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

DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA

José Jan Meléndez Castro
Asesorado por la Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra

Guatemala, enero de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ JAN MELÉNDEZ CASTRO
ASESORADO POR LA INGA. MAYRA REBECA GARCÍA SORIA DE SIERRA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, ENERO DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. Oscar Argueta Hernández
EXAMINADOR	Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

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 UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 20 de enero de 2016.

José Jan Meléndez Castro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 18 de agosto de 2016
REF.EPS.DOC.558.08.16

Inga. Christa Classon de Pinto
Directora
Unidad de EPS
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimada Ingeniera Classon de Pinto.

Por este medio atentamente le informo que como Asesora Supervisora de la Práctica del Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.), del estudiante universitario **Jose Jan Meléndez Castro con carné No. 201213168,** de la Carrera de Ingeniería Civil, procedí a revisar el informe final, cuyo título es: **DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA.**

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

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,

"Id y Enseñad a Todos"

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
Asesor-Supervisor de EPS
Área de Ingeniería Civil

c.c. Archivo
MRGSdS/ra

USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

http;//civil.ingenieria.usac.edu.gt

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,
23 de septiembre de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA** desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Jan Meléndez Castro, con Carnet No. 201213168 quien contó con la asesoría de la Inga. Mayra Rebeca García Soria.

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. Mario Estuardo Arriola Ávila
Coordinador del Área de Topografía y Transportes

ESCUELA INGENIERIA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE TRANSPORTES
USAC

mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Contínua

ACAAI
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL ACREDITADO POR Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería
PERIODO 2013 – 2019

Guatemala,
26 de octubre de 2016

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil José Jan Meléndez Castro, con Carnet No. 2012-13168 , quien contó con la asesoría de la Inga. Mayra Rebeca García Soria.

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. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras

ESCUELA INGENIERIA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERI
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

/mrrm.

PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL ACREDITADO POR Agencia Centroamericana de Acreditación de Programas de Arquitectura e Ingeniería
ACAAI
PERIODO 2013 – 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIDAD DE EPS

Guatemala, 02 de noviembre de 2016
REF.EPS.D.479.11.16

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

Estimado Ingeniero Montenegro Franco:

Por este medio atentamente le envío el informe final correspondiente a la práctica del Ejercicio Profesional Supervisado, (E.P.S) titulado **DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA,** que fue desarrollado por el estudiante universitario **Jose Jan Meléndez Castro, carné 201213168,** quien fue debidamente asesorado y supervisado por la Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra.

Por lo que habiendo cumplido con los objetivos y requisitos de ley del referido trabajo y existiendo la aprobación del mismo por parte de la Asesora – Supervisora de EPS, en mi calidad de Directora apruebo su contenido solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Atentamente,
"Id y Enseñad a Todos"

Inga. Christa Classón de Pinto
Directora Unidad de EPS

Universidad de San Carlos de Guatemala
DIRECCIÓN
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

CCdP/ra

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen de la Asesor Ing. Mayra Rebeca García Soria y de la Coordinadora de E.P.S. Inga. Christa del Rosario Classon de Pinto, al trabajo de graduación del estudiante Jose Jan Meléndez Castro titulado **DISEÑO DE UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA** da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Guatemala, enero 2017.

/mrrm.

Universidad de San Carlos
de Guatemala

Facultad de Ingeniería
Decanato

DTG. 061.2017

El Decano 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 UN EDIFICIO ESCOLAR DE DOS NIVELES PARA LA ALDEA MONTÚFAR, Y AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario: **José Jan Meléndez Castro,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Decano

Guatemala, enero de 2017

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Ser supremo y dueño de este mundo, a quien nunca me cansaré de servirle y darle gracias por su eterno amor y todas las bendiciones recibidas.
Mis padres	José Meléndez y Jaqueline Castro por ser la bendición más grande recibida, por su paciencia, enseñanza y amor incondicional a lo largo de toda mi vida, los amo.
Mis hermanos	Sebastián, Amanda, Nicolás, Jaqueline, por emprender este viaje llamado vida juntos y porque más que humanos son mis hermanos, los amo.
Mis abuelos	José Meléndez (q.e.p.d.), Isabel Castellanos, José Castro (q.e.p.d.), Amanda Orozco (q.e.p.d.), porque sé que están orgullosos de sus hijos.
Mis primos	A todos en general, con mucho cariño. En especial a José Ricardo Dubón Castro (q.e.p.d.), aunque ya no se encuentre con nosotros, le mando un abrazo y un beso al cielo.

Mis tíos y tías	A todos en general. Con mucho cariño y respeto.
Mi familia	En general, por el apoyo y cariño recibido a lo largo de mi vida.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Mi alma *mater*, por permitirme culminar mi vida académica en tan glorioso recinto.
Mi patria	Guatemala.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios Por ser mi amor eterno, mi roca fuerte y ser la parte indispensable en todo momento a lo largo de mi vida, para la honra y gloria de su santo nombre. te amo.

Mis padres Por ser mis motores, mi ejemplo de vida y de esfuerzo; por ser quienes me animan a seguir adelante, a dar lo mejor de mí para la realización de este sueño que logramos juntos. Dios les bendiga siempre y me permita retribuirles con creces sus sacrificios.

Mis hermanos Por ser mis mejores amigos, por compartir la alegría y rutina de la vida diaria, y ser por quienes deseo superar todas las adversidades venideras. Y apoyarlos en lo que sea, muchas gracias por todo.

Mi asesora Ingeniera Mayra Rebeca García de Sierra, por su apoyo y consejos durante el proceso de EPS.

Universidad de San Carlos de Guatemala	Lugar de formación de grandes profesionales, que me ha permitido ser parte de tan honorable universidad, y decir orgullosamente soy sancarlista.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES IX
LISTA DE SÍMBOLOS XV
GLOSARIO XXI
RESUMEN XXV
OBJETIVOS XXVII
INTRODUCCIÓN XXIX

1. FASE DE INVESTIGACIÓN 1
1.1. Monografía del municipio de San Juan Sacatepéquez 1
1.1.1. Ubicación geográfica 1
1.1.2. Topografía 2
1.1.3. Clima 2
1.1.4. Cultura 3
1.1.4.1. Traje típico 3
1.1.4.2. Costumbres 3
1.1.4.3. Feria del pueblo 4
1.1.5. Actividades económicas 4
1.1.5.1. Agricultura 4
1.1.5.2. Carpintería 5
1.1.6. Características demográficas 5
1.1.6.1. Organización socioeconómica 5
1.1.7. Servicios existentes 5
1.1.7.1. Educación 5
1.1.7.2. Salud 6
1.1.7.3. Agua potable 6

1.1.7.4. Drenajes 7
1.1.8. Principales necesidades del municipio 7
1.1.8.1. Descripción de las necesidades 7
1.1.8.1.1. Área de salud 7
1.1.8.1.2. Área de educación 8
1.1.8.1.3. Área de infraestructura física 8
1.1.8.2. Evaluación y priorización de las necesidades 8

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL 9
2.1. Diseño de una edificación escolar de dos niveles para la aldea Montúfar, San Juan Sacatepéquez 9
2.1.1. Descripción general del área disponible para el proyecto 9
2.1.1.1. Planimetría 9
2.1.1.2. Altimetría 10
2.1.1.3. Estudio de suelos 10
2.1.2. Criterios de diseño arquitectónico 12
2.1.2.1. Altura del edificio 12
2.1.3. Criterios de diseño estructural 13
2.1.3.1. Estudio de cargas 15
2.1.3.2. Predimensionamiento 16
2.1.4. Análisis de carga por AGIES 2010 21
2.1.5. Integración de carga gravitacional 24
2.1.6. Integración de carga horizontal 32
2.1.6.1. Masa (peso) sísmica 32
2.1.6.1.1. Carga muerta sísmica 34
2.1.6.1.2. Carga viva sísmica 35

2.1.6.2. Período fundamental de vibración 36
2.1.6.3. Coeficientes sísmicos 37
2.1.6.4. Método estático: la carga horizontal equivalente 44
2.1.6.4.1. Coeficiente de respuesta sísmica 44
2.1.6.4.2. Fuerza de tope de piso 45
2.1.6.4.3. Distribución de la cortante basal 46
2.1.6.5. Torsión 47
2.1.6.5.1. Cálculo del centro de masas 47
2.1.6.5.2. Cálculo del centro de rigidez 53
2.1.6.6. Distribución horizontal de la fuerza 56
2.1.6.6.1. Cálculo de excentricidad real y de diseño 56
2.1.6.6.2. Efectos torsionales 59
2.1.6.6.3. Fuerza horizontales finales 64
2.1.6.7. Control de desplazamientos y derivas 67
2.1.7. Métodos de análisis estructural 70
2.1.7.1. Análisis estructural por el método de kani con nudo Desplazables 71
2.1.7.2. Análisis estructural utilizando Etabs 77

2.1.7.2.1. Comparación de resultados 79
2.1.8. Diseño estructural de concreto armado 80
2.1.8.1. Combinaciones de carga 81
2.1.8.1.1. Envolvente de momentos 81
2.1.8.1.2. Diagramas de corte y momento de diseño 85
2.1.8.2. Diseño estructural y detallado sismorresistente 87
2.1.8.2.1. Diseño de vigas 87
2.1.8.2.2. Columnas 94
2.1.8.2.3. Diseño de losa 104
2.1.8.2.4. Diseño de zapatas 116
2.1.8.2.5. Diseño de gradas 124
2.1.8.2.6. Diseño de cubierta metálica 127
2.1.9. Presupuesto 135
2.1.10. Cronograma de ejecución 136
2.1.11. Estudio económico 138
2.1.11.1. Beneficios sociales 138
2.1.11.2. Valor presente neto 138
2.1.11.3. Tasa interna de retorno 140
2.1.12. Estudio de impacto ambiental 140
2.1.12.1. Impacto ambiental positivo 140
2.1.12.2. Impacto ambiental negativo 141
2.1.12.3. Análisis de riesgo y planes de contingencia 142
2.1.12.3.1. Plan de contingencia 143

2.1.12.3.2. Plan de contingencia en construcción 143
2.2. Ampliación de tramo carretero para la aldea lo de Mejía hacia la aldea Sajcavillá, San Juan Sacatepéquez 144
2.2.1. Consideraciones preliminares 144
2.2.1.1. Derechos de paso o de vía 144
2.2.1.2. Recursos 146
2.2.1.2.1. Mano de obra 146
2.2.1.2.2. Equipo 146
2.2.1.2.3. Recursos económicos para el estudio 147
2.2.1.3. Estudio de suelos 147
2.2.1.3.1. Proctor 147
2.2.1.3.2. CBR 148
2.2.1.3.3. Límites de Atterberg 149
2.2.1.3.4. Granulometría 150
2.2.1.4. Levantamiento topográfico 151
2.2.1.4.1. Planimetría 151
2.2.1.4.2. Altimetría 152
2.2.1.4.3. Secciones transversales ... 152
2.2.1.5. Criterios de diseño 153
2.2.1.6. Tipo de carpeta de rodadura 155
2.2.2. Diseño geométrico 156
2.2.2.1. Alineamiento horizontal 156
2.2.2.1.1. Diseño de localización 156
2.2.2.1.2. Corrimientos 157
2.2.2.1.3. Tangentes y curvas horizontales 159
2.2.2.1.4. Curvas de transición 163

2.2.2.1.5. Peralte 164
2.2.2.1.6. Sobreancho 165
2.2.2.2. Alineamiento vertical 170
2.2.2.2.1. Diseño de subrasante 170
2.2.2.2.2. Pendientes 171
2.2.2.2.3. Tangentes y curvas verticales 172
2.2.2.2.4. Correcciones 176
2.2.3. Movimiento de tierras 176
2.2.3.1. Cálculo de áreas de las secciones transversales 177
2.2.3.2. Cálculo de los volúmenes de tierra 178
2.2.3.3. Cálculo de balance y diagrama de masas 180
2.2.4. Diseño de pavimento 180
2.2.4.1. Estructura del pavimento 181
2.2.4.2. Tipos de pavimento 183
2.2.4.2.1. Pavimento rígido 183
2.2.4.2.2. Pavimento flexible 184
2.2.4.2.3. Pavimento semirrígidos 185
2.2.4.3. Métodos 185
2.2.4.3.1. Diseño de pavimento por método de PCA simplificado 185
2.2.4.3.2. Diseño de mezcla 194
2.2.4.3.3. Tipos de juntas 198
2.2.5. Drenajes 201
2.2.5.1. Método racional 201

2.2.5.2. Drenaje transversal 201
2.2.5.3. Drenaje longitudinal 206
2.2.5.3.1. Cunetas 207
2.2.6. Presupuesto..... 208
2.2.6.1. Integración de precios unitarios 208
2.2.6.2. Resumen de presupuesto 209
2.2.7. Cronograma de ejecución físico y financiera 210
2.2.8. Evaluación de impacto ambiental 212

CONCLUSIONES 215
RECOMENDACIONES..... 217
BIBLIOGRAFÍA..... 219
APÉNDICES 223
ANEXOS..... 229

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Ubicación del municipio de San Juan Sacatepéquez 2
2. Planta del módulo l, escuela Pixcayá, aldea Montúfar 14
3. Planta del módulo ll, escuela Pixcayá, aldea Montúfar 14
4. Área tributaria para la columna critica B6, módulo l 18
5. Nomenclatura de vigas, Módulo I, 1 nivel 24
6. Nomenclatura de vigas, Módulo I, 2 niveles 25
7. Áreas tributarias para marco 6 26
8. Consideración de la masa sísmica por nivel 33
9. Zonificación sísmica de Guatemala 38
10. Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño 40
11. Coeficiente de sitio Fa 41
12. Coeficiente de sitio Fv 41
13. Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismorresistentes 42
14. Idealización del corte basal 47
15. Planta segundo nivel, módulo I 50
16. Centro de masa y rigidez, niveles 2 y 1 58
17. Fuerzas de piso finales, sentido Y 66
18. Fuerzas de piso finales, sentido X 66
19. Derivas últimas máxima 70
20. Estado de cargas para marco del eje 6, módulo I 71
21. Diagrama de momentos para carga viva por el método de Kani, para el marco del eje 6, módulo I [kg-m] 76
22. Diagrama de momentos para carga muerta por el método de Kani, para el marco del eje 6, módulo I [kg-m] 77

23. Modulo I, Escuela Pixcaya, aldea Montúfar 78
24. Diagrama de momentos para carga viva, por Etabs para el marco del eje 6, módulo I [kg-m] 78
25. Diagrama de momentos para carga muerta por Etabs para el marco del eje 6, módulo I [kg-m] 79
26. Envolvente de momentos para marco del eje 6 [ton-m] 85
27. Envolvente de corte para marco del eje 6 [ton] 86
28. Envolvente de momentos para marco del eje A [ton-m] 86
29. Envolvente de corte para marco del eje A [ton] 87
30. Armado de viga 1N -6A-6B del módulo I, nivel 1 94
31. Armado final de columna 103
32. Planta típica de losas del primer nivel 104
33. Coeficientes para momentos en losas en ambos sentidos 107
34. Momentos a ± de losas en primer nivel en kg-m 108
35. Momentos b ± de losas en primer nivel en kg-m 108
36. Balance de momentos 1 110
37. Balance de momentos 2 110
38. Momentos a ± balanceados de losas en primer nivel. 112
39. Momentos b ± balanceados de losas en primer nivel. 112
40. Detalle de armado de losa de primer nivel, modulo I 116
41. Dimensiones para chequeo por corte simple para zapata 120
42. Dimensiones del área punzante de la zapata 121
43. Armado final en planta de zapata 124
44. Detalle de gradas 127
45. Elevación de techo metálico 128
46. Vista en planta estructura de techo metálico 128
47. Cargas muertas para cubierta de láminas 129
48. Área tributaria de costanera 130
49. Anchos tributarios elevación 130

50. Área tributaria de tendales 133
51. Elevación cubierta metálica..... 133
52. Análisis de diseño para tendales..... 134
53. Cronograma de actividades 136
54. Flujo de efectivo para la escuela primaria Pixcayá 139
55. Elementos de curva circular simple..... 159
56. Elementos de curva vertical 172
57. Tipos de secciones transversales 177
58. Representación geométrica para cálculo de volúmenes..... 178
59. Cálculo analítico de la distancia de paso 179
60. Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos 188
61. Tiempo de concentración..... 202
62. Área de microcuenca tributaria 204
63. Área real de microcuenca tributaria..... 204
64. Curvas de nivel de la carretera 205
65. Predimensionamiento de la cuneta..... 207

TABLAS

I. Parámetros obtenidos del análisis del suelo 11
II. Carga viva, diseño estructural de la escuela Pixcayá, aldea Montúfar 15
III. Carga muerta, diseño estructural de la escuela Pixcayá, aldea Montúfar 16
IV. Carga axial muerta, sobre columna B6, módulo l, primer nivel 19
V. Carga axial muerta, sobre columna B6, módulo l, segundo nivel 19
VI. Carga axial viva sobre columna B6, módulo l 20
VII. Cargas vivas AGIES 2010, utilizadas para el diseño de la escuela Pixcayá 22
VIII. Integración de cargas para vigas del nivel 2 30
IX. Integración de cargas para vigas del nivel 1 31
X. Peso sísmico carga muerta total de nivel 2 y 1 34
XI. Peso sísmico carga viva total nivel 2 y 1 35
XII. Peso total sísmico por nivel 36
XIII. Resumen de coeficientes de análisis sísmico del AGIES 2010 43
XIV. Distribución vertical del corte basal 46
XV. Peso ejes en sentido x, segundo nivel, modulo 48
XVI. Peso ejes en sentido Y, segundo nivel, modulo I 48
XVII. Peso ejes en sentido x primer nivel módulo I 49
XVIII. Peso ejes en sentido y primer nivel módulo I 49
XIX. Cálculo del centroide en sentido x, segundo nivel 51
XX. Cálculo del centroide en sentido y, segundo nivel 52
XXI. Centro de masa segundo y primer nivel 52
XXII. Calculo del módulo de elasticidad del concreto 53
XXIII. Rigidez de columnas 54
XXIV. Cálculo del centro de rigidez sentido X nivel 2 55

