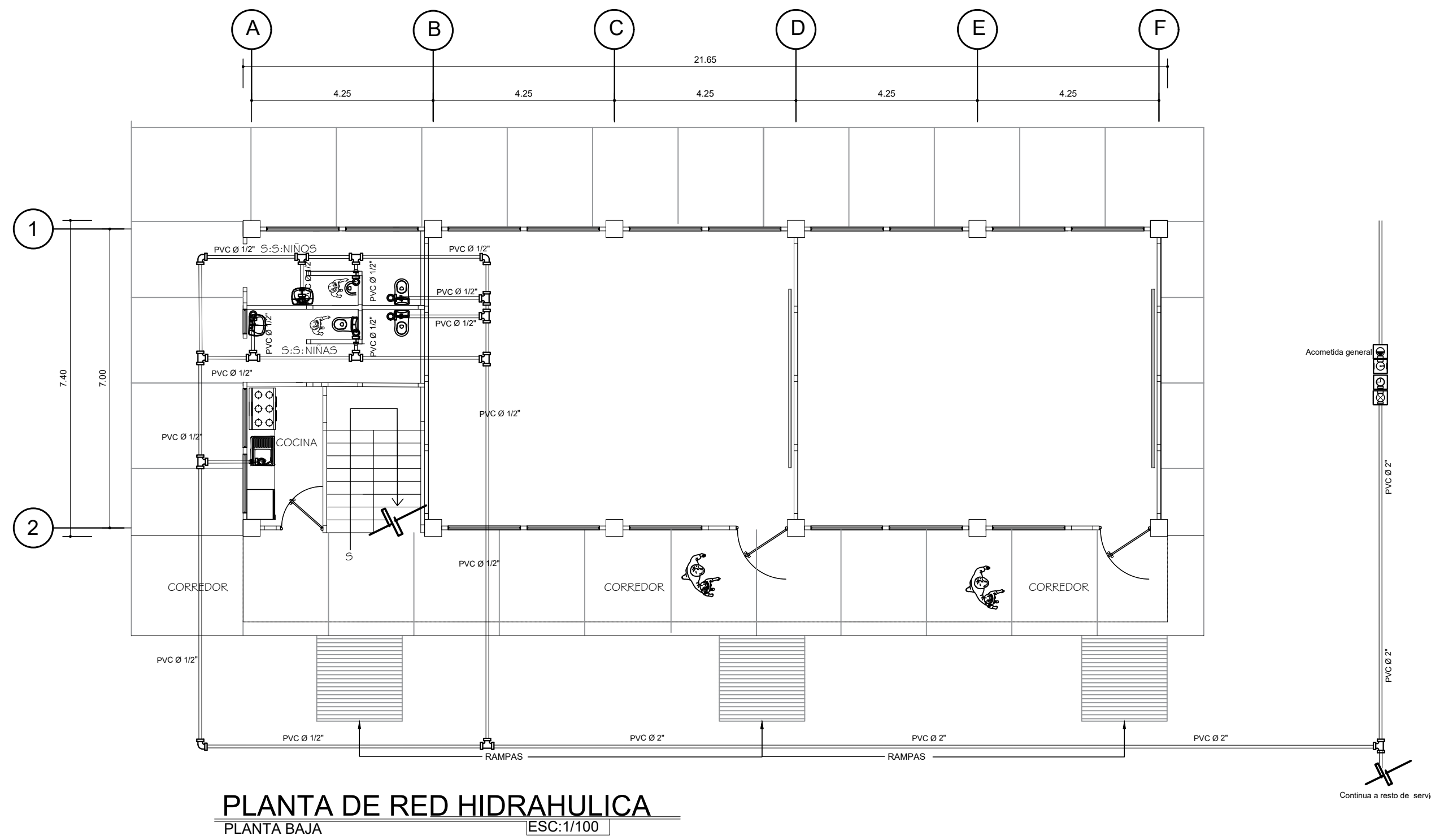


PLANTA ARQUITECTONICA
PLANTA ALTA
ESC: 1/100

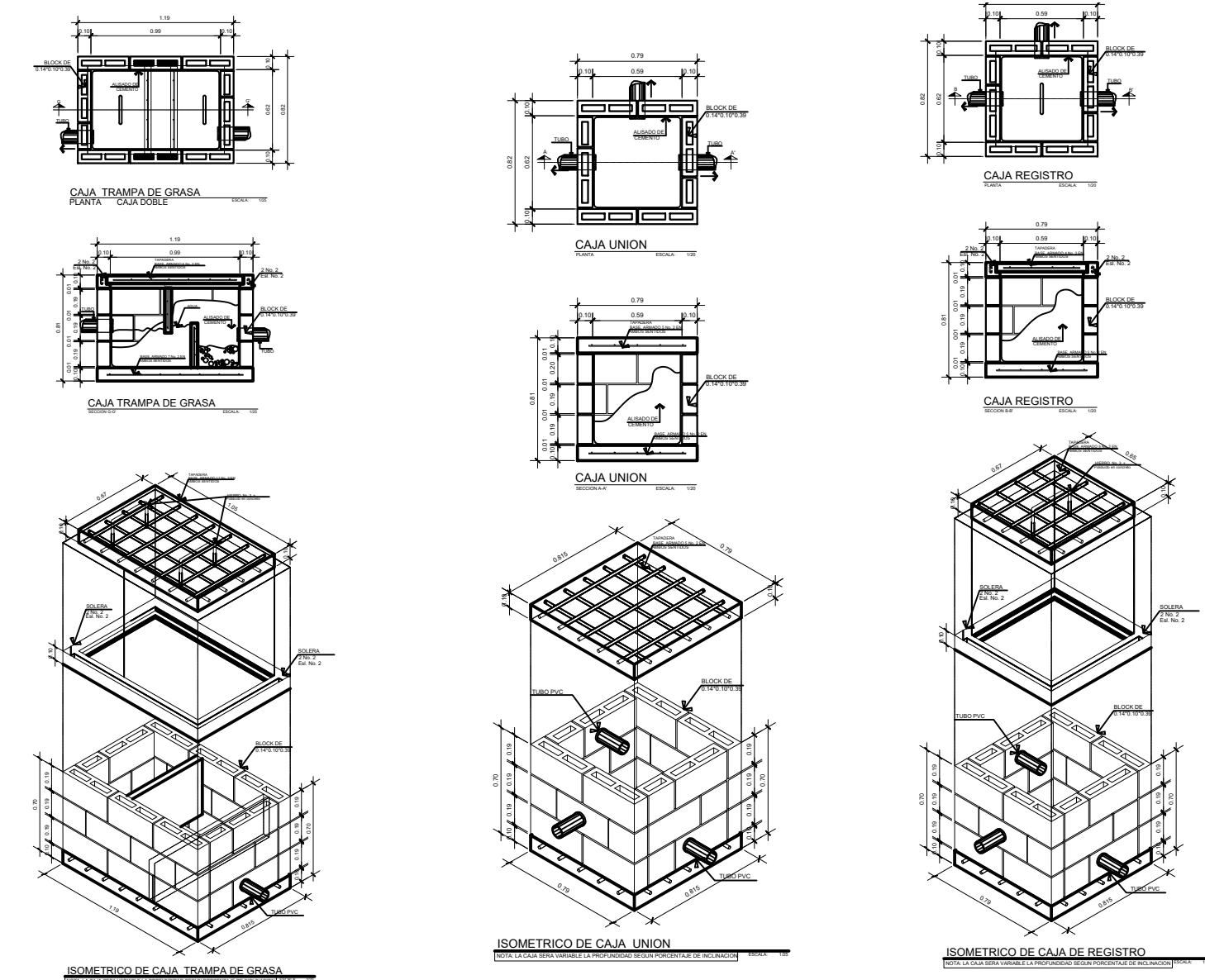
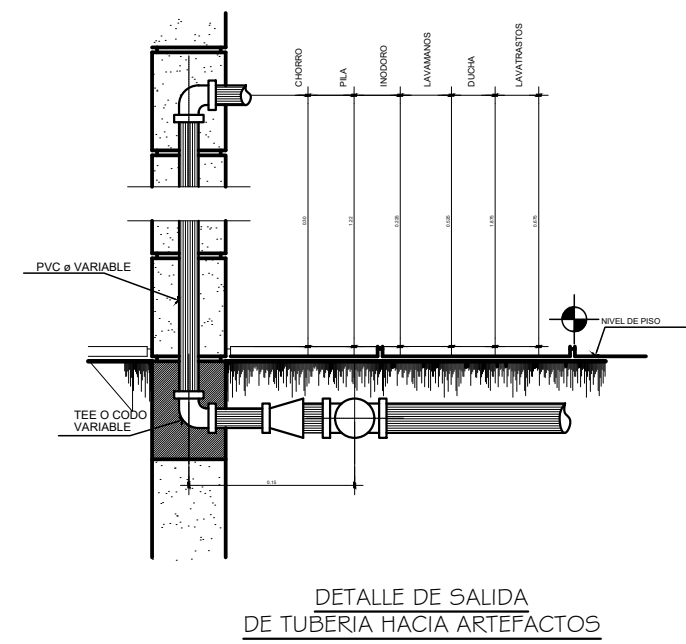


PLANTA ACOTADA
PLANTA ALTA
ESC: 1/100

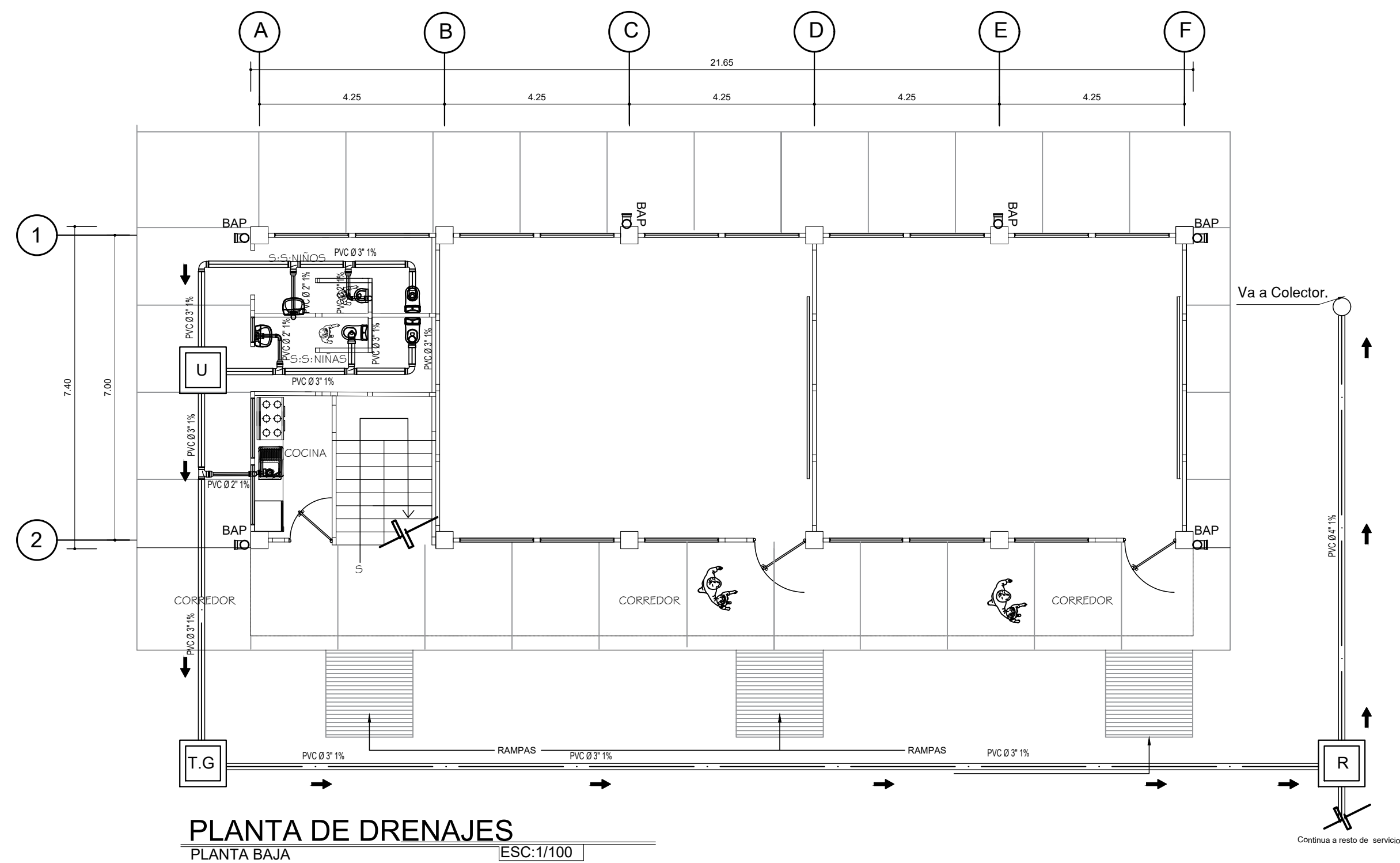
PROYECTO:		EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS	
CONTENIDO:		PLANTA ARQUITECTONICA Y ACOTADA	
UBICACIÓN:		SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ	
FECHA:		FEBRERO 2020	
ESCALA:		INDICADA	
HOJA No:		01 / 09	



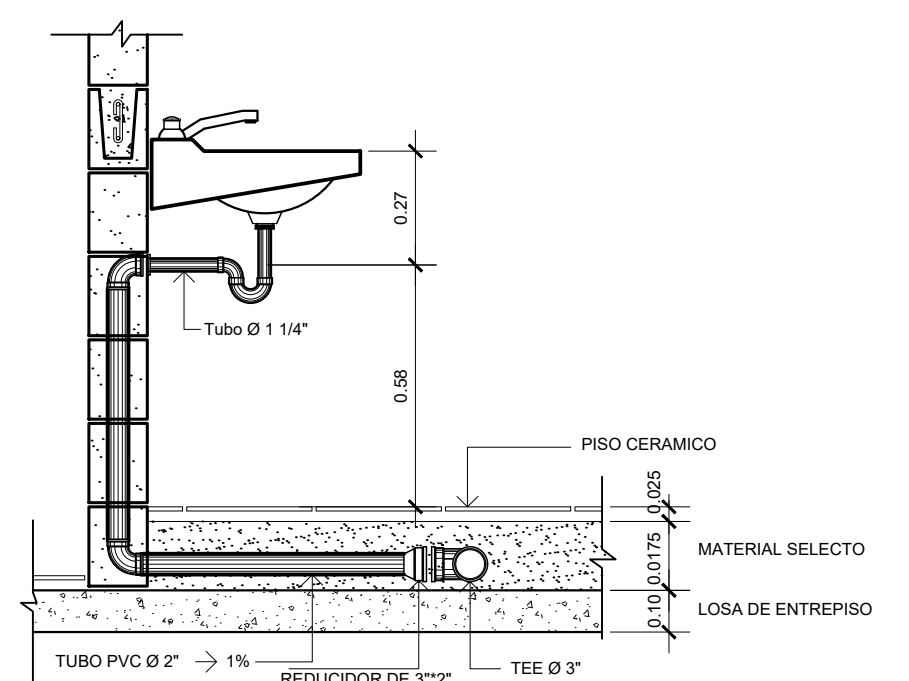
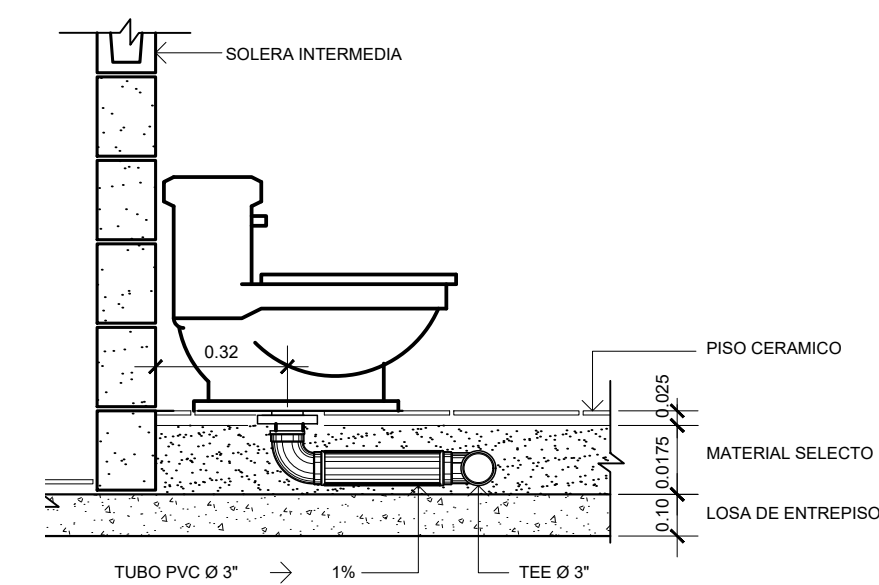
DETALLES DE ESPERAS EN 1ER. NIVEL



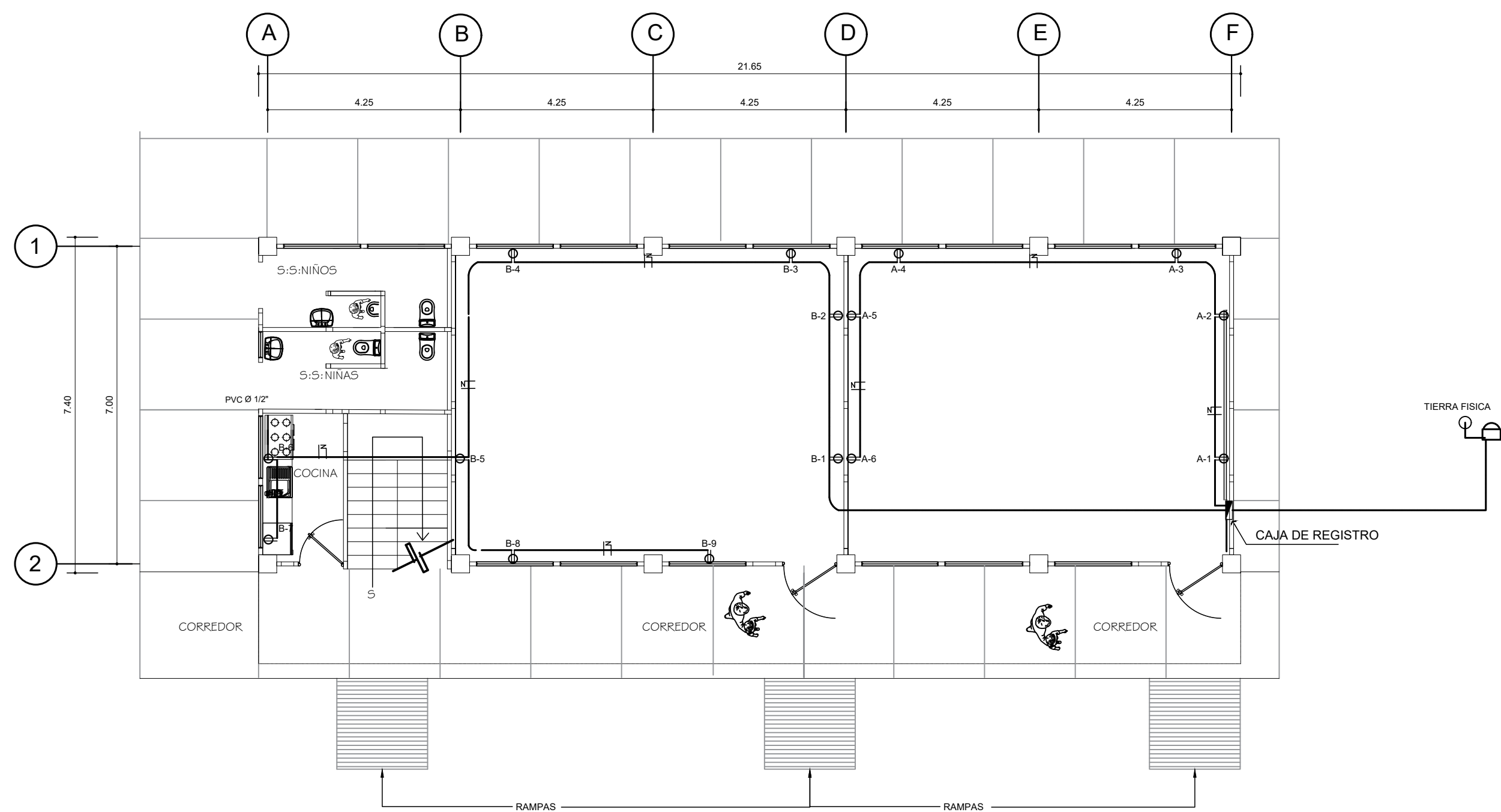
NOMENCLATURA DE INS. HIDRAULICA	
	TUBERIA PVC PARA AGUA POTABLE Ø INDICADO
	CODO HORIZONTAL 90° PVC Ø INDICADO
	CODO VERTICAL HACIA ARRIBA 90° PVC Ø INDICADO
	TEE HORIZONTAL PVC Ø INDICADO
	CRUZ HORIZONTAL Ø INDICADO
	TEE VERTICAL HACIA ARRIBA PVC Ø INDICADO
	VALVULA DE CHEQUE + CAJA DE CONCRETO.
	VALVULA DE COMPUERTA
	CONTADOR VOLUMETRICO + CAJA DE CONCRETO
	VALVULA DE PASO + CAJA DE CONCRETO.
	INDICA SENTIDO DE FLUJO



NOMENCLATURA	
SIMB.	SIGNIFICADO
	CAJA UNION
	CAJA DE REGISTRO
	CAJA DE TRAMPA DE GRASA
	AGUAS NEGRAS PVC DIAMETRO INDICADO
	SIFON TERMINAL
	REDUCIDOR BUSHING DE 4" A 3" Y 3" A 2"
	TEE A HORIZONTAL
	CODO A 90° HORIZONTAL
	CODO A 90° VERTICAL
	DIRECCION DE PENDIENTE 1 %
	BAJADA AGUA PLUVIAL TUBO PVC 3"

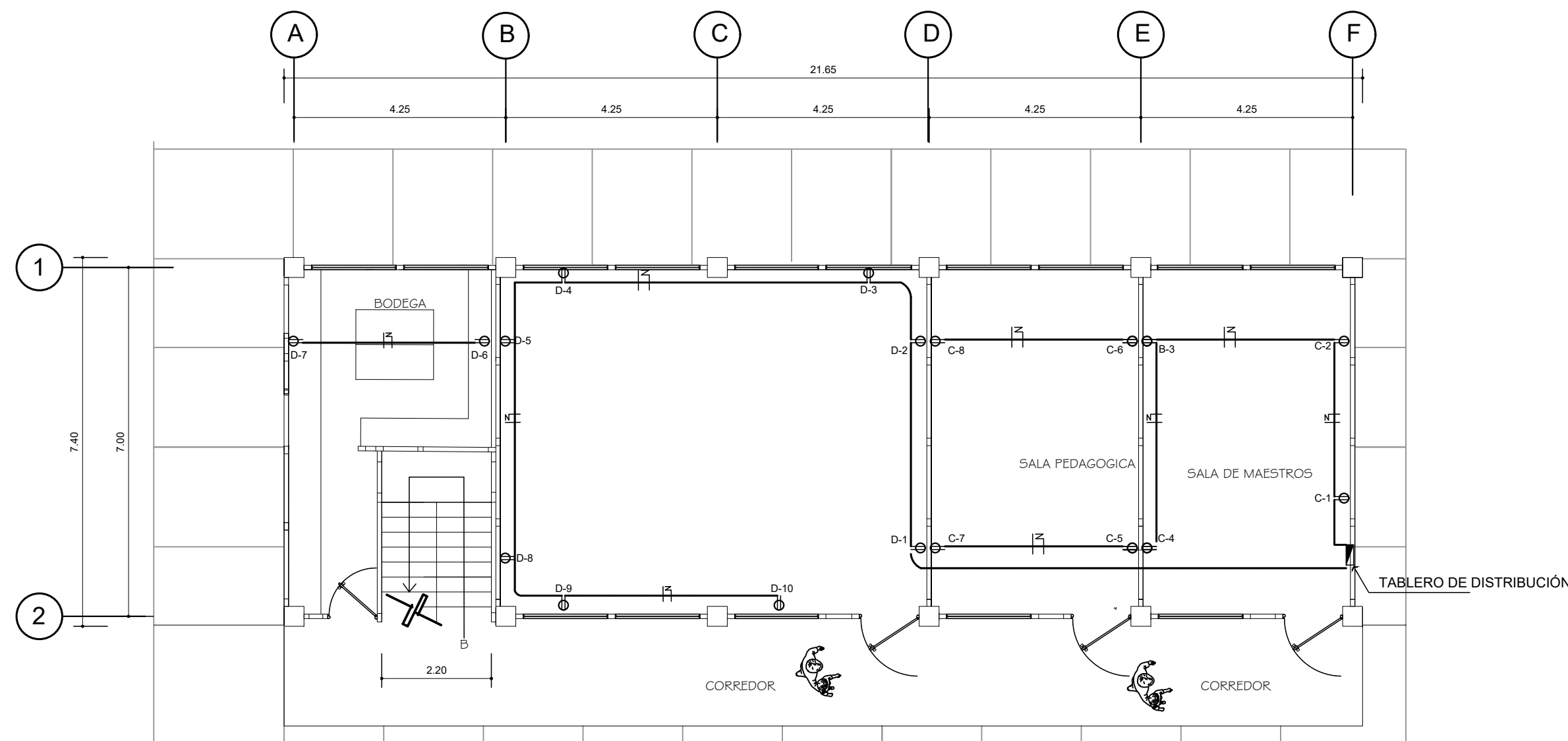


PROYECTO:	EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILES
CONTENIDO:	PLANTA DE RED HIDRAULICA Y PLANTA DE DRENAJES
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	
HOJA No:	02 / 09



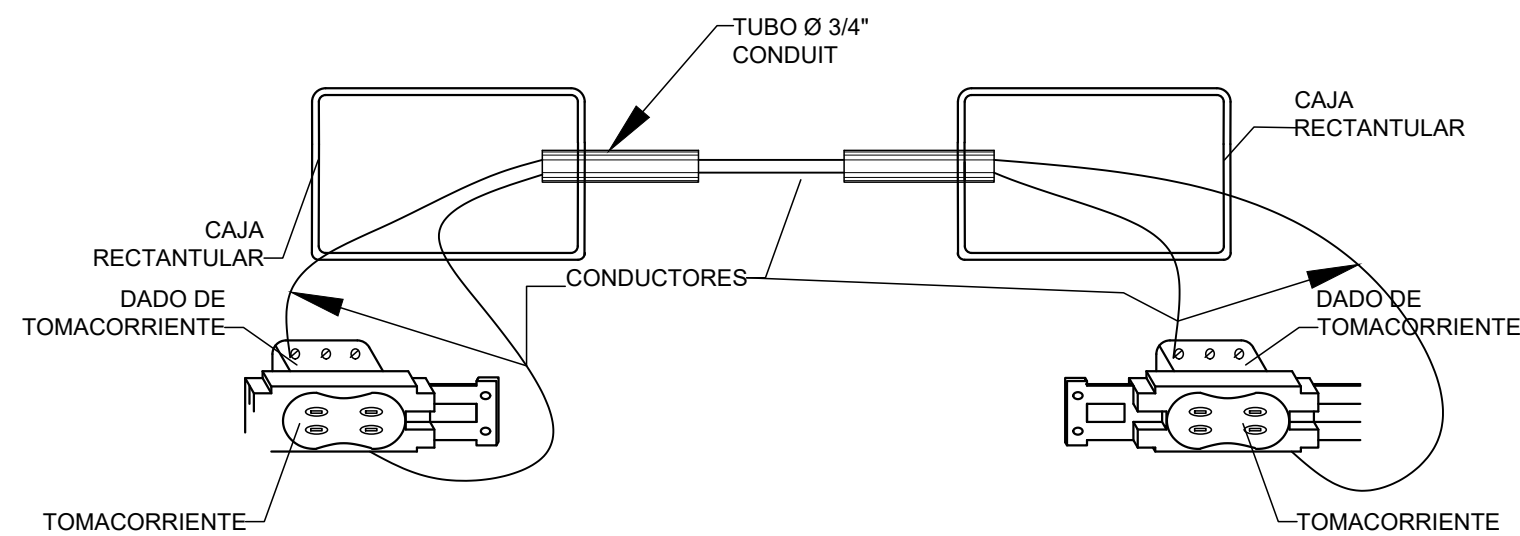
PLANTA DE FUERZA
PLANTA BAJA

ESC:1/100

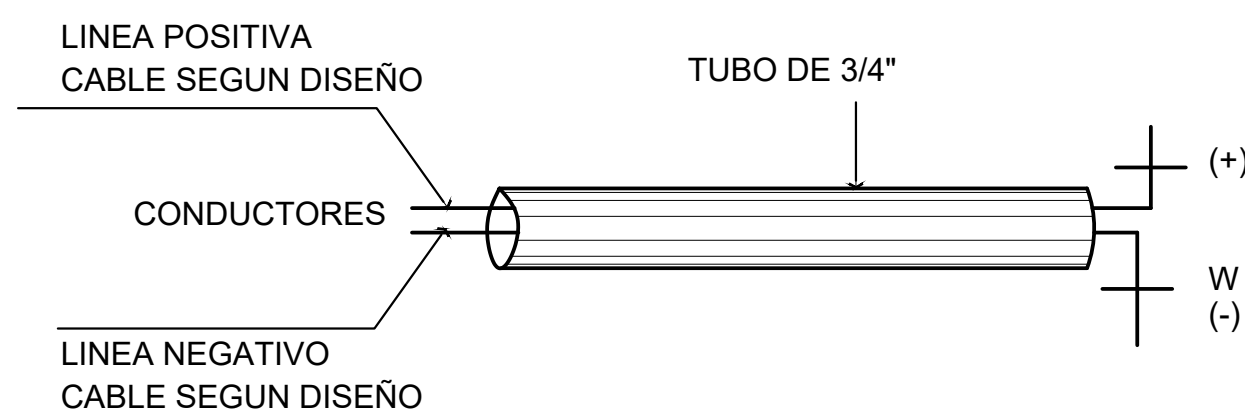


PLANTA DE FUERZA
PLANTA ALTA

ESC:1/100

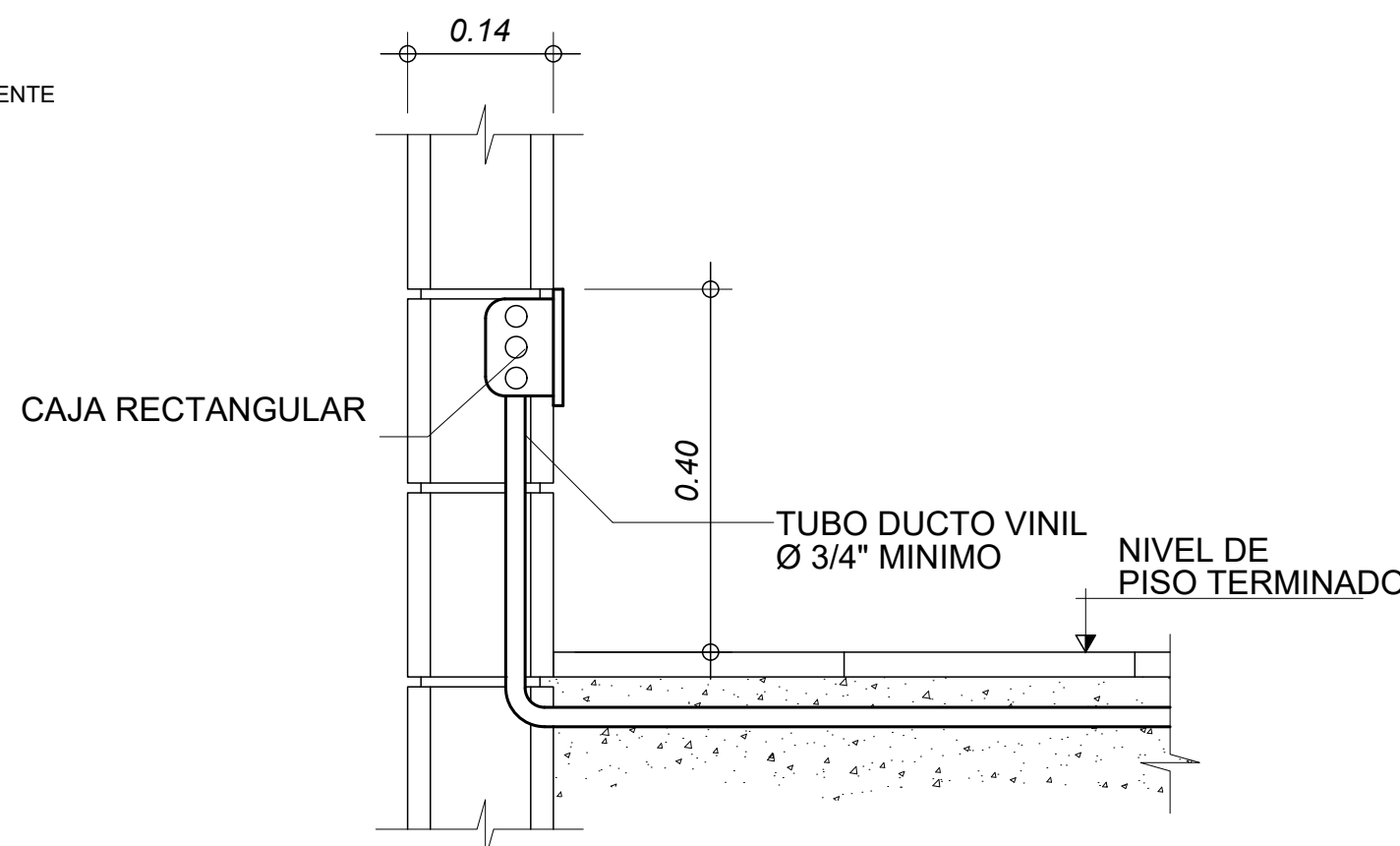


Nota:
El clercuito en conexion debe de ser
calibre No. 12 dos conductores un positivo
y un negativo, en tuberia poliducto de 3/4"



DETALLE DE CABLEADO

SIN ESCALA



UBICACION DE CAJA DE TOMACORRIENTE
EN MURO DE 0.14 m.