XXV. Cálculo del centro de rigidez en sentido y nivel 2 55
XXVI. Resumen de coordenadas del centro de rigidez 56
XXVII. Excentricidades y momentos torcionantes de diseño, en sentido X..... 59
XXVIII. Excentricidades y momentos torsionantes de diseño, en sentido Y..... 59
XXIX. Factores de distribución de cortante en sentido X, nivel 2 61
XXX. Factores de distribución de cortante en sentido Y, nivel 2 61
XXXI. Factores de distribución de cortante en sentido X, nivel 1 62
XXXII. Factores de distribución de cortante en sentido Y, nivel 1 62
XXXIII. Corte sísmico en los elementos resistentes del nivel 2 63
XXXIV. Corte sísmico en los elementos resistentes del nivel 1 64
XXXV. Cortante y fuerza de piso en sentido X 65
XXXVI. Cortante y fuerza de piso en sentido Y 65
XXXVII. Cálculo de desplazamiento elástico en ejes del nivel 2..... 68
XXXVIII. Cálculo de desplazamiento elástico en ejes del nivel 1..... 68
XXXIX. Cálculo de la deriva elástica e inelástica en ejes del nivel 2 69
XL. Cálculo de la deriva elástica e inelástica en ejes del nivel 1 69
XLI. Comparación de momentos 80
XLII. Factores de carga y combinaciones sugeridos por el ACI 318S-08.... 81
XLIII. Envolvente de momento para viga 2N-4A-4B 82
XLIV. Envolvente de corte para viga 2N-4A-4B 83
XLV. Envolvente de carga axial para columna 6B 84
XLVI. Área de acero requerido para viga de tramo 1N-6A-6B eje 6 nivel1 .. 89
XLVII. Armado de refuerzo para viga de tramo 1N-6A-6B, eje 6, nivel 1 91
XLVIII. Longitud de desarrollo para armado de vigas 93
XLIX. Longitud de anclaje para barras en tensión 94
L. Datos para el diseño de columna critica 1N-6B 95
LI. Clasificación de columnas por su esbeltez..... 96
LII. Esbeltez de columna de primer nivel 1N-6B sentido X, sentido Y..... 97
LIII. Esbeltez de columna de primer nivel 2N-6B sentido x, sentido y. 97

LIV. Integración carga muerta 105
LV. Áreas de acero y separación para losas de primer nivel 115
LVI. Resumen del presupuesto 137
LVII. Clasificación de material según su CBR 148
LVIII. Clasificación de material según partículas 151
LIX. Clasificación y características de las carreteras 154
LX. Peralte y longitud de espiral recomendados 165
LXI. Especificaciones de sobreancho 167
LXII. Resumen de diseño geométrico horizontal 168
LXIII. Valores para K para curvas cóncavas y convexas 173
LXIV. Resumen de diseño de curvas verticales 175
LXV. Calidad de subrasante en función del CBR 183
LXVI. Tabla de crecimiento anual y periodo de diseño de 20 años 186
LXVII. Valores de “k” según clasificación de suelo 189
LXVIII. Categorías de tráfico en función de cargas por eje 191
LXIX. TPPD permisible, categoría de carga por eje núm. 1, pavimento con junta de trabazón de agregado 193
LXX. Datos para diseño de mezcla (1m3 concreto fresco) 195
LXXI. Proporciones en volumen 198
LXXII. Valor de escorrentía 205
LXXIII. Resumen de presupuesto 209
LXXIV. Cronograma de ejecución físico 210
LXXV. Cronograma de ejecución financiera 211
LXXVI. Matriz de Leopold de impacto ambiental para pavimento 212

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_s	Área de acero de fuerzo a tracción o compresión
A_g	Área de sección transversal gruesa
q_u	Capacidad de carga última
P_c	Carga crítica de Euler
CM	Carga muerta
CV	Carga viva
C_s	Coeficiente sísmico
ρ_b	Cuantía balanceada
P	Cuantía de acero de refuerzo
ε_s	Deformación unitaria a compresión del concreto
Δ_0	Desplazamiento lateral relativo (deriva)
P-M	Diagrama de interacción carga-momento
D	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal a tensión.

$\mathbf{X_{cm}}$	Distancia sobre el eje X del centro de masa
$\mathbf{X_{cr}}$	Distancia sobre el eje X del centro de rigidez
$\mathbf{Y_{cm}}$	Distancia sobre el eje Y del centro de masa
$\mathbf{Y_{cr}}$	Distancia sobre el eje Y del centro de rigidez
$\mathbf{e_{sx}}$	Excentricidad directa en el eje X
$\mathbf{e_{sy}}$	Excentricidad directa en el eje Y
Pu	Fuerza axial última de análisis estructural de primer orden
Vu	Fuerza cortante última de análisis estructural de primer orden.
Mr	Momento de resistencia máximo probable
Mux	Momento mayorado sobre el eje
Muy	Momento mayorado sobre el eje Y
$\mathbf{q_a}$	Presión de contacto admisible
$\mathbf{\beta dns}$	Relación utilizada para calcular la reducción de la rigidez de las columnas debido a las cargas axiales permanentes
f´c	Resistencia a compresión del concreto
Vs	Valor soporte del suelo

V_c	Resistencia a cortante proporcionada por el refuerzo a corte.
Az	Área zapata
P	Carga aplicada a la columna
P'ux	Carga de resistencia de columna a una excentricidad ex.
P'uy	Carga de resistencia de columna a una excentricidad ey
n	Coeficiente de rugosidad
c	Coeficiente para momentos en losas
K	Constante para diseño de curvas verticales
CM	Cuerda máxima
ø	Diámetro
D	Diámetro de la tubería
Δ	Deflexión
S	Espaciamiento del acero de refuerzo
E	External
Fni	Fuerza por nivel, en el nivel i
Lc	Longitud de curva

Lcv	Longitud de curva vertical
Ls	Longitud de espiral
δ	Magnificador de momentos
m/s	Metros por segundo
Mb	Momento balanceado
S	Pendiente
e%	Peralte de curva horizontal
t	Peralte de losa
PC	Principio de curva
PCV	Principio de curva vertical
PI	Punto de intersección
PIV	Punto de intersección curva vertical
PT	Punto de tangencia
PTV	Punto de tangencia vertical
R	Radio
m	Relación entre los claros de la losa a/b
fy	Resistencia a la fluencia del acero de refuerzo

Sa	Sobreancho
St	Subtangente
∑	Sumatoria

GLOSARIO

ACI 318S-08 Instituto Americano del Concreto (siglas en inglés). Comité 318: Reglamento Estructural para Edificaciones. Edición en español; 2008

AGIES Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (siglas en inglés).

Análisis estructural Proceso que busca encontrar la forma que adquiere una estructura al ser sometida a cargas y los consecuentes esfuerzos a que se ven sometidos sus miembros.

ASTM Asociación Americana para pruebas y materiales (siglas en inglés).

Capacidad de carga Esfuerzo máximo por unidad de área que el suelo puede soportar antes que ocurra la falla por cortante.

Cargas Fuerzas u otras acciones resultantes del peso de los materiales de construcción, los ocupantes y sus pertenencias, efectos ambientales, movimientos diferenciales y restricciones a la deformación que afectan a la estructura.

Cargas de servicio También llamadas cargas de trabajo, son todas las cargas, estáticas o transitorias, que se imponen a la estructura, o elemento estructural, debido al uso de la edificación, sin factores de carga.

Cargas mayoradas	También llamadas cargas de diseño, son todas las cargas de servicio multiplicadas por su respectivo factor de mayoración de carga.
Caudal	Volumen de flujo que pasa en una sección por unidad de tiempo.
Corte basal	Carga inducida para reemplazar el efecto de sismo en un edificio, por fuerzas laterales equivalentes que actúan en la base del mismo.
Envolvente	Es la superposición de las gráficas que representa los esfuerzos máximos y mínimos sobre un elemento estructural
Esbeltez	Se expresa en términos de su relación de esbeltez kłu/r, donde k es un factor de longitud efectiva (que depende de las condiciones de vínculo de los extremos de la columna), łu es la longitud de la columna entre apoyos y r es el radio de giro de la sección transversal de la columna.
Excentricidad	Parámetro que determina el grado de desviación entre dos puntos de referencia, comprendida entre el centro de masa y el centro de rigidez de una estructura.
IBC	Código Uniforme de la Edificación (siglas en inglés).
Vida útil	Es el período durante el cual una estructura es capaz de mantener el nivel requerido de resistencia y de servicio.

Cota de terreno	Altura de un punto del terreno, haciendo referencia a un nivel determinado, banco de marca o nivel del mar.
Desfogue	Salida de aguas residuales en un punto determinado.
Especificaciones	Normas técnicas de construcción con disposiciones especiales, de acuerdo a las características y tipo de proyecto, son de carácter específico bajo estándares de calidad y seguridad.
Peralte	Pendiente transversal en las curvas a la calzada de una carretera para compensar la fuerza centrífuga.
Perfil	Visualización en plano de la superficie de la tierra, según su latitud y altura, referidas a banco de marca.
Rasante	Es el nivel de la superficie de rodamiento de una carretera o camino.
Subrasante	Se define así al terreno de fundación de los pavimentos, pudiendo estar constituida por el suelo natural del corte o de la parte superior de un relleno debidamente compactado.
RCDF	Reglamento de construcción para el Distrito Federal (México).
Valor soporte	Capacidad del suelo para resistir cargas por unidad de área.

Zapata	Estructura cuya función es transmitir la carga al subsuelo a una presión de acuerdo a las propiedades del suelo.

RESUMEN

El aporte técnico que se realiza durante el proceso del Ejercicio Profesional Supervisado (EPS), como apoyo a la Dirección Municipal de Planificación (DMP), de cualquier municipalidad es el desarrollo de un perfil de proyecto desde las bases teóricas que fundamentan técnicamente la factibilidad, hasta la memoria de cálculo, planos, especificaciones y presupuestos. El objetivo es, que las municipalidades tengan un estudio completo del proyecto para poder ejecutarlos y solventar los problemas que aquejan a sus comunidades.

Como parte del proceso de EPS, se presenta el diseño de un edificio escolar de dos niveles para la aldea Montúfar, San Juan Sacatepéquez, Guatemala; y el mejoramiento de tramo que conduce de aldea Sajcavillá hacia aldea Lo de Mejía, San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

El primer proyecto es el diseño de un edificio escolar de dos niveles, debido al incremento de estudiantes. El edificio, incluirá todos los aspectos estructurales adecuados según los parámetros de diseño que sean convenientes por el tipo de edificación. El proyecto se diseñó con base en un sistema estructural, tomando en cuenta las consideraciones sísmicas, por lo tanto, se contemplaron normas del AGIES y el ACI 318-08 para el diseño de losas, vigas, columnas, zapatas y también el módulo de gradas.

El otro proyecto consiste en diseñar 2,5 kilómetros de carretera, que conduce de aldea Sajcavillá hacia aldea Lo de Mejía. Actualmente, esta carretera se encuentra en malas condiciones, por lo que es un problema transitar con vehículo liviano y pesado. La carretera existente no está diseñada

según los parámetros adecuados establecidos en las normas que se encuentra en las Especificaciones generales de construcción de carreteras y puentes según la Dirección General de Caminos.

OBJETIVOS

General

Diseñar un edificio escolar de dos niveles para la aldea Montúfar, y ampliar el tramo carretero que conduce de aldea Lo de Mejía hacia aldea Sajcavillá del municipio de San Juan Sacatepéquez, Guatemala.

Específicos

1. Diseñar un edificio escolar de dos niveles que cumpla con los requerimientos del código ACI 318-08 y las normas AGIES 2010.

2. Diseñar la geometría de la carretera con base en las especificaciones de la Dirección General de Caminos (DGC).

3. Elaborar planos, presupuestos y cronogramas de ejecución física y financiera para ambos proyectos.

4. Elaborar un manual de operación y mantenimiento para ambos proyectos.

INTRODUCCIÓN

En este proceso de EPS, se apoyó técnicamente al municipio de San Juan Sacatepéquez, departamento de Guatemala, el cual tiene una gran extensión territorial (287 kilómetros cuadrados) aproximadamente y posee alrededor de 350 000 habitantes, distribuidos en trece aldeas y 45 caseríos.

Para dar prioridad a un proyecto en San Juan Sacatepéquez, se deben analizar las necesidades principales de la comunidad. En los recorridos e investigaciones preliminares se identificó que entre la problemática más relevante está el saneamiento, las vías públicas y la educación. Por este motivo, se optó por apoyar a la Dirección Municipal de Planificación (DMP) con el diseño de un edificio escolar de dos niveles para la aldea Montúfar, y el mejoramiento del tramo que conduce de aldea Sajcavillá hacia aldea Lo de Mejía, San Juan Sacatepéquez.

El proceso de diseño de cada proyecto se detallará en capítulos posteriores y se basó en los criterios de reglamentos y códigos aplicables a las características particulares de los mismos; con lo que se logrará cumplir el objetivo principal del EPS, el cual es poner en práctica el conocimiento técnico del estudiante.

Es importante mencionar que, para la realización de los cálculos, se aplicaron criterios basados en el ACI-318-2008, UBC, IBC, AGIES 2010, Especificaciones de la dirección general de caminos, Manual Centroamericano (SIECA), normas AASHTO.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1. Monografía del municipio de San Juan Sacatepéquez

Según datos históricos su origen es precolonial y fue conquistado por los españoles en el año 1 525 bajo el mando de Antonio de Salazar. El título de tierras de San Juan Sacatepéquez adquirió derechos el 3 de febrero de 1 752. En dicho título consta que los indígenas compraron al rey de España un total de 480 caballerías y 38 manzanas. La institución municipal se estableció en el año 1 882 y, de los años 1 936 a 1 946, no gobernaron alcaldes sino intendentes.

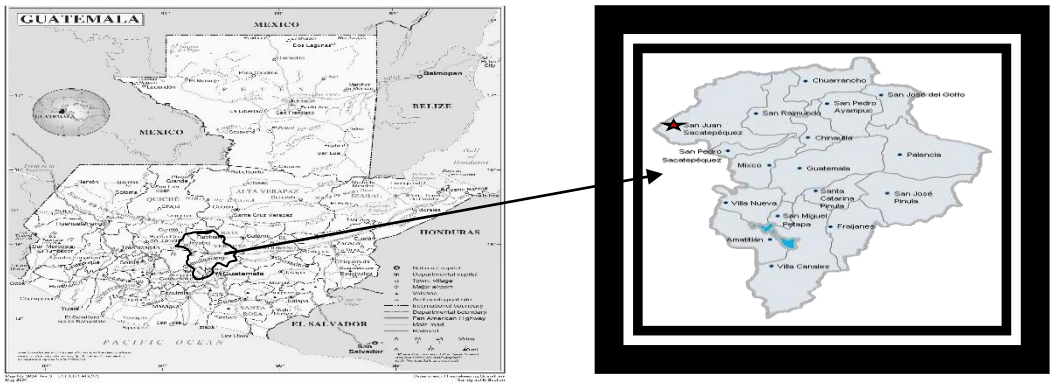
El nombre del municipio de San Juan Sacatepéquez deriva de dos fuentes: San Juan Bautista, patrono del municipio y dos voces del Kaqchiquel: sacar, que significa hierba y tepet, que significa cerro.

1.1.1. Ubicación geográfica

Limita al norte con el municipio de Granados, Baja Verapaz; al este con el municipio de San Raymundo y San Pedro Sacatepéquez, ambos del departamento de Guatemala; al sur limita con el municipio de San Pedro Sacatepéquez; y al oeste con el municipio de San Martín Jilotepéque perteneciente al departamento de Chimaltenango y con el municipio de Xenacoj perteneciente al departamento de Sacatepéquez. Tiene una extensión de 242 kilómetros cuadrados.

Se encuentra a 1 845,10 metros sobre el nivel del mar, latitud 14°43’02”, longitud 90°38’34”.

Figura 1. **Ubicación del municipio de San Juan Sacatepéquez**



Fuente: elaboración propia.

1.1.2. Topografía

La topografía del municipio de San Juan Sacatepéquez es bastante irregular. Cuenta con escasas planicies, pero con numerosas montañas, pendientes y hondonadas. Las montañas del municipio se encuentran cubiertas de vegetación verde y exuberante. Cuenta con regiones de tierras fértiles que, gradualmente, hacen contacto con terrenos secos y barrancos arenosos.

1.1.3. Clima

El departamento de Guatemala, posee diversos climas o microclimas dentro de su área geográfica. El municipio de San Juan Sacatepéquez registra un clima templado semifrio variando a frío en los meses finales del año. La temperatura general oscila entre 15 a 23 grados centígrados.

1.1.4. Cultura

La cultura e identidad del municipio de San Juan Sacatepéquez está ligada a su origen Kaqchikel. Es rica en tradiciones las cuales son una mezcla de cultura indígena y de la española. Predomina la fe católica.

Durante la feria titular, muy arraigada en la cultura Sanjuanera, se organizan eventos deportivos como la Copa Barcelona, en la cual participan los municipios de San Pedro Sacatepéquez, Santo Domingo Xenacoj y Santiago Sacatepéquez. También llevan a cabo otras actividades, como el ciclismo de montaña, La carrera del pueblo, las corridas de toros y el desfile de gala. Durante estas actividades participan un promedio de 1 500 atletas.

1.1.4.1. Traje típico

El güipil y corte tradicionales de la mujer de San Juan está confeccionado con tela de algodón tejida en hilar de cintura. El diseño de la pieza de arriba o huipil presenta líneas verticales donde predominan los colores lilas y amarillos. Los bordados a mano que son tejidos alrededor del cuello representan flora y fauna características de la región, como las flores y los pájaros. El corte o falda es un pedazo de tela de algodón de cuadros en colores oscuros, como negro y blanco o azul índigo y blanco.

1.1.4.2. Costumbres

Entre las danzas folklóricas que se presentan se encuentran El Torito y El Baile de las Flores. Entre otras costumbres se encuentran las cofradías que es una costumbre de origen colonial en la cual se veneran imágenes de la Virgen María, Jesús, San Juan Bautista, la Cruz y el Rosario. La música tradicional son

los sones de arpa y marimba, entre los cuales se puede mencionar La Sanjuanerita, El Chuj, El Maíz y el de los matrimonios.

1.1.4.3. Feria del pueblo

La fiesta titular de las comunidades se celebra el día 24 de junio, en honor al patrono San Juan Bautista, el patrono del pueblo. A él se dedican todas las actividades durante esa semana. Se realizan eventos sociales, culturales y deportivos en esas fechas, incluyendo peleas de gallos.

1.1.5. Actividades económicas

Su economía se basa en la agricultura, con variedad de frutas y flores que se comercializan fuera del municipio. También se explota la ganadería y avicultura, así como las artesanías y turismo interesado en conocer sus tradiciones. Entre sus artesanías, se destacan los tejidos, tejas, ladrillos, arcilla y la alfarería.

1.1.5.1. Agricultura

Los suelos han sido oficialmente declarados no aptos para cosechas en su gran mayoría, pero los terrenos sobrantes son una buena fuente de cultivos. Además los pobladores también siembran flores ya que es una actividad muy importante para la localidad. Entre los cultivos principales están el maíz, el frijol y algunas verduras.

1.1.5.2. Carpintería

La tapicería es otra de las actividades en que se distingue el pueblo por ser la “cuna del mueble”. Se producen muebles de finos acabados de sala, comedor y cocina, vendidos en el municipio, la ciudad capital, el interior de la república, y también ya tienen mercado en Centro América, Estados Unidos y Sur América.

1.1.6. Características demográficas

San Juan Sacatepéquez, tiene una superficie de 242 km², con una densidad poblacional de 631 habitantes por kilómetro cuadrado. Según el INE, en el 2002, el total de la población de este municipio, asciende a 152 583 habitantes, el 89,5% pertenece a la etnia kakchiquel; la mayor concentración de habitantes se encuentra en el casco de la aldea.