NOMENCLATURA DE ELECTRICIDAD

	SALIDA PARA TOMACORRIENTE DOBLE 120 v. h=0.30 m. S.N.P.
	SALIDA PARA TOMACORRIENTE 220 v. h=0.30 m. S.N.P.
	INDICA LINEA VIVA Y NEUTRA CALIBRE No.12 THHN
	VIENE DE CONTADOR HACIA TABLERO DE DISTRIBUCION
	TUBERIA TIPO PVC EN PISO Y MUROS DE Ø3/4" O INDICADO
	INDICA TABLERO DE DISTRIBUCION h= 1.60 mS.N. P.
	INDICA CONTADOR h= 1.70 mS.N.P.

TABLA UNIDADES FUERZA

CIRCUITO	UNIDADES	CONSUMO	CONDUCTOR	PROTECTOR
A	6	1440	THHN CAL 12	20 AMPERIOS
B	9	2160	THHN CAL 12	20 AMPERIOS
C	8	1920	THHN CAL 12	20 AMPERIOS
D	10	2400	THHN CAL 12	20 AMPERIOS

PROYECTO:
EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS

CONTENIDO:
INSTALACIONES ELECTRICAS - FUERZA

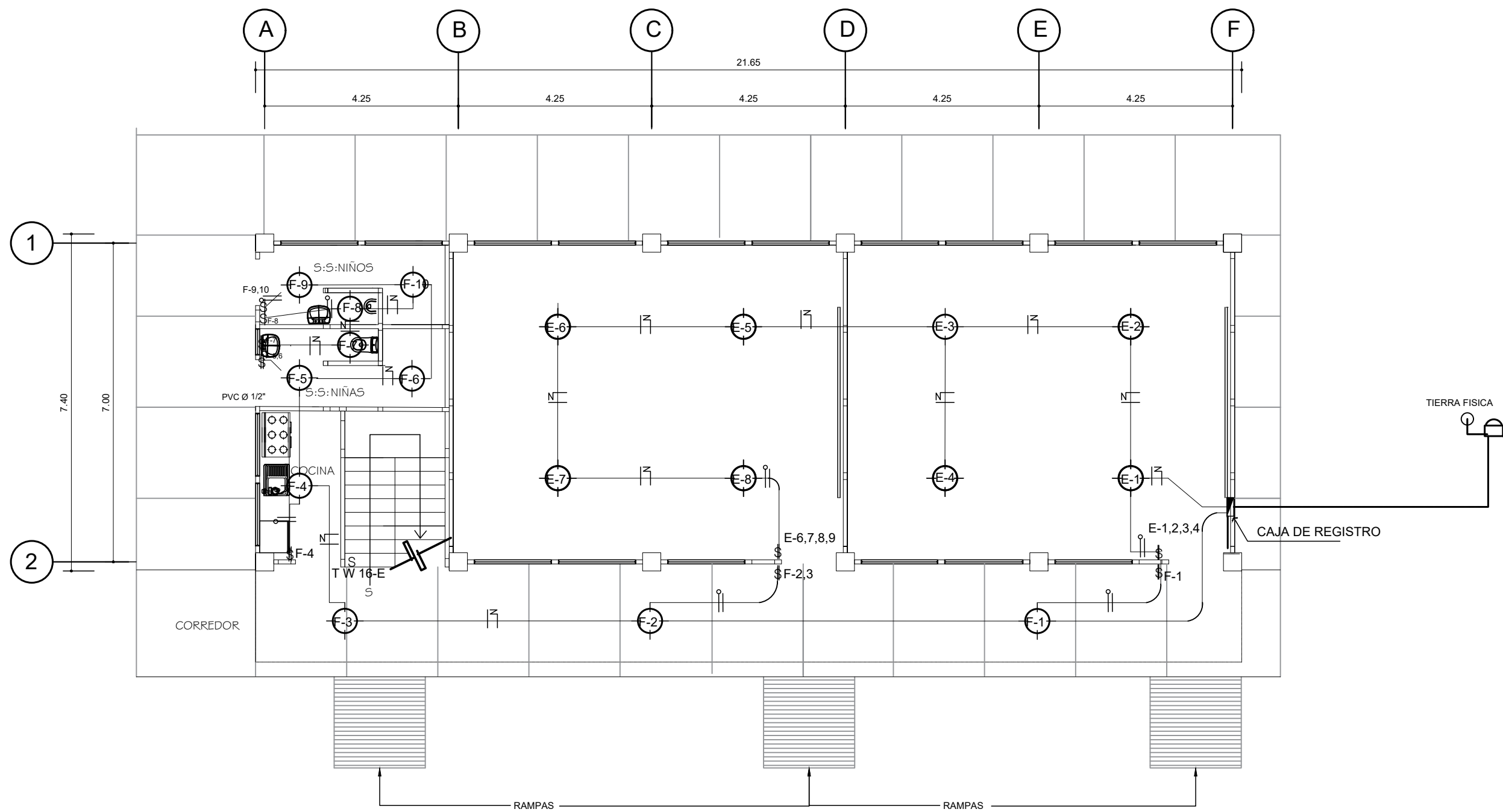
UBICACIÓN:
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ

FECHA:
FEBRERO 2020

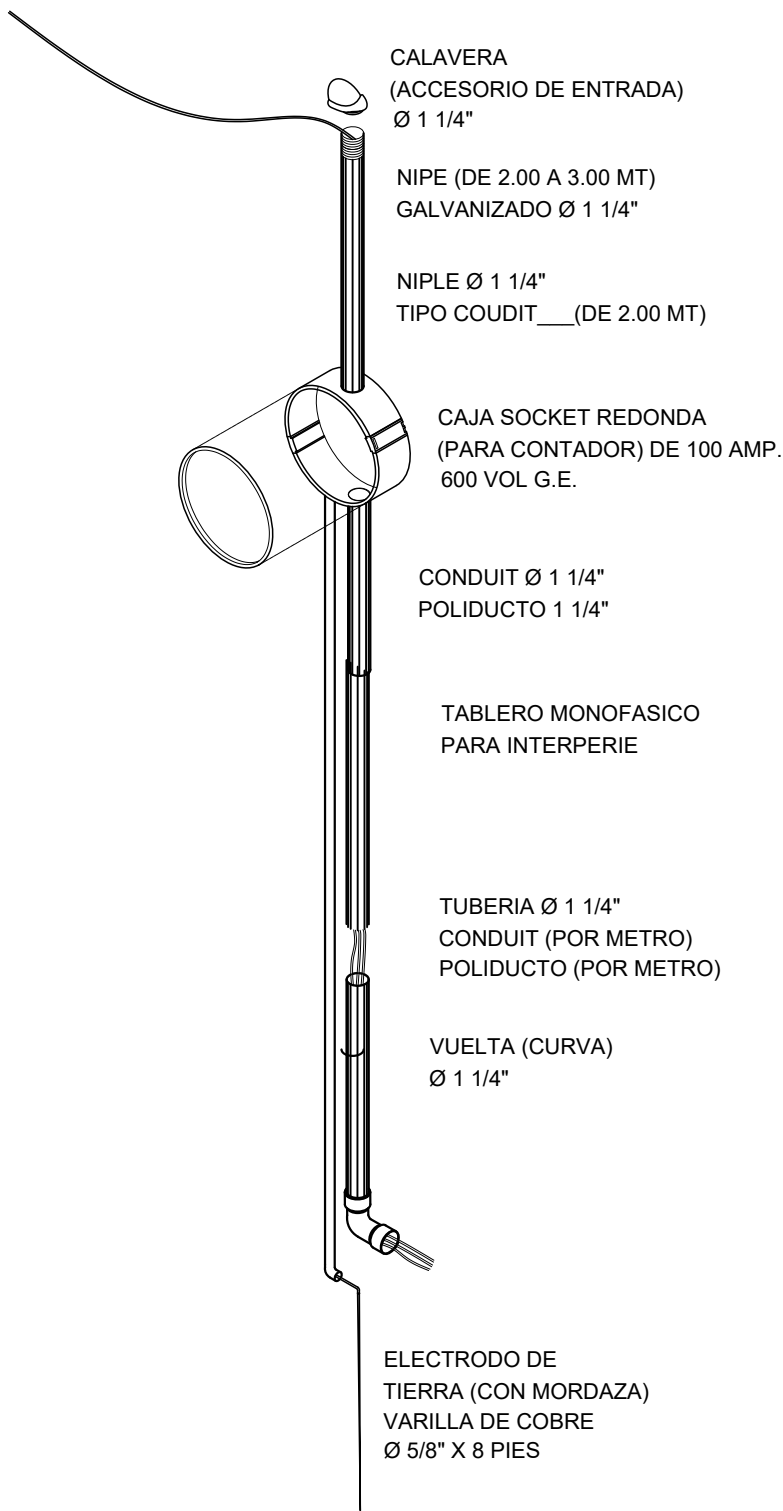
ESCALA:
INDICADA

HOJA No:

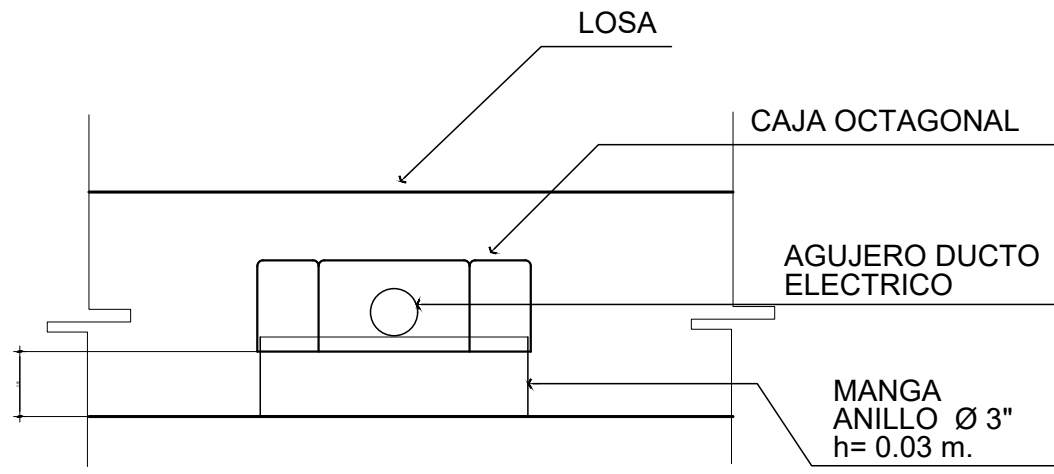
03
09



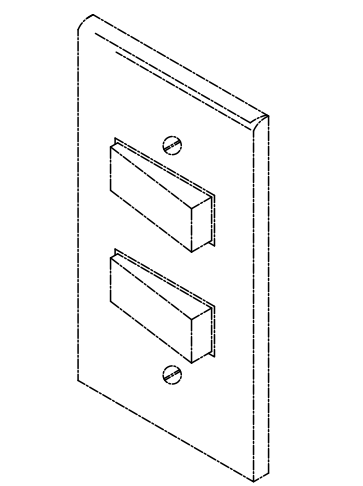
PLANTA DE ILUMINACION
PLANTA BAJA
ESC:1/100



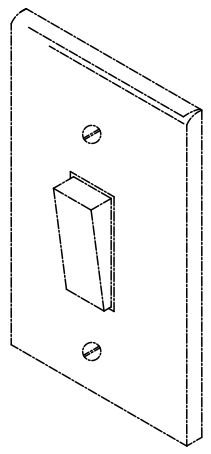
DETALLE DE ACOMETIDA
SIN ESCALA



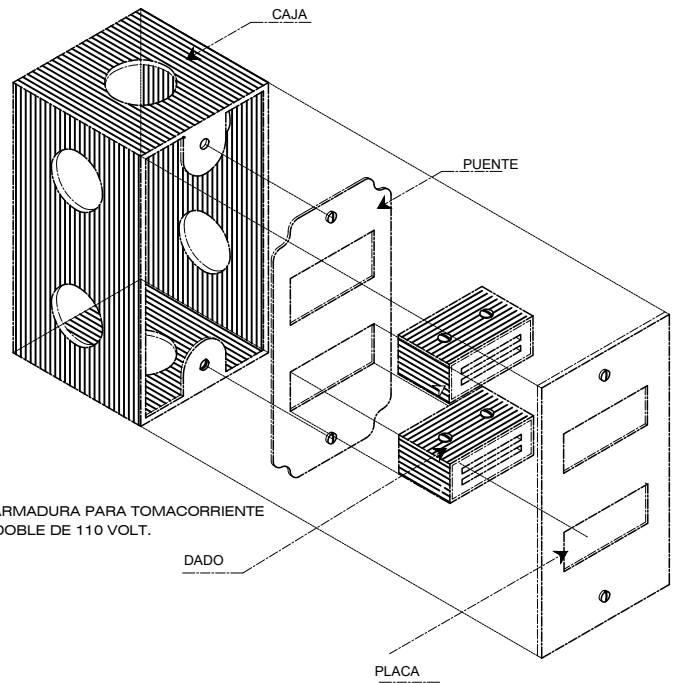
DETALLE DE CAJA EN LOSA
SIN ESCALA



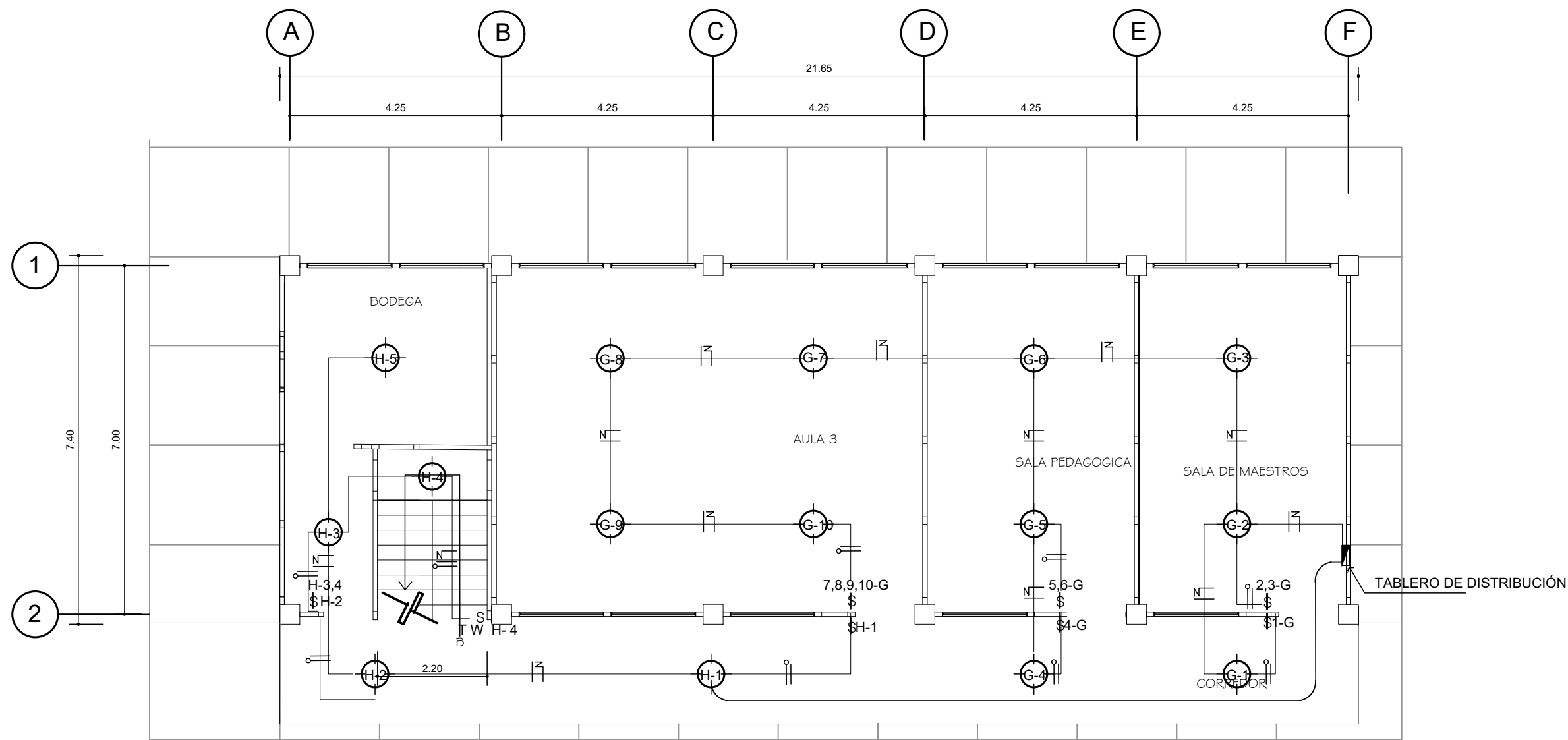
INTERRUPTOR DOBLE
Su simbología en el plano será §



INTERRUPTOR SIMPLE
Su simbología en el plano será §



DETALLE DE INTERRUPTORES



PLANTA DE ILUMINACION
PLANTA ALTA
ESC:1/100

NOMENCLATURA DE ELECTRICIDAD	
	TUBERIA TIPO PVC EN PISO Y MUROS DE Ø1/2" O INDICADO
	INDICA LINEA VIVA Y NEUTRA CALIBRE No.12 THHN
	INDICA SALIDA DE ILUMINACION EN CIELO
	INDICA SALIDA DE ILUMINACION EN PARED H=2.05
	INDICA LINEA DE RETORNO CALIBRE No.12 THHN
	INTERRUPTOR SIMPLE h= 1.30 M SNPT
	INTERRUPTOR DOBLE h= 1.30 M SNPT
	INDICA TABLERO DE DISTRIBUCION h= 1.60 mS.N. P.
	INDICA CONTADOR h= 1.70 mS.N.P.
	TUB. TIPO POLIDUCTO REF. EN CIELO Y MUROS DE Ø 3/4
	ACOMETIDA

TABLA UNIDADES ILUMINACIÓN

CIRCUITO	UNIDADES	CONSUMO	CONDUCTOR	PROTECTOR
E	8	228	THHN CAL 12	15 AMPERIOS
F	10	360	THHN CAL 12	15 AMPERIOS
G	10	360	THHN CAL 12	15 AMPERIOS
H	5	180	THHN CAL 12	15 AMPERIOS

PROYECTO:
EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS

CONTENIDO:
INSTALACIONES ELECTRICAS - ILUMINACIÓN

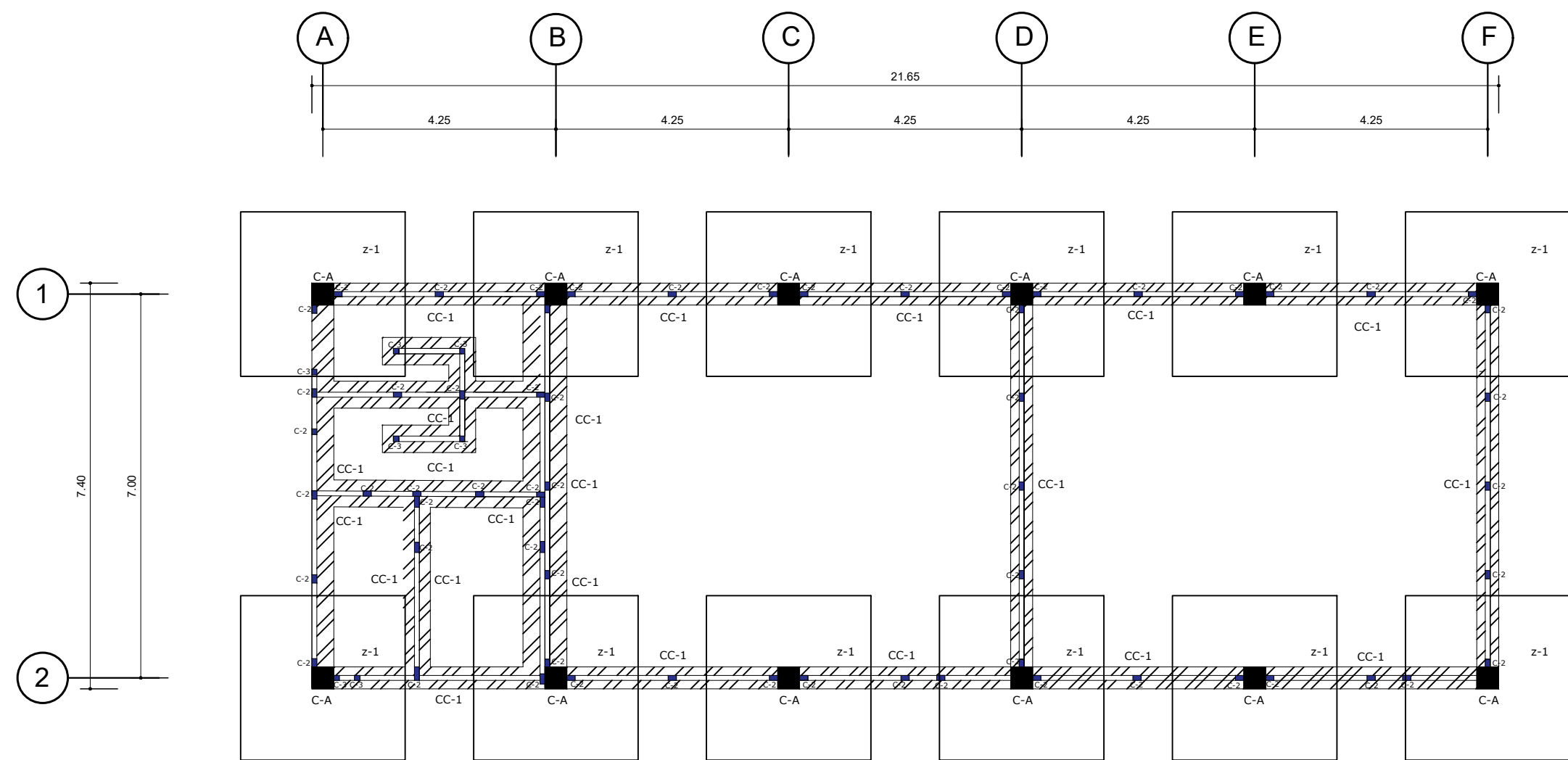
UBICACIÓN:
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ

FECHA:
FEBRERO 2020

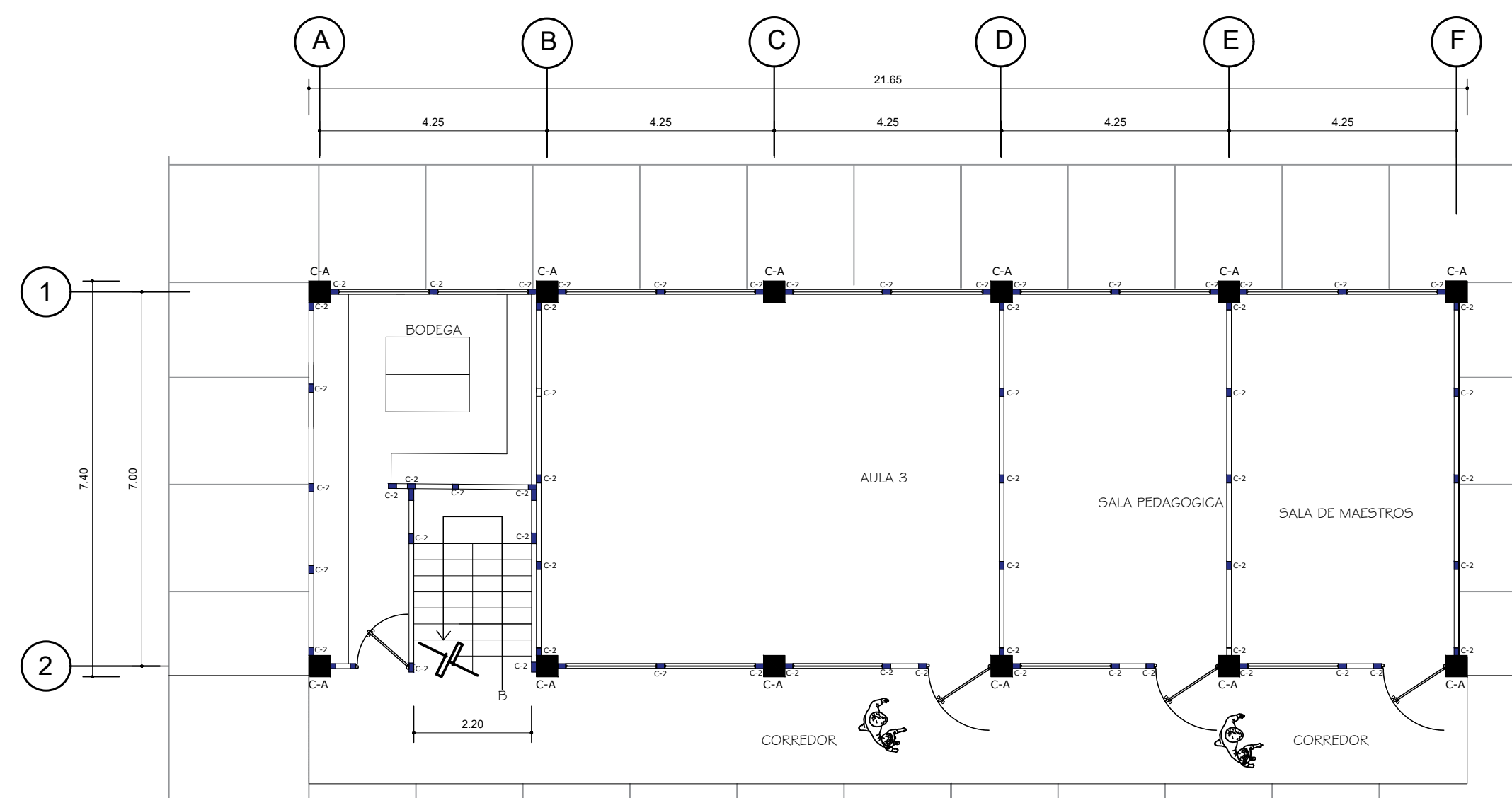
ESCALA:
INDICADA

HOJA No:

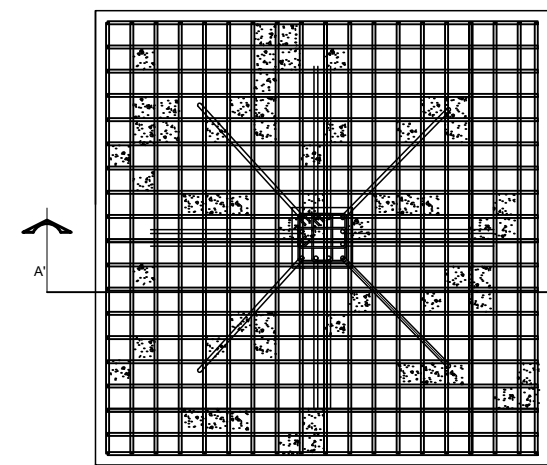
04
09



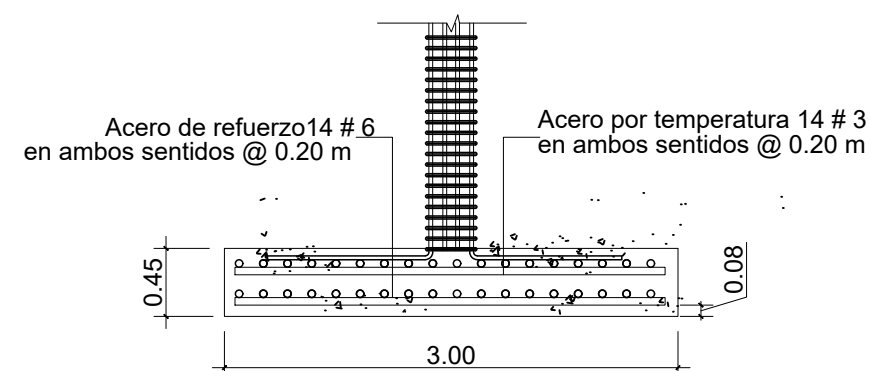
PLANTA DECIMIENTOS Y COLUMNAS
PLANTA BAJA ESC:1/100



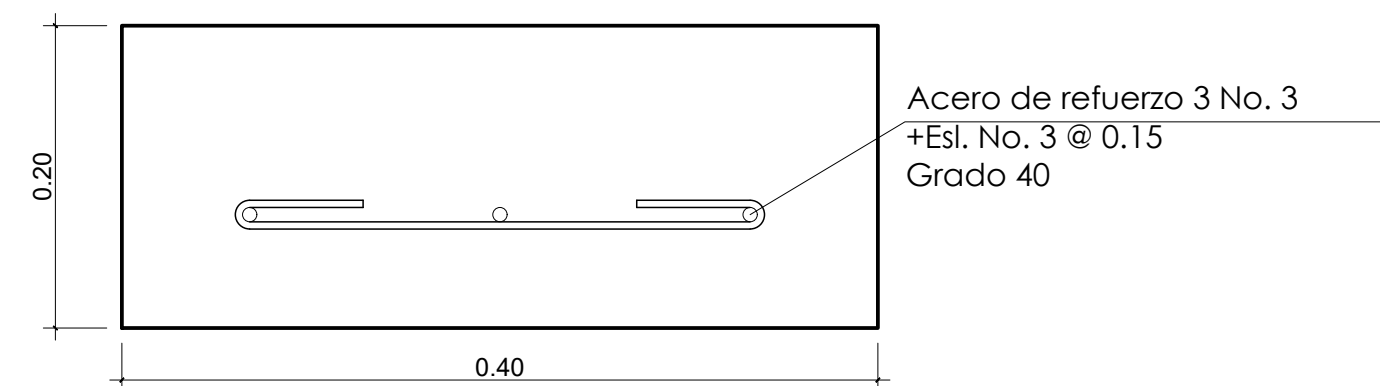
PLANTA DECIMIENTOS Y COLUMNAS
PLANTA ALTA ESC:1/100



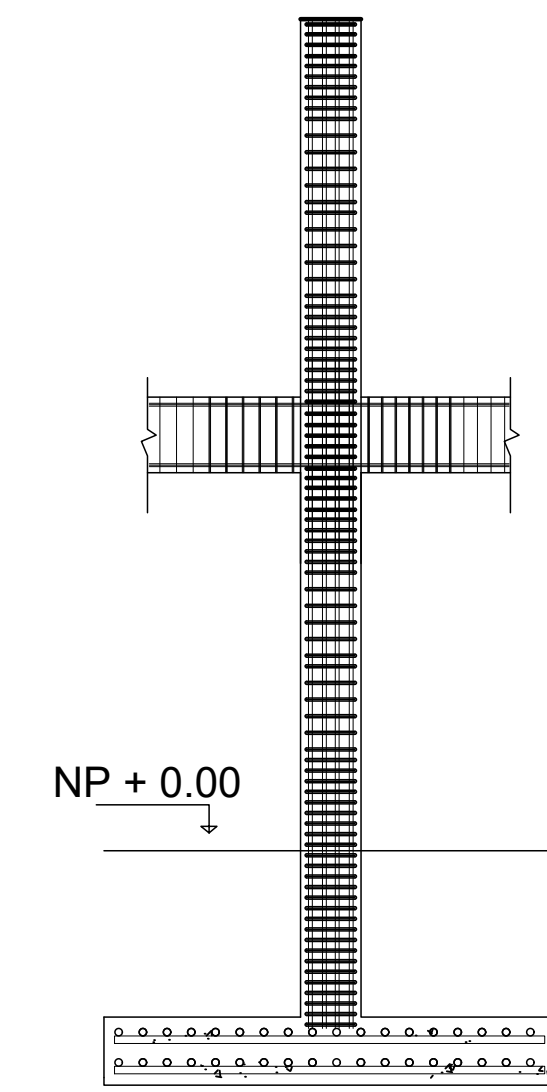
Zapata Z-1
1/50



Sección Z-1
1/50

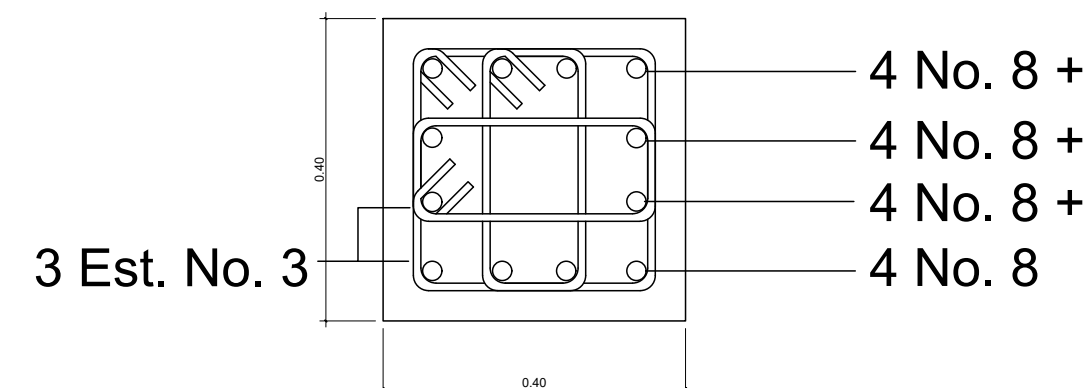


Sección CC-1
1/10

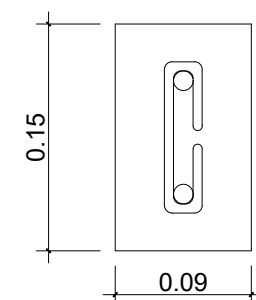


Columna C-A
1/50

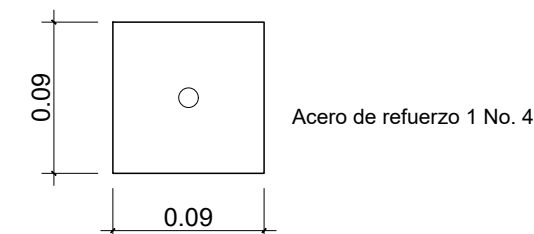
Zona confinada
3 Est. No. 3 @ 0.07
Zona no confinada
3 Est. No. 3 @ 0.11
Zona confinada
3 Est. No. 3 @ 0.07
Zona confinada
3 Est. No. 3 @ 0.07
Zona no confinada
3 Est. No. 3 @ 0.11
Zona confinada
3 Est. No. 3 @ 0.07
Zona confinada
3 Est. No. 3 @ 0.07



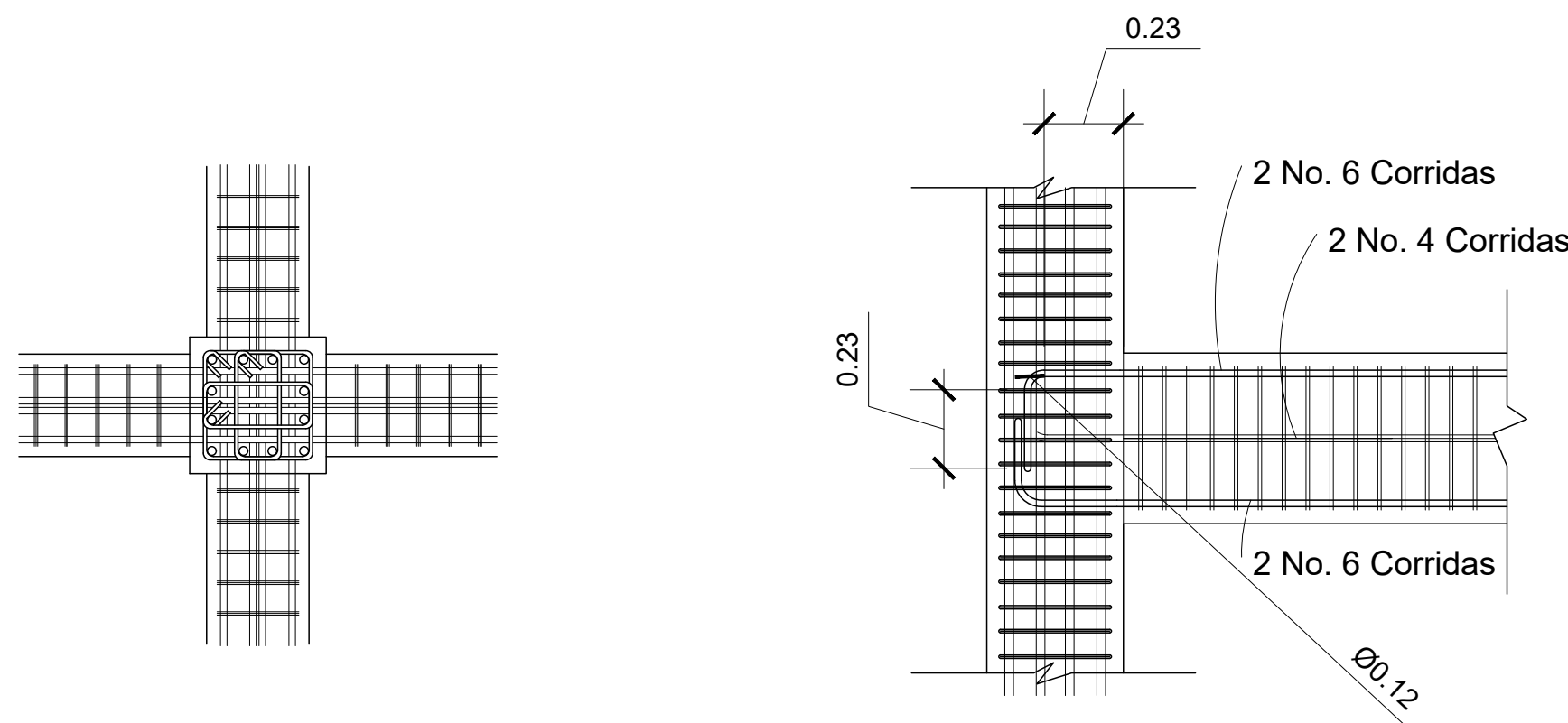
Sección C-A
1/10



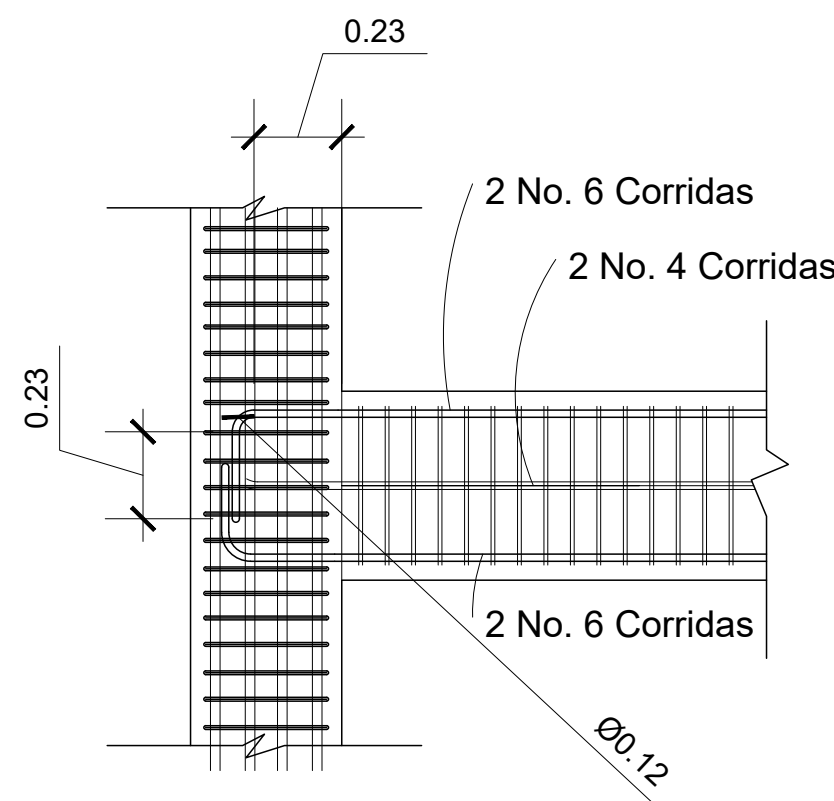
Sección C-2
1/5



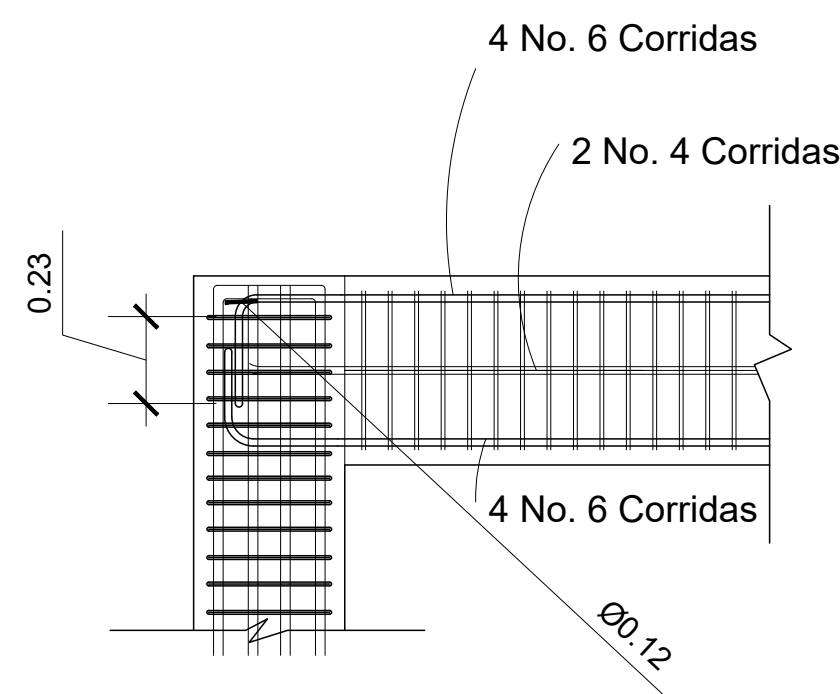
Sección C-3
1/5



DETALLE NUDO
ESCALA 1:20



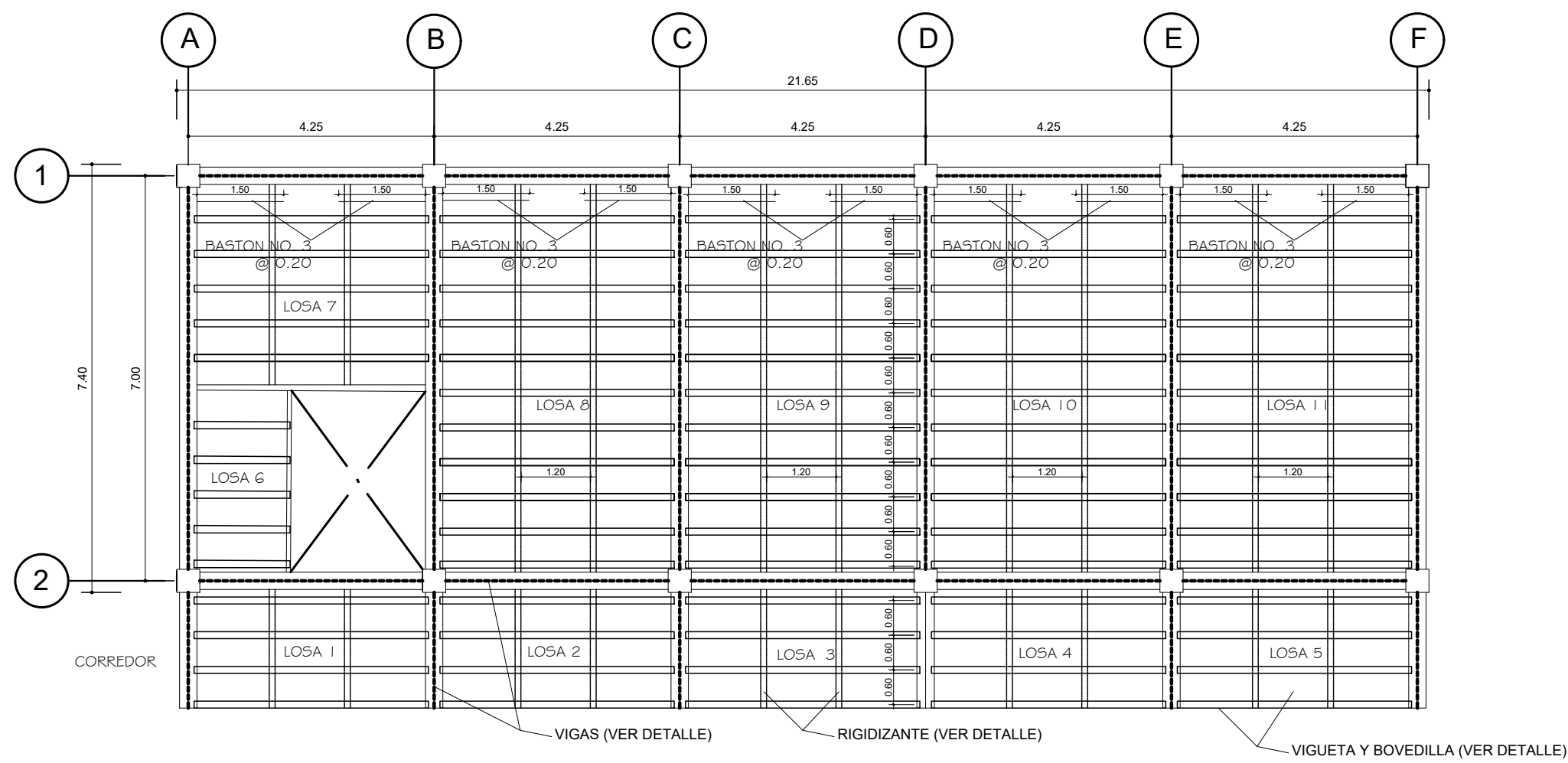
DETALLE ANCLAJE
VIGA-COLUMNA ESCALA 1:20



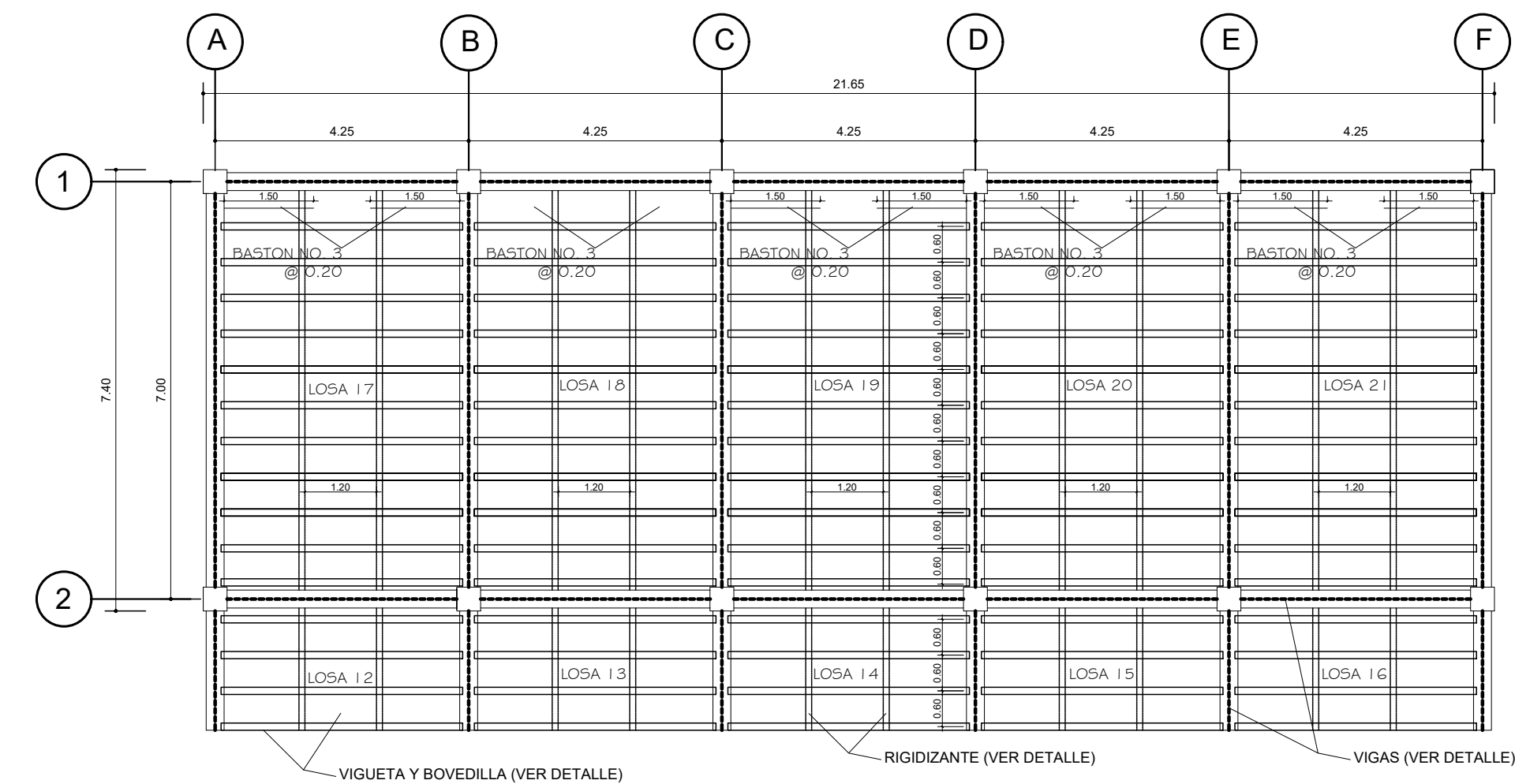
DETALLE ANCLAJE
VIGA-COLUMNA ESCALA 1:20

DISPOSICIONES DE MATERIALES
RESISTENCIA NOMINAL DEL CONCRETO A COMPRESION $f'_c = 281 \text{ kg/cm}^2$
RESISTENCIA EN EL PUNTO DE FLUENCIA DEL ACERO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
RECBUBRIMIENTO EN COLUMNAS $\text{Rec} = 0.04 \text{ m}$
RECBUBRIMIENTO EN ZAPATAS $\text{Rec} = 0.08 \text{ m}$

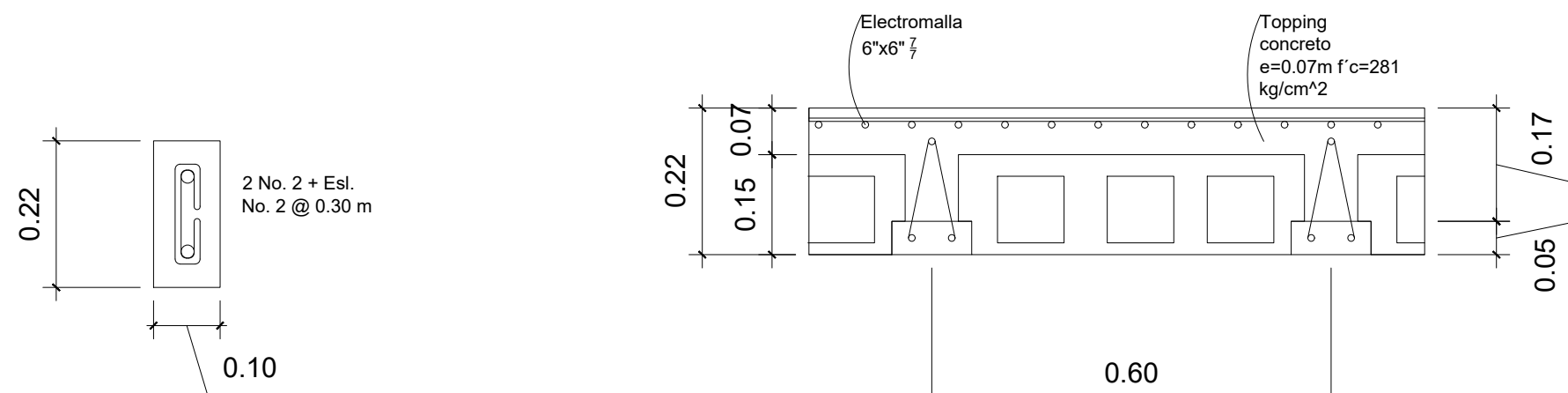
PROYECTO:	EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS
CONTENIDO:	PLANTA CIMIENTOS Y COLUMNAS
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	05 / 09



PLANTA DE LOSAS
PLANTA BAJA
ESC:1/100

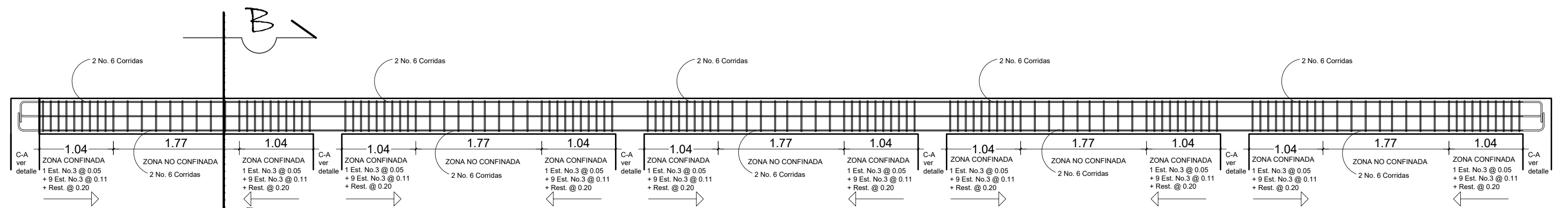


PLANTA DE LOSAS
PLANTA ALTA
ESC:1/100

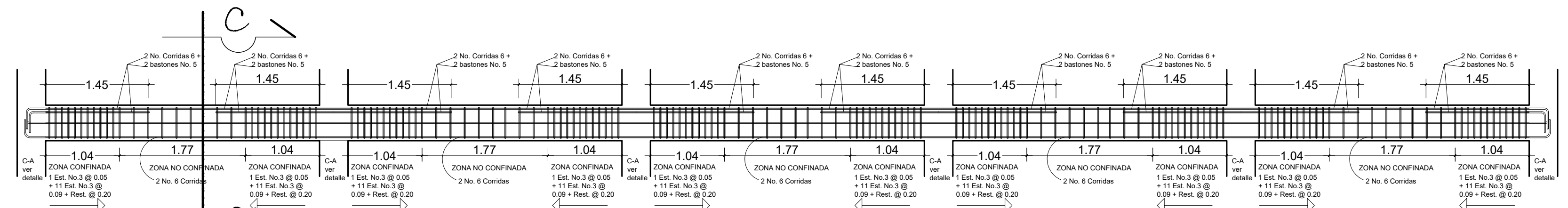


RIGIDIZANTE LOSA PREFABRICADA
1/10

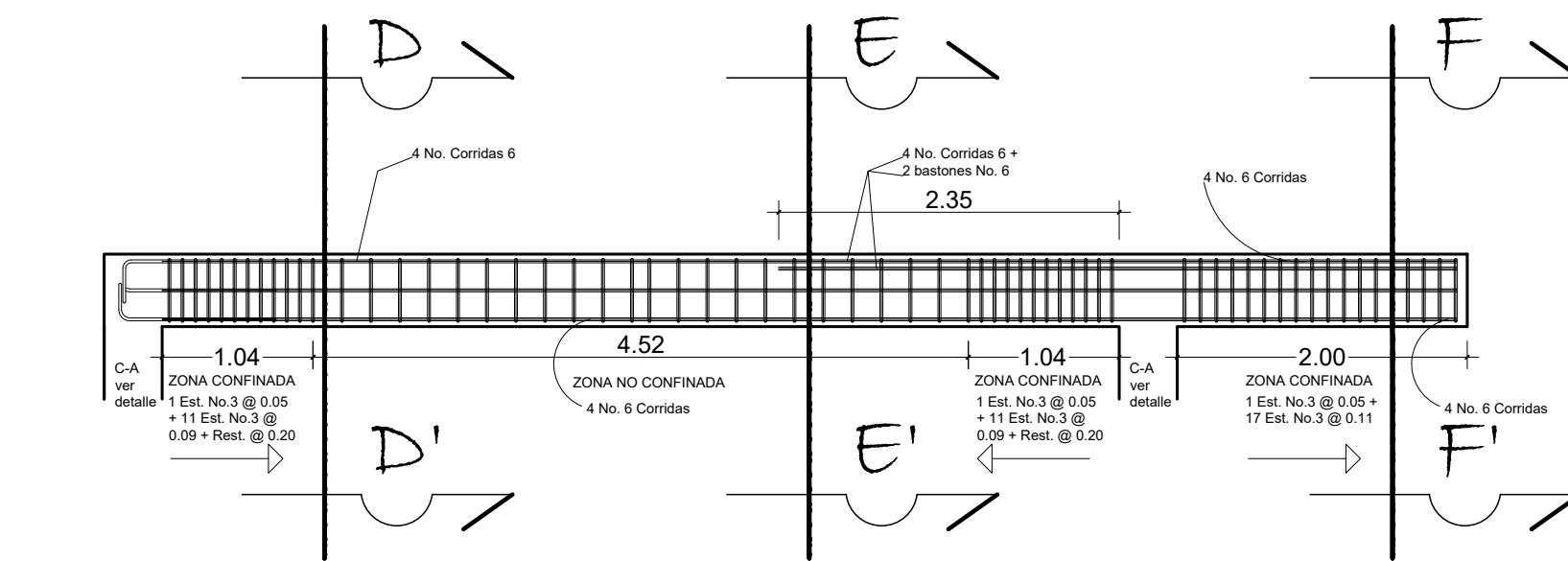
DETALLE LOSA PREFABRICADA
1/10



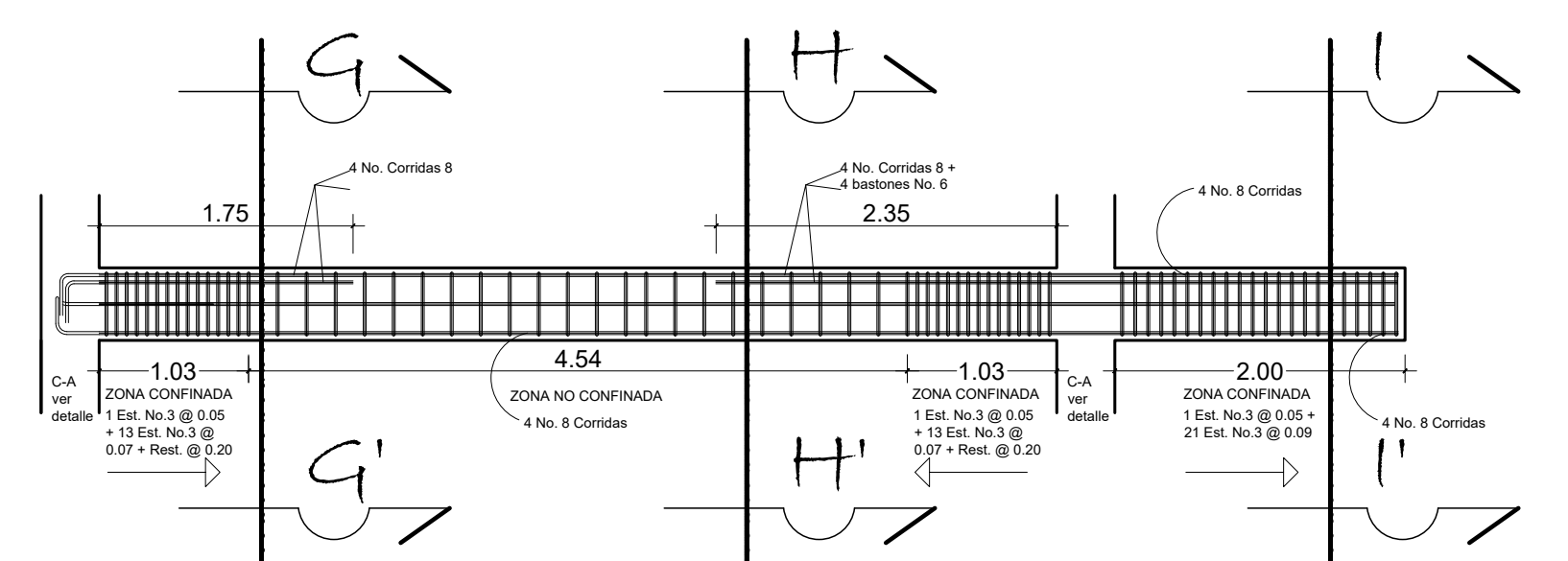
DETALLES VIGAS "V-1" EJES 1 Y 2 SEGUNDO NIVEL



DETALLES VIGAS "V-2" EJES 1 Y 2 PRIMER NIVEL

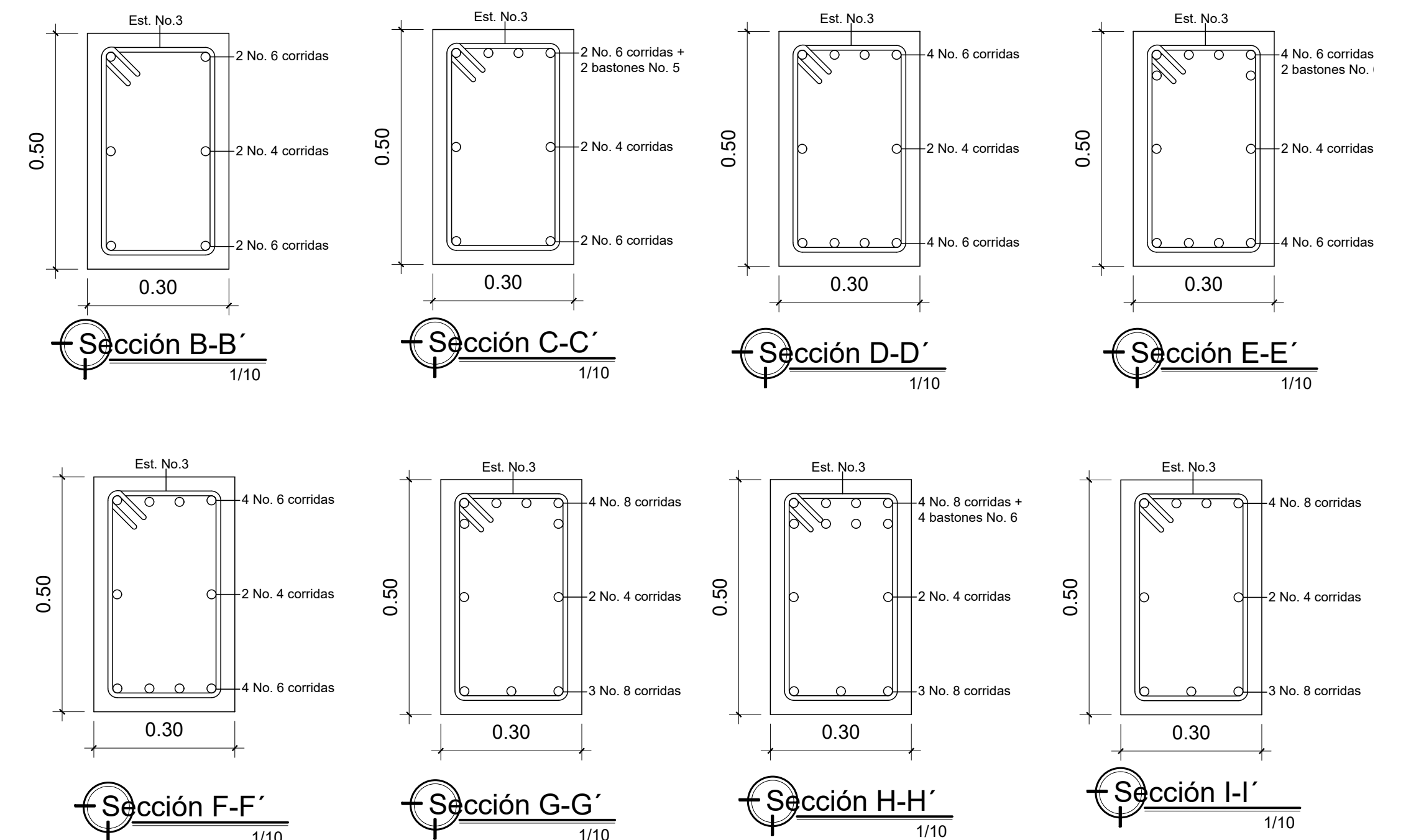


DETALLES VIGAS "V-3" EJES A, B, C, D, E, F SEGUNDO NIVEL



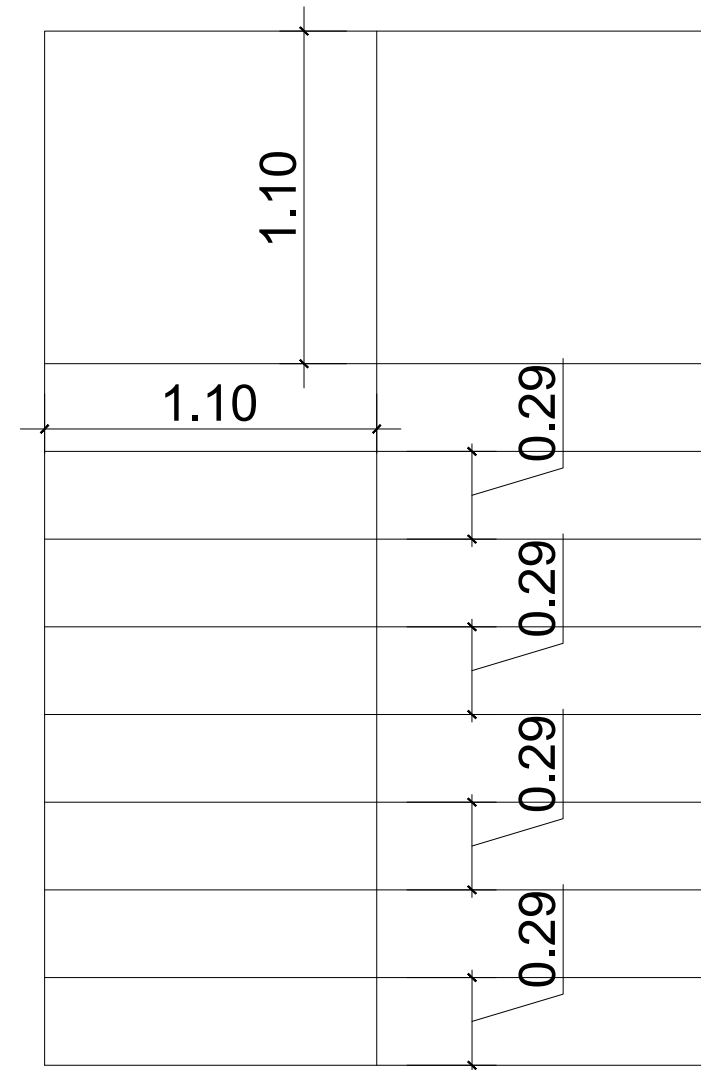
DETALLES VIGAS "V-4" EJES A, B, C, D, E, F PRIMER NIVEL