1.1.6.1. Organización socioeconómica

El municipio de San Juan Sacatepéquez está organizado en una cabecera municipal y trece aldeas, las cuales contienen algunos caseríos. La población es mayoritariamente indígena, y los idiomas predominantes son el idioma kaqchikel y el castellano.

1.1.7. Servicios existentes

1.1.7.1. Educación

El caserío Pixcayá, no cuenta con una escuela donde se imparten clases a nivel primario, a 140 niños y 110 niñas, comprendidos entre las edades de 7 a

15 años de edad. Existen escuelas en otros caseríos que, al igual que en la aldea, solo se imparten clases de nivel primario. En muy pocos casos la educación es bilingüe, Cakchiquel español.

El movimiento nacional para la alfabetización que dio inicio el 1 de octubre del año 2000, pretende atender a todas las comunidades, sin embargo, no se ha logrado en su totalidad y el porcentaje de analfabetismo es de 55% de la población.

1.1.7.2. Salud

La aldea cuenta con un puesto de salud, un médico, para atender a los pacientes que requieren de tratamiento especializado y otro de consulta externa, 5 enfermeras se encargan de dar tratamiento en todos los días de la semana.

Los caseríos también cuentan con puestos de salud y, al igual que el centro de la aldea, son visitados una vez por semana por un médico, el resto de la semana son atendidos por enfermeras.

1.1.7.3. Agua potable

Actualmente, el agua potable en el caserío Pixcayá es muy abundante, ya que a pocos metros pasa el rio Pixcayá pero el caserío posee un ojo de agua que es suficiente para la demanda de la población. Provee un caudal de 25 galones por minuto aproximadamente.

Como complemento, tanto en la aldea como en los caseríos existen pilas comunales donde los vecinos pueden lavar la ropa.

1.1.7.4. Drenajes

La aldea no cuenta con sistema de drenajes entubados. Las aguas residuales son enviadas a pozos de absorción, en algunos casos colocan fosas sépticas. Las aguas pluviales son drenadas en forma natural por las cuencas.

1.1.8. Principales necesidades del municipio

La Municipalidad de San Juan Sacatepéquez ha realizado estudios e investigaciones para determinar las principales necesidades de la población, a continuación se presentan las identificadas.

1.1.8.1. Descripción de las necesidades

De acuerdo con la información brindada por la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez se clasificaron las necesidades de la población en tres áreas: de salud, de educación y de infraestructura física.

1.1.8.1.1. Área de salud

El municipio posee dos centros de Salud tipo B. Los atienden cuatro médicos, dos odontólogas, dos enfermeras graduadas, dos trabajadoras sociales, un inspector de saneamiento ambiental, un técnico de salud rural, siete auxiliares de enfermería, un laboratorista, un estadígrafo, dos secretarios y dis operativos. Además, cuenta con ocho promotores voluntarios en el área de salud rural y varias comadronas las cuales laboran en salud materna y rural. En total son 40 personas, aproximadamente.

1.1.8.1.2. Área de educación

La cantidad de edificios escolares en el casco urbano sí satisface las necesidades de la población. Pero en la mayoría se deben hacer reparaciones y reemplazar el mobiliario y equipo.

En las zonas rurales, la demanda de educación es alta. En muchas comunidades se debe ampliar y mejorar los centros educativos que actualmente existen.

1.1.8.1.3. Área de infraestructura física

Existe la necesidad de construir puentes para comunicar aldeas, ya que estas se encuentran lejos del casco urbano. Es necesario mejorar carreteras, construir alcantarillados para zonas rurales y sistemas de agua potable

1.1.8.2. Evaluación y priorización de las necesidades

La aldea Lo de Mejía cuenta con una carretera en malas condiciones, lo cual dificulta la movilización de vehículos de dicha aldea para la aldea Sajcavillá. Por lo tanto, se tiene como prioridad el mejoramiento y la ampliación de la carretera que une dichas aldeas.

La aldea Montufar, Pixcayá no cuenta con un edificio escolar, por lo que sus alumnos deben viajar grandes distancias para recibir educación. A partir de esta problemática, se estableció como prioridad el diseño de una edificación de dos niveles, que pueda satisfacer esta necesidad en la aldea.

2. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

2.1. Diseño de una edificación escolar de dos niveles para la aldea Montufar, San Juan Sacatepéquez

2.1.1. Descripción general del área disponible para el proyecto

Para el proyecto de la escuela primaria, se cuenta con un terreno de propiedad municipal, con un área de 1,713.94 metros cuadrados, con forma rectangular en planta y elevación bastante regular, el cual está provisto de servicios básicos, como agua potable, alcantarillado sanitario y energía eléctrica.

2.1.1.1. Planimetría

Para conocer los detalles planimétricos se utilizó el método de la poligonal abierta con radiaciones. Este método permite marcar los linderos y esquinas que definen la forma del polígono. En campo se utilizó el siguiente equipo:

- Estación total NIKON DTM-322
- Prisma

2.1.1.2. Altimetría

Se utilizó el método de la nivelación diferencial para conocer los detalles altimétricos del polígono en el que se diseñará la escuela primaria. El proceso consiste en ubicar puntos en una cuadrícula regular, y en puntos específicos para conocer su altura para obtener la mejor aproximación del terreno por medio de sus curvas de nivel. Se utilizó el siguiente equipo:

- Nivel de precisión SOKKIA
- Estadal

Al analizar los datos de campo, se establece el criterio de elevación como aceptable en base a las normas y recomendaciones de diseño del ministerio de comunicación, infraestructura y vivienda (CIV).

2.1.1.3. Estudio de suelos

El estudio de las características del suelo es una de las primeras actividades en el diseño de una edificación cuyo objetivo es describir las características físicas y mecánicas del suelo portante de la edificación; en especial, la capacidad de carga admisible o valor soporte del suelo. Para determinar esta propiedad mecánica se realizó una perforación con 1,50 metros de profundidad y se extrajo una muestra de un pie cúbico la cual se cubrió con parafina, para luego ser analizada mediante un ensayo de compresión triaxíal, en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ingeniería, en la Universidad de San Carlos; ver apéndice 1.

Tabla I. **Parámetros obtenidos del análisis del suelo**

Descripción del suelo	Arcilla con presencia de arena color café oscuro	
peso específico del suelo	1,5	ton/m3
Angulo de fricción interna	18,28	°
Cohesión	4	ton/m2
Desplante	1,5	m
b	1	m
L	1	m
Factor de seguridad	4	

Fuente: elaboración propia.

El valor soporte del suelo se determina a partir de los resultados obtenidos del ensayo de compresión triaxial; el ángulo de fricción interna fue ajustado por medio de datos proporcionados por el laboratorio de mecánica de suelos del CII-USAC.

- Cálculo del valor soporte del suelo

Utilizando las ecuaciones presentadas en la teoría de mecánica de suelos la carga última del Dr. Terzagui y una dimensión inicial de 1.0 metros de base, se procede de la siguiente manera:

$$q_u = 1.3cN_c + qN_q + 0.4\gamma BN_\gamma \quad \text{(Cimentación cuadrada)}$$

$Nc = (Nq - 1)\cot\phi \longrightarrow 15{,}80$

$Nq = \frac{e^{2\left(\frac{3\pi}{4} - \frac{\phi}{2}\right)Tan\,\phi}}{2COS^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \longrightarrow \ 6{,}22$

$Kpr = 3\,Tan^2\left(45 + \frac{\phi + 33}{2}\right) \longrightarrow 24{,}30$

$Nr = \frac{1}{2}\left(\frac{Kpr}{Cos^2\,\phi} - 1\right) Tan\,\phi \longrightarrow 4{,}27$

qu = 98 719,50 kg/ m2

$$q\ adm = \frac{qu}{FS}$$

Donde:

qu : valor soporte del suelo

q adm: valor soporte admisible del suelo

FS: factor de seguridad (Puede usarse un factor de seguridad de 3 a 5 debido a la variabilidad del suelo y al número reducido de ensayos, se opta por asumir un valor de 4)

$$q\ adm = \frac{qu}{FS}$$

$$q\ adm = \frac{98\ 719{,}50}{4} \longrightarrow 24\ 679{,}87\ \frac{kg}{m2}$$

2.1.2. Criterios de diseño arquitectónico

Los criterios de diseño arquitectónico para la escuela Pixcayá, aldea Montúfar, se ha tomado en consideración la normativa vigente sobre los criterios arquitectónicos mínimos recomendados por el Mineduc.

2.1.2.1. Altura del edificio

Tomando en consideración lo indicado por el Ministerio de Educación (Mineduc), las alturas de los niveles quedan de la siguiente manera:

Primer nivel: altura de piso a cielo 4,7 metros (se asume un desplante de cimentación de 1,5 metros)

Segundo nivel: altura de piso a cielo 3,2 metros

Datos obtenidos del Normativo para el diseño arquitectónico de centros educativos (Mineduc) en la sección 1,2 criterios generales.

2.1.3. Criterios de diseño estructural

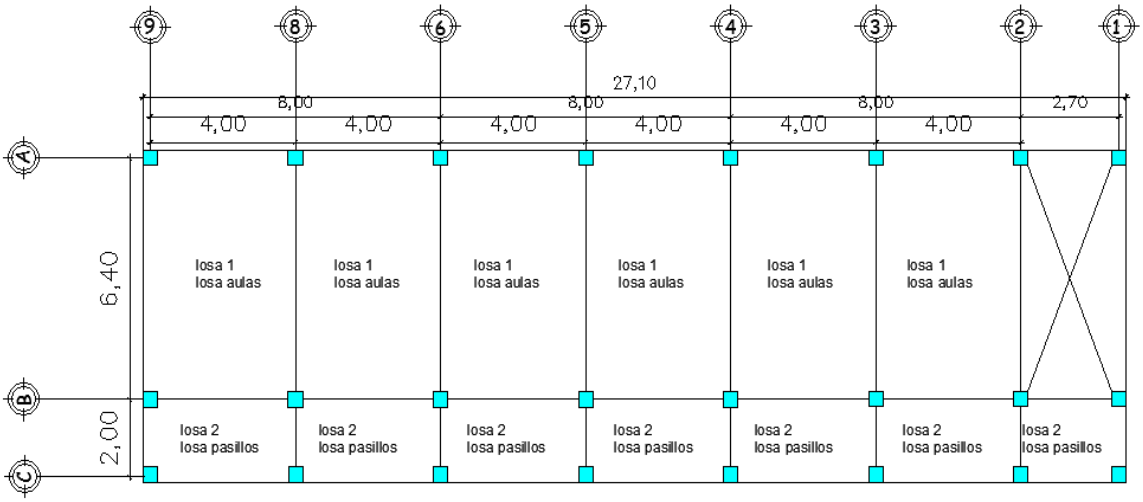
Para la escuela Pixcayá, es necesario un sistema estructural que resista de forma efectiva las cargas laterales y gravitacionales impuestas, cuya ductilidad sea ampliamente conocida y pueda lograrse con un buen detallado de miembros estructurales.

Se ha elegido el sistema de marcos rígidos resistente a momento, y su estructura y detallado sismorresistente corresponde a lo especificado en el American Concrete Institute (ACI), en su edición 2008, específicamente a lo estipulado por el comité 318 en el capítulo 21, en las secciones correspondientes a los miembros estructurales pertenecientes a marcos especiales resistentes a momento (SMRF, por sus siglas en inglés).

Cabe resaltar que los muros de mampostería no formarán parte del sistema estructural, y sus efectos se consideran únicamente para el análisis sísmico y de carga por gravedad.

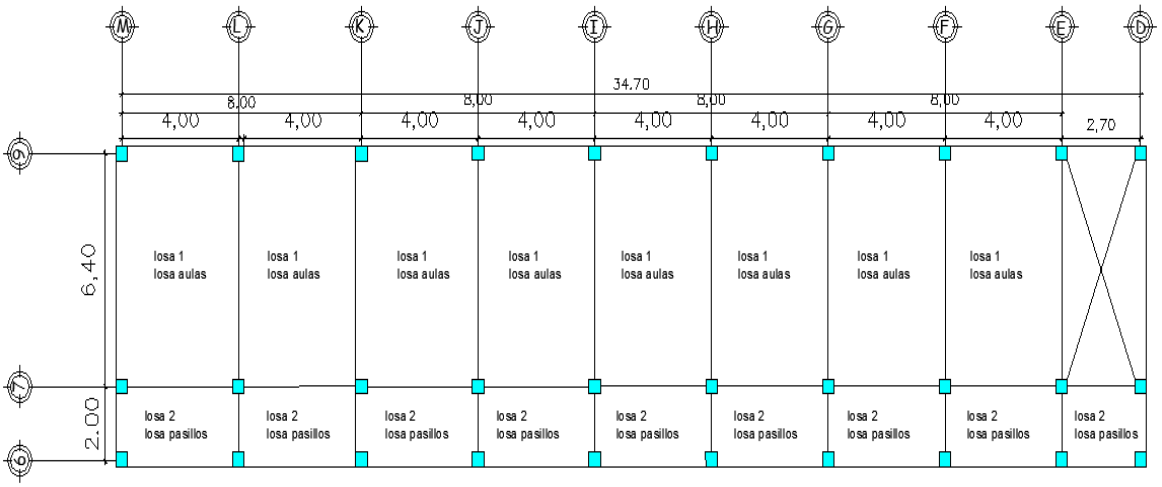
En las secciones siguientes se detallará el proceso de diseño para el módulo l de la planta general presentada en la figura 2. Luego, se llevará a cabo el procedimiento posterior para las condiciones particulares del módulo restante, el diseño se complementará.

Figura 2. **Planta del módulo I, escuela Pixcayá, aldea Montúfar**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

Figura 3. **Planta del módulo II, escuela Pixcayá, aldea Montúfar**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

2.1.3.1. Estudio de cargas

Las cargas, o solicitaciones, son la forma en que se conceptualizan las acciones que se presentan en las estructuras, en lo referente a la forma de modelar el fenómeno que las genera; a los valores que deben considerarse para el diseño; a la manera de determinar sus efectos, y a las incertidumbres involucradas en los valores que se emplean en la práctica común.

Las cargas se toman sobre la base de los criterios dados en los códigos actuales, los cuales son requisitos mínimos recomendados que debe procurarse su cumplimiento. Sin embargo, debe prevalecer el criterio del diseñador.

La tabla II indica los valores de carga viva y la tabla III la carga muerta establecida para el diseño estructural de la escuela Pixcayá, aldea Montúfar.

Tabla II. **Carga viva, diseño estructural de la escuela Pixcayá, aldea Montúfar**

Elemento	***Carga [kg/m^2]***
Terraza (sin acceso)	200
Losa en aulas	200
Balcones, pasillos	500
Escaleras [kg/m]	500
Área de sanitarios	200

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos en normas AGIES 2010.

Tabla III. **Carga muerta, diseño estructural de la escuela Pixcayá, aldea Montúfar**

Elemento	Carga [kg/m^2]
Concreto reforzado [kg/m^3]	2 400
Mampostería reforzada (t = 0.15 m)	250
Repellos y cernidos	25
Piso de granito	120
Relleno	25
Sobrecarga	35

Fuente: elaboración propia, datos obtenidos de normas AGIES 2010

2.1.3.2. Predimensionamiento

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

- Predimensionamiento losa

El método usa, como variable, las dimensiones de la superficie de la losa y el tipo de apoyos que tiene. En este caso, todas las losas están apoyadas en los cuatro lados. Dado a lo anterior, se toma la losa 1 (losa de aulas) por tener mayor área, y el espesor resultante se usa en ambas losas: losa 1(aulas) y en losa 2 (pasillos).

La fórmula para calcular el espesor de losa:

$$t = (perímetro\ de\ la\ losa) / 180$$

Losa = (6,4x2 + 4x2) / 180 = 0,115, Usamos 0,12

t = 0,12 metros (área tomada de figura 2 y 3)

Se tomará como dimensión uniforme para toda la losa de 12 centímetros, por consideraciones constructivas.

- Predimencionamiento de vigas

Para predimensionar vigas, el método utilizado determina el peralte o altura de la viga, ésta depende de la luz que cubra la viga. La base de la viga queda a criterio del diseñador. En este caso solo se calcula la viga crítica, es decir, la de mayor longitud, quedando las demás con igual sección.

Según código ACI 318-08 sección 10.7, el espesor mínimo de viga, no pretensadas con un extremo continuo es L/24, donde L es la luz máxima. Ahora bien, se tomará el criterio de ocho centímetros de peralte por cada metro de luz, es decir 0,08*6.4 = 0,512 metros. Por lo tanto, se propone un peralte de viga de 50 cm y base de 25 cm.

Relación b/a: 0,5, el ACI 318-08 en la sección 21.5.1.3 indica que esta relación debe estar en el rango de 60% > b/a > 25%, como la relación b/a es 0,5 si cumple.

- Predimensionamiento de columnas

El método que se utiliza para predimensionar las columnas y determinar la sección se basa en la carga aplicada que se le aplica. En este caso en particular, se desea guardar simetría en la dimensiones de la columna. Por esta razón se toma la columna crítica, es decir, la que soporta mayor carga. La medida resultante se aplica a todas las demás.

Fórmula: $P = 0.8[0{,}85f'c\,(Ag - A_{st}) + FyA_{st}];\quad 1\% < As < 6\%Ag$

Fuente: El American Concrete Institute (ACI), en la sección 10.3.6.2. Del ACI 318S-08

Donde:

P: carga axial total que llega a la columna

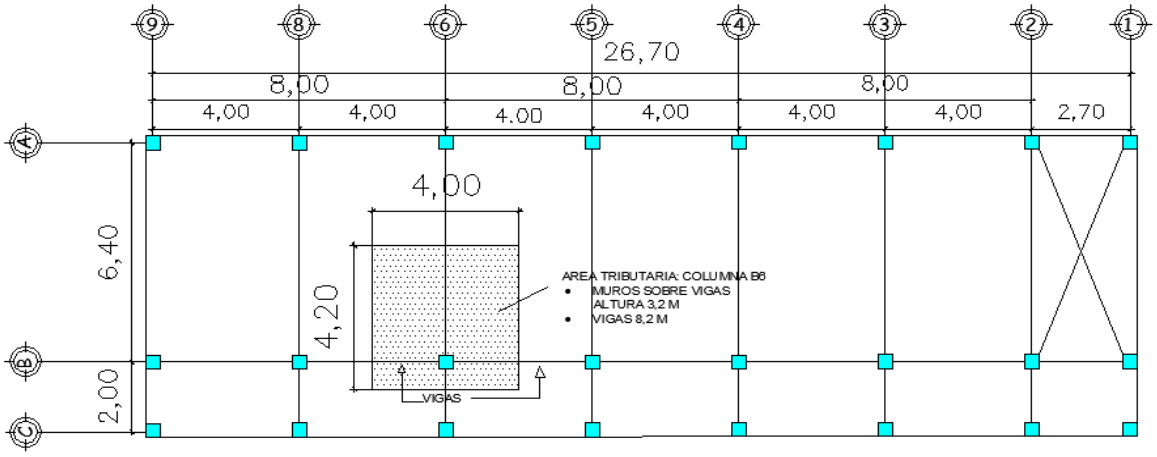
f´c: 280 kg/ cm^2 (Esfuerzo de compresión)

Ag: área gruesa

fy: 4 200 kg/cm^2 (Esfuerzo de fluencia)

A_{st}: = ρ Ag; ρ (según ACI 1% < As < 6%)

Figura 4. **Área tributaria para la columna critica B6, módulo I**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

Solución:

P = peso segundo nivel + peso primer nivel (tomado del área tributaria y espesor de losa de 0,12m), apoyándonos de la figura 4.