NOMENCLATURA DE LOSA	
LOSA 1	4 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 500 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 2	4 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 500 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 3	4 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 500 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 4	4 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 500 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 5	4 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 500 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 6	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 600 kg/m2 L=1.58 m
LOSA 7	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 600 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 8	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 9	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 10	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 11	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 m
LOSA 12	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 13	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 14	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 15	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 16	5 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 17	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 18	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 19	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 20	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M
LOSA 21	11 VIGUETAS S-2 PERALTE 20 CV 200 kg/m2 L=4.02 M

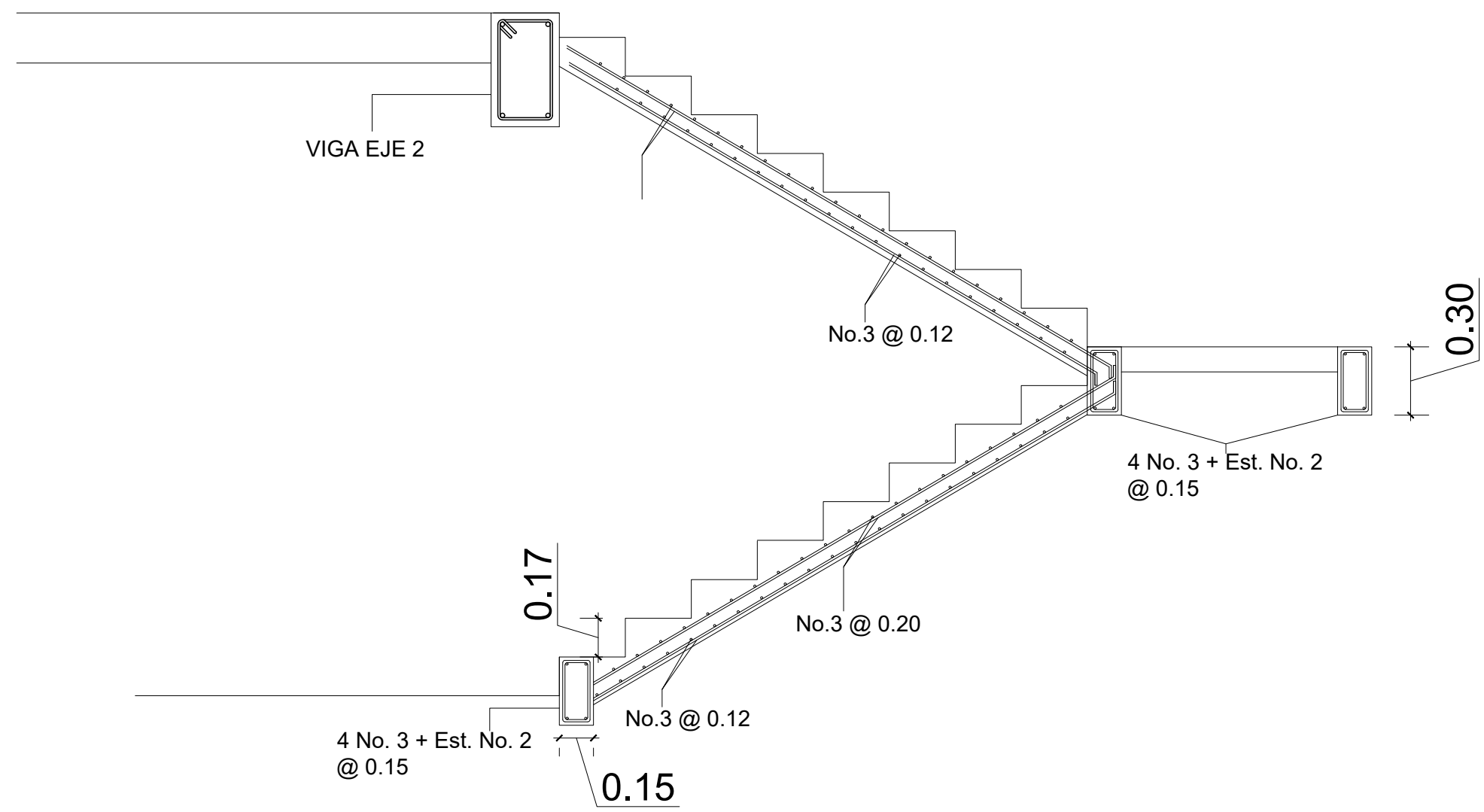


DISPOSICIONES DE MATERIALES
RESISTENCIA NOMINAL DEL CONCRETO A COMPRESION $f_c = 281 \text{ kg/cm}^2$
RESISTENCIA EN EL PUNTO DE FLUENCIA DEL ACERO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
RECUBRIMIENTO EN VIGAS $\text{Rec} = 0.04 \text{ m}$

PROYECTO:	EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS
CONTENIDO:	PLANTA LOSAS Y VIGAS
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	06 / 09

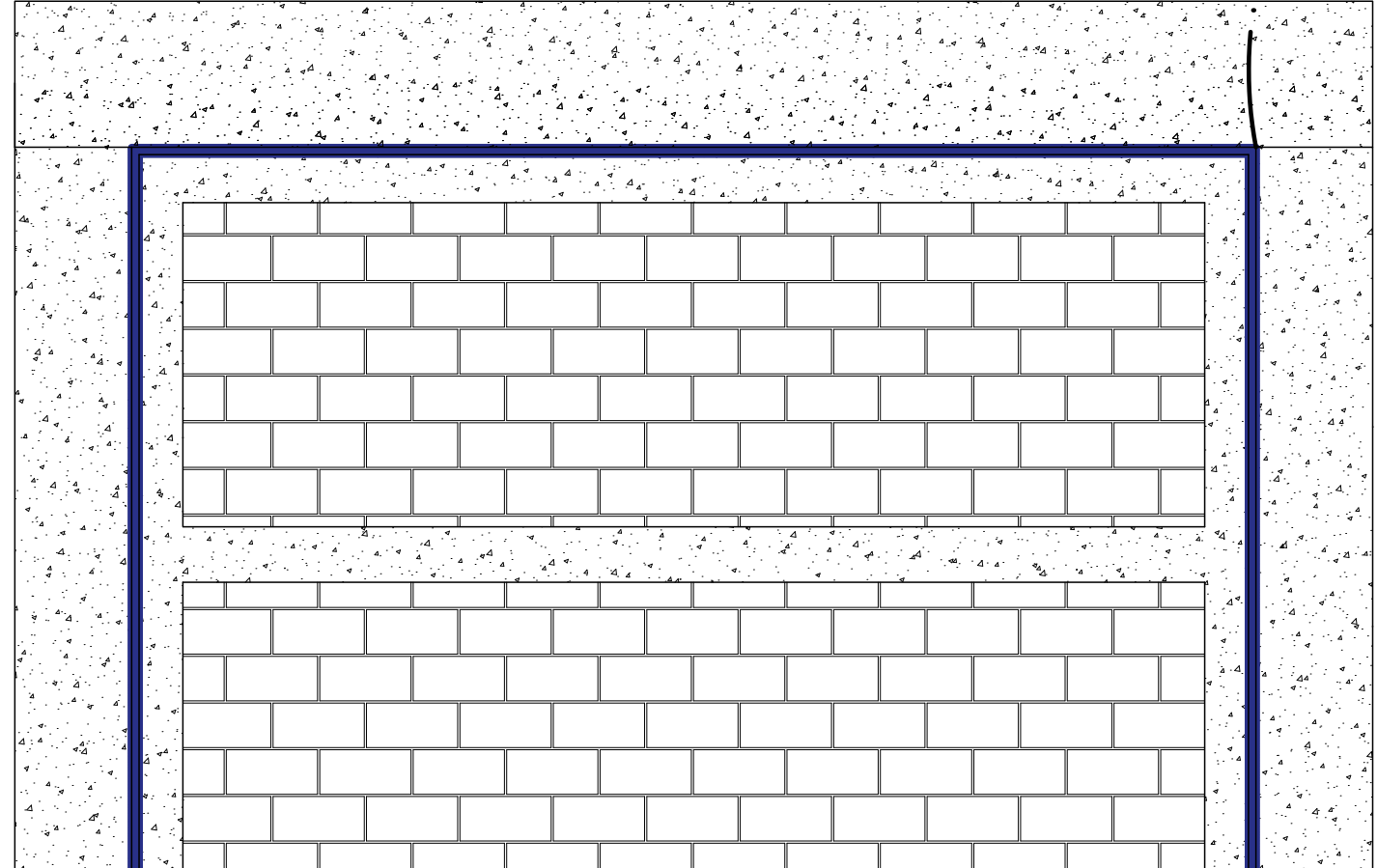
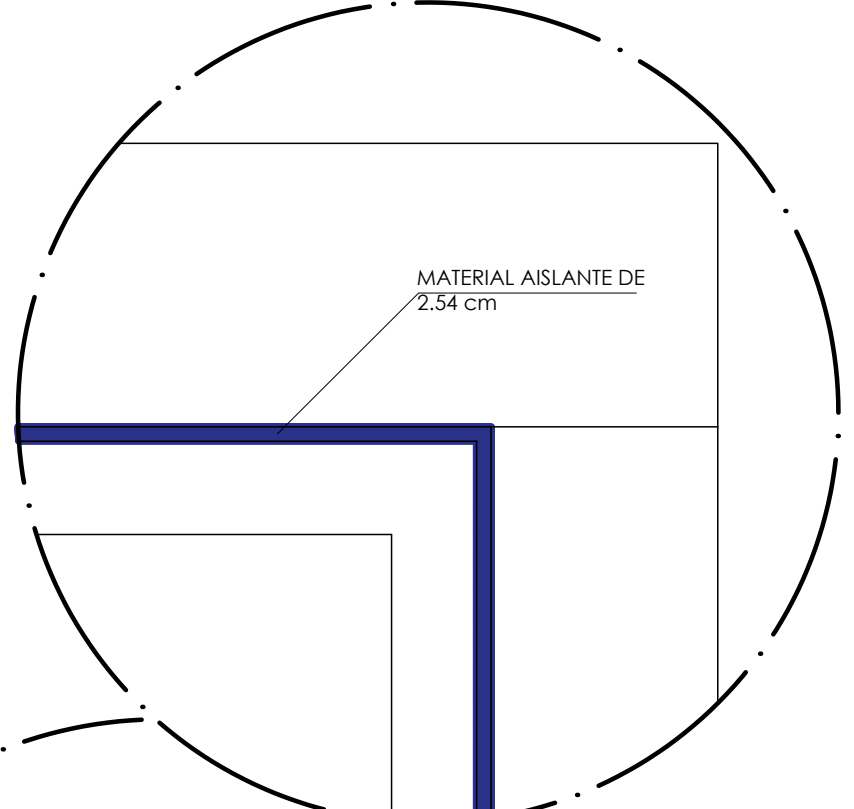


PLANTA DE GRADAS
ESC:1/25

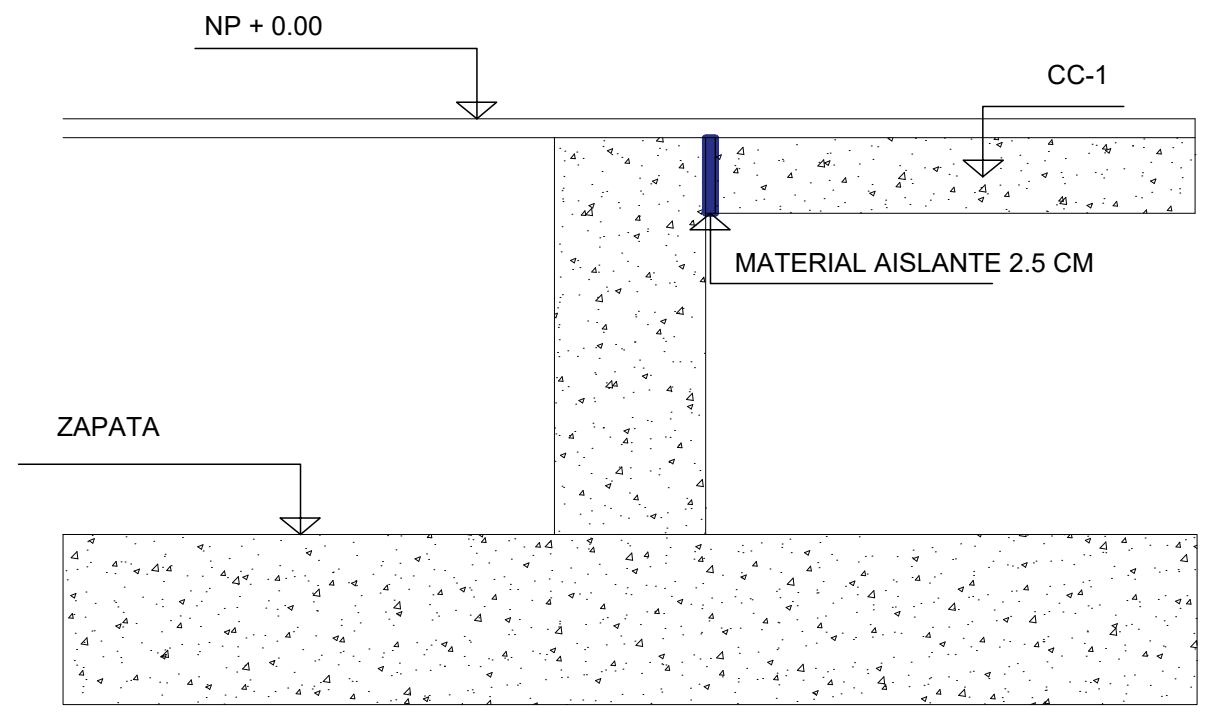


DETALLE GRADAS
PLANTA ALTA
ESC:1/25

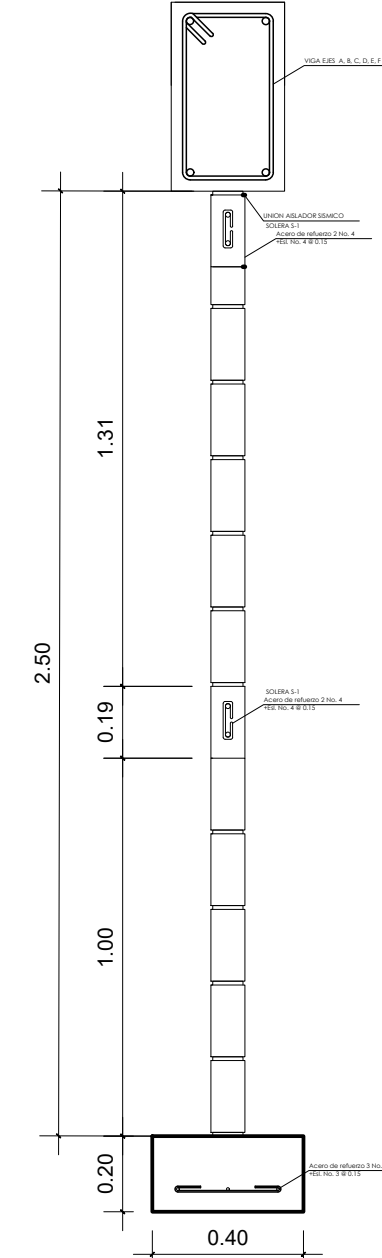
DISPOSICIONES DE MATERIALES
BLOCK CLASE A (133 kg/cm²), ANCHO 0.09 M
RESISTENCIA NOMINAL DEL CONCRETO A COMPRESION $f_c = 281 \text{ kg/cm}^2$
RESISTENCIA EN EL PUNTO DE FLUENCIA DEL ACERO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$



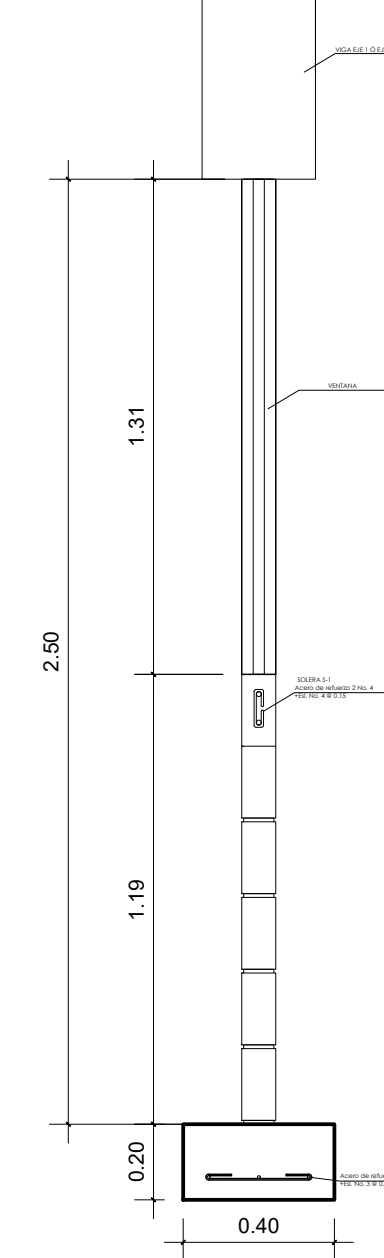
DETALLE JUNTA EN MURO TIPICO
ESCALA 1:25



DETALLE CONJUNTO CIMIENTOS
ESCALA 1:50

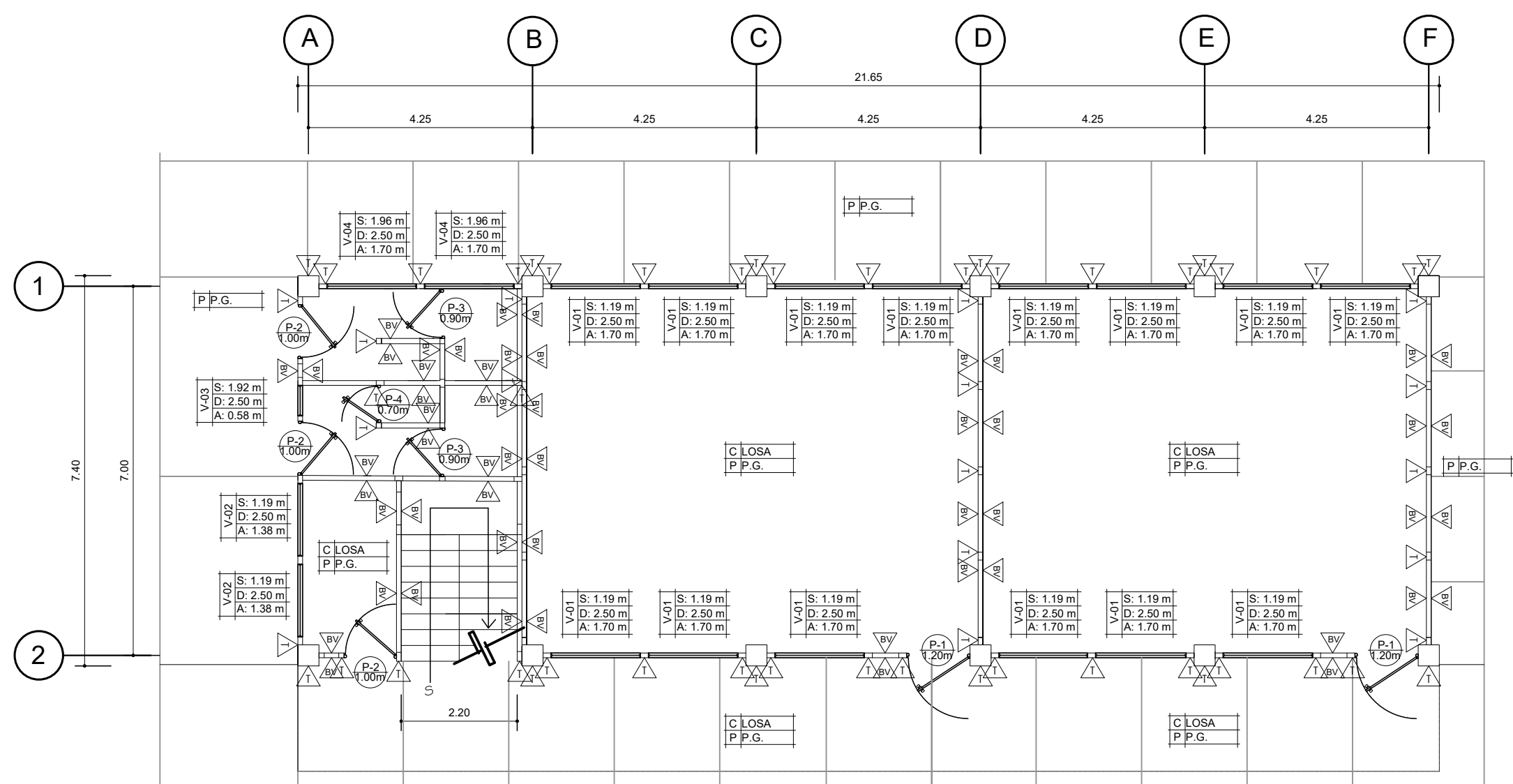


DETALLE MURO
TIPICO
ESCALA 1:50



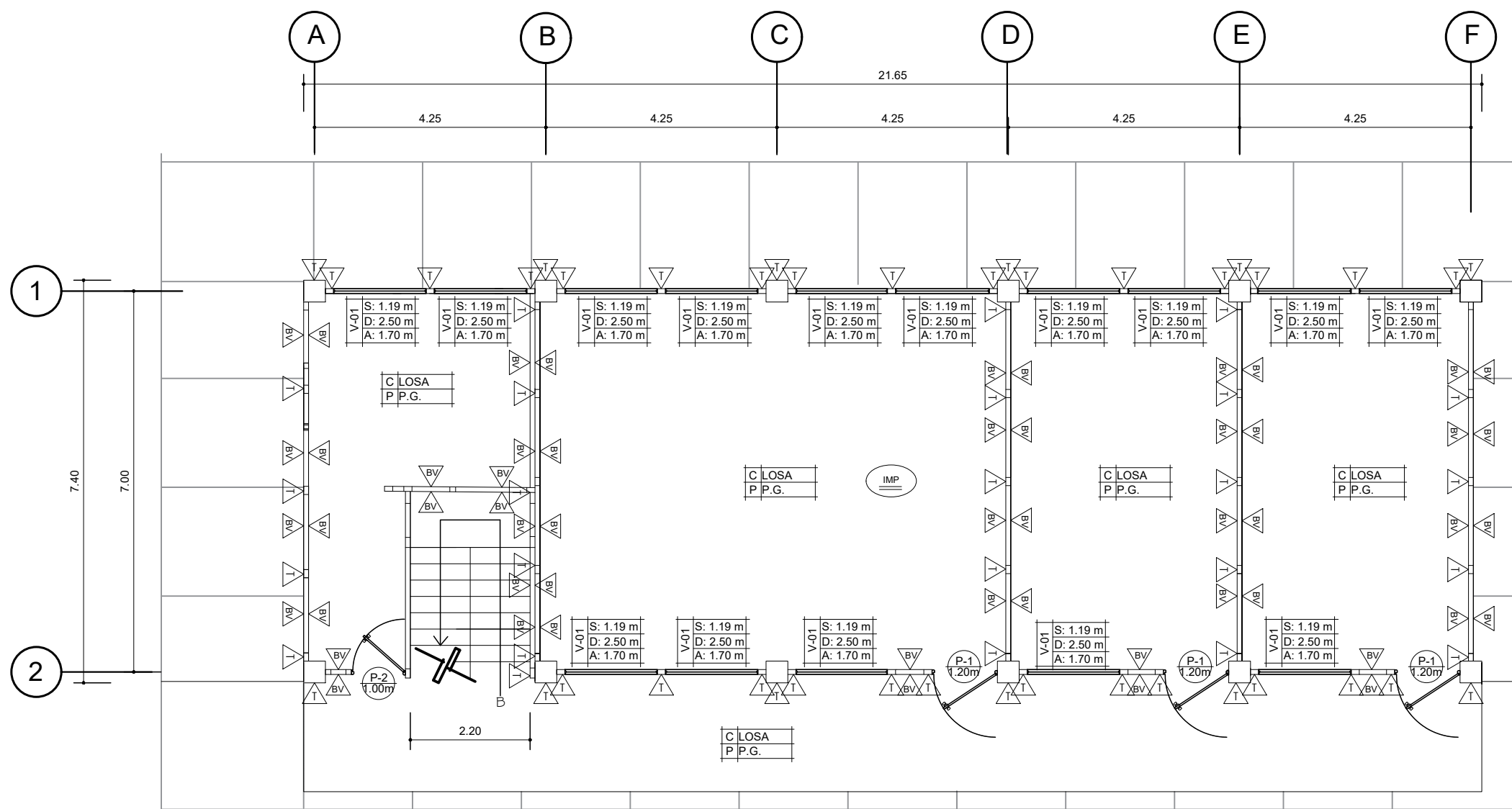
DETALLE MURO
TIPICO
ESCALA 1:50

PROYECTO:	EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS
CONTENIDO:	DETALLES ESTRUCTURALES
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	07/09



PLANTA DE ACABADOS
PLANTA BAJA

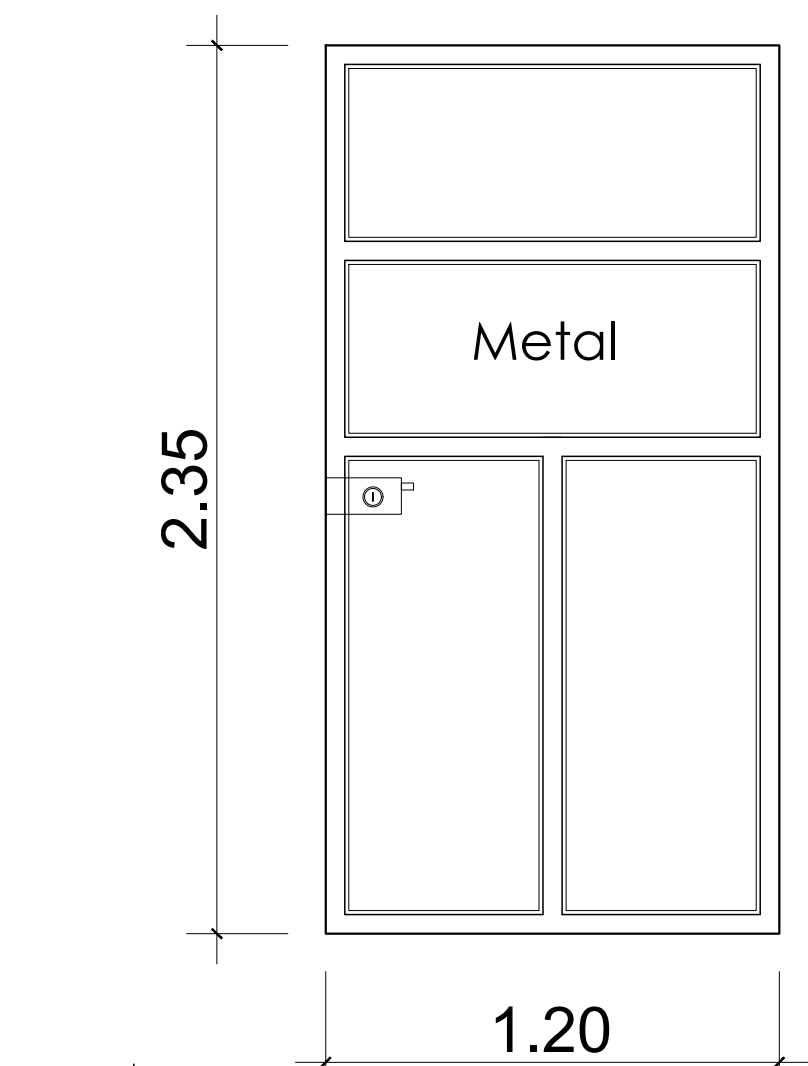
ESC:1/100



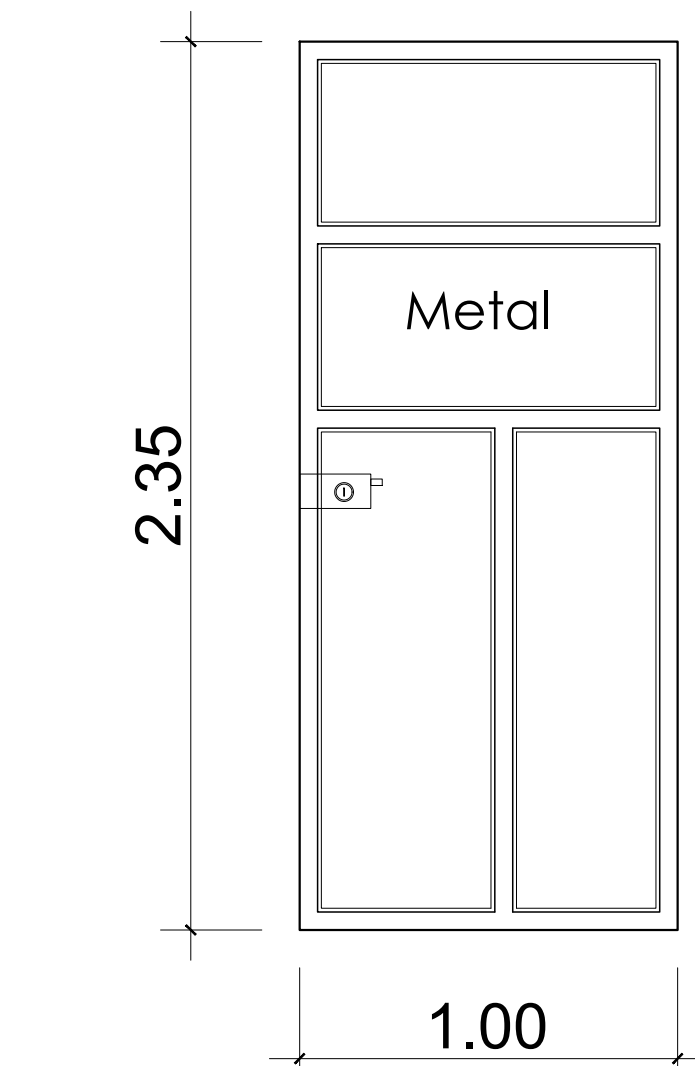
PLANTA DE ACABADOS
PLANTA ALTA

ESC:1/100

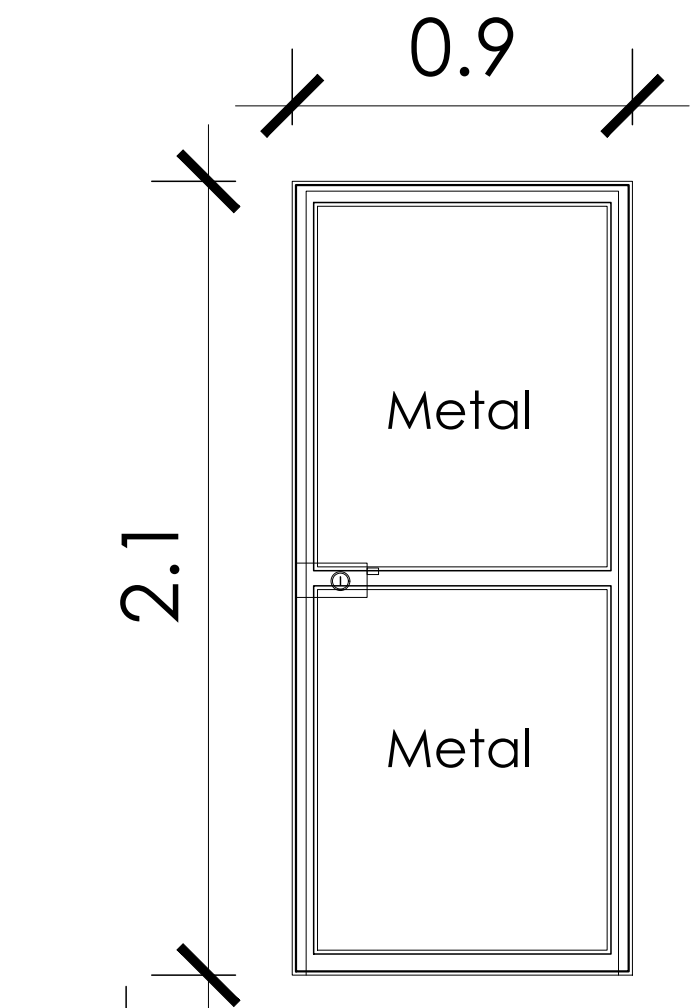
SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
V-01 S: 1.20 m D: 2.80 m A: 1.59 m	INDICA TIPO DE VENTANA SILLAR DINTEL ANCHO
P-1 1.10m	INDICA TIPO DE PUERTA ANCHO
C LOSA P.P.G.	INDICA TIPO ACABADO EN CIELO (repello y cernido) INDICA TIPO ACABADO EN PISO (piso de granito)
T	INDICA ACABADO EN COLUMNAS Y SOLERAS (tallado)
BV	INDICA ACABADO EN MUROS (block visto sisado + pintura)
IMP	INDICA APLICACION DE IMPERMIABILIZANTE EN LOSA DE TECHO COLOR BLANCO 5 AÑOS