A continuación, se muestra la integración de cargas vivas y muertas que llegan a la columna B6. Indicada en la figura 4.

Tabla IV. **Carga axial muerta, sobre columna B6, módulo l, primer nivel**

PESO DEL PRIMER NIVEL				
Elemento	Peso [kg/m2]	Área [m2]	Longitud [m]	Carga axial [kg]
repello y cernido	25	78,21	…	1 955,25
relleno	25	16,8	…	420
Sobrecarga	35	16,8	…	588
piso granito	120	16,8	…	2 016
muros	250	23,04	…	5 760
Losa (t=0,12)	288	16,8	…	4 838,4
vigas (25x38cm)	300[kg/m]	8,2m	…	2 460
columna (40x40)	384 [kg/m]	4,7m	…	1 804,8
			TOTAL	1 984,2

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Carga axial muerta, sobre columna B6, módulo l, segundo nivel**

PESO DE SEGUNDO NIVEL				
Elemento	Peso [kg/m2]	Área [m2]	Longitud [m]	Carga axial [kg]
repello y cernido	25	32,17	…	804,25
relleno	25	16,8	…	420
Sobrecarga	35	16,8	…	588
Losa (t=0,12)	288	16,8	…	4 838,4
vigas (25x38cm)	300[kg/m]	8,2m	…	2 460
columna (40x40)	384 [kg/m]	3,2m	…	1 228,8
			TOTAL	10 339

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Carga axial viva sobre columna B6, módulo I**

PESO CARGA VIVA			
	carga [kg/m2]	Área [m2]	peso [kg]
losa 1 (aulas)	200	12,8	2 560
losa 2 (pasillos)	500	4	2 000
losa segundo nivel	100	16,4	1 640
		TOTAL	6 200

Fuente: elaboración propia.

Aplicando la combinación de carga

$$Cu = 1{,}6CV + 1{,}4CM$$

La carga axial es:

P_T = 52 174,66 Kg

Utilizando la ecuación:

$$p = 0{,}8x\,[0{,}85f'c\,(Ag - Ast) + fyAst]$$

Fuente: El American Concrete Institute (ACI), en la sección 10.3.6.2. Del ACI 318S-08

52 174,66 = 0,8 [0,85 ((280) (Ag – 0,01Ag)) + (2 810*0,01*Ag)]

Ag = 234,92 cm2

Considerando una columna cuadrada de B =15,32 cm.

El código y reglamento que rige el presente diseño estructural es el aprobado por comité 318 del American Concrete Institute (ACI) en la edición vigente al 2008, y la dimensión mínima exigida por el reglamento en la sección 21.6.1.2 de dicho código es 30 centímetros cuadrados.

Considerando lo anterior, y resaltando principalmente el carácter iterativo del diseño de los elementos de concreto reforzado, se elige una columna cuadrada de 40 centímetros.

Según ACI 318-08 (marcos estructurales) sección mínima 30*30 cm = 900 cm2.

Según AGIES sección mínima para marcos especiales 30 x 30 = 900 cm2

Por seguridad se propone una columna de 40*40 cm = 1 600 cm2

2.1.4. Análisis de carga por AGIES 2010

La carga viva se considera como un aporte importante y variable en la fuerza inercial que es inducida por las ondas sísmicas en la estructura. Los valores adoptados en este proyecto específico y su fundamento, fueron indicados en la tabla VII tomado de las normas AGIES 2010. La carga muerta corresponde al peso de los elementos estructurales y no estructurales.

Tabla VII. **Cargas vivas AGIES 2010, utilizadas para el diseño de la escuela Pixcayá**

Tipo de ocupación o uso	Wv (kg/m²)	Pv (kg)
Instalaciones deportivas públicas		
Zonas de circulación	500	
Zonas de asientos	400	
Zonas sin asientos	800	
Canchas deportivas	ver nota[a]	
Almacenes		
Minoristas	500	800
Mayoristas	600	1,200
Bodegas		
Cargas livianas	600	800
Cargas pesadas	1,200	1,200
Fábricas		
Industrias livianas	500	800
Industrias pesadas	1,000	1,200
Cubiertas pesadas (inciso 3.3 (f))		
Azoteas de concreto con acceso	200	
Azoteas sin acceso horizontal o inclinadas	100	
Azoteas con inclinación mayor de 20°	75[b]	
Cubiertas usadas para jardín o para reuniones	500	
Cubiertas livianas (inciso 3.3 (g))		
Techos de láminas, tejas, cubiertas plásticas, lonas, etc (aplica a la estructura que soporta la cubierta final)	50[b]	

Continuación de tabla VII.

Tipo de ocupación o uso	Wv (kg/m²)	Pv (kg)
Vivienda		
Balcones	500	
Habitaciones y pasillos	200	
Escaleras	300	
Oficina		
Pasillos y escaleras	300	
Oficinas	250	800
Areas de cafetería	500	
Hospitales		
Pasillos	500	450
Clínicas y encamamiento	250	
Servicios médicos y laboratorio	350	800
Farmacia	500	
Escaleras	500	
Cafetería y cocina	500	
Hoteles		
Habitaciones	200	450
Servicios y áreas públicas	500	800
Educativos		
Aulas	200	400
Pasillos y escaleras	500	
Salones de Lectura de Biblioteca	200	400
Area de estanterías de Biblioteca	700	800
Reunión		
Escaleras privadas	300	Ver 3.3(d)
Escaleras públicas	500	Ver 3.3(d)
Balcones	500	
Vestíbulos públicos	500	
Plazas a nivel de la calle	500	800
Salones con asiento fijo	300	
Salones sin asiento fijo	500	800
Escenarios y circulaciones	500	
Garajes		
Garajes para automóviles de pasajeros	250	Ver 3.3(c)
Garajes para vehículos de carga (2,000 Kg)	500	Ver 3.3(c)
Rampas de uso colectivo	750	Ver 3.3(c)
Corredores de circulación	500	Ver 3.3(c)
Servicio y reparación	500	Ver 3.3(c)

Fuente: Normas de seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala, capítulo 2. AGIES 2010.

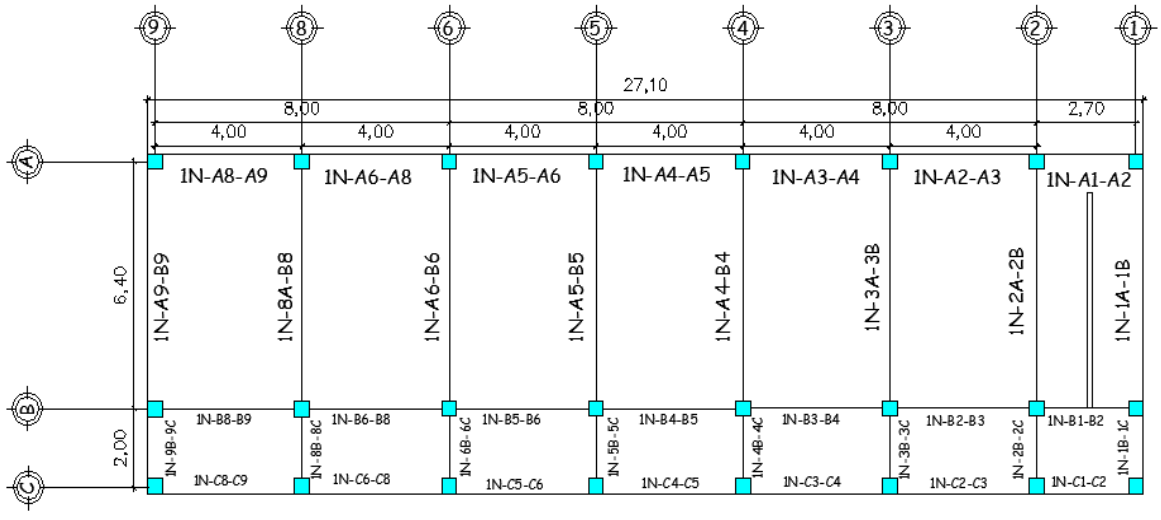
Las cargas vivas y muertas (tabla VII) para esta edificación se encuentran en las (tablas II y III).

2.1.5. Integración de carga gravitacional

La carga gravitacional y su debida integración a los elementos resistentes de la estructura, seguido de esto se presentan tablas de resumen de los resultados obtenidos, ver tabla VIII y tabla IX.

Para una mejor comprensión de dichas tablas, se han identificado las vigas con una nomenclatura especial que se indica en la figura 5 Y 6.

Figura 5. **Nomenclatura de vigas, Módulo I, 1 nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

La nomenclatura se identificó de la siguiente manera:

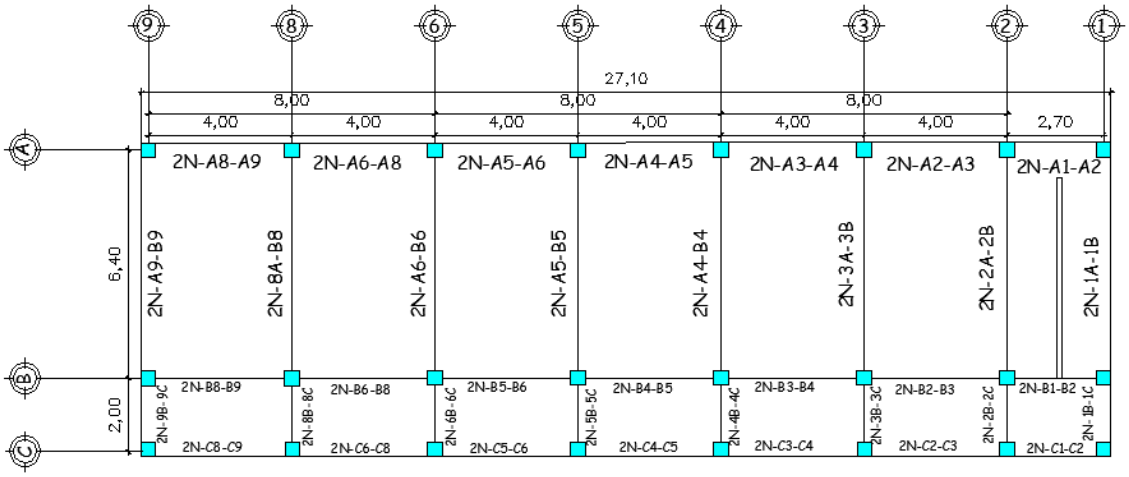
1N = 1 nivel

A9 = eje a y 9

B9 = eje b y 9

1N-A9-B9 = viga del primer nivel, eje 9 del eje A hacia eje B

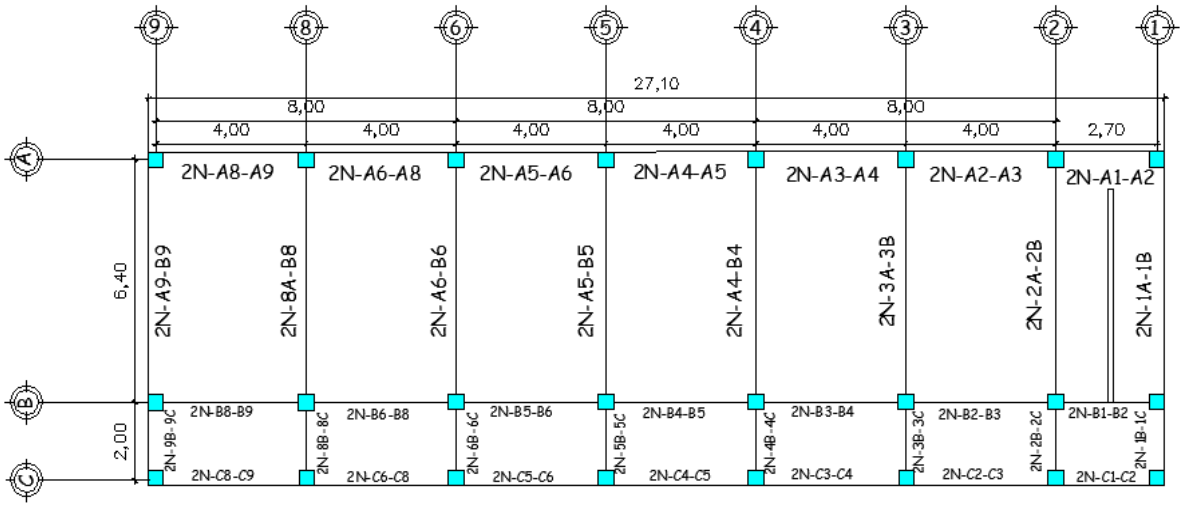
Figura 6. **Nomenclatura de vigas, Módulo I, 2 niveles**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

Para indicar el proceso de cálculo, se detallará el procedimiento de integración de cargas para el marco del eje 6.

Figura 7. **Áreas tributarias para marco 6**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

- Marco 6 nivel 2

De la figura 6 se obtiene el área tributaria de las vigas del marco 6. Las cargas vivas aplicadas y cargas muertas, están indicados en la tabla I y tabla II.

$$A1 = \frac{(b+B)\ x\ h}{2} \longrightarrow \frac{(2{,}40+6{,}40)\ x2}{2} \longrightarrow 8{,}8\ m2$$

$$A2 = \frac{(b+B)\ x\ h}{2} \longrightarrow \frac{(2{,}40+6{,}40)\ x2}{2} \longrightarrow 8{,}8\ m2$$

$$A3 = \frac{bh}{2} \longrightarrow \frac{(2\ x\ 1)}{2} \rightarrow 1\ m2$$

$$A4 = \frac{bh}{2} \longrightarrow \frac{(2\ x\ 1)}{2} \rightarrow 1\ m2$$

  - Viga 2N-A6-B6

    - Carga muerta (D):

$D = \{ [P_{losa} \times (A1_{tributaria} + A2_{tributaria})] + [(P_{acabados} + P_{sobrecarga}) \times (A1_{tributaria} + A2_{tributria})] + P_{muros} + P_{propio} \} / (L_{viga})$

$D = \{ [0{,}12\ m \times 2\ 400\ kg/m^3)\ (17{,}6\ m^2)] + [(25 kg/m^2 + 35\ kg/m^2) \times (17{,}6 m^2)] + (0\ kg) + (0{,}25m \times 0{,}38m \times 6{,}4m \times 2\ 400 kg/m^3 + 25\ kg/m^2 \times ((0{,}25m + 0{,}38m + 0{,}38m) \times 6{,}4\ m) \} / (6{,}4m)$

$D = 1210{,}25\ kg / m$

- Carga viva (L):

$L = (W_{CV})\ (A1_{tributaria} + A2_{tributaria}) / (L_{viga})$

$L = (100\ kg/m^2)\ (17{,}6\ m^2) / (6{,}4m)$

$L = 275\ kg/\ m$

- Viga 2N-B6-C6
  - Carga muerta (D):

$D = \{ [P_{losa} \times (A3_{tributaria} + A4_{tributaria})] + [(P_{acabados} + P_{sobrecarga}) \times (A3_{tributaria} + A4_{tributria})] + P_{muros} + P_{propio} \} / (L_{viga})$

$D = \{ [0{,}12\ m \times 2\ 400\ kg/m^3)\ (2\ m^2)] + [(25 kg/m^2 + 35\ kg/m^2) \times (2 m^2)] + (0\ kg) + (0{,}25m \times 0{,}38m \times 2m \times 2\ 400 kg/m^3 + 25\ kg/m^2 \times ((0{,}25m + 0{,}38m + 0{,}38m) \times 2\ m) \} / (2m)$

$D = 601{,}25\ kg / m$

- Carga viva (L):

$L = (W_{CV})\ (A_{tributaria}) / (L_{viga})$

$L = (100\ kg/m^2)\ (2\ m^2) / (2m)$

$L = 100\ kg/\ m$

- Marco 6 nivel 1

  - Viga 1N-A6-B6

    - Carga muerta (D):

$D = \{ [P_{losa} \times (A1_{tributaria} + A2_{tributaria})] + [(P_{acabados} + P_{sobrecarga}) \times (A1_{tributaria} + A2_{tributria})] + P_{muros} + P_{propio} \} / (L_{viga})$

$D = \{ [0{,}12\ m \times 2\ 400\ kg/m^3)\ (17{,}6\ m^2)] + [(25 kg/m^2 + 35\ kg/m^2 + 120 kg/m^2) \times (17{,}6 m^2)] + (3{,}2m \times 6{,}4m \times 250\ kg/m^2) + (0{,}25m \times 0{,}38m \times 6{,}4m \times 2\ 400 kg/m^3 + 25\ kg/m^2 \times ((0{,}25m + 0{,}38m + 0{,}38m) \times 6{,}4\ m) \} / (6{,}4m)$

$D = 2\ 340{,}25\ kg / m$

    - Carga viva (L):

$L = (W_{CV})\ (A_{tributaria}) / (L_{viga})$

$L = (200\ kg/m^2)\ (17{,}6\ m^2) / (6{,}4m)$

$L = 550\ kg/\ m$

  - Viga 1N-B6-C6

    - Carga muerta (D):

$D = \{ [P_{losa} \times (A3_{tributaria} + A4_{tributaria})] + [(P_{acabados} + P_{sobrecarga}) \times (A3_{tributaria} + A4_{tributria})] + P_{muros} + P_{propio} \} / (L_{viga})$

$D = \{ [0{,}12\ m \times 2\ 400\ kg/m^3)\ (2\ m^2)] + [(25 kg/m^2 + 35\ kg/m^2 + 120 kg/m^2) \times (2m^2)] + (0\ kg) + (0{,}25m \times 0{,}38m \times 2m \times 2\ 400 kg/m^3 + 25\ kg/m^2 \times ((0{,}25m + 0{,}38m + 0{,}38m) \times 2\ m) \} / (2m)$

$D = 721{,}25\ kg / m$

- Carga viva (L):

$L = (W_{CV})\ (A_{tributaria}) / (L_{viga})$

$L = (500\ kg/m^2)\ (2\ m^2) / (2m)$

$L = 500\ kg/m$

A continuación se presentan tablas de resumen de los resultados obtenidos, ver tabla VIII y IX.

Tabla VIII. **Integración de cargas para vigas del nivel 2**

Integración carga gravitacional nivel 2				
VIGA	**area tributaria [m2]**	**Longitud [m]**	**Carga muerta [kg/m]**	**Carga viva [kg/m]**
2N-A8-A9	4	4	601,25	100
2N-A6-A8	4	4	601,25	100
2N-A5-A6	4	4	601,25	100
2N-A4-A5	4	4	601,25	100
2N-A3-A4	4	4	601,25	100
2N-A2-A3	4	4	601,25	100
2N-A1-A2	1,82	2,7	487,83	67,4
2N-A1-B1	8,64	6,4	723,05	135
2N-A2-B2	17,44	6,4	1 201,55	272,5
2N-A3-B3	17,6	6,4	1 210,25	275
2N-A4-B4	17,6	6,4	1 210,25	275
2N-A5-B5	17,6	6,4	1 210,25	275
2N-A6-B6	17,6	6,4	1 210,25	275
2N-A8-B8	17,6	6,4	1 210,25	275
2N-A9-B9	8,8	6,4	731,75	137,5
2N-B1-B2	3,52	2,7	587,46	130,37
2N-B2-B3	7	4	862,25	175
2N-B3-B4	7	4	862,25	175
2N-B4-B5	7	4	862,25	175
2N-B5-B6	7	4	862,25	175
2N-B6-B8	7	4	862,25	175
2N-B8-B9	7	4	862,25	175
2N-C1-C2	1,7	2,7	472,36	63
2N-C2-C3	3	4	514,25	75
2N-C3-C4	3	4	514,25	75
2N-C4-C5	3	4	514,25	75
2N-C5-C6	3	4	514,25	75
2N-C6-C8	3	4	514,25	75
2N-C8-C9	3	4	514,25	75
2N-C1-B1	1	2	427,25	50
2N-C2-B2	2	2	601,25	100
2N-C3-B3	2	2	601,25	100
2N-C4-B4	2	2	601,25	100

Continuación tabla VIII.

2N-C5-B5	2	2	601,25	100
2N-C6-B6	2	2	601,25	100
2N-C8-B8	2	2	601,25	100
2N-C9-B9	1	2	427,25	50

Fuente: elaboración propia

Tabla IX. **Integración de cargas para vigas del nivel 1**

Integración carga gravitacional nivel 1						
	área tributaria [m2]					
Viga	**Aula**	**Pasillo**	**Gradas**	**Longitud [m]**	**Carga muerta [kg/m]**	**Carga viva [kg/m]**
1N-A8-A9	4	…	…	4	1 521,25	200
1N-A6-A8	4	…	…	4	1 521,25	200
1N-A5-A6	4	…	…	4	1 521,25	200
1N-A4-A5	4	…	…	4	1 521,25	200
1N-A3-A4	4	…	…	4	1 521,25	200
1N-A2-A3	4	..	…	4	1 521,25	200
1N-A1-A2	0	…	…	2,7	1 053,25	0
1N-A1-B1	…	…	8,64	6,4	1 053,25	0
1N-A2-B2	8,8	…	8,64	6,4	1 696,75	275
1N-A3-B3	17,6	…	…	6,4	1 540,25	550
1N-A4-B4	17,6	…	…	6,4	2 340,25	550
1N-A5-B5	17,6	…	…	6,4	1 540,25	550
1N-A6-B6	17,6	…	…	6,4	2 340,25	550
1N-A8-B8	17,6	…	…	6,4	1 540,25	550
1N-A9-B9	8,8	…	…	6,4	1 696,75	275
1N-B1-B2	…	1,7	4	2,7	847,9	314,8
1N-B2-B3	4	3	…	4	1 372,25	575
1N-B3-B4	4	3	…	4	1 372,25	575
1N-B4-B5	4	3	…	4	1 372,25	575
1N-B5-B6	4	3	…	4	1 372,25	575
1N-B6-B8	4	3	…	4	1 372,25	575
1N-B8-B9	4	3	…	4	1 372,25	575

Continuación tabla IX.

1N-C1-C2	…	1,7	…	2,7	547,9	314,81
1N-C2-C3	…	3	…	4	604,25	375
1N-C3-C4	…	3	…	4	604,25	375
1N-C4-C5	…	3	…	4	604,25	375
1N-C5-C6	…	3	…	4	604,25	375
1N-C6-C8	…	3	…	4	604,25	375
1N-C8-C9	…	3	…	4	604,25	375
1N-C1-B1	…	1	…	2	487,25	250
1N-C2-B2	…	2	…	2	721,25	500
1N-C3-B3	…	2	…	2	721,25	500
1N-C4-B4	…	2	…	2	721,25	500
1N-C5-B5	…	2	…	2	721,25	500
1N-C6-B6	…	2	…	2	721,25	500
1N-C8-B8	…	2	…	2	721,25	500
1N-C9-B9	…	1	…	2	487,25	250

Fuente: elaboración propia.

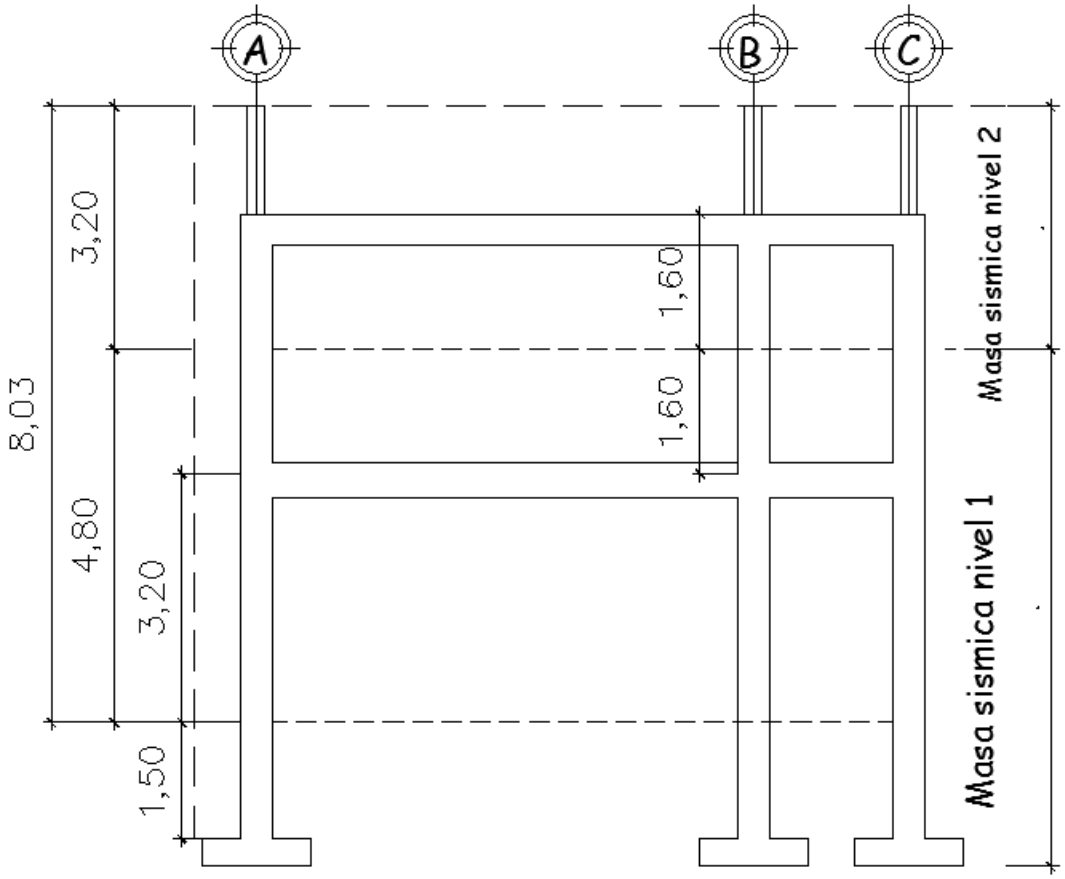
2.1.6. Integración de carga horizontal

El análisis de la carga sísmica se realiza de acuerdo a lo establecido en la aplicación del método de la fuerza horizontal equivalente que indica el AGIES.

2.1.6.1. Masa (peso) sísmica

El criterio para la consideración de los pesos por nivel o teoría de medios niveles (estático equivalente) utilizados en los procedimientos posteriores se ilustra en la figura 8.

Figura 8. **Consideración de la masa sísmica por nivel**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

Las alturas de los elementos verticales se han considerado como sigue:

- Altura de elementos verticales en nivel 2 = 3,2 metros
- Altura de elementos verticales en nivel 1 = 4,8 metros

Se ha considerado la luz libre de los elementos verticales únicamente. Ver figura 8.

2.1.6.1.1. Carga muerta sísmica

Como se ha establecido, la carga muerta sísmica se calcula como el peso de los elementos estructurales, mostrados en la tabla siguiente.

Tabla X. **Peso sísmico carga muerta total de nivel 2 y 1**

Elemento	peso unitario	Unidad	Cantidad	Peso [kg]
viga	253	kg/m	147,3	37 266,90
Columna	1 357	kg/col	24	32 568,00
Losa	373	kg/m2	224,28	83 656,44
Muro	800	kg/m	93,8	75 040,00
peso muerto total nivel 2 [kg]				228 531,34
peso muerto total nivel 2 [ton]				228,53
Elemento	peso unitario	Unidad	Cantidad	Peso [kg]
viga	253	kg/m	147,3	37 266,90
Columna	1 933	kg/col	24	46 392,00
Losa	493	kg/m2	207	102 051,00
Muro	0	kg/m	0	0.00
peso muerto total nivel 1 [kg]				185 709,90
peso muerto total nivel 1 [ton]				185,71

Fuente: elaboración propia.

Nota: en el peso unitario de los elementos estructurales de la edificación se integró toda carga muerta indicada en la tabla III. Como se muestra en el ejemplo 1.

Ejemplo 1:

COLUMNA SEGUNDO NIVEL		PESO UNITARIO [kg/col]
Concreto: 2 400	(0,4m X 0,4m X 3,2m X 2 400kg/m^3)	1 228,80
Acabados: 25 kg/m2	((0,4m+0,4m+0,4m+0,4m) x 3,2m x 25kg/m^2)	128
	Total	1 356,80

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.1.2. Carga viva sísmica

La carga viva sísmica contribuye en un 25% de peso total de la estructura tal y como lo indica AGIES.

Tabla XI. **Peso sísmico carga viva total nivel 2 y 1**

carga viva [kg/m2]				100
factor de participación de dicha carga			25%	
elemento	peso unitario	unidad	cantidad	peso
losa	25	kg/m2	207	5 175
peso vivo total nivel 2 [kg]				5 175
peso vivo total nivel 2 [ton]				5,18
carga viva [kg/m2]			200	500
factor de participación de dicha carga			25%	25%
elemento	peso unitario	unidad	cantidad	peso
losa1	50	kg/m2	153,6	7 680
losa 2	125	kg/m2	53,4	6 675
peso vivo total nivel 1 [kg]				14 355
peso vivo total nivel 1 [ton]				14.36

Fuente: elaboración propia.

Integrado las cargas muertas y vivas totales para nivel 2 y 1 respectivamente se puede calcular el peso total sísmico de la estructura, mostrada en la siguiente tabla.

Tabla XII. **Peso total sísmico por nivel**

Peso sísmico total			
nivel	carga muerta total [kg]	carga viva total [kg]	peso total
Nivel 2	228 531,34	5 175	233 706,34
Nivel 1	185 709,90	14 355	200 064,90
peso sísmico total [kg]	414 241,24	19 530	433 771,24
peso sísmico total [ton]	414,24	19,53	433.77

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.2. Período fundamental de vibración

Cada estructura posee un único período natural o fundamental de vibración, el cual es el tiempo requerido para completar un ciclo de vibración libre. La rigidez, la altura de la estructura son factores que determinan o influyen en el período fundamental, y este puede variar desde 0,1 segundos, para estructuras simples, hasta varios segundos para estructuras de varios niveles.

El valor del período fundamental de la edificación debe obtenerse a partir de las propiedades de su sistema de resistencia sísmica en la dirección por considerar. Este requisito se puede satisfacer siguiendo los métodos presentados por el código de AGIES, el período fundamental de vibración por el método de AGIES está dado por:

Para todas las edificaciones el valor de T puede aproximarse mediante la expresión:

$$T = K_t \times h_n^{\,x}$$

Donde:

h_n = altura [m], medida desde la base, al piso más alto.

K_t = 0,049, x = 0,75 para sistemas estructurales E2, E3, E4 o E5.

K_t = 0,047 x =0,90 para marcos de concreto armado resistentes a momentos y estructuras arriostradas excéntricamente.

$$T = 0,047 \times (8,03m)^{0,90}$$

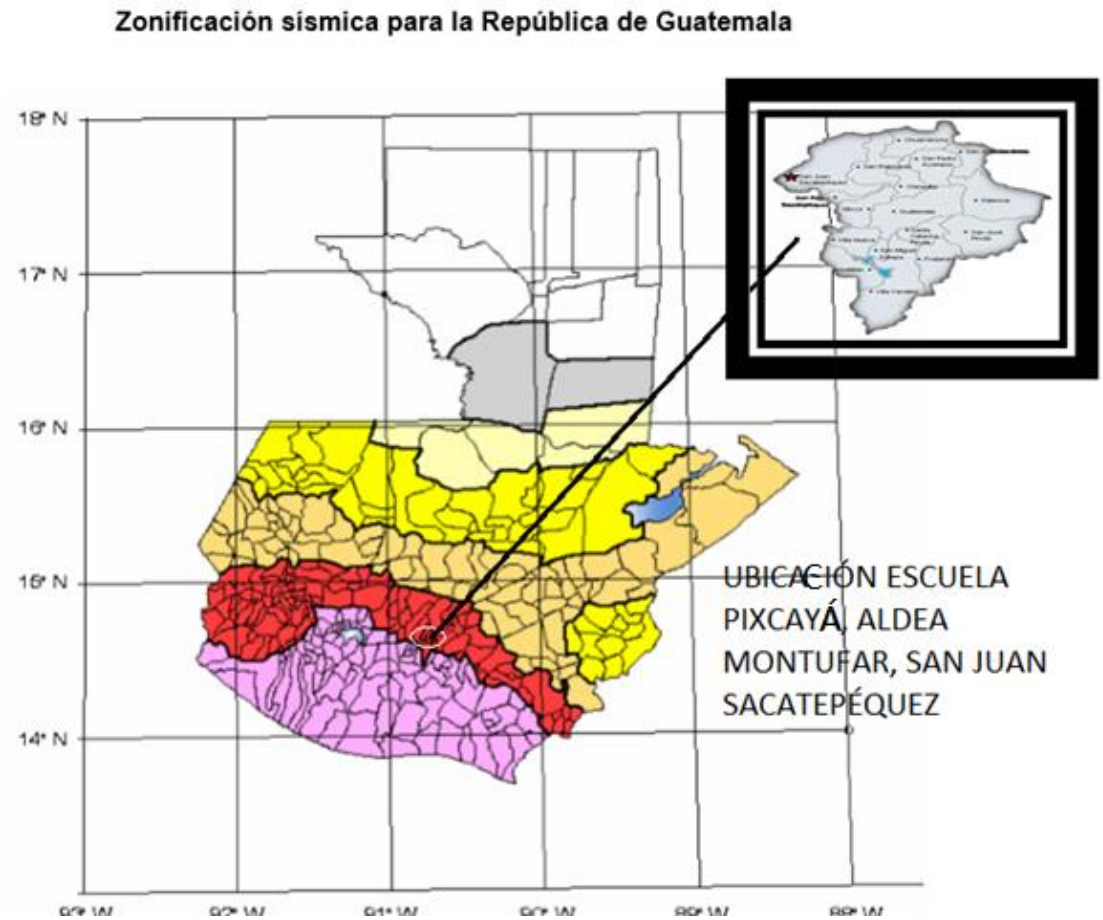
$$T = 0,30197 \text{ s}$$

2.1.6.3. Coeficientes sísmicos

Para un país altamente sísmico, como Guatemala, se recomienda diseñar para sismos con magnitudes de entre 4 y 5 grados en la escala de Richter, considerando profundidades del hipocentro menores a 40 kilómetros.

Cuando no se tiene acceso a un estudio geotécnico riguroso, se debe considerar el peor de los escenarios de respuesta del suelo, por lo que se recomienda que se utilicen perfiles de suelo tipo D o E, de manera general en todo el territorio nacional.

Figura 9. **Zonificación sísmica de Guatemala**



Fuente: Normas Estructurales de diseño recomendadas para la república de Guatemala, AGIES NR-2: 2010. Figura 4-1.

El coeficiente de respuesta sísmica está dado por el método de AGIES como:

$$Cs = Sa\ (T) / R$$

Donde:

Cs = coeficiente de sismicidad

Sa (T) = es la demanda sísmica de diseño para una estructura con periodo T obtenida del espectro de diseño sísmico establecido por el sitio.

R = es el factor de reducción que se obtiene en base al sistema estructural utilizado.

De acuerdo con la ubicación del proyecto se determina mediante la figura anterior el índice de sismicidad Io=4 con coordenadas Scs=1,5 g y S1s=0,55 g

Donde:

- S_{cs}: es la ordenada espectral del sismo extremo en el sitio de interés para estructuras con período de vibración corto.

- S_{1s}: es la ordenada espectral correspondiente a períodos de vibración de 1 segundo; ambos para un amortiguamiento de 5 por ciento del crítico.

Además de determinar el índice de sismicidad, también se debe determinar el nivel mínimo de protección y probabilidad de sismo de diseño, de acuerdo con el índice de sismicidad y la clase de obra.

Figura 10. **Nivel mínimo de protección sísmica y probabilidad del sismo de diseño**

Índice de Sismicidad	Clase de obra			
	Esencial	Importante	Ordinaria	Utilitaria
Io = 5	E	E	D	C
Io = 4	E	D	D	C
Io = 3	D	C	C	B
Io = 2	C	B	B	A
Probabilidad de exceder un sismo de diseño	5% en 50 años	5% en 50 años	10% en 50 años	No aplica

a) ver clasificación de obra en Capítulo 3, norma NSE 1
b) ver índice de sismicidad en Sección 4.2.1
c) ver Sección 4.3.4, para selección de espectro sísmico de diseño según probabilidad de excederlo
d) para ciertas obras que hayan sido calificadas como "críticas" el ente estatal correspondiente puede considerar probabilidad de excedencia de 2% en 50 años (K_d = 1.00 en sección 4.3.4)
e) "esencial" e "importante" tienen la misma probabilidad de excedencia – se diferencian en el Nivel de Protección y en las deformaciones laterales permitidas

Fuente: Fuente: AGIES NSE2-10-Tabla 4.1.

- Lugar: San Juan Sacatepéquez, Guatemala, Índice de sismicidad: Io=4
- Clase de obra: importante (escuela)
- Nivel mínimo de protección sísmica: D

El valor de Scr y S1r deberá ser ajustado a las condiciones en la superficie, según el perfil del suelo que cubra al basamento en el sitio. En algunos casos el valor de Scr y S1r deberá ser adicionalmente ajustado por la posibilidad de intensidades incrementadas de vibración en el sitio Fa y Fv.

Donde:

Fa: coeficiente de sitio para períodos de vibración cortos

Fv: coeficiente de sitio para períodos largos

La determinación de los coeficientes de sitio para períodos largos y cortos se encuentran en las siguientes tablas de acuerdo al índice de sismicidad (Io=4) y la clase de sitio (D).

Figura 11. **Coeficiente de sitio Fa**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0
D	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
E	1,7	1,2	1,0	0,9	0,9
F	Se requiere evaluación específica-ver sección 4.4.1				

Fuente: Tabla 4.2 AGIES NSE2-10, sección 4.3.3.5.