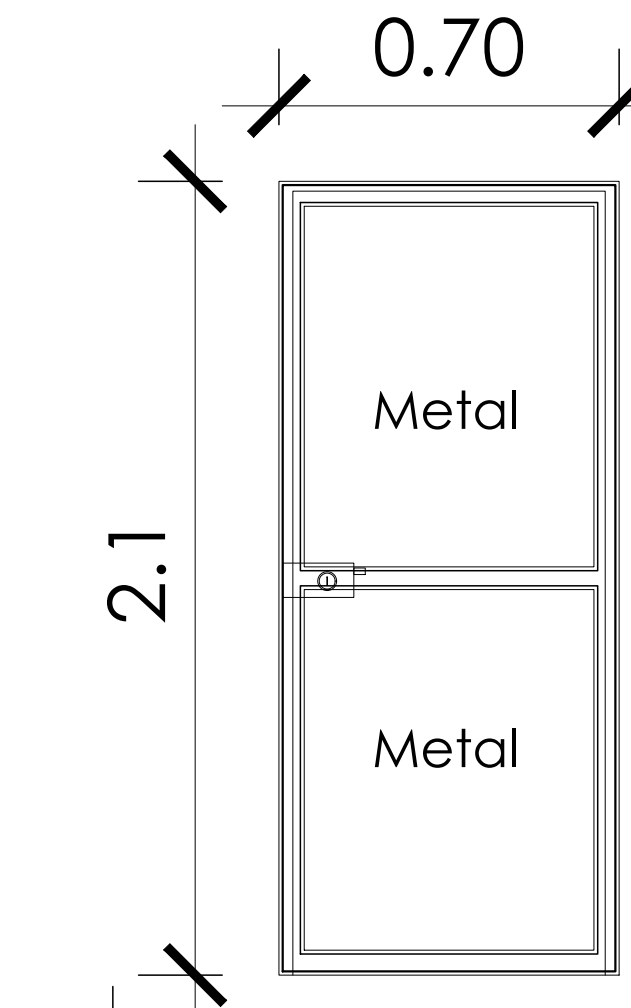
PUERTA TIPO P-01
ESCALA 1:20



PUERTA TIPO P-02
ESCALA 1:20



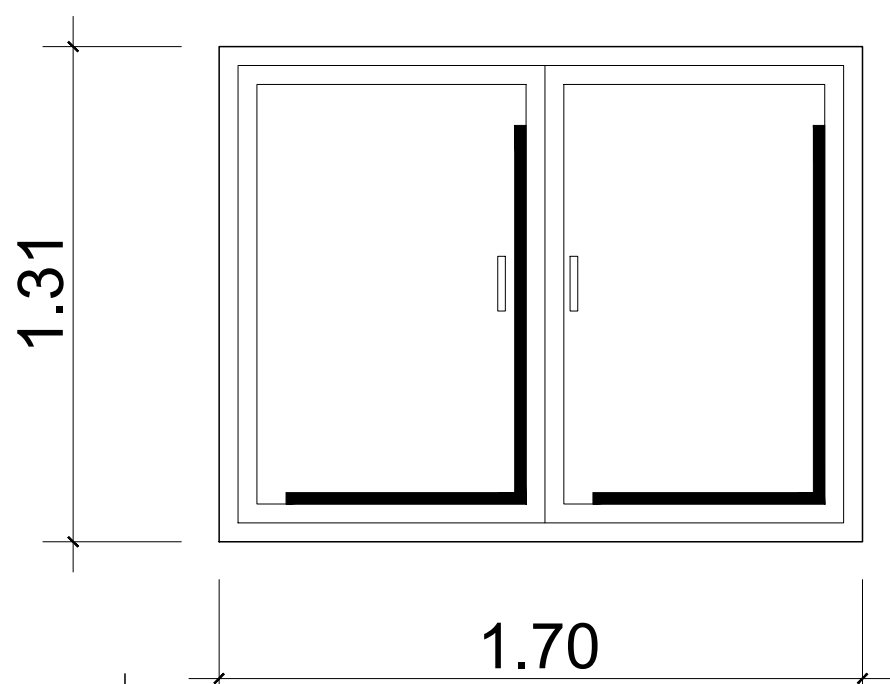
PUERTA TIPO P-03
ESCALA 1:20



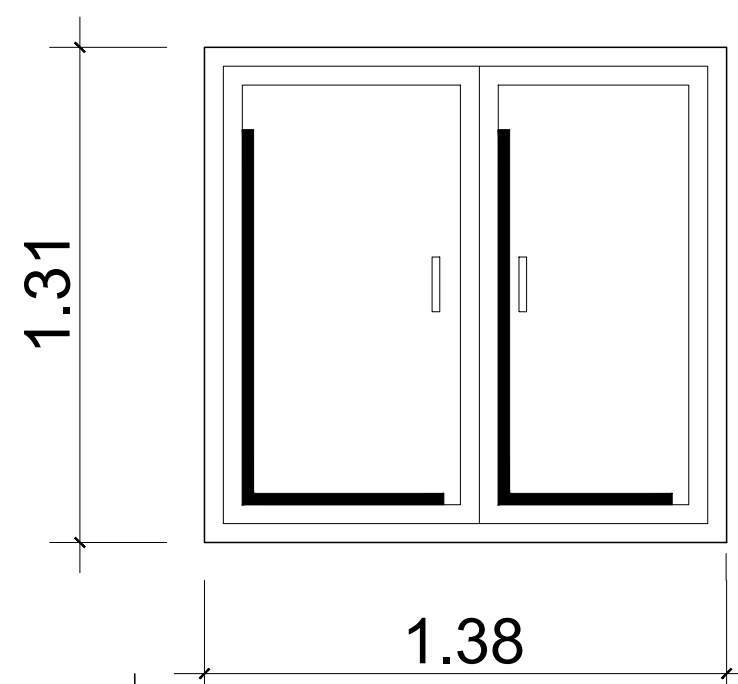
PUERTA TIPO P-04
ESCALA 1:20

PLANILLA PUERTAS						
TIPO	CANTIDAD	ANCHO	DINTEL	ALTO	SILLAR	MATERIAL
P-01	05	1.20	2.50	2.35	0.15	METAL
P-02	04	1.00	2.50	2.35	0.15	METAL
P-03	02	0.90	2.25	2.10	0.15	METAL
P-04	01	0.70	2.25	2.10	0.15	METAL

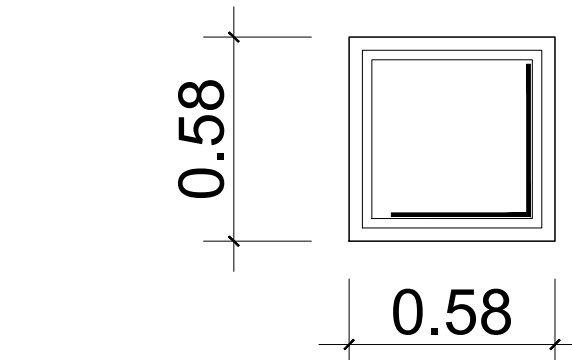
PLANILLA VENTANAS						
TIPO	CANTIDAD	ANCHO	DINTEL	ALTO	SILLAR	MATERIAL
V-01	29	1.70	2.50	1.31	1.19	ALUMINIO + VIDRIO
V-02	02	1.38	2.50	1.31	1.19	ALUMINIO + VIDRIO
V-03	01	0.58	2.50	0.58	1.92	ALUMINIO + VIDRIO
V-04	02	1.70	2.50	0.54	1.96	ALUMINIO + VIDRIO



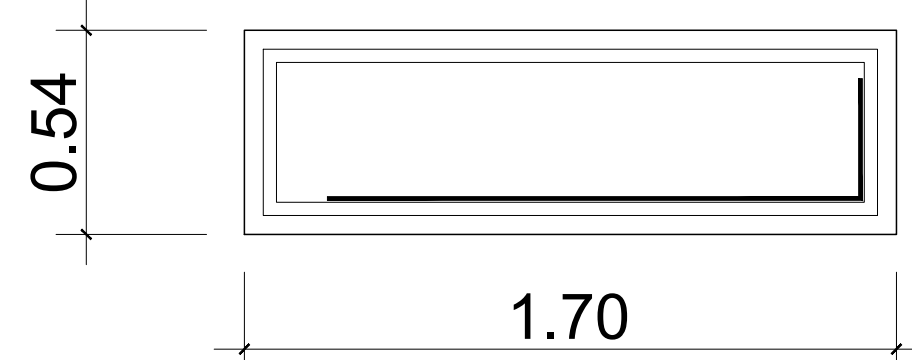
VENTANA TIPO V-01
ESCALA 1:20



VENTANA TIPO V-02
ESCALA 1:20



VENTANA TIPO V-03
ESCALA 1:20



VENTANA TIPO V-04
ESCALA 1:20

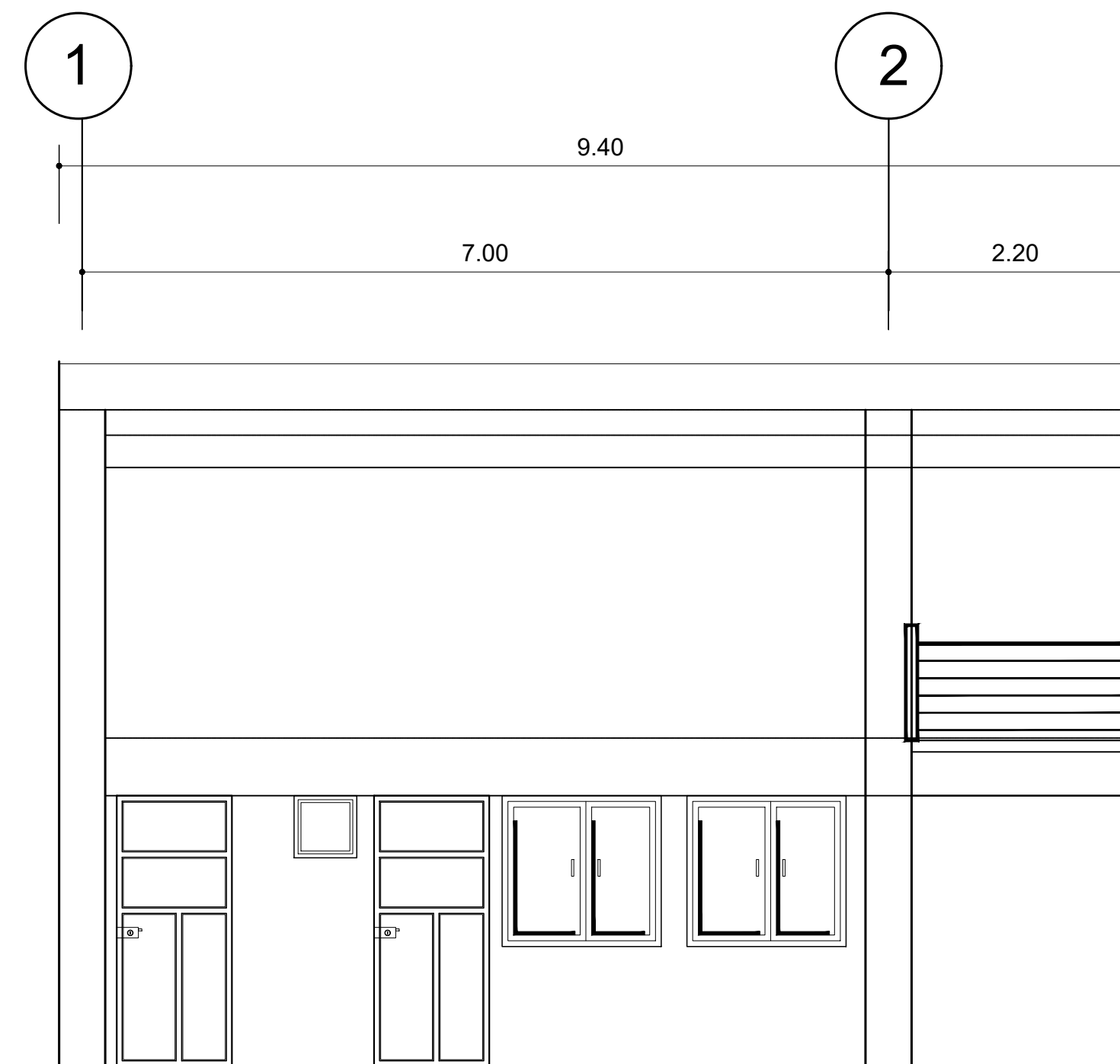
PROYECTO:	EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS
CONTENIDO:	PLANTA DE ACABADOS
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	08 / 09



ELEVACIÓN FRONTAL

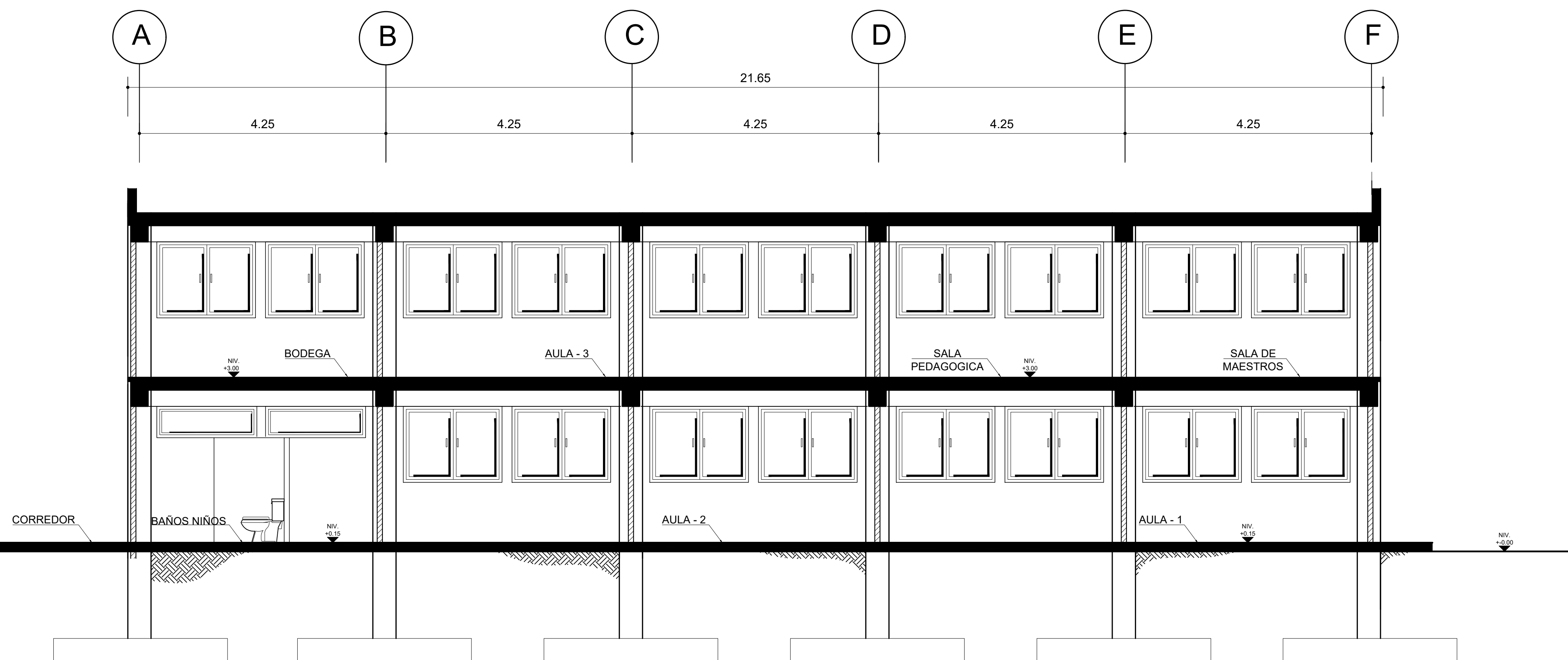
Alta

Esc: 1/50



ELEVACIÓN LATERAL

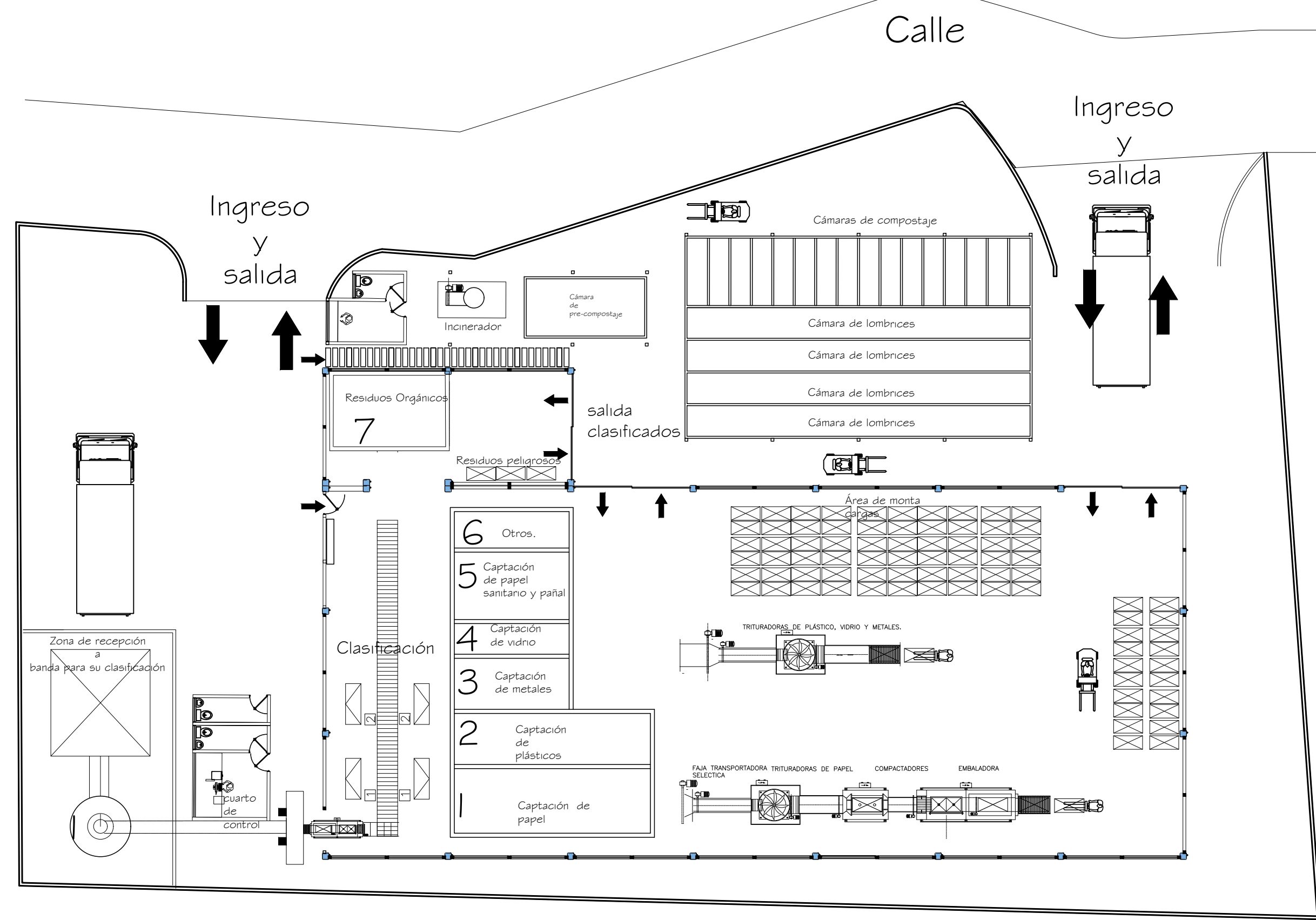
Esc: 1/50



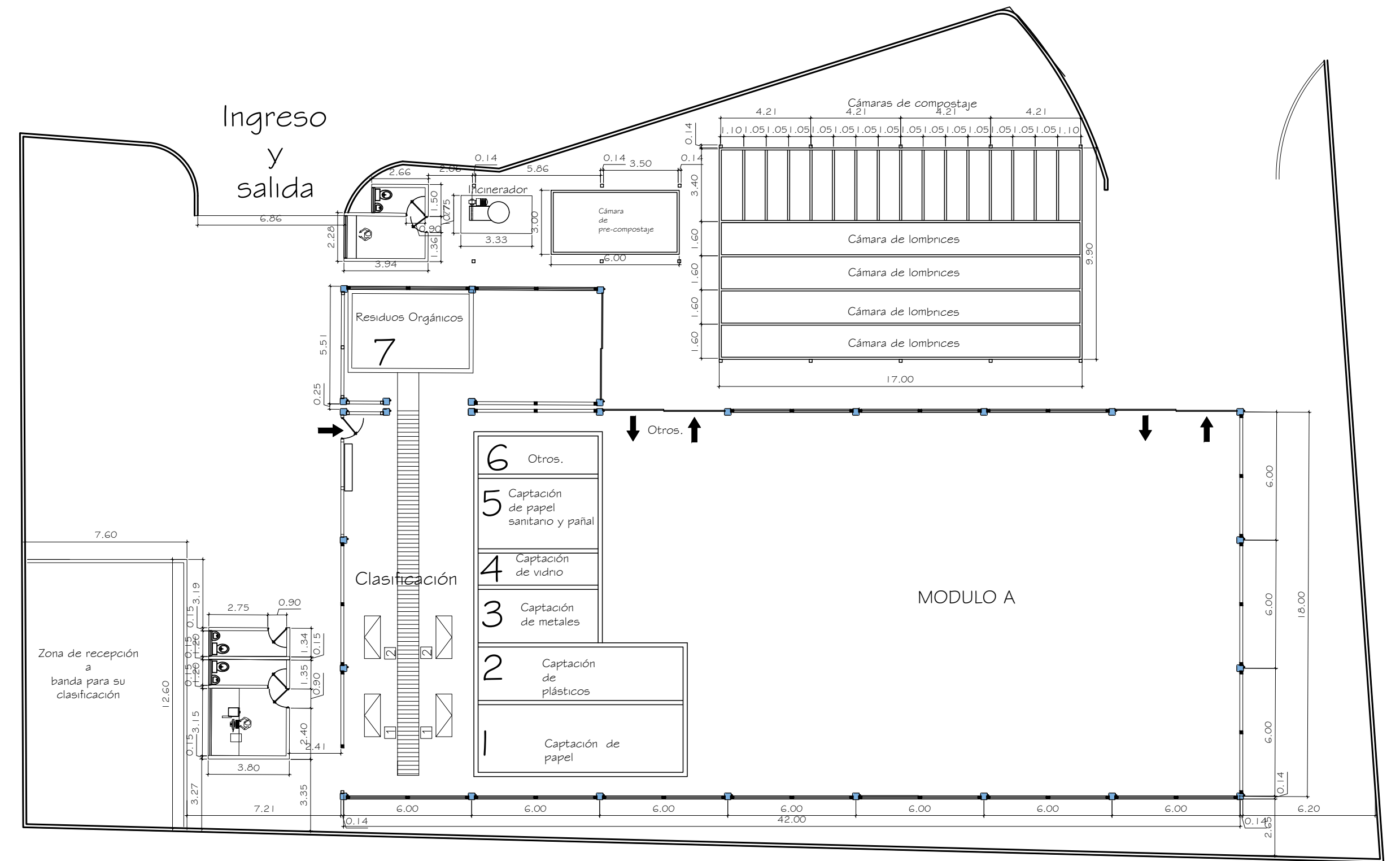
SECCIÓN TRANSVERSAL A-A'

Esc: 1/50

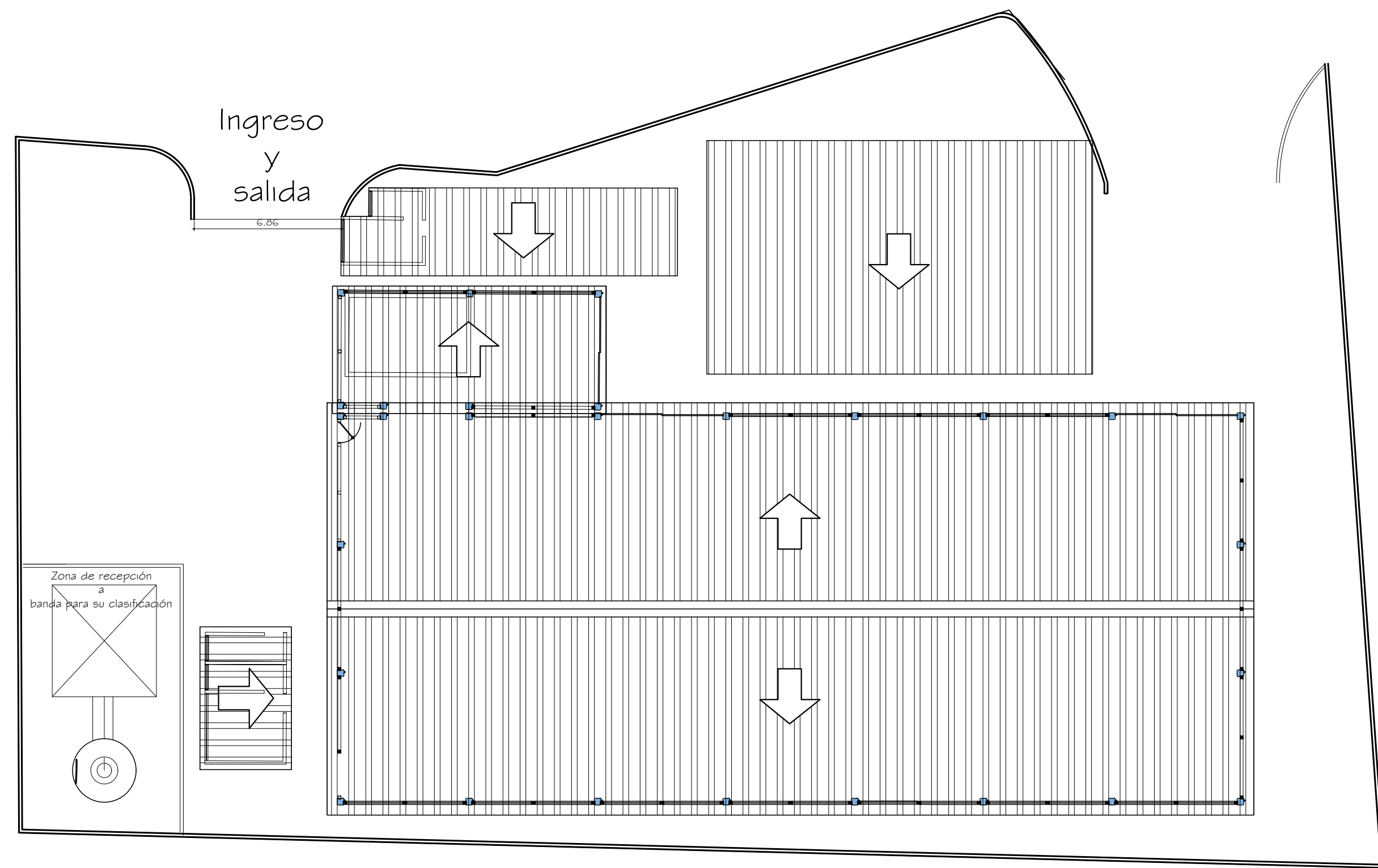
PROYECTO:	EDIFICACIÓN ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LOTIFICACION QUINTAS HERCILAS
CONTENIDO:	ELEVACIONES Y SECCIONES
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	09 / 09