Figura 12. **Coeficiente de sitio F_v**

Clase de sitio	Índice de sismicidad				
	2a	2b	3a	3b	4
AB	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
C	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
D	2,0	1,8	1,7	1,6	1,5
E	3,2	2,8	2,6	2,4	2,4
F	Se requiere evaluación específica-ver sección 4.4.1				

Fuente: Tabla 4.3 AGIES NSE2-10, sección 4.3.3.6.

Tipo de suelo D, I_o=4

F_a= 1,0

F_v= 1.5

Figura 13. **Coeficientes y factores para diseño de sistemas sismorresistentes**

	SISTEMA ESTRUCTURAL (Sección 1.5)	sistema constructivo véase secc 1.5.8	R	Ωr	Cd	Límite de altura en metros Nivel de protección B	C	D	E
E1	SISTEMA DE MARCOS								
E1-A	Marcos tipo A								
	De concreto reforzado	NSE 7-1	8	3	5,5	SL	SL	SL	SL
	De acero estructural	NSE 7-5	8	3	5,5	SL	SL	SL	SL
E1-B	Marcos tipo B								
	De concreto reforzado	NSE 7-1	5	3	4,5	50	30	12	NP
	De acero estructural	NSE 7-5	4,5	3	4	50	30	12	NP
E1-C	Marcos tipo C								
	De concreto reforzado	NSE 7-1	3	3	3	30	NP	NP	NP
	De acero estructural	NSE 7-5	3,5	3	2,5	30	NP	NP	NP
E2	SISTEMA DE CAJON								
	Con muros estructurales								
	De concreto reforzado A	NSE 7-1	5	2,5	5	SL	75	50	30
	De concreto reforzado B	NSE 7-1	4	2,5	4	50	50	30	NP
	De concreto reforzado BD	1.5.8	5	2,5	3	30	30	15	12
	De mampostería reforzada A	NSE 7-4	4	2,5	3	30	30	20	15
	Paneles de concreto prefabricado	NSE 7-3	4	3	3,5	30	30	15	12
	Con paneles de madera	NSE 7-6	6	3	4	20	20	15	20
E3	SISTEMA GENERAL								
	Con muros estructurales								
	De concreto reforzado A	NSE 7-1	6	2,5	5	SL	75	50	50
	De concreto reforzado B	NSE 7-1	5	2,5	4	SL	50	30	NP
	De mampostería reforzada A	NSE 7-4	5,5	3	3,5	SL	SL	50	50
	Paneles de concreto prefabricado	NSE 7-3	4,5	3	3,5	SL	30	30	20
	Marcos de acero arriostrado								
	Tipo A con riostras excéntricas	NSE 7-5	8	2	4	SL	50	50	30
	Tipo A con riostras concéntricas	NSE 7-5	6	2	5	SL	50	30	20
	Tipo B con riostras concéntricas	NSE 7-5	3,5	2	3,5	30	12	12	NP

Fuente: AGIES NSE3-10, tabla 1.1.

Parámetros de estructura (tabla 1-1 NSE3): Tipo de sistema: marcos tipo

E1-A de concreto reforzado

R = 8 el factor genérico de reducción de respuesta sísmica (R)

Ω_r = 3 el factor de sobre-resistencia

C_d= 5,5 el factor de amplificación de desplazamiento poselástico

ρ = 1,0 no existe irregularidades el factor de redundancia

Tabla XIII. **Resumen de coeficientes de análisis sísmico del AGIES 2010**

coeficiente	valor	significado	referencia AGIES
io	4	índice de sismicidad	norma 2-10 4 ,2
Scr	1 ,5	factores de aceleración	
S1r	0 ,55		norma 2-10 4 ,33
clase de obra	D	importante	norma 2-10 tabla 4-1
Ta	0 ,3064	periodo de vibración	norma 2-10
Scs	1 ,5	ajustes por clase de sitio	
S1s	1 ,32		norma 2-10 4 ,3 ,3 ,2
Fa	1	coeficientes de sitio	
Fv	1 ,5		norma 2-10 4 ,3 ,3 ,5
Ts	0 ,88	periodo de transición	norma 2-10 4 ,3 ,3 ,4
Scd	1 ,2	factores de escala	
S1d	1 ,056		norma2-10 4 ,3 ,4 ,2
kd	0 ,8	nivel de diseño	norma 2-10 4 ,3 ,4 ,1
R	8	Factor de reducción	Norma 3-10 tabla 1-1

Fuente: elaboración propia.

Los valores tomados en la tabla XIII se encuentran en las normas AGIES 2010 para el cálculo del coeficiente basal en la sección que se indica.

2.1.6.4. Método estático: la carga horizontal equivalente

El método de la carga sísmica estática equivalente permite que las solicitaciones sísmicas sean modeladas como fuerzas estáticas horizontales (y también verticales) aplicadas externamente a lo alto y ancho de la edificación.

La cuantificación de la fuerza equivalente es semi-empírica. Está basada en un espectro de diseño sísmico definido en el capítulo 4 de NSE 2, la masa efectiva de la edificación, las propiedades elásticas de la estructura y el cálculo empírico del período fundamental de vibración de la edificación.

El peso de estructura ya se conoce de la sección 2.1.6.1.2, y se encuentra en la tabla XI. El cortante basal Vb calculado se resume de la siguiente manera:

$$Vb = Cs\ W$$

Donde:

Cs = coeficiente de respuesta sísmica

W= peso sísmico de la estructura (masa sísmica)

2.1.6.4.1. Coeficiente de respuesta sísmica

El coeficiente sísmico (C_s) en cada dirección de análisis se establecerá de la manera siguiente:

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

Donde:

S_a (T): demanda sísmica de diseño para una estructura con período T obtenida del espectro de diseño símico establecido para el sitio en la sección 4.3.4 de la Norma NSE 2.

R: factor de reducción se obtiene en parámetros de estructura AGIES tabla 1-1 NSE3-10.

T: período fundamental de vibración de la estructura calculado en la sección 2.1.6.2 de este documento.

$$C_s = \frac{S_a(T)}{R} = \frac{1{,}2}{8} = 0,15$$

C_s = 15.00 %

Considerando los resultados anteriores, resumidos en la tabla XII, el corte basal utilizado para el diseño sismo resistente, está definido como:

$V_b = C_s\ W$

V_b = (0,15) (433 771,24 kg)

V_b = 65 065,70 Kg → 65,065 Ton

2.1.6.4.2. Fuerza de tope de piso

Para compensar la simplificación del método de la carga estática equivalente, en los modos altos de vibración, se da la fuerza de tope de piso para incrementar los efectos de la carga lateral estática. Se define de la siguiente manera:

F_t = 0,07 x T x V_b ; F_t = 0 si → T ≤ 0,7 s, F_t ≤ 0,25 V_b

Como se estableció en la sección 2.1.6.2, el período fundamental de vibración es = 0,3019 < 0,70 segundos, por lo que: F_t = 0,00 kilogramos.

2.1.6.4.3. Distribución de la cortante basal

La fuerza cortante basal, considerando la forma modal fundamental de vibración, se reparte proporcionalmente a la masa de cada nivel. De manera análoga, el cortante de un nivel x, se define como:

$V_x = F_x + \sum F_{x-1}$; F_x = fuerza del nivel x

F_x = fuerza del nivel anterior a x

La tabla siguiente resume el procedimiento para distribuir verticalmente la fuerza sísmica tomando valores de la sección 2.1.6.1, específicamente descritos en la tabla XI, se tiene:

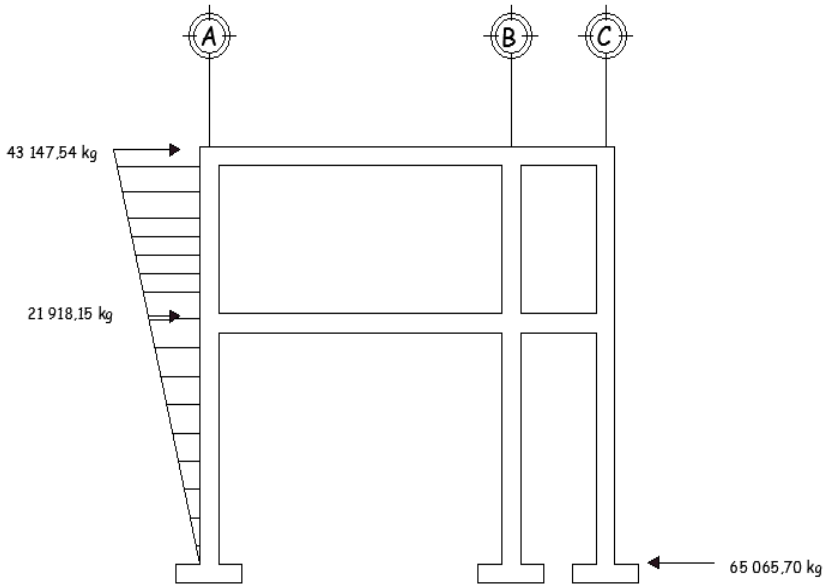
Tabla XIV. **Distribución vertical del corte basal**

Nivel	Altura hx [m]	peso wx [kg]	(wx) (hx) [kg-m]	Fuerza de piso Fx [kg]	cortante de piso Vx [kg]
nivel 2	8,03	233 706,34	1 876 661,91	43 147,54	43 147,54
nivel 1	4,765	200 064,90	953 309,25	21 918,15	65 065,69
sumatoria		433 771 24	2 829 971 ,16	65 065,69	…

Fuente: elaboración propia.

La figura 14 muestra la idealización de la distribución lineal del primer modo de vibración considerado en el método de la carga estática equivalente mediante los requisitos del normativo AGIES 2010.

Figura 14. **Idealización del corte basal**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

2.1.6.5. Torsión

Debe revisarse la estructura para la acción de dos componentes horizontales ortogonales del movimiento del terreno. Se considerará actuando simultáneamente el valor de diseño de un componente más 30 por ciento del valor de diseño del componente ortogonal. Ha sido costumbre considerar que la acción sísmica se ejerce en forma independiente en cada dirección, o sea, el efecto de la acción sísmica de diseño en una de las direcciones principales de la estructura, considerando que las fuerzas sísmicas son nulas en cualquier otra dirección.

2.1.6.5.1. Cálculo del centro de masas

Existen varias formas de aproximar el centro de masas de un nivel determinado. Para este diseño, se simplificará el procedimiento según los ejes,

calculando los pesos de los elementos involucrados (ver tabla IX y X), y dando un peso total por eje, agregando, además, la carga viva asignada en el nivel de análisis. Este procedimiento se muestra en las tablas siguientes.

Tabla XV. **Peso ejes en sentido x, segundo nivel, modulo**

peso de ejes en sentido x, nivel 2									
	vigas		losa		muros		carga viva		
	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	
	253	kg/m	373	kg/m2	0	kg/m	100	kg/m2	Total de peso
eje	cantidad		cantidad		cantidad		cantidad		por eje
A	26,7		…		26,7		…		6 755,10
B	26,7		…		24		…		6 755,10
C	26,7		…		…		…		6 755,10
Losa	…		224,28		…		…		83 656,44
Cv	…		…		…		224,28		22 428,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Peso ejes en sentido Y, segundo nivel, modulo I**

peso de ejes en sentido y, nivel 2							
	vigas		columna		muros		
	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	
	253	kg/m	1 357	kg/col	0	kg/m	
eje	cantidad		cantidad		cantidad		Total de peso por eje
1	8 ,4		3		8 ,4		6 196 ,20
2	8 ,4		3		8 ,4		6 196 ,20
3	8 ,4		3		…		6 196 ,20
4	8 ,4		3		8 ,4		6 196 ,20
5	8 ,4		3		…		6 196 ,20
6	8 ,4		3		8 ,4		6 196 ,20
8	8 ,4		3		8 ,4		6 196 ,20
9	8 ,4		3		8 ,4		6 196 ,20

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Peso ejes en sentido x primer nivel módulo I**

peso de ejes en sentido x nivel 1											
	vigas		losa		muros		carga viva aulas		carga viva pasillo		Total de peso por eje
	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	
	253	kg/m	493	kg/m2	800	kg/m	200	kg/m2	500	kg/m2	
eje	cantidad		cantidad		cantidad		cantidad		cantidad		
A	26,7		…		26,7		…		…		28 115,10
B	26,7		…		24		…		…		25 955,10
C	26,7		…		…		…		…		6 755,10
Losa	…		207		…		…		…		102 051,00
Cv aula	…		…		…		153,6				30 720,00
cv pasillos	…		…		…		…		53,4		26 700,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Peso ejes en sentido y primer nivel módulo I**

peso de ejes en sentido y, nivel 1							
	vigas		columna		muros		
	peso	unidad	peso	unidad	peso	unidad	
	253	kg/m	1 933	kg/col	800	kg/m	Total de peso por eje
eje	cantidad		cantidad		cantidad		
1	8,4		3		6,4		13 044,20
2	8,4		3		6,4		13 044,20
3	8,4		3		…		7 924,20
4	8,4		3		6,4		13 044,20
5	8,4		3		…		7 924,20
6	8,4		3		6,4		13 044,20
8	8,4		3		6,4		13 044,20
9	8,4		3		8,8		14 964,20

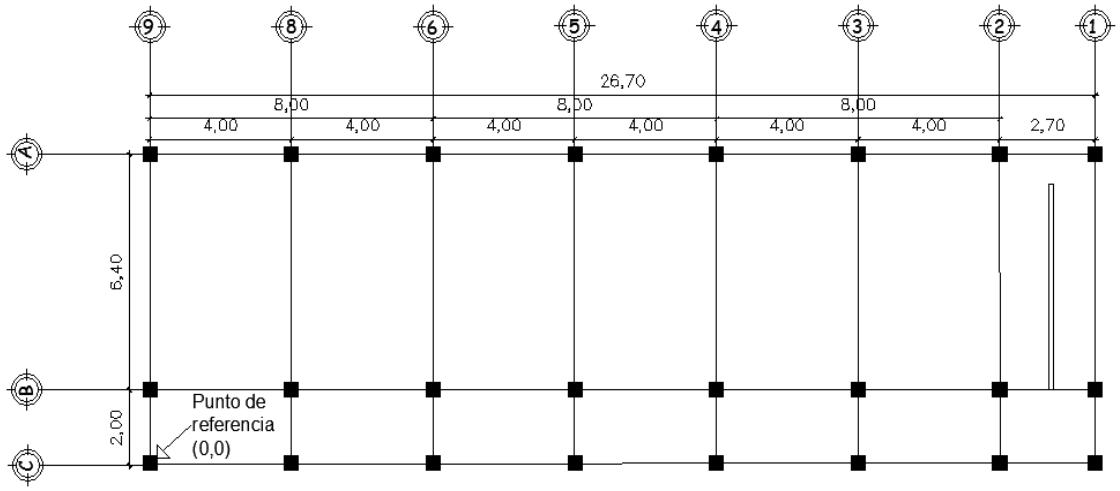
Fuente: elaboración propia.

Teniendo los pesos de los ejes en cada nivel y en cada sentido, se procede a calcular el centro de masas en cada nivel, con las expresiones siguientes:

$$\bar{X}\ cm = \sum(WiXi\ ) / \sum Wi\ ; \quad \bar{Y}\ cm = \sum(WiXi\ ) / \sum Wi$$

En la figura 15 se muestra la planta del segundo nivel para el cálculo de distancias desde el punto de referencia.

Figura 15. **Planta segundo nivel, módulo I**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

El peso de los ejes se calcularon en las tablas XV y XVI, y la distancia del centroide del eje hacia el punto de referencia en X y en Y (figura 15).

Ejemplo: eje A

Longitud: 26,70m el centroide se localiza a L/2--> (26,70/ 2) = 13,35m medido desde el punto de referencia (0,0)

El peso del eje: tabla XV es 6 555,10 kg

Se procede a multiplicar el peso del eje con su centroide medido desde el punto de referencia: (6 555 ,10 kg)(13 ,35) = 90 180 ,59 kg-m

El cálculo se simplifica en las siguientes tablas.

Tabla XIX. **Cálculo del centroide en sentido x, segundo nivel**

Eje	peso (Wi) [kg]	Distancia al centroide del eje Xi [m]	(Wi)(Xi) [kg-m]
A	6 755,10	13,35	90 180,59
B	6 755,10	13,35	90 180,59
C	6 755,10	13,35	90 180,59
1	6 196,20	26,7	165 438,54
2	6 196,20	24	148 708,80
3	6 196,20	20	123 924,00
4	6 196,20	16	99 139,20
5	6 196,20	12	74 354,40
6	6 196,20	8	49 569,60
8	6 196,20	4	24 784,80
9	6 196,20	0	0,00
losa	83 656,44	13,35	1 116 813,47
carga viva	22 428,00	13,35	299 413,80
suma	175 919,34	…	2 372 688,37

Fuente: elaboración propia.

$\bar{X}$ cm = $\sum$(WiXi) / $\sum$ Wi → (2 372 688,37) / (175 919,34) = 13,48 m

Tabla XX. **Cálculo del centroide en sentido y, segundo nivel**

Eje	peso (Wi) [kg]	Distancia al centroide del eje Yi [m]	(Wi)(Yi) [kg-m]
A	6 755,10	8 ,4	56 742,84
B	6 755,10	2	13 510,20
C	6 755,10	0	0,00
1	6 196,20	4,2	26 024,04
2	6 196,20	4,2	26 024,04
3	6 196,20	4,2	26 024,04
4	6 196,20	4,2	26 024,04
5	6 196,20	4,2	26 024,04
6	6 196,20	4,2	26 024,04
8	6 196,20	4 ,2	26 024,04
9	6 196,20	4 ,2	26 024,04
losa	83 656,44	4,2	351 357,05
carga viva	22 428,00	4 ,2	94 197,60
suma	175 919,34	…	724 000,01

Fuente: elaboración propia.

$\bar{Y}$ cm = ∑ (WiXi) / ∑ Wi → (724 000,01) / (175 919,34) = 4,11 m

Siguiendo un procedimiento similar para el primer nivel, se obtienen las coordenadas del centro de masa, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla XXI. **Centro de masa segundo y primer nivel**

segundo nivel		
Ycm	4 ,11	m
Xcm	13 ,48	m
Primer nivel		
Ycm	4 ,27	m
Xcm	12 ,95	m

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.5.2. Cálculo del centro de rigidez

El centro de rigidez puede solo aproximarse de forma relativa, debido a que la ubicación de este punto de concentración de la resistencia a las fuerzas impuestas a un diafragma varía de forma dinámica, de la misma manera que los elementos resistentes ceden, o se plastifican, mientras son sobreesforzados por las excitaciones de carácter sísmico.

- Cálculo del módulo de elasticidad del concreto (E)

El procedimiento siguiente para el diseño actual, se basa en los requerimientos del Comité 318 del American Concrete Institute (ACI) en la edición del 2008.

Tabla XXII. **Calculo del módulo de elasticidad del concreto**

Módulo de elasticidad		
procedimiento		referencia a código
E = 15 100 √ f´c	f´c = 280 kg/cm2	
E = 15 100 √ 280		
E = 252 671,33 kg/cm2		8.5.1

Fuente: elaboración propia.