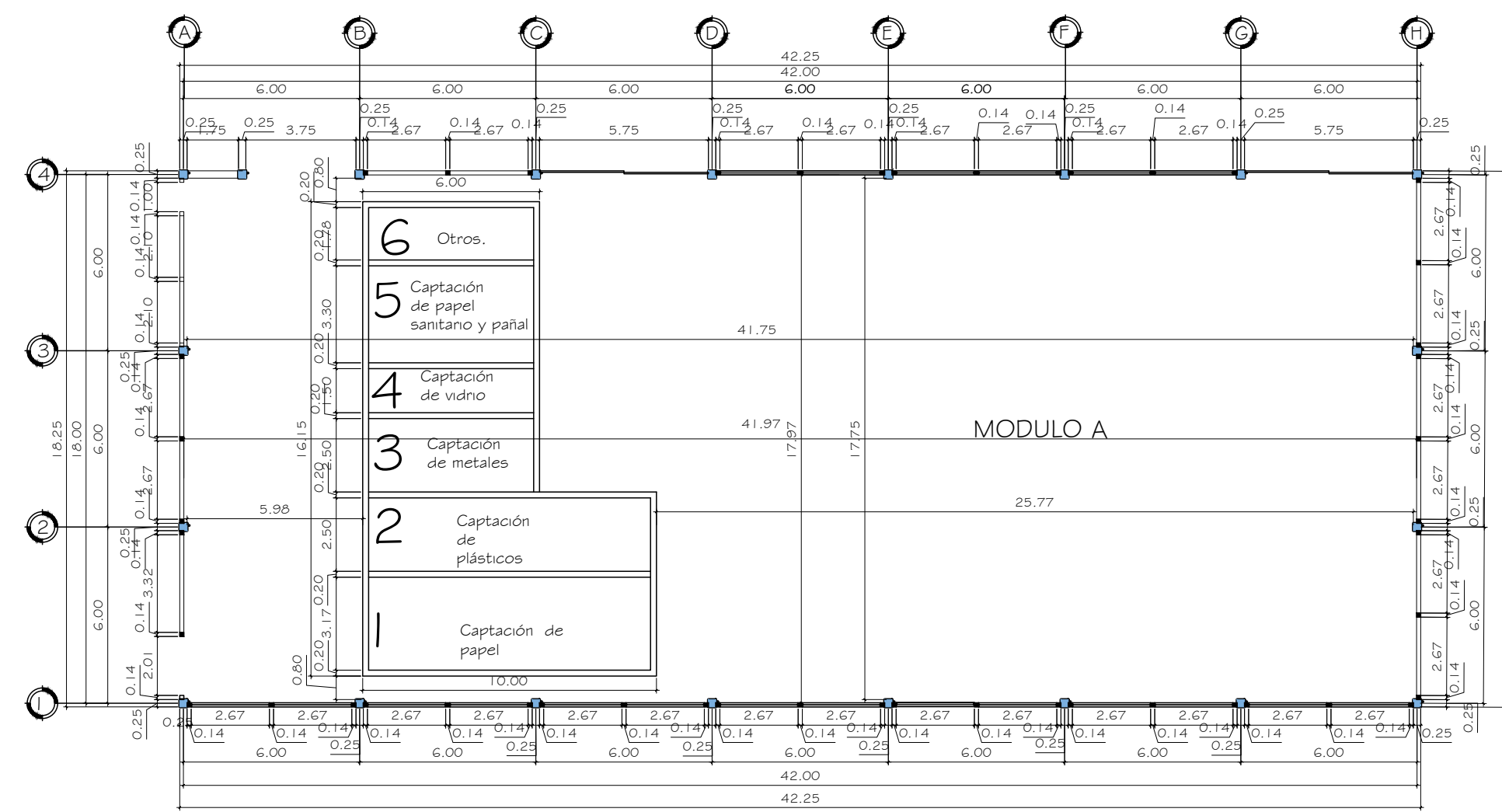
PLANTA ARQUITECTÓNICA
Esc 1:200



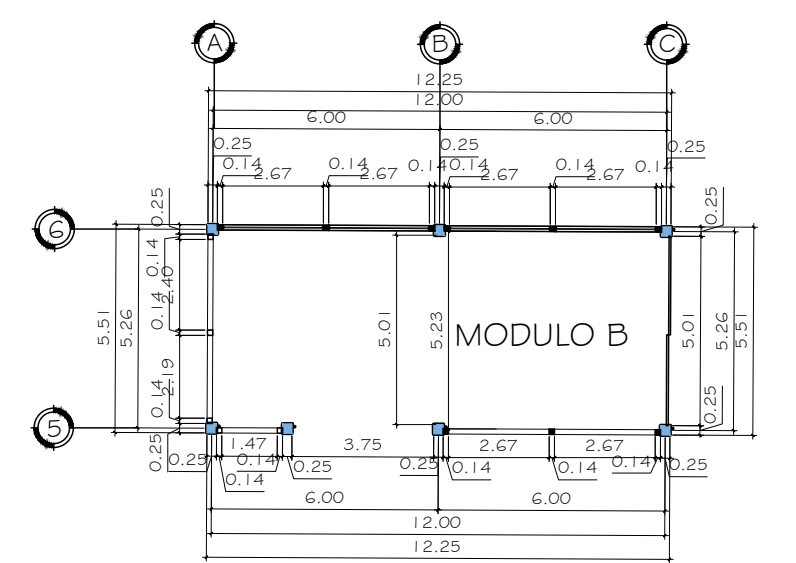
PLANTA COTAS GENERALES
Esc 1:200



PLANTA DE TECHOS
Esc 1:200

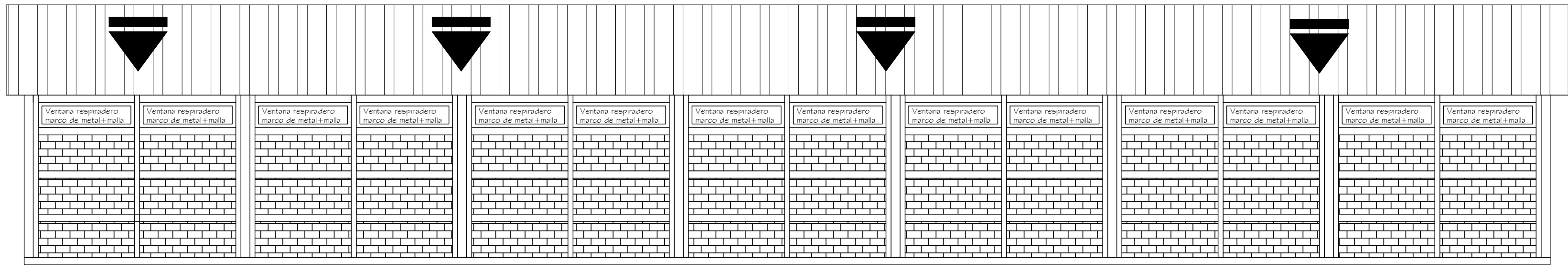


PLANTA COTAS MODULO A
Esc 1:200

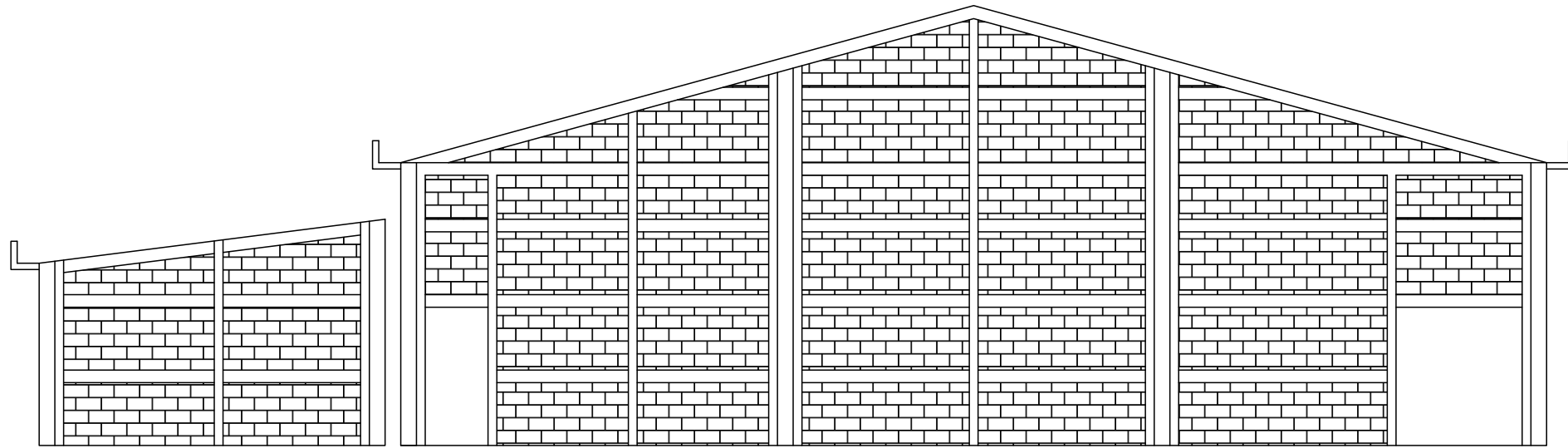


PLANTA COTAS MODULO B
Esc 1:200

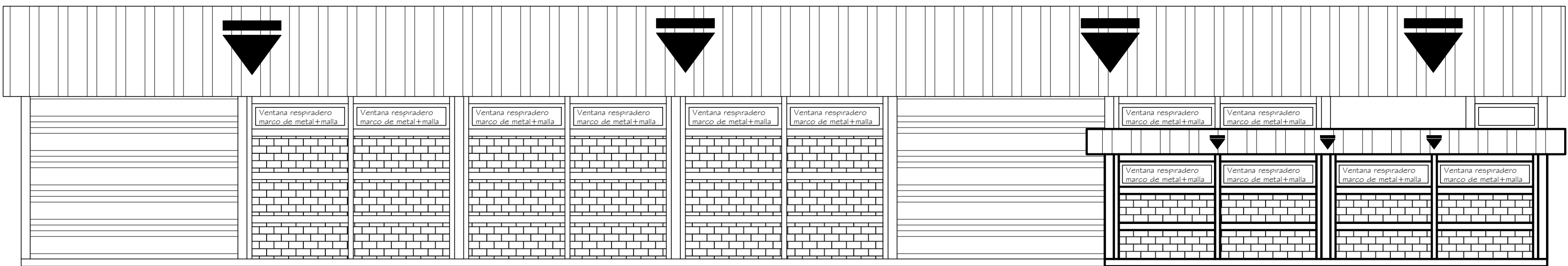
PROYECTO:			PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS
CONTENIDO:			PLANTA ARQUITECTONICA Y PLANTA DE COTAS
UBICACIÓN:			SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:			FEBRERO 2020
ESCALA:			INDICADA
HOJA No:			01
			09



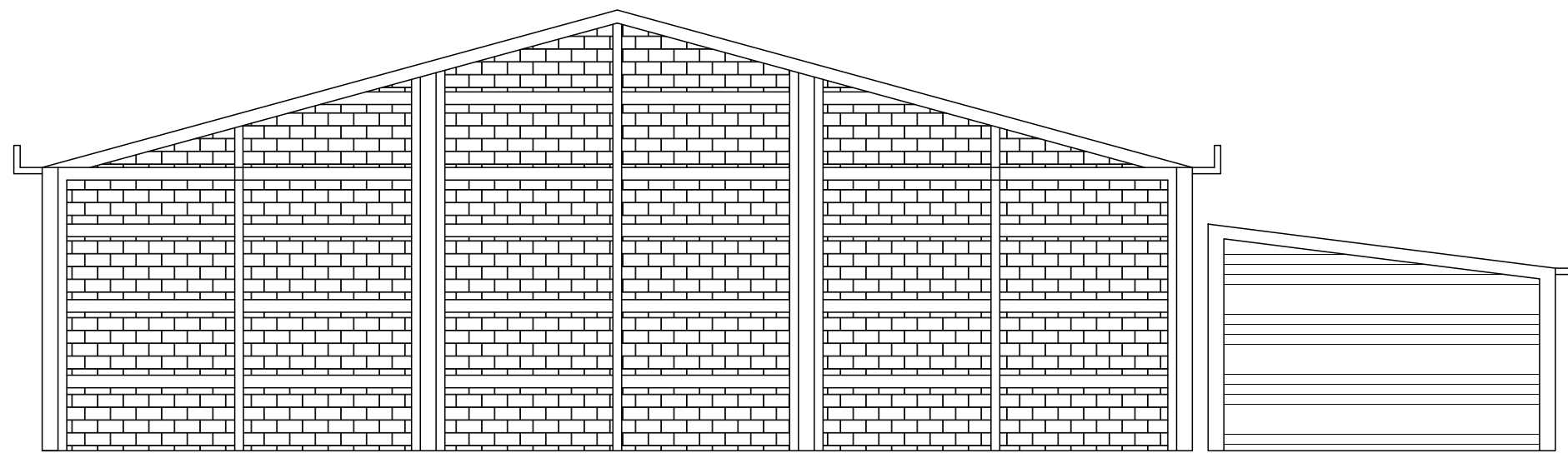
FACHADA LATERAL MODULO A
Esc 1:100



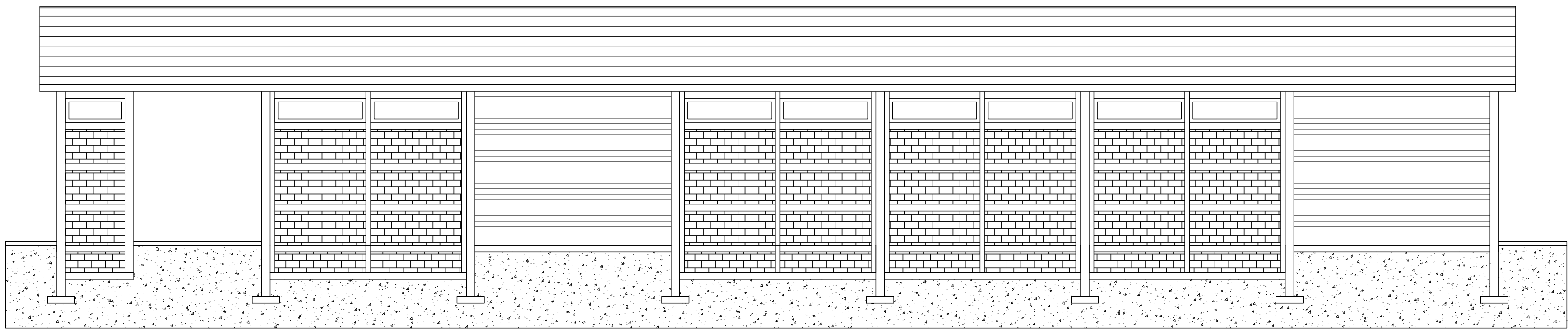
FACHADA FRONTAL
Esc 1:100



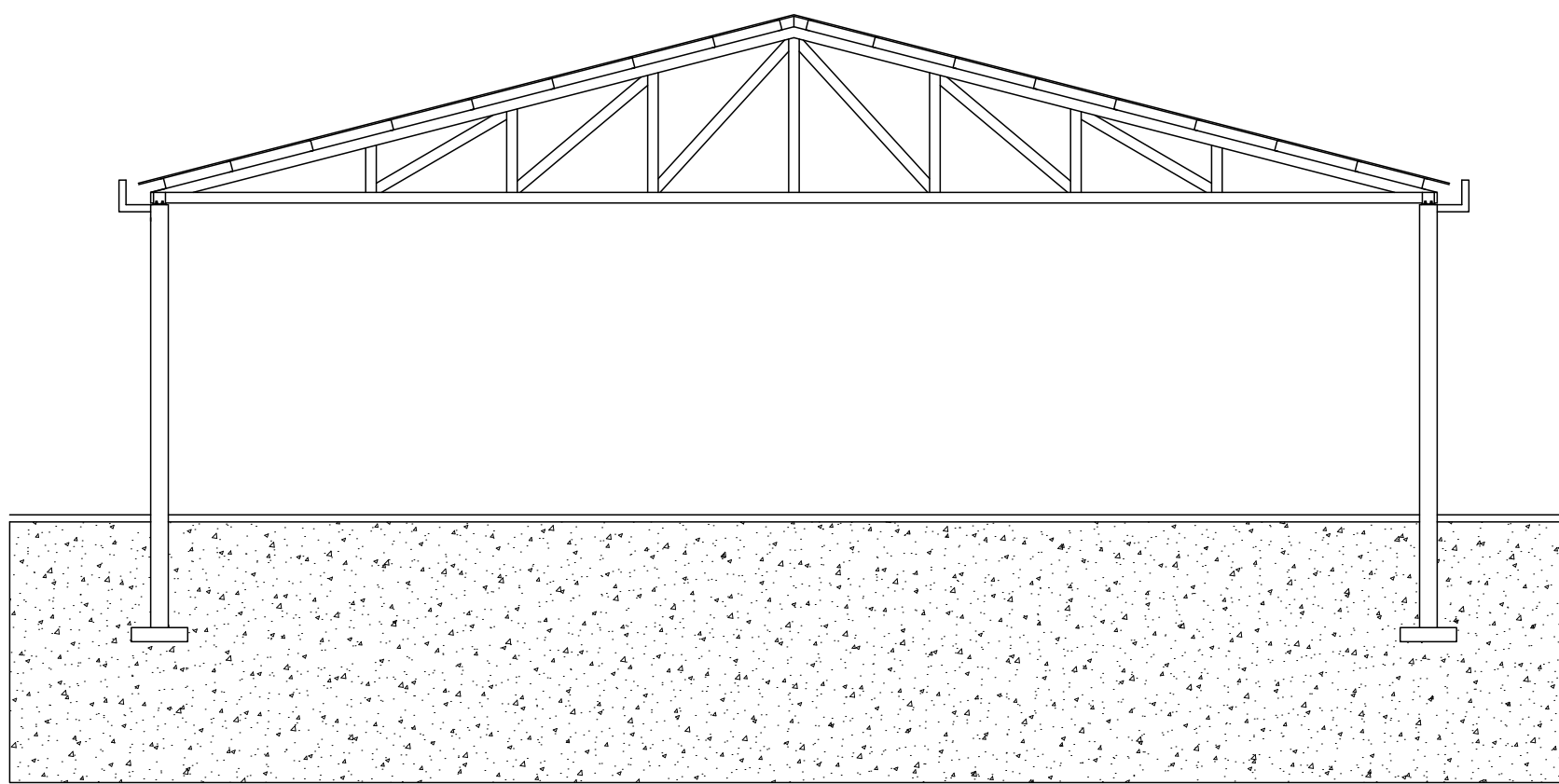
FACHADA LONGITUDINAL
Esc 1:100



FACHADA TRASERA
Esc 1:100

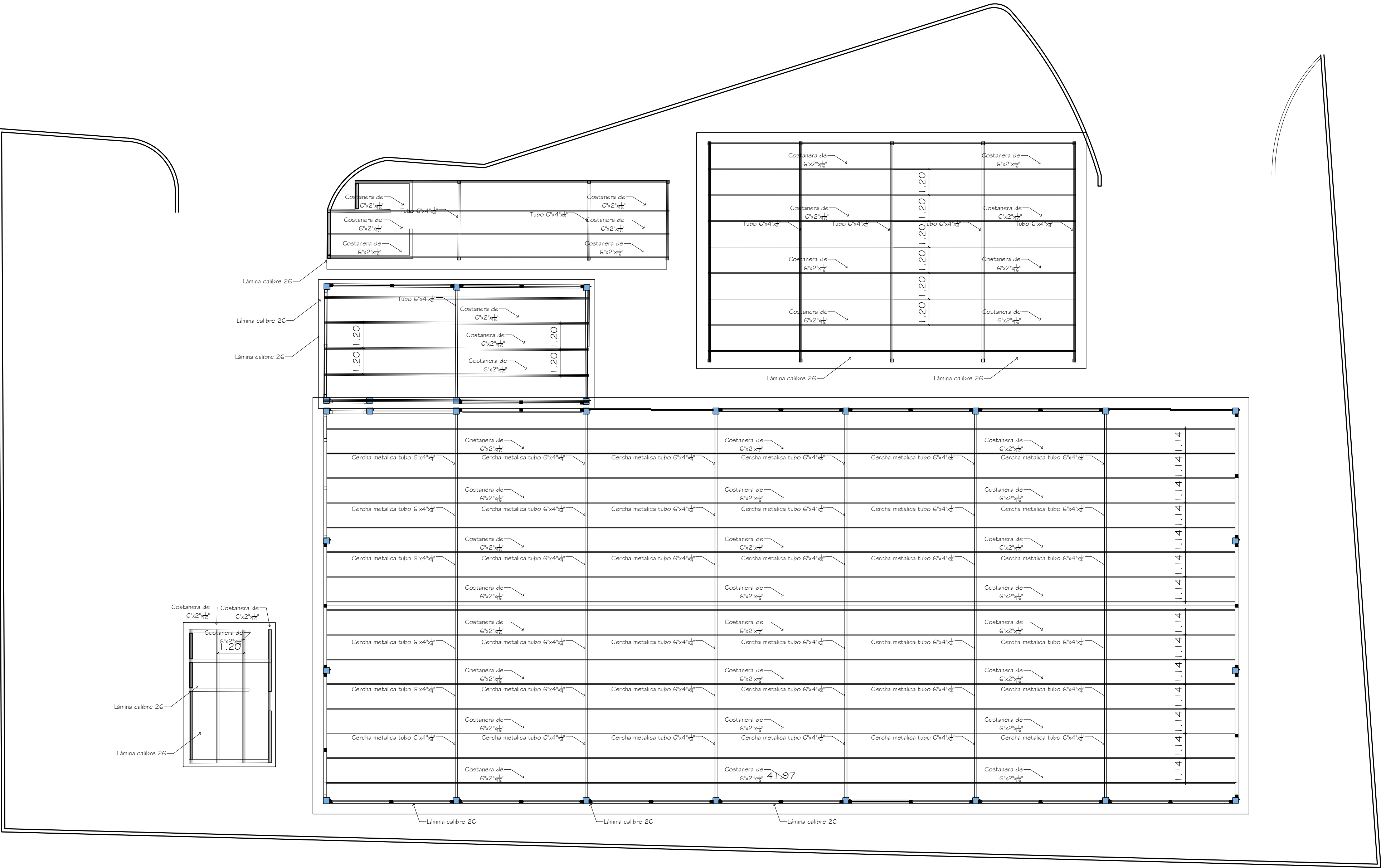


SECCIÓN LONGITUDINAL
Esc 1:100

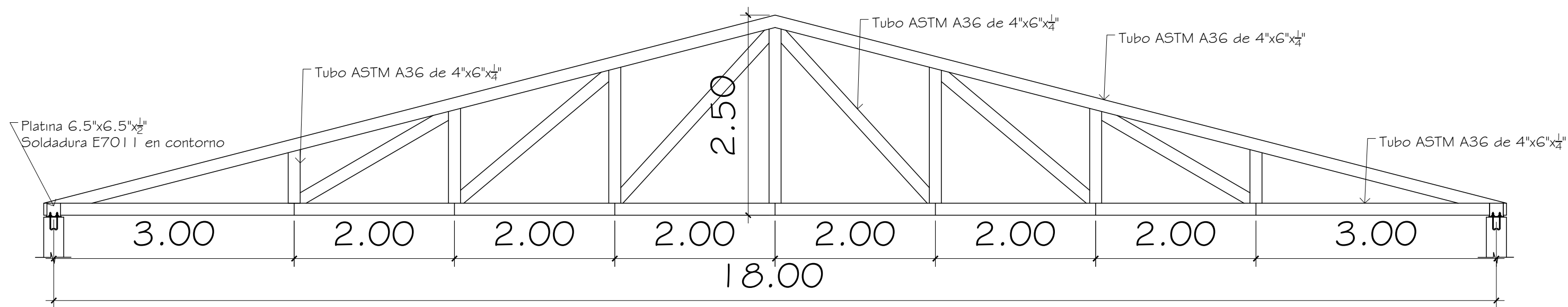


SECCIÓN TRANSVERSAL
Esc 1:100

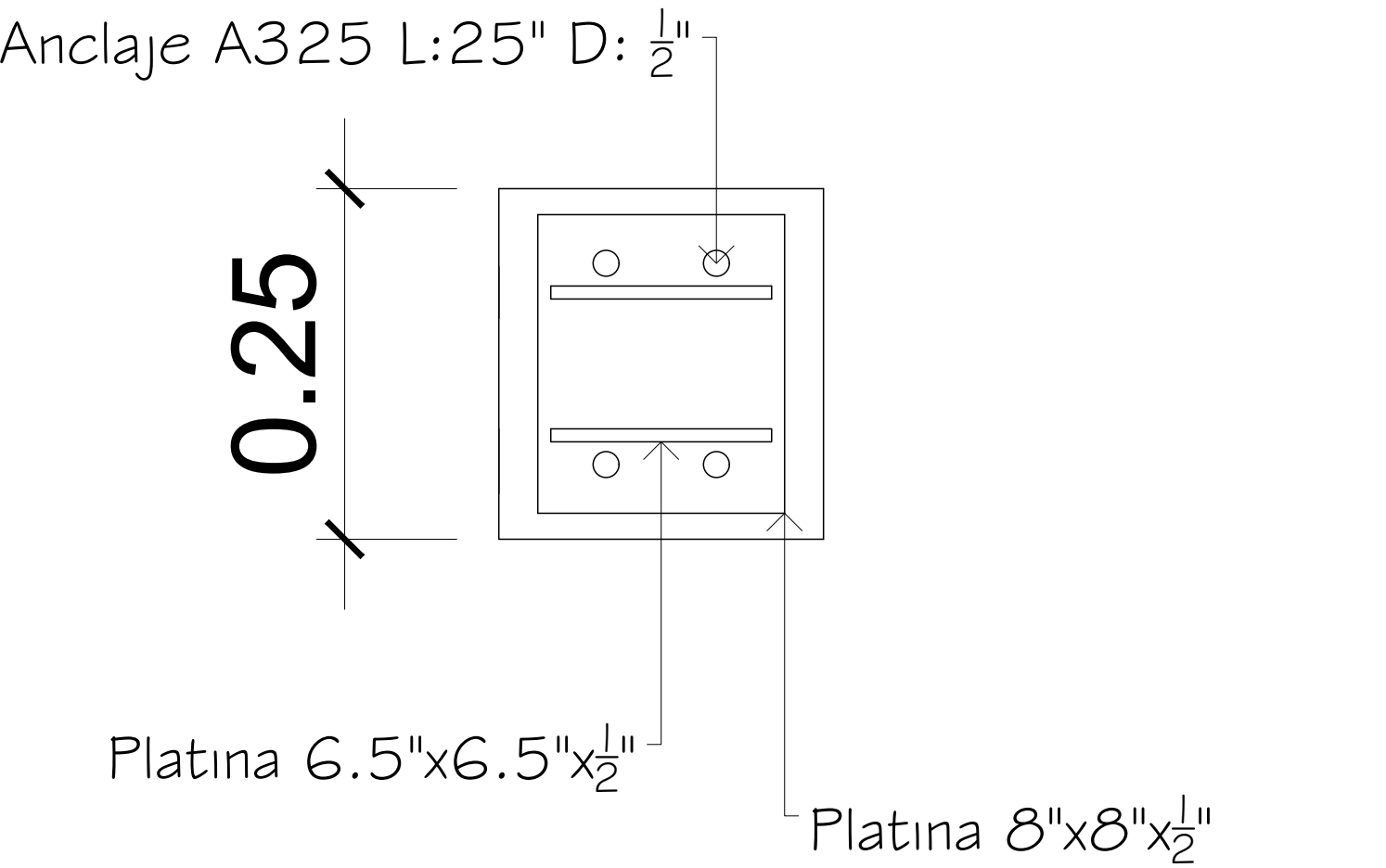
PROYECTO:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS	FECHA:	FEBRERO 2020
CONTENIDO:	ELEVACIONES Y SECCIONES	ESCALA:	INDICADA
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ	HOJA No:	02 / 09



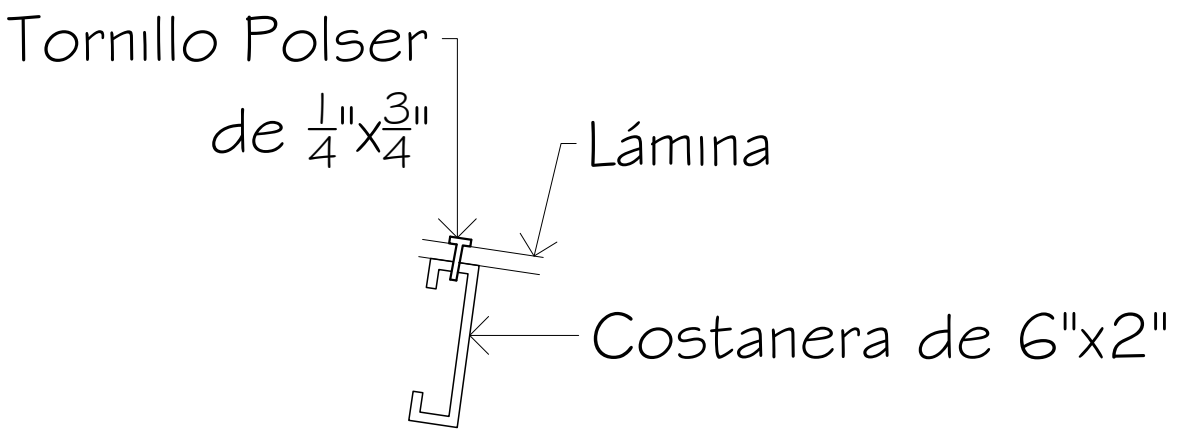
PLANTA DETALLES ESTRUCTURA TECHO
Esc 1:125



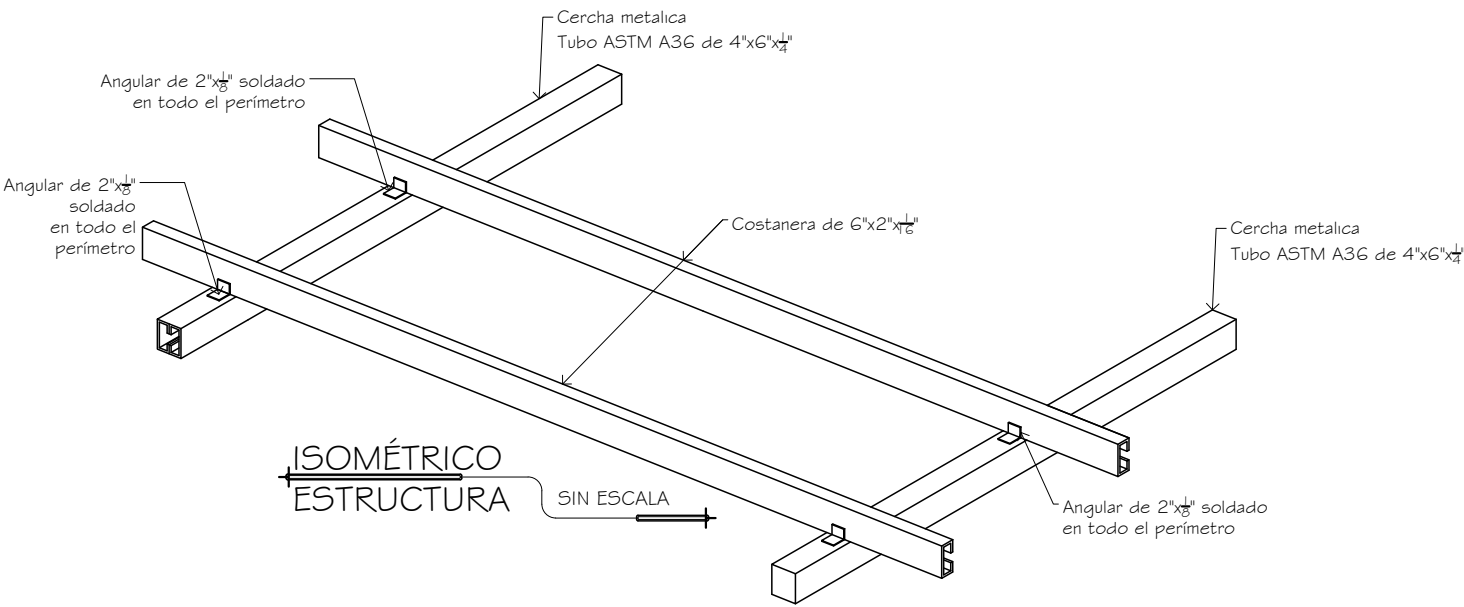
DETALLES CIERCHA
Esc 1:50



DETALLE ANCLAJE CIERCHA
ESCALA 1/5

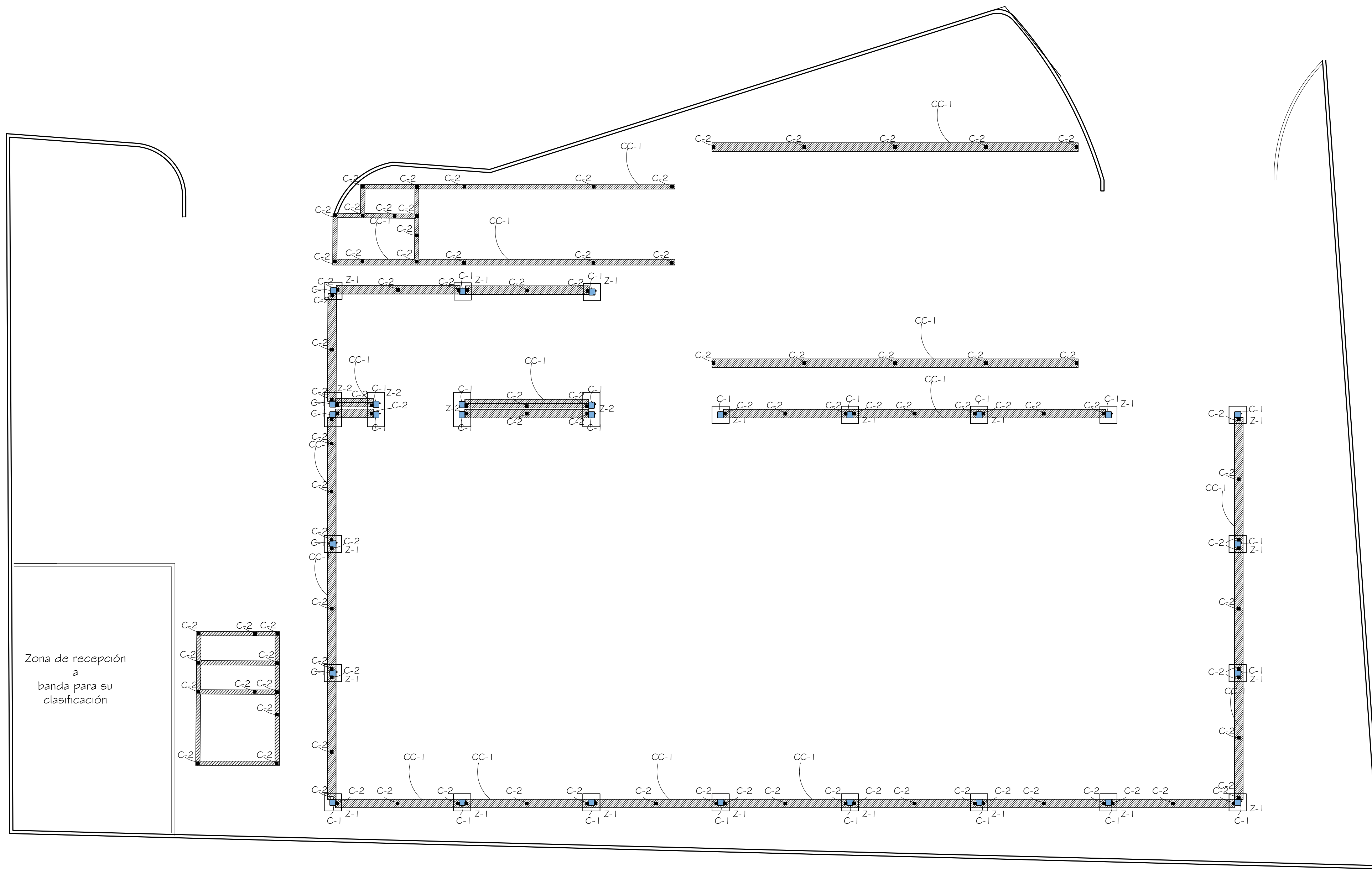


DETALLE ANCLAJE COSTANERA A LÁMINA
ESCALA 1/5

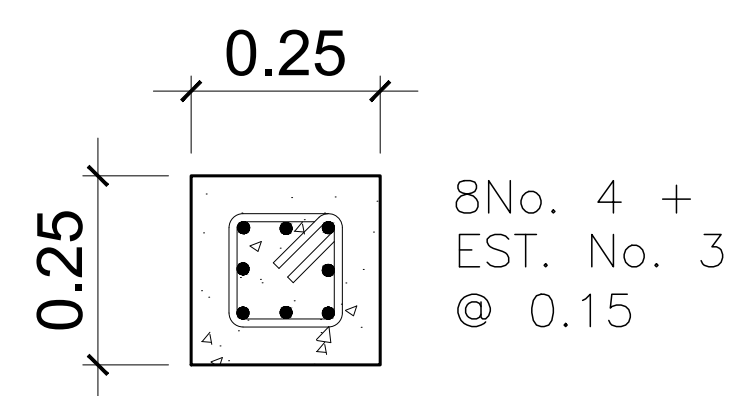
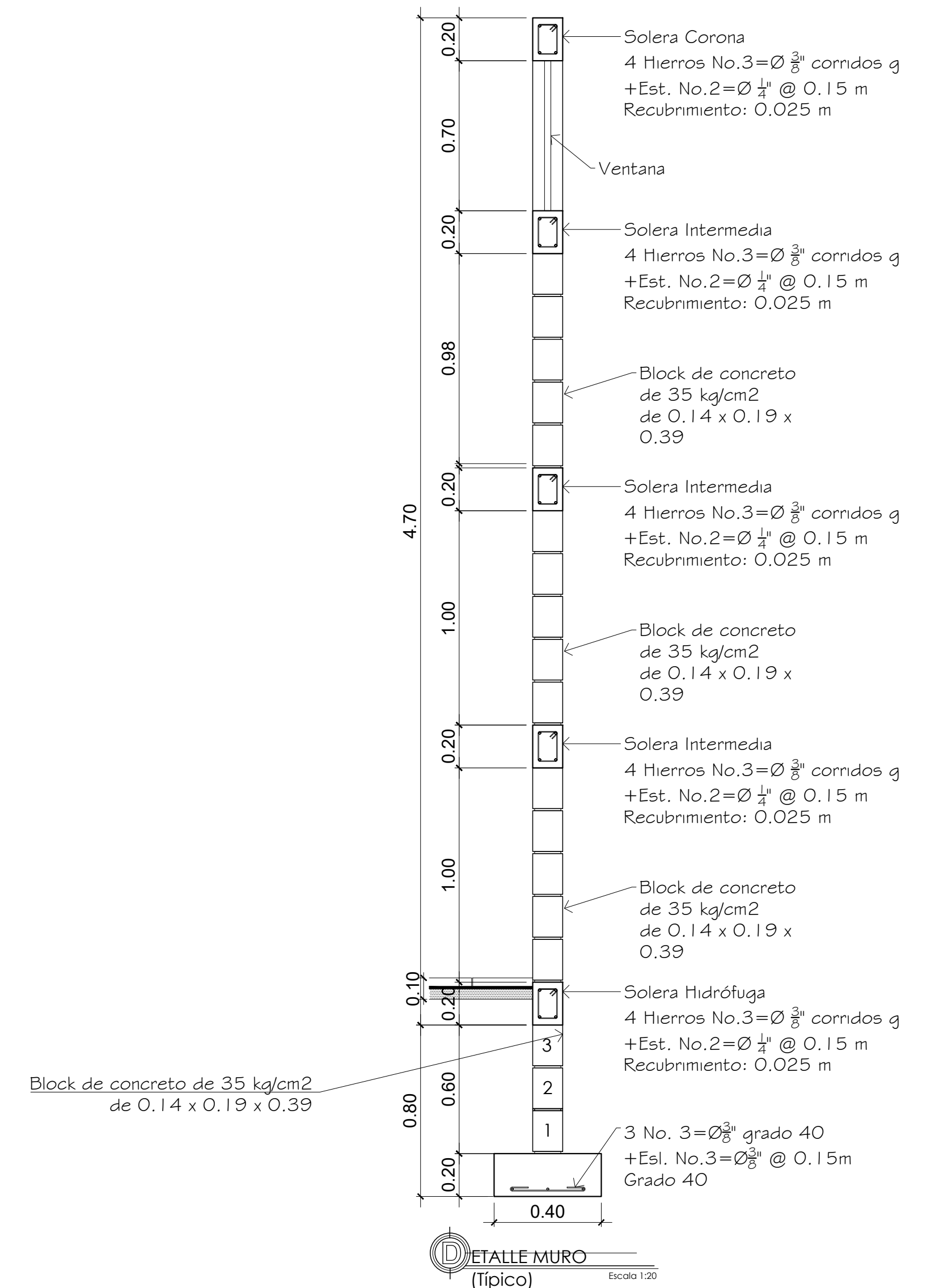


DETALLES ESTRUCTURA TECHO
SIN ESCALA

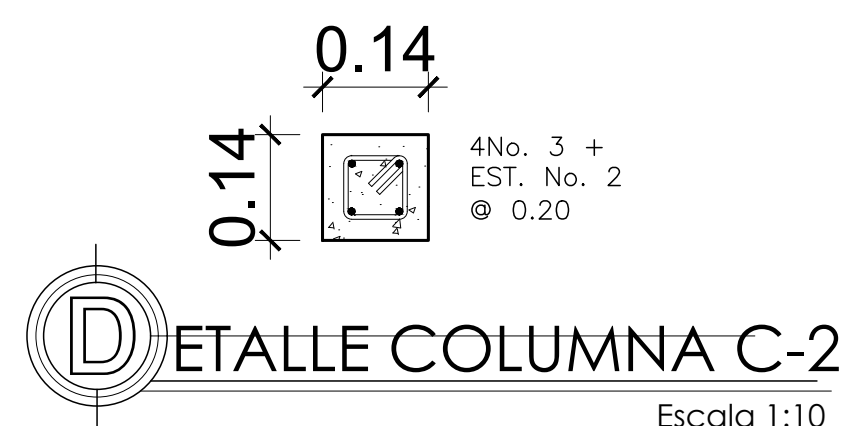
PROYECTO:		FECHA: FEBRERO 2020 ESCALA: INDICADA HOJA No: 03 09
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS		
CONTENIDO:		
DETALLES ESTRUCTURALES DE TECHO		
UBICACIÓN		
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ		



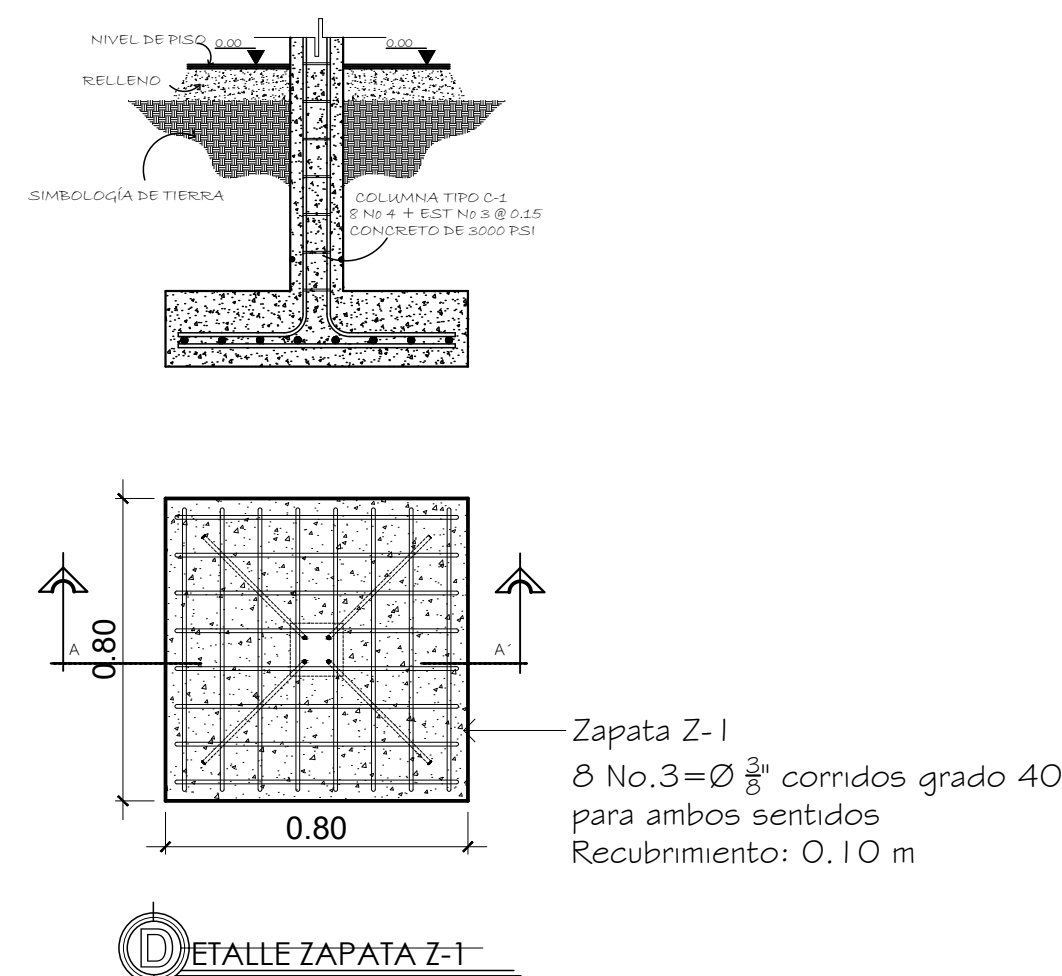
PLANTA DE CIMENTACIONES Y COLUMNAS
Esc 1:125



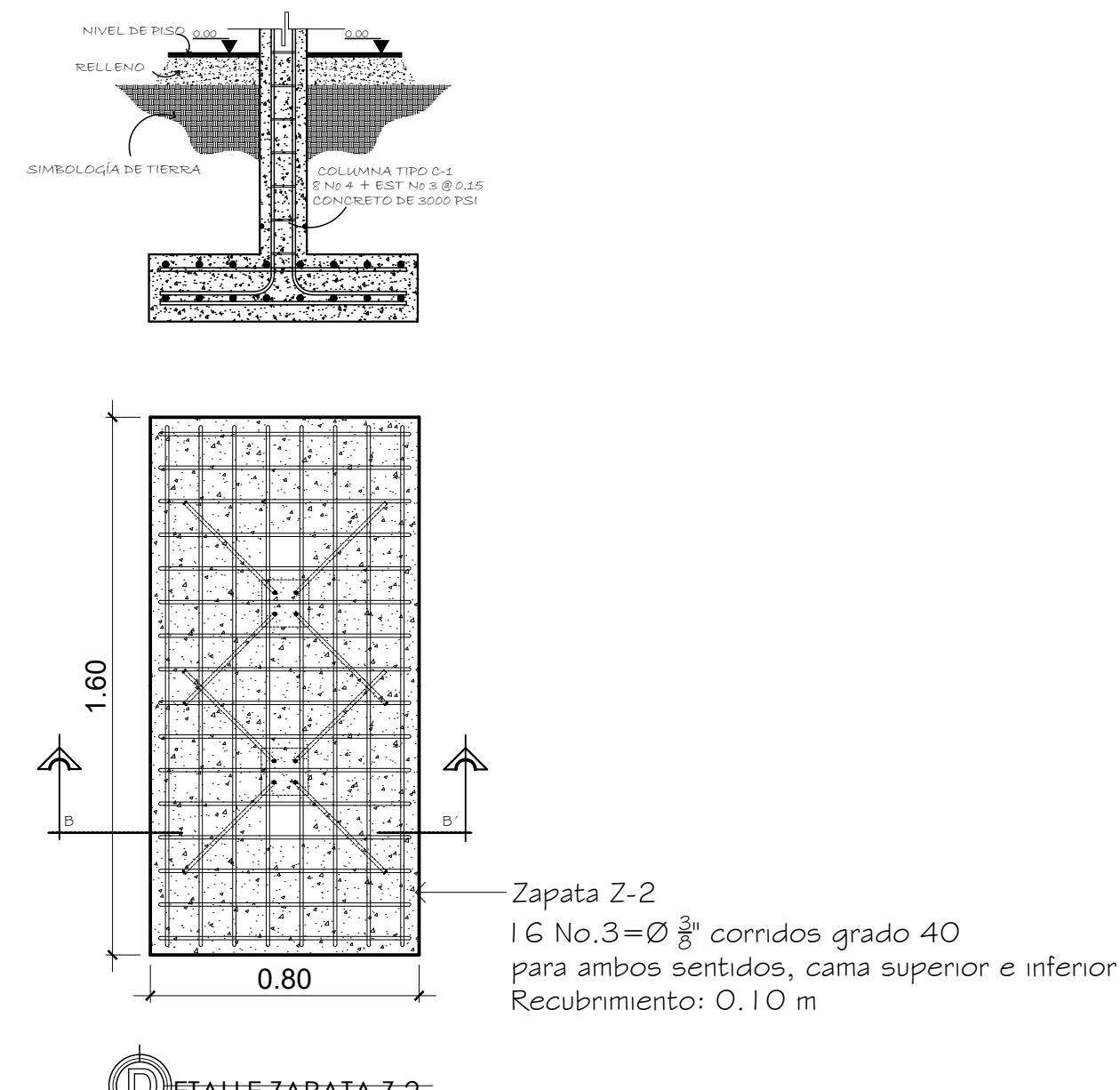
DETALLE COLUMNA C-1
Escala 1:10



DETALLE COLUMNA C-2
Escala 1:10

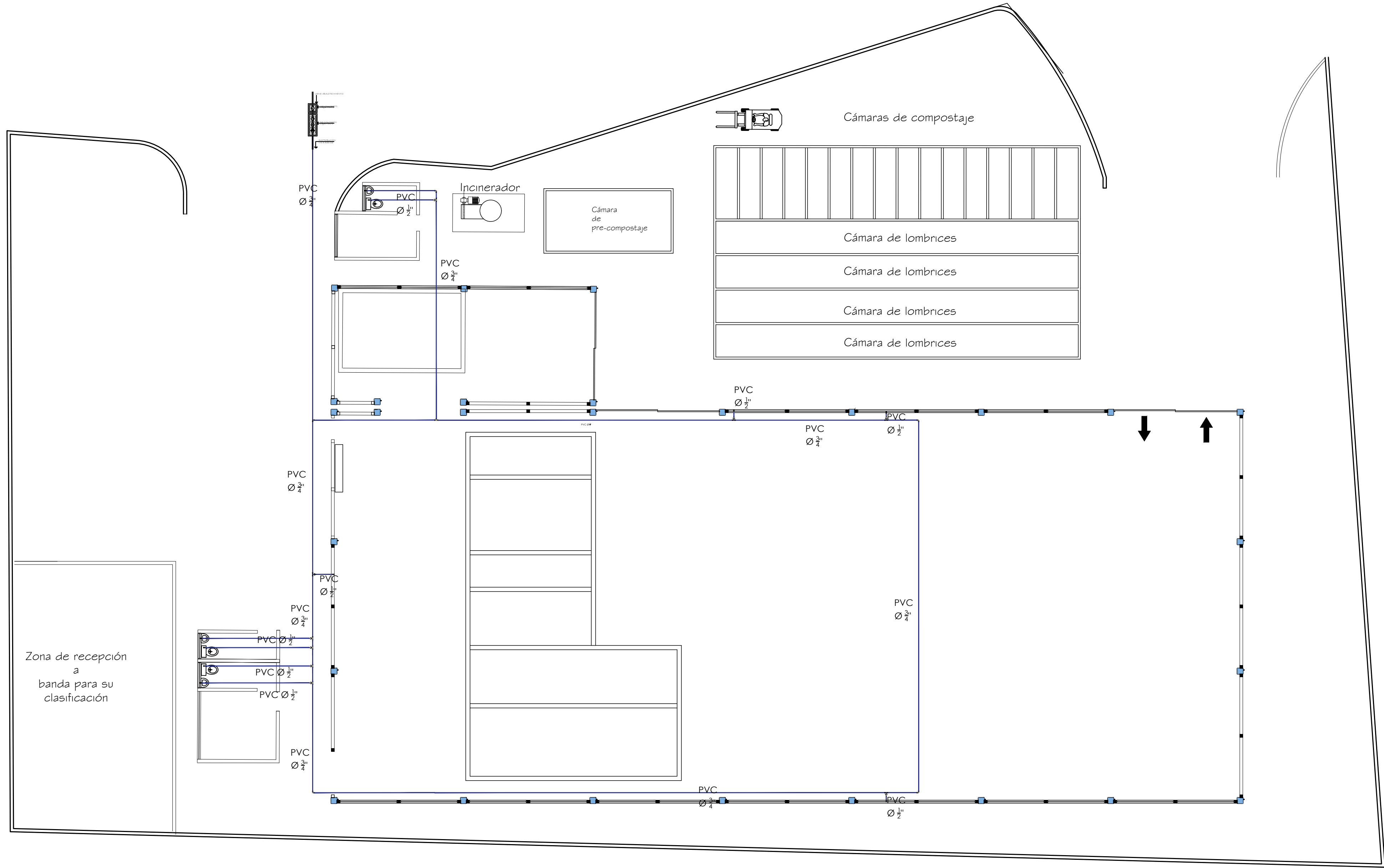


DETALLE ZAPATA Z-1
Escala 1:20



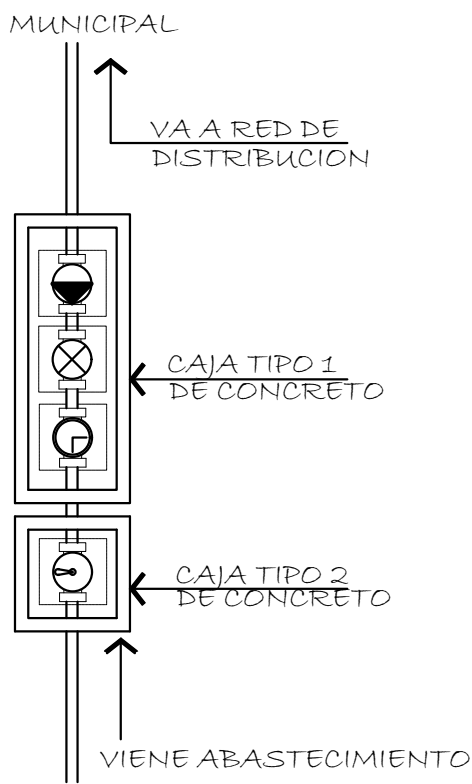
DETALLE ZAPATA Z-2
Escala 1:20

PROYECTO:		FECHA:	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS		FEBRERO 2020	
CONTENIDO:		ESCALA:	
CIMENTACIONES, COLUMNAS Y DETALLES ESTRUCTURALES		INDICADA	
UBICACIÓN:		HOJA No:	
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ		04	
		09	

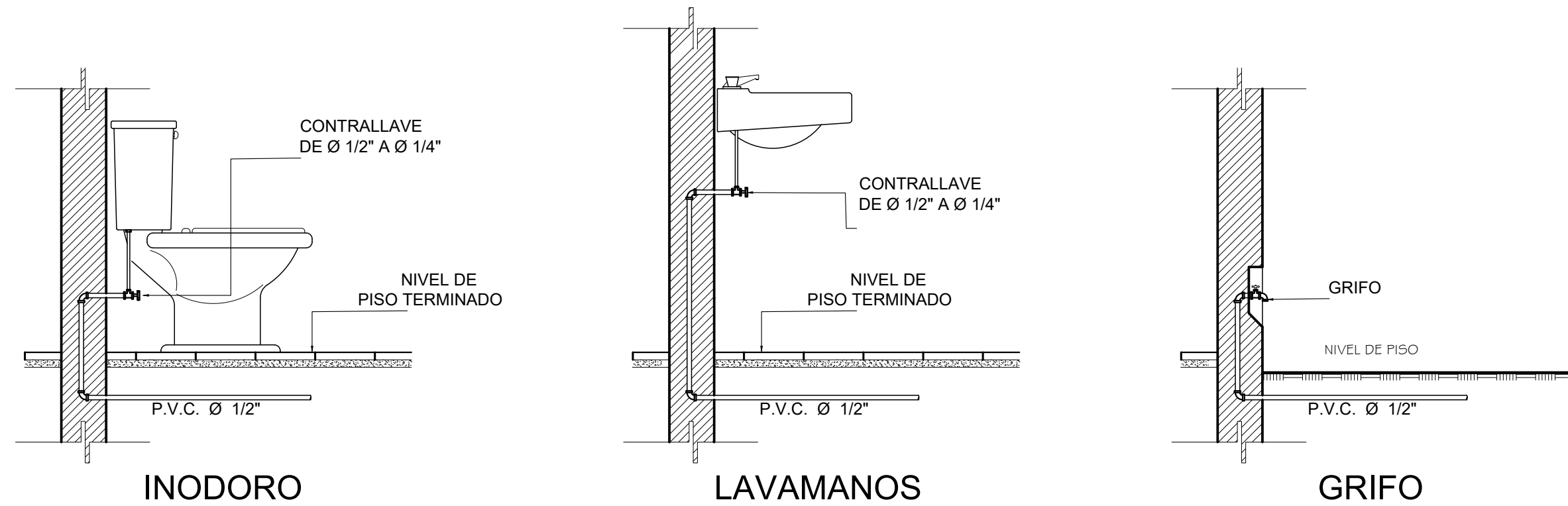


PLANTA DE INSTALACIONES HIDRAULICAS
Esc 1:125

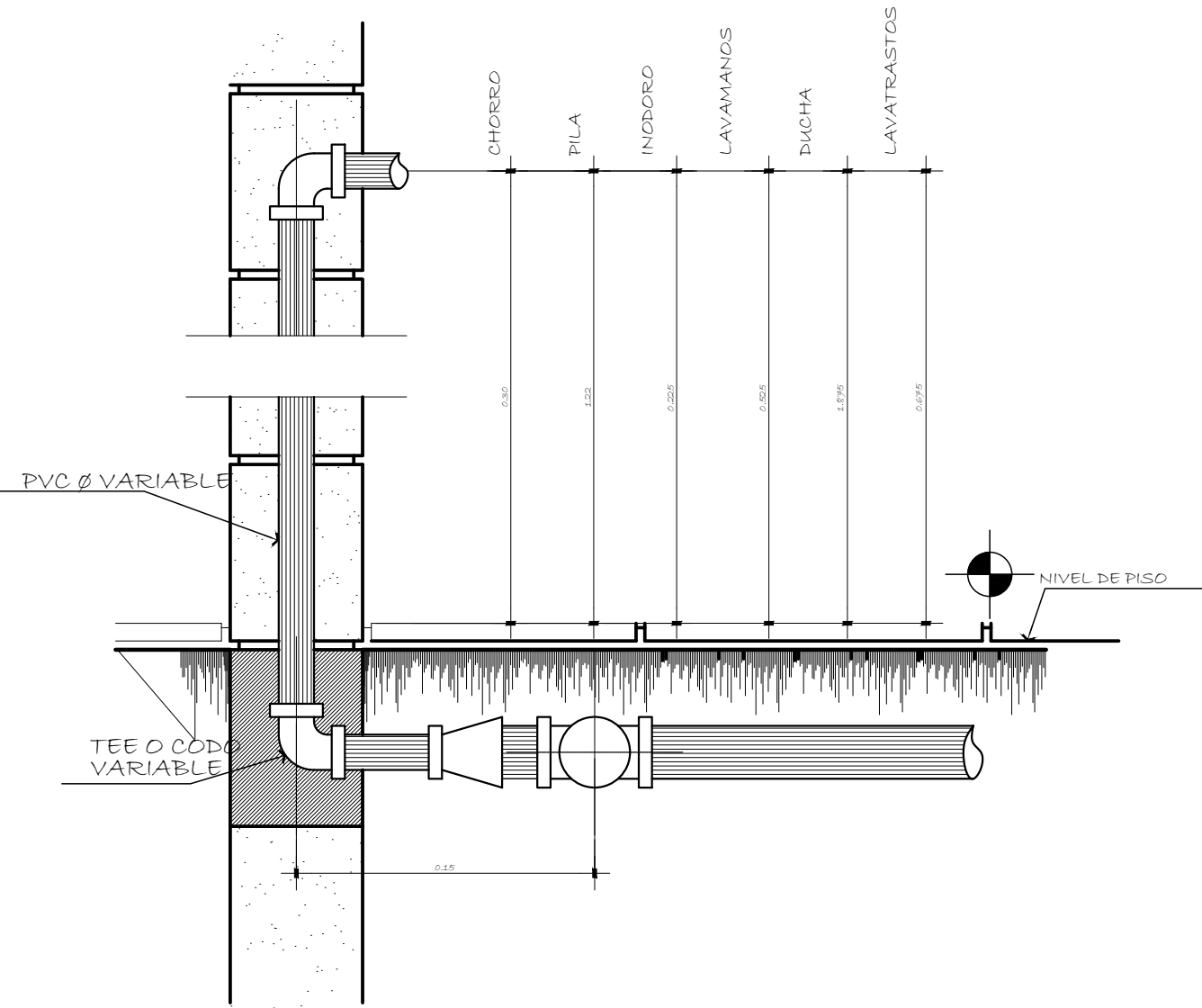
NOMENCLATURA DE INS. HIDRAULICA	
	TUBERIA PVC PARA AGUA POTABLE Ø INDICADO
	CODO HORIZONTAL 90° PVC Ø INDICADO
	CODO VERTICAL HACIA ARRIBA 90° PVC Ø INDICADO
	TEE HORIZONTAL PVC Ø INDICADO
	CRUZ HORINZONTAL Ø INDICADO
	TEE VERTICAL HACIA ARRIBA PVC Ø INDICADO
	VALVULA DE CHEQUE + CAJA DE CONCRETO.
	VALVULA DE COMPUERTA
	CONTADOR VOLUMETRICO + CAJA DE CONCRETO
	VALVULA DE PASO + CAJA DE CONCRETO.
	INDICA SENTIDO DE FLUJO
	REDUCIDOR BUSHING PVC Ø 3/4" X 1/2".
	CHORRO ALTURA INDICADA



ESQUEMA ACCESORIOS DE ACOMETIDA
Esc. 1:12.5



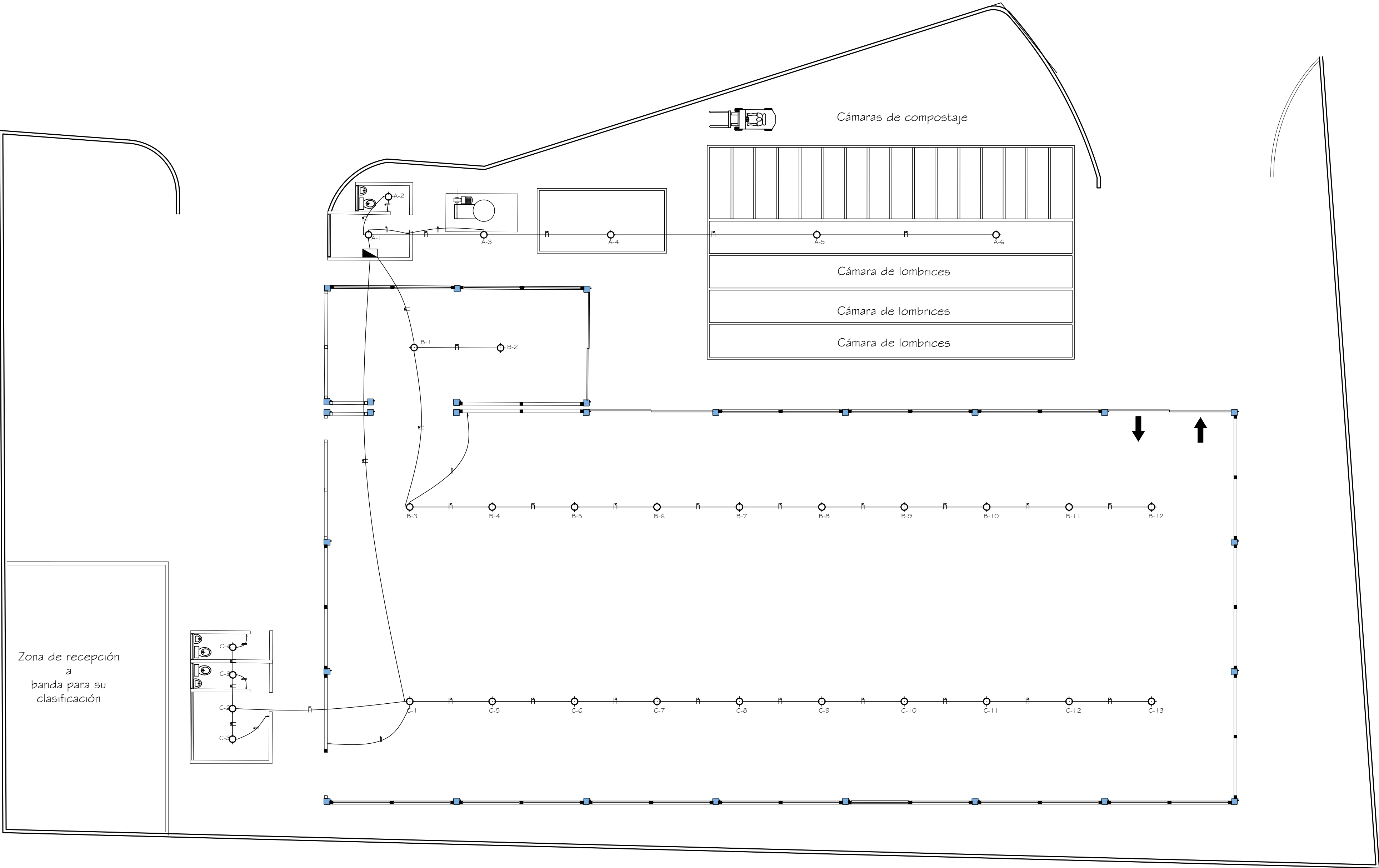
DETALLES DE ESPERAS EN 1ER. NIVEL (AGUA POTABLE)



DETALLE DE SALIDA DE TUBERIA HACIA ARTEFACTOS

PROYECTO:	
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS	
CONTENIDO:	FECHA:
INSTALACIONES HIDRAULICAS	FEBRERO 2020
UBICACIÓN:	ESCALA:
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ	INDICADA
	HOJA No:
	05
	09

PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS	
CONTENIDO: INSTALACIONES DE DRENAJE	FECHA: FEBRERO 2020
UBICACIÓN SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ	ESCALA: INDICADA
	HOJA No: 06 09

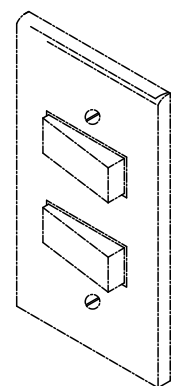
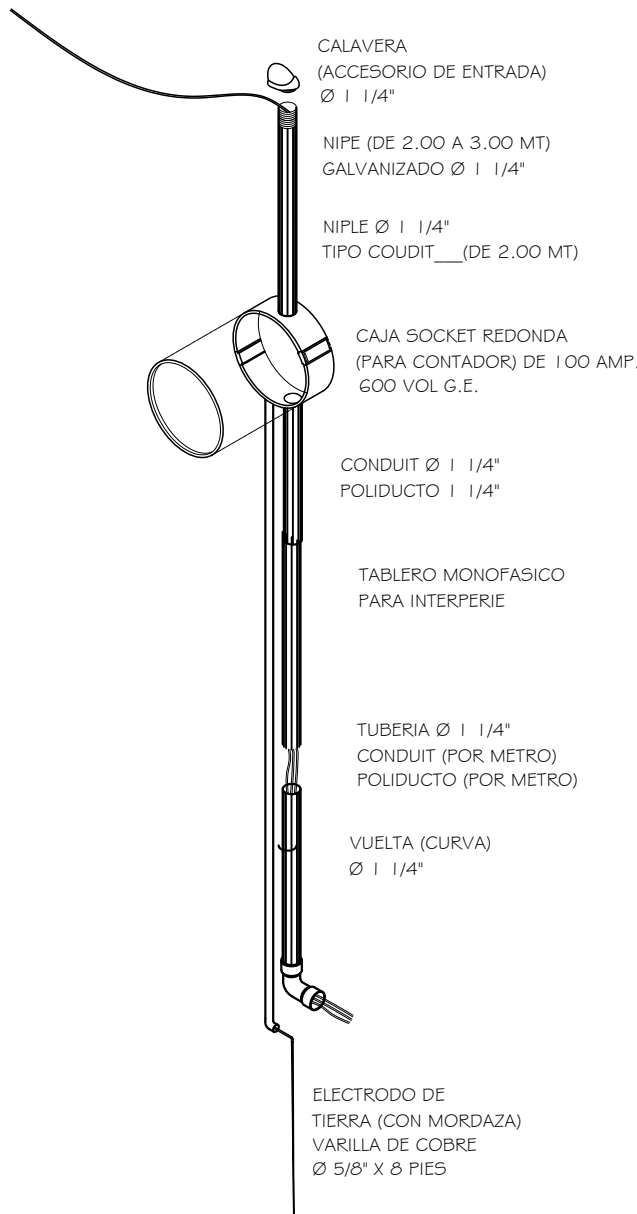