- Cálculo de rigidez por eje

$$K = Ebt / H\,[(H / t)2 + 3]$$

Donde:

b = ancho de sección

t = altura de la sección

H = luz libre del elemento

E = módulo de elasticidad

Tabla XXIII. **Rigidez de Columnas**

Rigideces de columnas		rigidez[kg/cm]
segundo nivel	$K = \frac{252\,671{,}33 \times 40 \times 40}{[(320/40)^2 + 3]}\ 320$	18 856 ,07
primer nivel	$K = \frac{252\,671{,}33 \times 40 \times 40}{[(470/40)^2 + 3]}\ 470$	6 097 ,71

Fuente: elaboración propia.

Ejemplo: cálculo de rigidez del eje 1 sentido x segundo nivel.

- No. De columnas del eje : 3
- Rigidez de columna : de tabla XXII 18 856,07 kg/cm
- Distancia medida desde el punto de referencia figura 11 hacia centroide del eje3 = 26,7 m
- Multiplicar el número de columnas por su rigidez por la distancia de su centroide medida desde el punto de referencía.

En las siguientes tablas, se resume el proceso de cálculo de la rigidez lateral de los ejes del sistema estructural a fuerzas laterales.

El centro de rigidez se calcula mediante la expresión:

$$\bar{X}\ cr = \sum(Kyi\ xi\ ) / \sum Kyi\ \ ;\ \bar{Y}\ cr = \sum\ (Kyi\ yi\ ) / \sum Kxi$$

Tabla XXIV. **Cálculo del centro de rigidez sentido X nivel 2**

Ejes Y	No , De columna	rigidez de columna (Kcol) [kg/cm]	rigidez de eje (Kyi) [kg/cm]	Distancia al centroide del eje (Xi)[m]	(Kyi)(Xi) [kg/cm-m]
1	3	18 856,07	56 568,21	26,7	1 510 371,16
2	3	18 856,07	56 568,21	24	1 357 637,00
3	3	18 856,07	56 568,21	20	1 131 364,16
4	3	18 856,07	56 568,21	16	905 091,33
5	3	18 856,07	56 568,21	12	678 818,50
6	3	18 856,07	56 568,21	8	452 545,67
8	3	18 856,07	56 568,21	4	226 272,83
9	3	18 856,07	56 568,21	0	0
suma	24	150 848,56	452 545,67		6 262 100,65

Fuente: elaboración propia.

$$\bar{X}\ cr = \sum(Kyi\ xi\ ) / \sum Kyi \rightarrow (6\ 262\ 100{,}65) / (452\ 545{,}67) = 13{,}84\ m$$

Tabla XXV. **Cálculo del centro de rigidez en sentido y nivel 2**

Ejes X	No , De columna	rigidez de columna (Kcol) [kg/cm]	rigidez de eje (Kxi) [kg/cm]	Distancia al centroide del eje (Yi)[m]	(Kxi)(Yi) [kg/cm-m]
A	8	18 856,07	150 848,56	8,40	1 267 127,86
B	8	18 856,07	150 848,56	2,00	301 697,11
C	8	18 856,07	150 848,56	0,00	0,00
suma	24	56 568,21	452 545,67		1 568 824,97

Fuente: elaboración propia.

$$\bar{Y}\ cr = \sum\ (Kxi\ yi) / \sum Kxi \rightarrow (1\ 568\ 824{,}97) / (452\ 545{,}67) = 3{,}47\ m$$

Siguiendo un procedimiento similar para el primer nivel, se obtienen las coordenadas del centro de rigidez, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla XXVI. **Resumen de coordenadas del centro de rigidez**

centro de rigidez		
segundo nivel		
Ycr	3,47	m
Xcr	13,84	m
Primer nivel		
Ycr	3,47	m
Xcr	13,84	m

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.6. Distribución horizontal de la fuerza

El procedimiento siguiente se basa en los criterios de análisis del Reglamento de Construcción del Distrito Federal (RCDF), del 2004.

2.1.6.6.1. Cálculo de excentricidad real y de diseño

Se procede a calcular la excentricidad de la siguiente forma:

- Excentricidad real:

$$e_{sx} = \bar{X}cm - \bar{X}cr \mid e_{sy} = \bar{Y}cm - \bar{Y}cr$$

- Excentricidades de diseño según RCDF-04(Reglamento de construcción para el Distrito Federal" (México).

Considerando los signos reales de la excentricidad según el punto de referencia y las combinaciones de la excentricidad accidental del código RCDF.

$$e_1 = e_s\,(1{,}5 + 0{,}10b / |e_s|)$$

$$e_2 = e_s\,(1{,}5 + 0{,}10b / |e_s|)$$

e_3 = mitad del máximo, e_s abajo del nivel considerado.

El efecto de la excentricidad es inducir un momento torsionante en el diafragma horizontal, lo que aumenta el cortante en los elementos resistentes a la fuerza lateral. Este momento se calcula de la siguiente forma:

$$M_t = Ve_s$$

Donde:

V: cortante del nivel

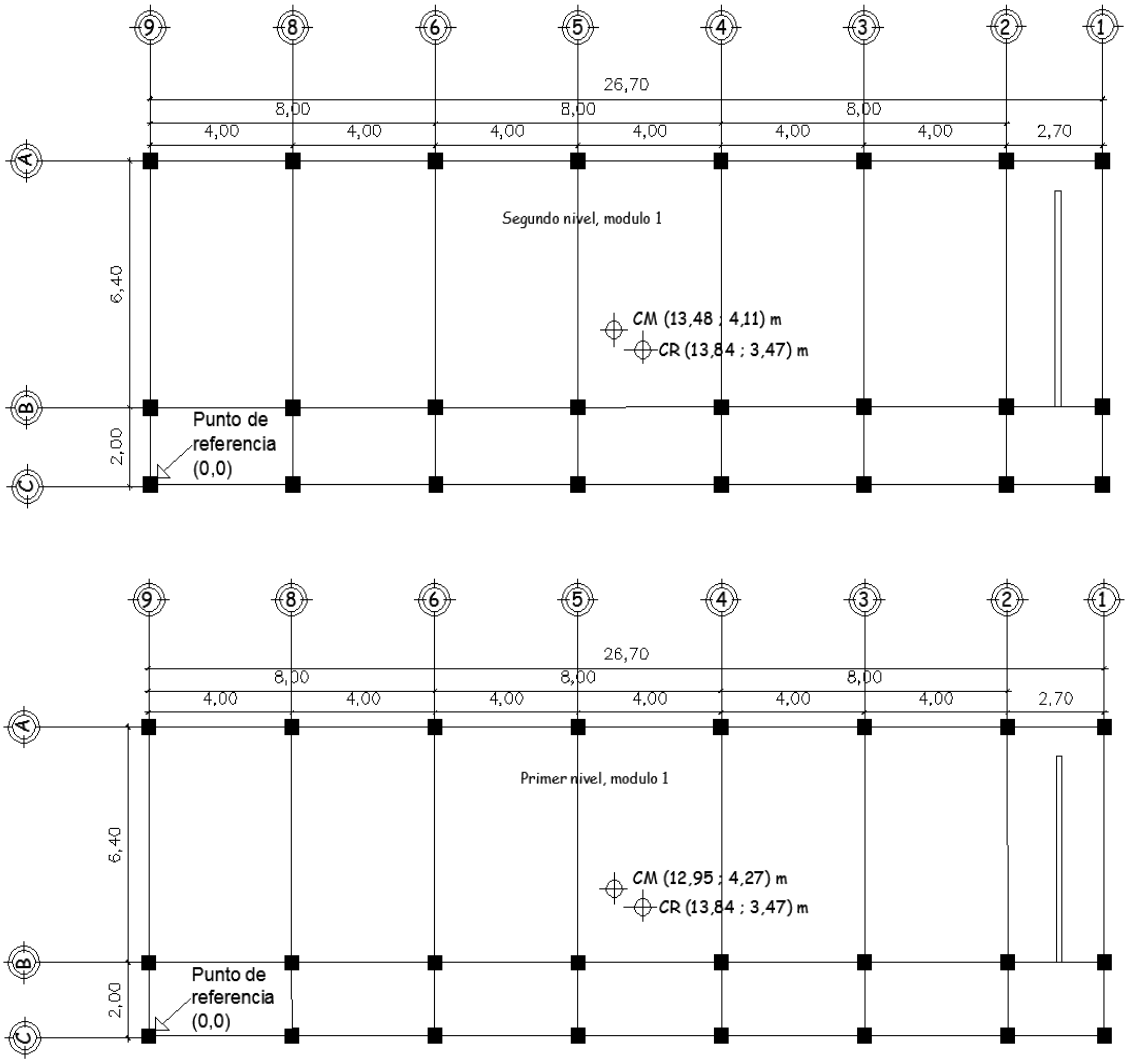
e_s: excentricidad real

EL RCDF recomienda, para facilitar el chequeo del cumplimiento de los requisitos de excentricidades, considerar un momento torsionante M_{t4}, igual a la mitad del máximo Mt encima del nivel analizado.

Para poder comparar la excentricidad de diseño e_1 y e_2, se ha definido una excentricidad especial e_4 dada por el cociente:

$$e4 = Mt4 / Mt.$$

Figura 16. **Centro de masa y rigidez, niveles 2 y 1**



Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVII. **Excentricidades y momentos torcionantes de diseño, en sentido X**

nivel	Corte del nivel (Vx) [kg]	$\bar{y}_{cm}$ [m]	$\bar{y}_{cr}$ [m]	b_y [m]	e_s [m]	e_1 [m]	e_2 [m]	e_3 [m]	Mt [kg-m]	M_{t4} [kg-m]	e_4 [m]
2	43 147,54	4,116	3,47	9	0,6	1,85	-0,234	0,4	27 873,31	0	0
1	65 065,69	4,27	3,47	9	0,8	2,08	-0,08	0	52 052,55	13 936,66	0,27

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Excentricidades y momentos torsionantes de diseño, en sentido Y**

nivel	Corte del nivel (Vx) [kg]	$\bar{x}_{cm}$ [m]	$\bar{x}_{cr}$ [m]	b_x [m]	e_s [m]	e_1 [m]	e_2 [m]	e_3 [m]	Mt [kg-m]	M_{t4} [kg-m]	e_4 [m]
2	43 147,54	13,49	13,8	27	-0,4	-3,2	2,357	-0,45	15 231,08	0	0
1	65 065,69	12,95	13,8	27	-0,9	-4	1,82	0	57 908,46	7 615,54	0,13

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.6.2. Efectos torsionales

El cortante de piso debe repartirse en los marcos resistentes a la fuerza lateral de manera proporcional a la rigidez de los mismos.

La distribución del cortante se define como:

$V_d = C_d$ V_d = cortante directo

$V_t = C_t M_t$ V_t = cortante por torsión

$$Cd = \frac{Kxi}{\sum Kxi} \text{ ó } \frac{Kyi}{\sum Kyi}$$

$$Jt = \sum (Kxi\, Yt^2 + Kyi\, Xt^2)$$

$Ct = \frac{Kxi\ Yti}{Jt}$ ó $\frac{Kyi\ Xti}{Jt}$:

Xti o Yti = distancia desde el centro de rigidez hacia centroide de elementos resistentes

Debido a que se deben analizar los efectos de la excentricidad accidental requeridos por el RCDF, y además considerar la acción de la fuerza sísmica actuando en los dos sentidos, 100 por ciento en la dirección de análisis y 30 por ciento en la dirección ortogonal, se define:

M_{tj} = Ve_{sj}, j = 1,2

M_{t0} = máximo valor absoluto entre Mt1 y Mt2 en la dirección ortogonal

V_j = Ct Mtj, j = 0,1,2

V_m = máximo entre (Vd + 1) y (Vd + 2)

V_{xy1} = V_m + 0,30| vol |

V_{xy2} = 0,30 V_m + | vol |

V_{xy1} y V_{xy2} representan la acción de la fuerza sísmica en las dos direcciones ortogonales.

Tabla XXIX. **Factores de distribución de cortante en sentido X, nivel 2**

Ejes Y	Rigidez de eje (Kyi) [kg/cm]	Xti [m]	(Kyi) (Xti) [kg/cm m]	(Kyi)(Xti)^2 [kg/cm m^2]	Cd	Ct
1	56 568,21	12,86	727 467,16	9 355 227 ,65	0 ,125	0 ,01536957
2	56 568,21	10,16	574 733,00	5 839 287 ,23	0 ,125	0 ,01214268
3	56 568,21	6,16	348 460,16	2 146 514 ,60	0 ,125	0 ,0073621
4	56 568,21	2,16	122 187,33	263 924 ,63	0 ,125	0 ,00258151
5	56 568,21	-1,84	-104 085 ,50	191 517 ,33	0 ,125	-0 ,00219907
6	56 568,21	-5,84	-330 358 ,34	1 929 292 ,68	0 ,125	-0 ,00697965
8	56 568 ,21	-9,84	-556 631 ,17	5 477 250 ,70	0 ,125	-0 ,01176023
9	56 568 ,21	-13 ,84	-782 904 ,00	10 835 391 ,38	0 ,125	-0 ,01654082
∑	452545 ,67	…	…	36038 406 ,20	1 ,000	0 ,0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXX. **Factores de distribución de cortante en sentido Y, nivel 2**

Ejes X	Rigidez de eje (Kyi) [kg/cm]	Yti [m]	(Kyi) (yti) [kg/cm m]	(Kyi)(yti)^2 [kg/cm m^2]	Cd	Ct
A	150 848,56	4,93	743 683,38	18 075 150,12	0 ,33333333	0,015712
B	150 848,56	-1,47	-221 747,38	-479 173,91	0 ,33333333	-0,004685
C	150 848,56	-3,47	-523 444,49	-6 302 742,72	0 ,33333333	-0,01105908
∑	452 545,67	…	…	11 293 233,49	1 ,000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXI. **Factores de distribución de cortante en sentido X, nivel 1**

Ejes Y	Rigidez de eje (Kyi) [kg/cm]	Xti [m]	(Kyi) (Xti) [kg/cm m]	(Kyi)(Xti)^2 [kg/cm m^2]	Cd	Ct
1	18 293 ,12	12 ,86	235 249 ,52	3 025 308 ,77	0 ,125	0 ,01536957
2	18 293 ,12	10 ,16	185 858 ,09	1 888 318 ,23	0 ,125	0 ,01214268
3	18 293 ,12	6 ,16	112 685 ,62	694 143 ,39	0 ,125	0 ,0073621
4	18 293 ,12	2 ,16	39 513 ,14	85 348 ,38	0 ,125	0 ,00258151
5	18 293 ,12	-1 ,84	-33 659 ,34	61 933 ,19	0 ,125	-0 ,00219907
6	18 293 ,12	-5 ,84	-106 831 ,82	623 897 ,81	0 ,125	-0 ,00697965
8	18 293 ,12	-9 ,84	-180 004 ,30	1 771 242 ,26	0 ,125	-0 ,01176023
9	18 293 ,12	-13 ,84	-253 176 ,77	3 503 966 ,53	0 ,125	-0 ,01654082
∑	146 344 ,96	…	…	11 654 158 ,57	1 ,000	0 ,0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXII. **Factores de distribución de cortante en sentido Y, nivel 1**

Ejes X	Rigidez de eje (Kyi) [kg/cm]	Yti [m]	(Kyi) (yti) [kg/cm m]	(Kyi)(yti)^2 [kg/cm m^2]	Cd	Ct
A	48 781,65	4,93	240 493,54	5 845 171,52	0,33333333	0,015712
B	48 781,65	-1,47	-71 709,03	-154 956,04	0,33333333	-0,004685
C	48 781,65	-3,47	-169 272,33	-2 038 191,22	0,33333333	-0,01106
∑	146 344,96	…	…	3 652 024,26	1 ,000	0,0000

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Corte sísmico en los elementos resistentes del nivel 2**

	sentido	V [kg]	e1 [m]	e2 [m]	Mt1 [kg-m]	Mt2 [kg-m]	M0 [kg-m]		
	X	43 147,54	1,849	-0,234	79 779,80	-10 096,52	139 776,46		
	Y	43 147,54	-3,2395	2,357	-139 776,46	101 698,75	79 779,80		
Ejes Y	**Cd**	**Ct**	**Vd [kg]**	**V1 [kg]**	**V2 [kg]**	**Vm [kg]**	**V0 [kg]**	**Vxy1 [kg]**	**Vxy2 [kg]**
1	0,125	0,01537	5 393,44	-2 148,30	1 563,07	6 956,51	1 226,18	7 324,36	3 313,13
2	0,125	0,01214	5 393,44	-1 697,26	1 234,90	6 628,34	968,74	6 918,96	2 957,24
3	0,125	0,00736	5 393,44	-1,029,05	748,72	6 142,16	587,35	6 318,36	2 429,99
4	0,125	0,00258	5 393,44	-360,83	262,54	5 655,98	205,95	5 717,77	1 902,75
5	0,125	-0,00220	5 393,44	307,38	-223,64	5 700,82	-175,44	5 753,45	1 885,69
6	0,125	-0,00698	5 393,44	975,59	-709,82	6 369,03	-556,84	6 536,08	2 467,55
8	0,125	-0,01176	5 393,44	1 643,80	-1 196,00	7 037,25	-938,23	7 318,72	3 049,40
9	0,125	-0,01654	5 393,44	2 312,02	-1 682,18	7 705,46	-1 319,62	8 101,35	3 631,26
∑	1,000	0,0000	43 147,54	3 3410648	-2.43089664	…	-1,91	53 989,05	21 637,01
Ejes X	**Cd**	**Ct**	**Vd [kg]**	**V1 [kg]**	**V2 [kg]**	**Vm [kg]**	**V0 [kg]**	**Vxy1 [kg]**	**Vxy2 [kg]**
A	0,333333	0,015712	14 382,51	1253,5148	-158,638438	15 636,03	2 196,19	16 294,89	6 887,00
B	0,333333	-0,00468	14 382,51	-373,7661	47,3019277	14 429,82	-654,85	14 626,27	4 983,79
C	0,333333	-0,01106	14 382,51	-882,2914	111,658292	14 494,17	-1 545,80	14 957,91	5 894,05
∑	1,0000	0,0000	43 147,54	-2,5426	0,3218	…	-4,4548	45 879,07	17 764,85

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Corte sísmico en los elementos resistentes del nivel 1**

	sentido	V [kg]	e1 [m]	e2 [m]	Mt1 [kg-m]	Mt2 [kg-m]	M0 [kg-m]		
	X	65 065,69	2,08	-0,08	135 336,63	-5 205,25	263 190,70		
	Y	65 065,69	-4,045	1,82	-263 190,70	118 419,55	135 336,63		
Ejes Y	**Cd**	**Ct**	**Vd [kg]**	**V1 [kg]**	**V2 [kg]**	**Vm [kg]**	**V0 [kg]**	**Vxy1 [kg]**	**Vxy2 [kg]**
1	0,125	0,01537	8 133,21	-4 045,13	1 820,06	9 953,27	2 080,07	10 577,29	5 066,05
2	0,125	0,01214	8 133,21	-3 195,84	1 437,93	9 571,14	1 643,35	10 064,15	4 514,69
3	0,125	0,00736	8 133,21	-1 937,64	871,82	9 005,03	996,36	9 303,94	3 697,87
4	0,125	0,00258	8 133,21	-679,43	305,70	8 438,91	349,37	8 543,72	2 881,05
5	0,125	-0,00220	8 133,21	578,77	-260,41	8 711,99	-297,61	8 801,27	2 911,21
6	0,125	-0,00698	8 133,21	1 836,98	-826,53	9 970,19	-944,60	10 253,57	3 935,66
8	0,125	-0,01176	8 133,21	3 095,18	-1 392,64	11 228,40	-1 591,59	11 705,87	4 960,11
9	0,125	-0,01654	8 133,21	4 353,39	-1 958,76	12 486,60	-2 238,58	13 158,17	5 984,56
∑	1,000	0,0000	65 065,69	6,2910249	-2,83	…	-3,23	82 407,98	33 951,19
Ejes X	**Cd**	**Ct**	**Vd [kg]**	**V1 [kg]**	**V2 [kg]**	**Vm [kg]**	**V0 [kg]**	**Vxy1 [kg]**	**Vxy2 [kg]**
A	0,333333	0,015712	21 688,56	2126,4338	-81,7859164	23 815,00	4 135,30	25 055,59	11 279,80
B	0,333333	-0,00468	21 688,56	-634,0482	24,38647	21 712,95	-1 233,04	22 082,86	7 746,93
C	0,333333	-0,01106	21 688,56	-1 496,699	57,5653408	21 746,13	-2 910,65	22 619,32	9 434,49
∑	1,0000	0,000	65 065,69	-4,3133	0,1659	…	-8,3880	69 757,77	28 461,21

Fuente: elaboración propia.