NOMENCLATURA DE ELECTRICIDAD

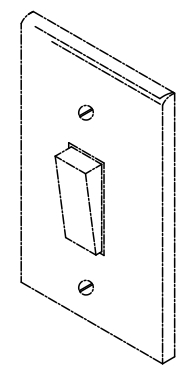
	TUBERIA TIPO PVC EN PISO Y MUROS DE Ø 1/2" O INDICADO
	INDICA LINEA VIVA Y NEUTRA CALIBRE No. 12 THHN
	INDICA SALIDA DE ILUMINACION EN CIELO (2 LED 18 WATT)
	INDICA SALIDA DE ILUMINACION EN PARED H=2.05
	INDICA LINEA DE RETORNO CALIBRE No. 12 THHN
	INTERRUPTOR SIMPLE h= 1.30 M SNPT
	INERRUPTOR DOBLE h = 1.30 M SNPT
	INDICA TABLERO DE DISTRIBUCION h= 1.60 mS.N. P.
	INDICA CONTADOR h= 1.70 mS.N.P.
	TUB. TIPO POLIDUCTO REF. EN CIELO Y MUROS DE Ø 3/4
	ACOMETIDA

PLANTA DE ILUMINACIÓN

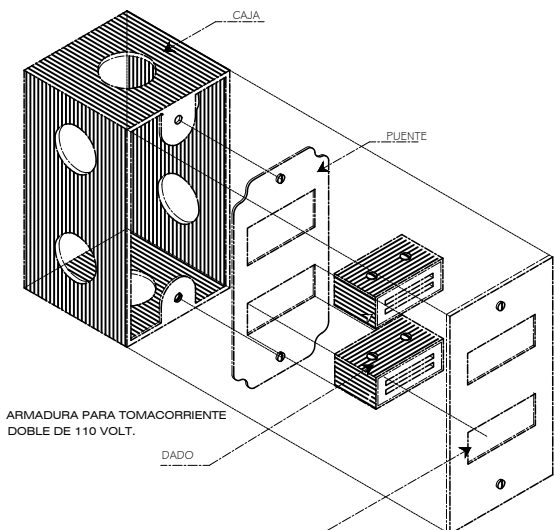
Esc 1:125



INTERRUPTOR DOBLE
Sin simbología en el plano para el



INTERRUPTOR SIMPLE
Sin simbología en el plano para el



DETALLE DE INTERRUPTORES

DETALLE DE ACOMETIDA
SIN ESCALA

DETALLE DE INTERRUPTORES
SIN ESCALA

PROYECTO:
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS

CONTENIDO:
INSTALACIONES ELECTRICAS (ILUMINACIÓN)

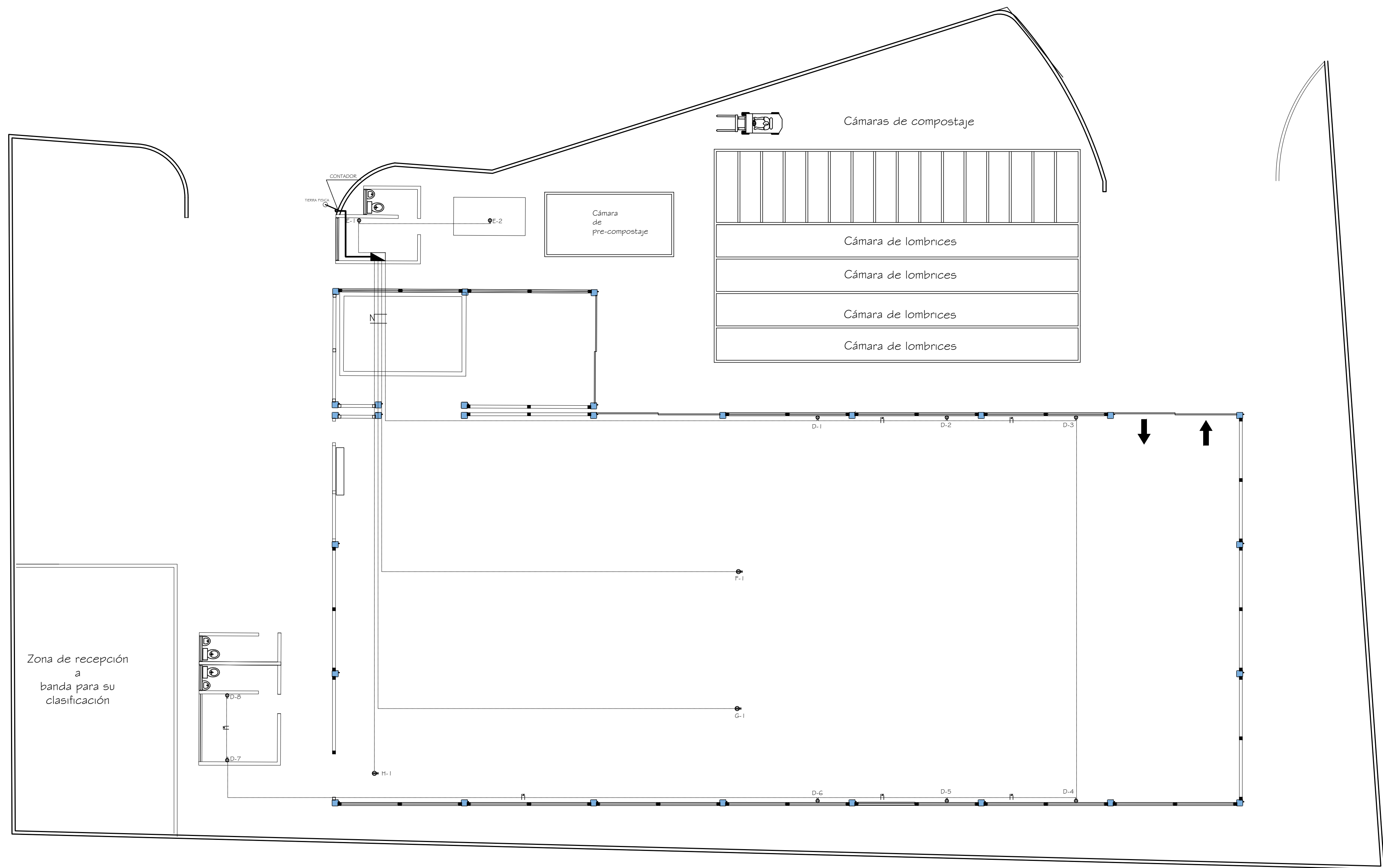
UBICACIÓN
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ

FECHA:
FEBRERO 2020

ESCALA:
INDICADA

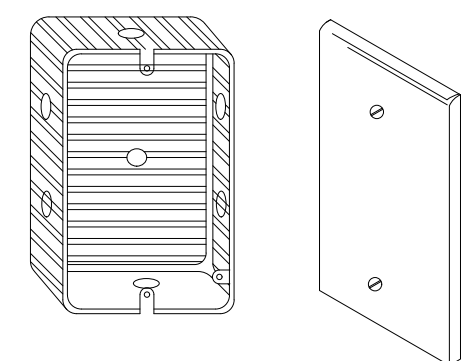
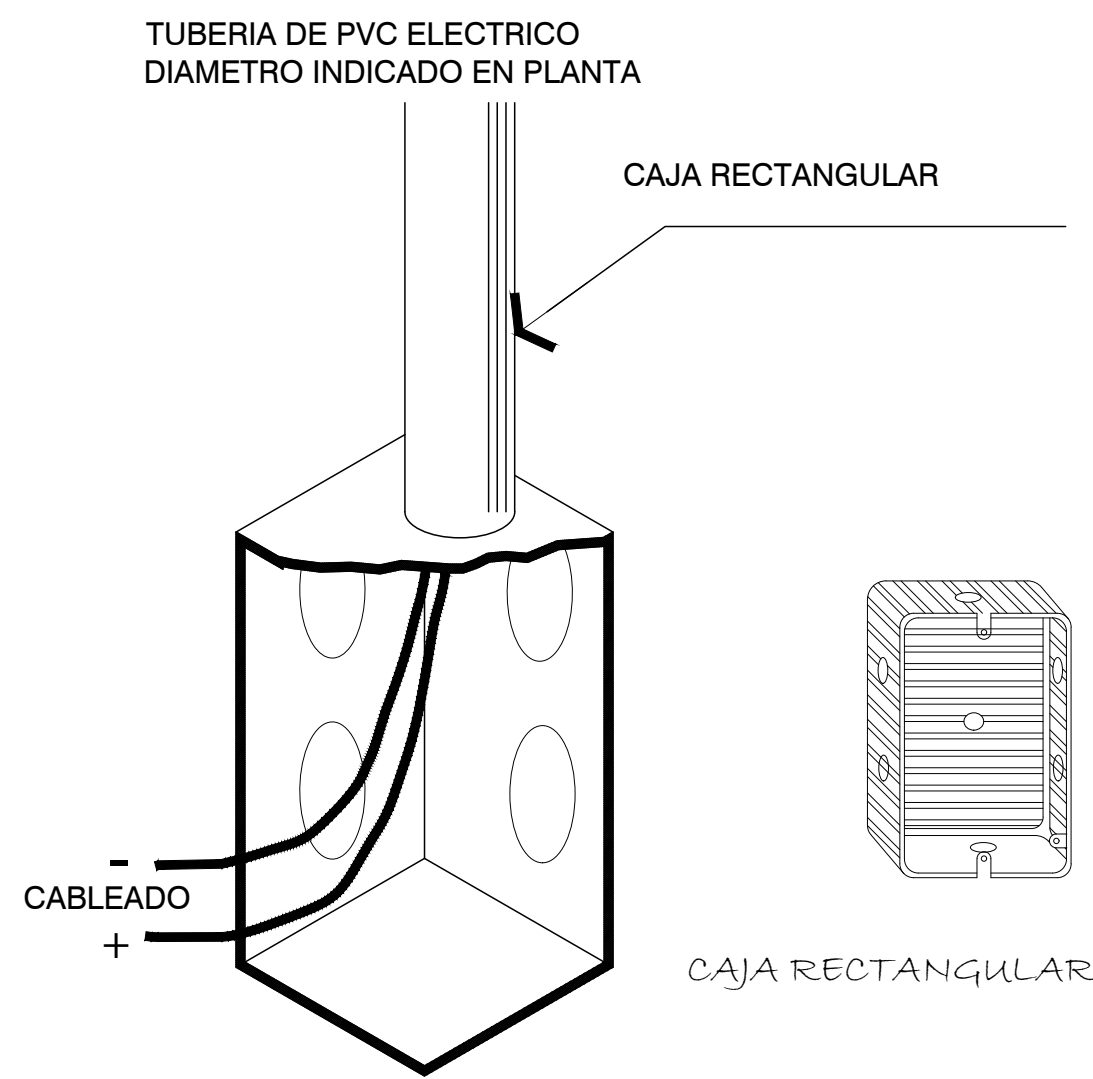
HOJA No:

07
09

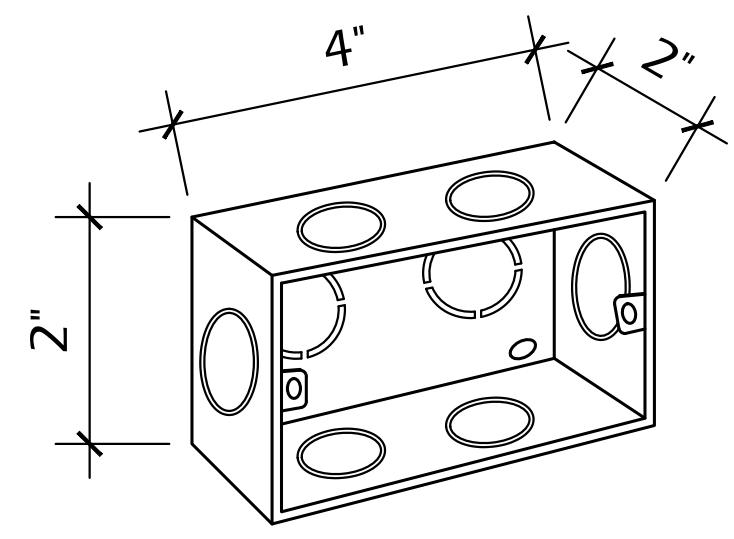
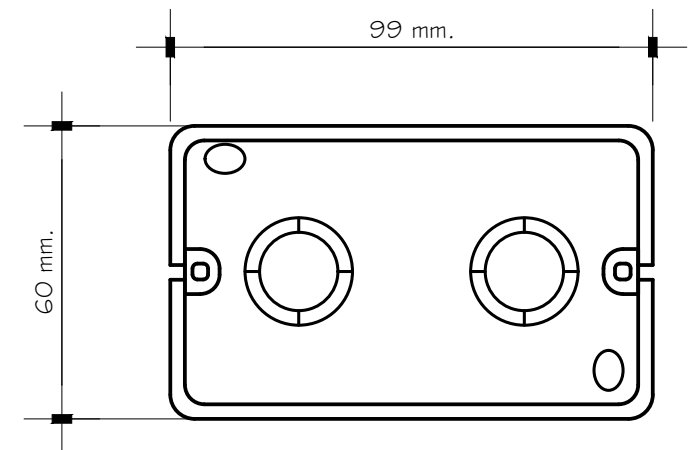


PLANTA DE FUERZA
Esc 1:125

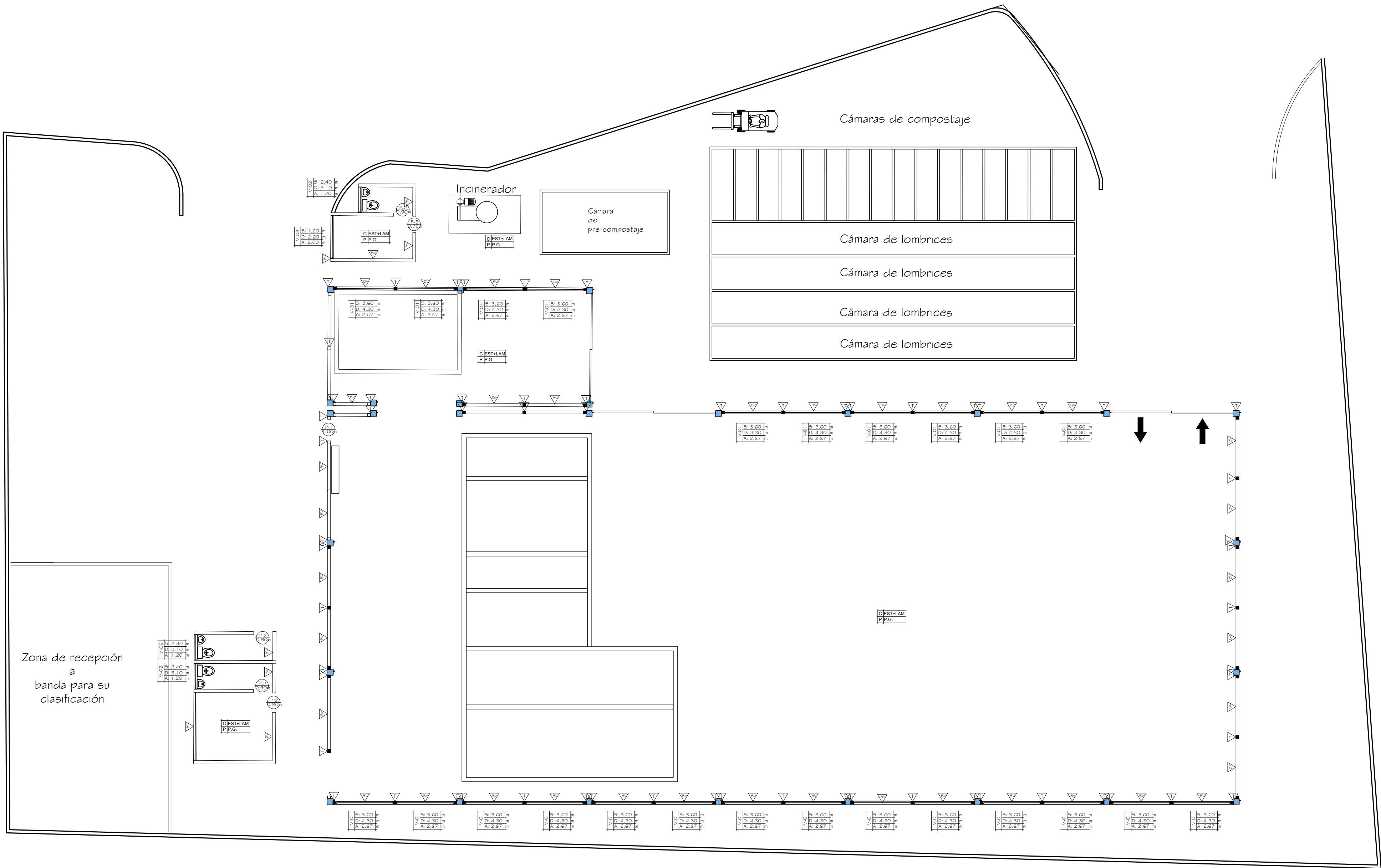
NOMENCLATURA DE ELECTRICIDAD	
	SALIDA PARA TOMACORRIENTE DOBLE 120 v. h=0.30 m. S.N.P.
	SALIDA PARA TOMACORRIENTE 220 v. N.P.
	INDICA LINEA VIVA Y NEUTRA CALIBRE No. 12 THHN
	VIENE DE CONTADOR HACIA TABLERO DE DISTRIBUCION
	TUBERIA TIPO PVC EN PISO Y MUROS DE Ø 1/2" O INDICADO
	INDICA TABLERO DE DISTRIBUCION h= 1.60 mS.N. P.
	INDICA CONTADOR h= 1.70 mS.N.P.



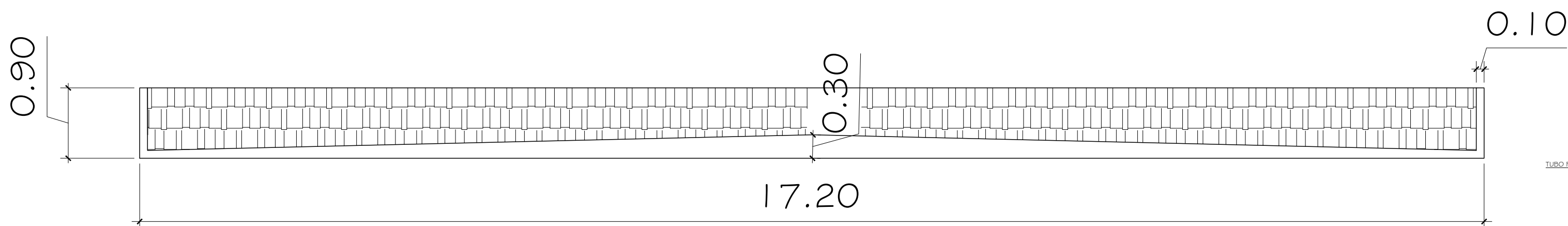
CAJA DE METAL QUE SERA UTILIZADA PARA INTERRUPTORES, TOMACORRIENTES 120 VOLTIOS, SALIDAS DE TV. TL, RADIO.



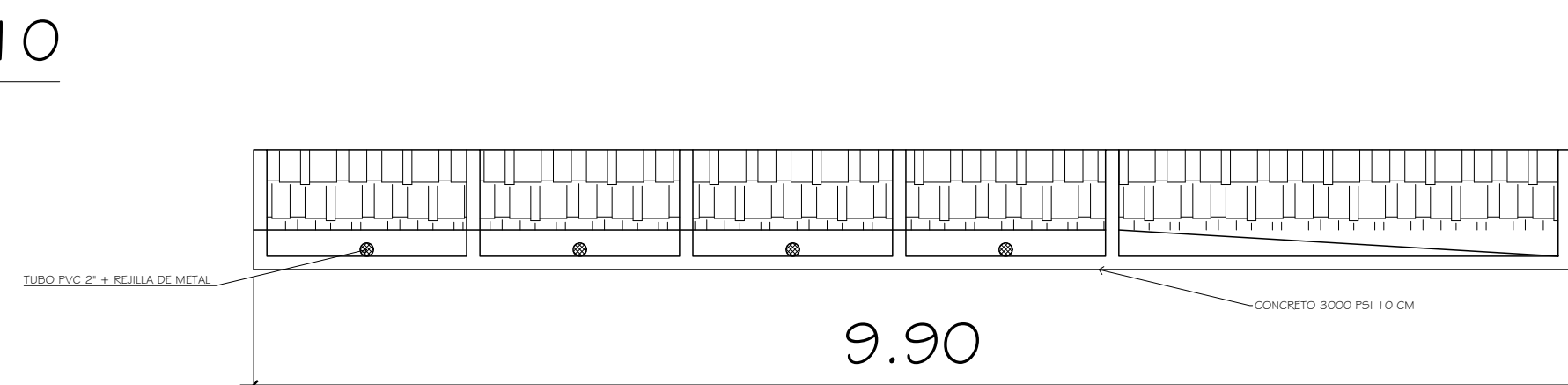
PROYECTO:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS
CONTENIDO:	INSTALACIONES ELECTRICAS (FUERZA)
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	08 / 09



PLANTA DE ACABADOS
Esc 1:125



DETALLE LOMBRICOMPOSTERA
ESCALA 1:50

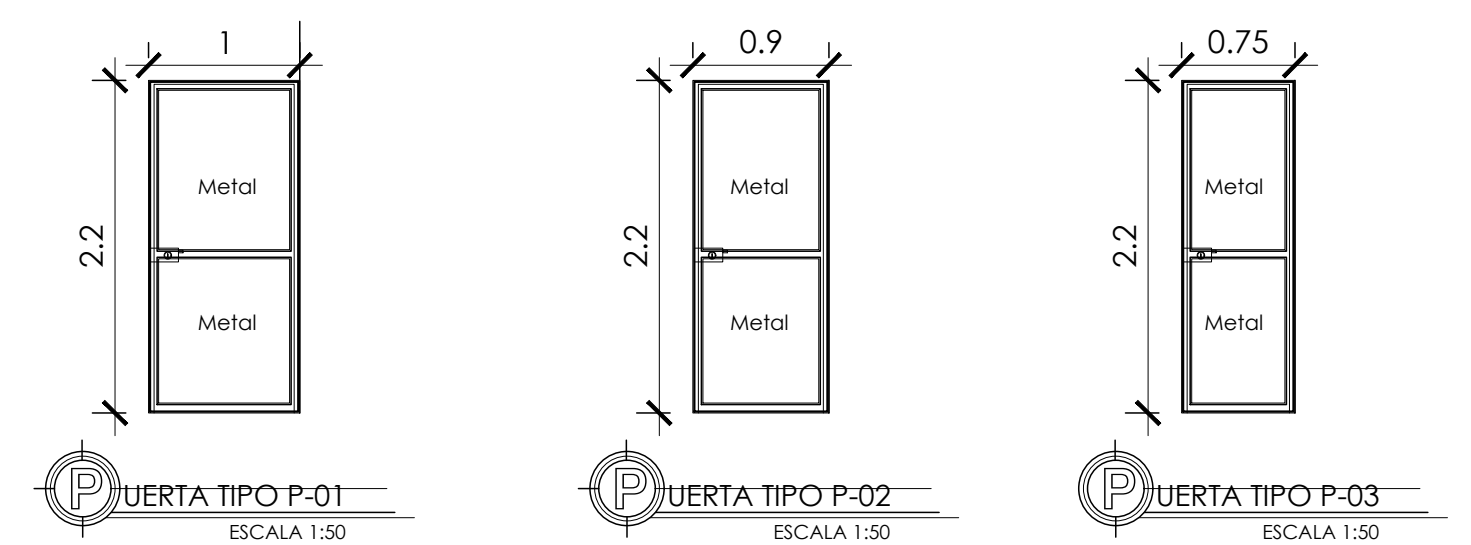
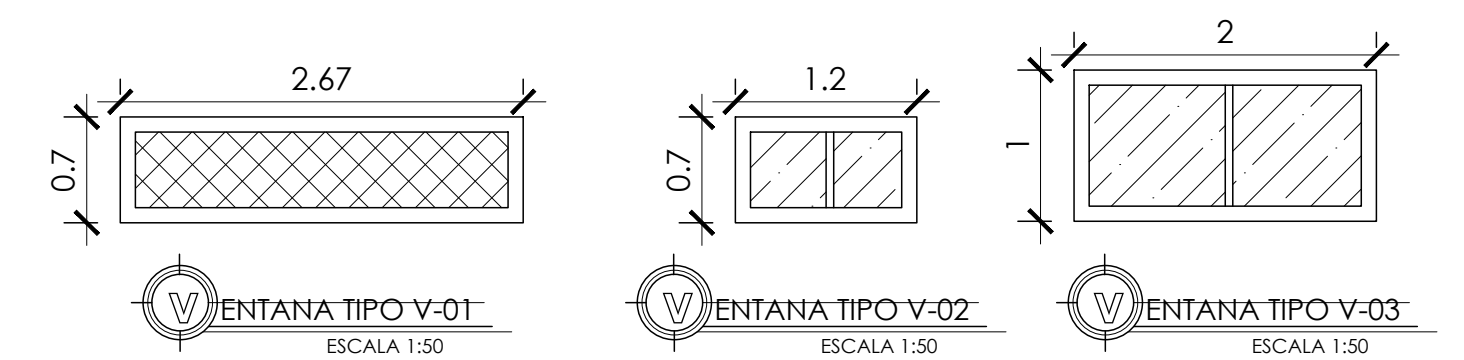


DETALLE LOMBRICOMPOSTERA
ESCALA 1:50

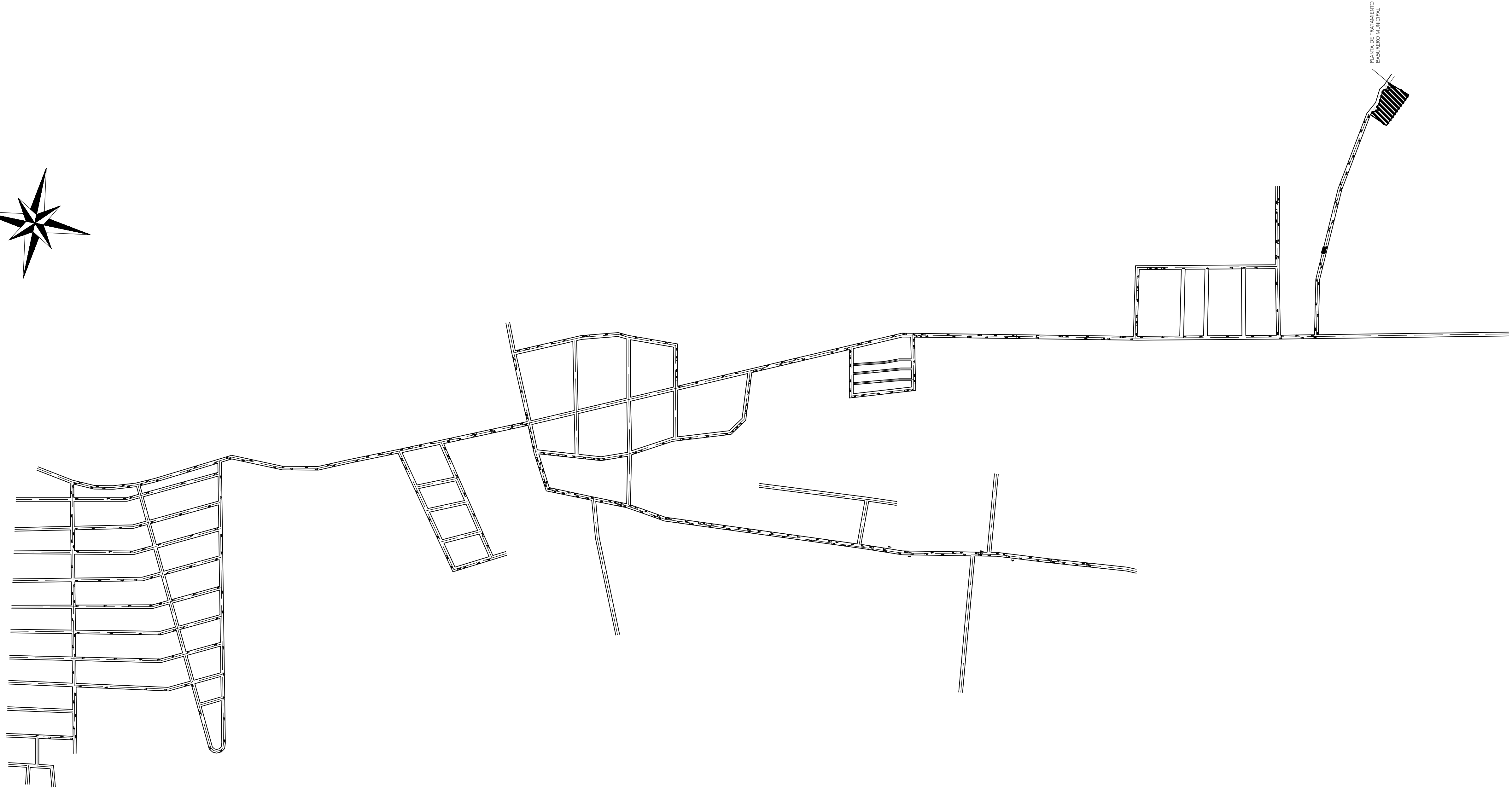
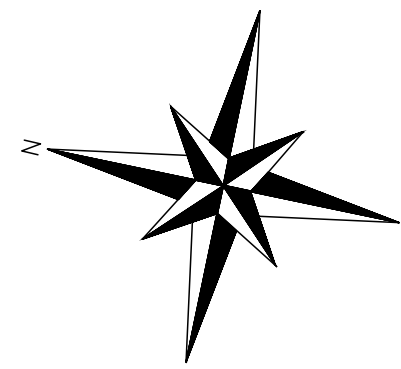
PLANILLA PUERTAS						
TIPO	CANTIDAD	ANCHO	DINTEL	ALTO	SOBREMARCO	MATERIAL
P-1	01	1.00	2.20	2.20	0.00	METAL
P-2	04	0.90	2.20	2.20	0.00	METAL
P-3	01	0.75	2.20	2.20	0.00	METAL

PLANILLA VENTANAS						
TIPO	CANTIDAD	ANCHO	DINTEL	ALTO	SILLAR	MATERIAL
V-01	24	2.67	4.30	0.70	3.60	ALUMINIO + REGILLA
V-02	03	1.20	3.10	0.70	2.40	ALUMINIO + VIDRIO
V-03	01	2.00	2.20	1.00	1.20	ALUMINIO + VIDRIO

SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN
	INDICA TIPO DE VENTANA SILLAR DINTEL ANCHO
	INDICA TIPO DE PUERTA ANCHO
 	INDICA TIPO ACABADO EN CIELO (estructura + lámina) INDICA TIPO ACABADO EN PISO (Base concreto)
	INDICA ACABADO EN COLUMNAS Y SOLERAS (tallado)
	INDICA ACABADO EN MUROS (block visto sisado + pintura)



PROYECTO:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS
CONTENIDO:	PLANTA DE ACABADOS Y DETALLES
UBICACIÓN:	SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ
FECHA:	FEBRERO 2020
ESCALA:	INDICADA
HOJA No:	09



PROYECTO:
PLANTA DE TRATAMIENTO DE DESECHOS SOLIDOS

CONTENIDO:
TREN DE ASEO

UBICACIÓN:
SAN GABRIEL, SUCHITEPÉQUEZ

01 / 01

FECHA:
FEBRERO 2020

ESCALA:
INDICADA

HOJA No:

ANEXO

Anexo 1. Estudio de suelos, ensayo triaxial


CONYSU
 Laboratorio de Control de Calidad de concreto, Suelos, Geotecnia, Impacto Ambiental

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL

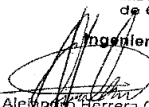
INTERESADO: MUNICIPALIDAD DE SAN GABRIEL SUCHITEPEQUEZ

PROYECTO: AMPLIACION ESCUELA PREPRIMARIA PAIN, COLONIA QUINTAS HERCILIA, SAN GABRIEL, SUCHITEPEQUEZ.

FECHA: 03/07/2018

PARAMETROS DE CORTE: Cohesión (T/M2): 1.33
 Angulo de Fricción Interna: 21.05° Valor Soporte (T/M2): 15.07

No. DE PROBETA	1	2	3
PRESION LATERAL (LB/PLG ²)	7.00	14.00	28.00
DESVIADOR EN ROTURA (LB/PLG ²)	6.93	7.67	7.74
DEFORMACION EN ROTURA (LB/PLG ²)	2.80	3.30	3.90
DENSIDAD SECA (LB/PLG ³)	0.016	0.016	0.016
DENSIDAD HUMEDA (LB/PLG ³)	0.026	0.026	0.026
HUMEDAD (%H)	28.600	28.600	28.600

CONYSU
 Laboratorio de Control de Calidad
 de Concreto, Suelos, Geotécnia,
 Impacto Ambiental.
 Ingeniero Civil Oscar A. Herrera Caceros
 Colegiado No. 9,915

 Oscar Alejandro Herrera Caceros
 Ingeniero Civil
 Col. 9915

Fuente: laboratorio de Control de Calidad de Concreto, Suelos, Geotecnia, Impacto Ambiental, CONYSU.