2.1.6.6.3. Fuerza horizontales finales

La tabla siguiente resume las fuerzas de piso y cortante por nivel, obtenidas de las tablas anteriores, las cuales se utilizarán para el análisis estructural posterior. El incremento del cortante basal es mayor comparándolo con el resultado obtenido en la sección 2.1.6.4.1.

Tabla XXXV. **Cortante y fuerza de piso en sentido X**

Ejes X	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 1
	Vxy [kg]	Vxy [kg]	Fpxy [kg]	Fpxy [kg]
A	16 294 ,89	25 055 ,59	16 294 ,89	8 760 ,70
B	14 626 ,27	22 082 ,86	14 626 ,27	7 456 ,59
C	14 957 ,91	22 619 ,32	14 957 ,91	7 661 ,41
∑	45 879 ,07	69 757 ,77	45 879 ,07	23 878 ,70

Vb final [kg]	69 757 ,77
incremento por torcion [kg]	4 692 ,08

Fuente: elaboración propia

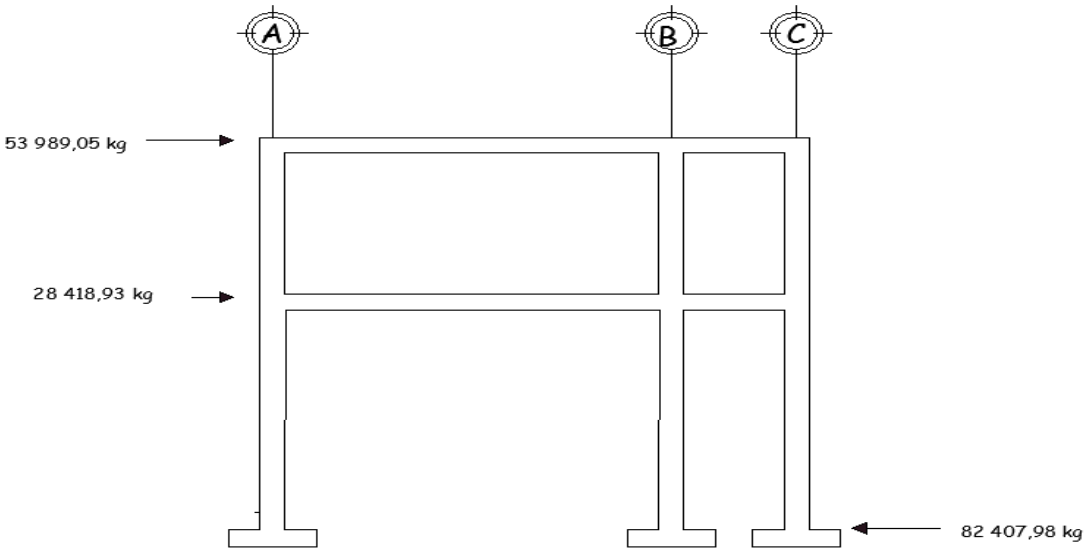
Tabla XXXVI. **Cortante y fuerza de piso en sentido Y**

Ejes y	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 1
	Vxy [kg]	Vxy [kg]	Fpxy [kg]	Fpxy [kg]
1	7 324 ,36	10 577 ,29	7 324 ,36	3 252 ,93
2	6 918 ,96	10 064 ,15	6 918 ,96	3 145 ,19
3	6 318 ,36	9 303 ,94	6 318 ,36	2 985 ,57
4	5 717 ,77	8 543 ,72	5 717 ,77	2 825 ,96
5	5 753 ,45	8 801 ,27	5 753 ,45	3 047 ,82
6	6 536 ,08	10 253 ,57	6 536 ,08	3 717 ,49
8	7 318 ,72	11 705 ,87	7 318 ,72	4 387 ,16
9	8 101 ,35	13 158 ,17	8 101 ,35	5 056 ,83
∑	53 989 ,05	82 407 ,98	53 989 ,05	28 418 ,93

Vb final [kg]	82 407 ,98
incremento por torsión [Kg]	17 342 ,30

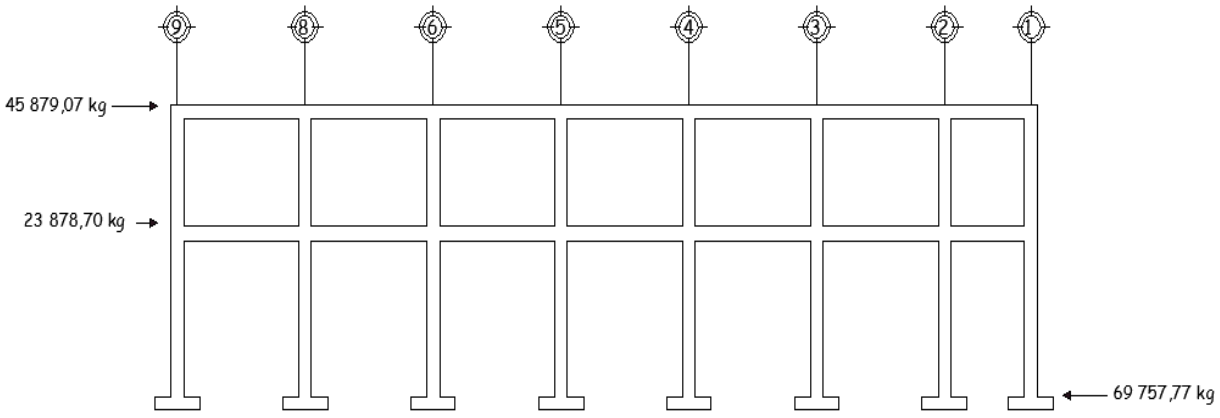
Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Fuerzas de piso finales, sentido Y**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Figura 18. **Fuerzas de piso finales, sentido X**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

El incremento de las fuerzas laterales se debe a la asimetría en planta que se tiene para esta edificación, esto conlleva a que el esfuerzo de torsión

incremente estas fuerzas; comparándolas con las fuerzas laterales de la figura 14 se tiene un aumento por torsión del 7% en las fuerzas finales por sismo.

2.1.6.7. Control de desplazamientos y derivas

El cálculo descrito a continuación es una aplicación de un cálculo manual, con el cual se obtienen resultados aproximados a los valores de desplazamiento y derivas reales o calculadas con métodos aceptables de mayor precisión, como lo hace Etabs® por ejemplo.

Se tiene que:

δ_x = Desplazamiento del piso x

V_x = Fuerza cortante del piso x

$\delta_x = V_x / K_x + \delta_{x-1}$;

K_x = Rigidez lateral del piso

δ_{x-1} = Desplazamiento inferior del piso x

Utilizando los datos de rigidez de los ejes calculados anteriormente y los valores de las fuerzas cortantes de la tabla XXXV y la tabla XXXVI, para cada eje, se puede calcular el desplazamiento de cada uno de los ejes que resisten la carga lateral. El proceso se resume en las tablas siguientes:

Tabla XXXVII. **Cálculo de desplazamiento elástico en ejes del nivel 2**

Ejes X	Corte directo Vd [kg]	Rigidez de eje (kxi) [kg/cm]	δ2 [cm]	Ejes Y	Corte directo Vd [kg]	Rigidez de eje (kyi) [kg/cm]	δ2 [cm]
A	16 294 ,89	150 848 ,56	0 ,621649	1	7 324 ,36	56 568 ,21	0 ,70769
B	14 626 ,27	150 848 ,56	0 ,549648	2	6 918 ,96	56 568 ,21	0 ,672472
C	14 957 ,91	150 848 ,56	0 ,562843	3	6 318 ,36	56 568 ,21	0 ,620298
				4	5 717 ,77	56 568 ,21	0 ,568123
				5	5 753 ,45	56 568 ,21	0 ,582833
				6	6 536 ,08	56 568 ,21	0 ,676059
				8	7 318 ,72	56 568 ,21	0 ,769284
				9	8 101 ,35	56 568 ,21	0 ,86251

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Cálculo de desplazamiento elástico en ejes del nivel 1**

Ejes X	Corte directo Vd [kg]	Rigidez de eje (kxi) [kg/cm]	δ1 [cm]	Ejes Y	Corte directo Vd [kg]	Rigidez de eje (kyi) [kg/cm]	δ1 [cm]
A	25 055 ,59	48 781 ,65	0 ,513627	1	10 577 ,29	18 293 ,12	0 ,578211
B	22 082 ,86	48 781 ,65	0 ,452688	2	10 064 ,15	18 293 ,12	0 ,55016
C	22 619 ,32	48 781 ,65	0 ,463685	3	9 303 ,94	18 293 ,12	0 ,508603
				4	8 543 ,72	18 293 ,12	0 ,467046
				5	8 801 ,27	18 293 ,12	0 ,481125
				6	10 253 ,57	18 293 ,12	0 ,560515
				8	11 705 ,87	18 293 ,12	0 ,639906
				9	13 158 ,17	18 293 ,12	0 ,719296

Fuente: elaboración propia.

El cálculo de la deriva se resume en las tablas siguientes:

Tabla XXXIX. **Cálculo de la deriva elástica e inelástica en ejes del nivel 2**

Altura de piso [cm]					320		
Ejes X	δ [cm]	Δrs [cm]	Δm [cm]	Ejes Y	δ [cm]	Δrs [cm]	Δm [cm]
A	0 ,62164875	0 ,00194265	0 ,011559	1	0 ,7076898	0 ,00221153	0 ,013159
B	0 ,5496478	0 ,00171765	0 ,01022	2	0 ,672472	0 ,00210148	0 ,012504
C	0 ,5628435	0 ,00175889	0 ,010465	3	0 ,6202976	0 ,00193843	0 ,011534
				4	0 ,5681232	0 ,00177538	0 ,010564
				5	0 ,5828328	0 ,00182135	0 ,010837
				6	0 ,6760586	0 ,00211268	0 ,01257
				8	0 ,7692843	0 ,00240401	0 ,014304
				9	0 ,8625101	0 ,00269534	0 ,016037

Fuente: elaboración propia.

Tabla XL. **Cálculo de la deriva elástica e inelástica en ejes del nivel 1**

Altura de piso [cm]					470		
Ejes X	δ [cm]	Δrs [cm]	Δm [cm]	Ejes Y	δ [cm]	Δrs [cm]	Δm [cm]
A	0 ,513627	0 ,00109282	0 ,006502	1	0 ,5782113	0 ,00123024	0 ,00732
B	0 ,452688	0 ,00096317	0 ,005731	2	0 ,5501602	0 ,00117055	0 ,006965
C	0 ,4636850	0 ,00098656	0 ,00587	3	0 ,508603	0 ,00108213	0 ,006439
				4	0 ,4670458	0 ,00099371	0 ,005913
				5	0 ,4811246	0 ,00102367	0 ,006091
				6	0 ,5605152	0 ,00119259	0 ,007096
				8	0 ,6399057	0 ,0013615	0 ,008101
				9	0 ,7192963	0 ,00153042	0 ,009106

Fuente: elaboración propia.

Nótese que las derivas elásticas o de respuesta (Δrs) deben compararse con los requisitos del AGIES NSE3-10 como se indica a continuación:

Figura 19. **Derivas últimas máxima**

Estructura	Clasificación de Obra		
	ordinaria	importante	esencial
Edificaciones de mampostería reforzada hasta 4 niveles	$0{,}007h_p$	$0{,}007h_p$	$0{,}007h_p$
Edificaciones hasta altura permitida sin ascensor	$0{,}025h_p$	$0{,}025h_p$	$0{,}020h_p$
Edificación general	$0{,}020h_p$	$0{,}020h_p$	$0{,}015h_p$
h_p es la altura del piso para el que se calcula la deriva			

Fuente: AGIES NSE3-10, tabla 4.1

Máxima admisible (según tabla 4-1 NSE3)

$$\Delta_{cp \leq \frac{\Delta_v}{c_d}} \ , C_d = 5{,}5 \ por \ lo \ tanto \ \frac{0{,}025}{5{,}5} = 0{,}004545$$

Nótese que las derivas calculadas y mostradas en la tabla XXXIX y tabla XL, son mucho menores, que la deriva elástica máxima recomendada por el código para estructuras con un período de vibración menor a 0,7 segundos, por lo que, tanto la estructuración como los elementos resistentes proporcionan la rigidez suficiente para controlar la deformación inelástica y la inestabilidad.

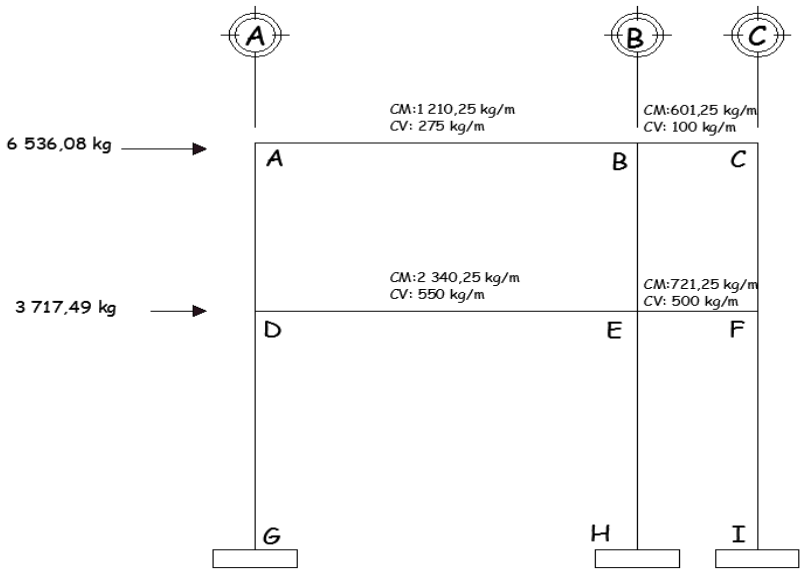
2.1.7. Métodos de análisis estructural

En base a los resultados de las secciones 2.1.5 y 2.1.6, se puede realizar un diagrama de estados de carga para carga viva, carga muerta y carga sísmica, sin aplicar factores de mayoración, y realizar el análisis estructural (ver figura 20).

2.1.7.1. Análisis estructural por el método de kani con nudo Desplazables

El método de Kani, es un método de iteraciones sucesivas, por lo que se debe considerar como un método aproximado y como tal, tiene varias simplificaciones para facilitar la aplicación de su metodología. A continuación se presenta el análisis para cargas gravitacionales del marco del eje 6.

Figura 20. **Estado de cargas para marco del eje 6, módulo I**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa AutoCAD 2014.

Cabe destacar que el método de Kani, al ser un método iterativo, su precisión dependerá del número de iteraciones que se realicen, y la rapidez en la convergencia del método está relacionada con la secuencia seguida en el procedimiento.

- Inercia de sección:

  I_{viga} : 1 / 12 (0 ,25)(0 ,5)^3 = 2 ,604 x 10^{-3} m^4

  $I_{columna}$: 1/12 (0 ,4)(0 ,4)^3 = 2 ,133 x 10^{-3} m^4

- Rigidez relativa:

  K_{ik} : I /L

  Donde:

  Kik : Rigidez relativa [m^3]

  L : inercia de la sección [m^4]

  L : luz entre apoyos [m]

Rigideces relativas K [m^3]			
kAB	0 ,0004069	KDG	0 ,0004539
KAD	0 ,00066667	KDE	0 ,0004069
KBC	0 ,00130208	KEH	0 ,0004539
KBE	0 ,00066667	KEF	0 ,00130208
KCF	0 ,00066667	KFI	0 ,0004539

- Factor de giro (μ) :

$$\mu = -\frac{1}{2}\, x\, \frac{k}{\sum k}$$

Donde:

μ = Factor de giro o de reparto

K = Rigidez del elemento

∑ K = Sumatoria de rigideces en el nudo

La $\sum \mu_{nudo}$ = -0 ,5

Factor de giro					sumatoria
AB	-0 ,189508793		…	…	-0 ,5
AD	-0 ,310491207	Nudo A	…	…	
BA	-0 ,085639901		BE	-0 ,14031241	-0 ,5
BC	-0 ,274047684	Nudo B	…	…	
CB	-0 ,330687831		…	…	-0 ,5
CF	-0 ,169312169	Nudo C	…	…	
DA	-0 ,218226007		DG	-0 ,14857941	
DE	-0 ,133194584	Nudo D	…	…	-0 ,5
EB	-0 ,117804289		EF	-0 ,2300865	
ED	-0 ,071902032	Nudo E	EH	-0 ,08020718	-0 ,5
FC	-0 ,137590339		FI	-0 ,09367853	
FE	-0 ,268731132	Nudo F	…	…	-0 ,5

- Momento Fijo (Mf_{ik}) :

$$MF = \frac{WL^2}{12}$$

Donde:

MF= Momento Fijo [kg-m]

W = Carga [kg/m]

L = Longitud de la viga [m]

Existe solo en los tramos con carga fuera del nudo.

momentos fijos				
AB	4130 ,986667	Nudo A	BA	-4130 ,98667
BC	200 ,4166667	Nudo B	CB	-200 ,416667
DE	7988 ,053333	Nudo D	ED	-7988 ,05333
EF	240 ,4166667	Nudo E	FE	-240 ,416667

- Factor de corrimiento (r_{ik}) :

Este factor es propio de las columnas del nivel.

$$rik = -\frac{3}{2}\ x\ \frac{Kcolik}{\sum Kcolik}$$

$\sum r_{ik}$ = - 3/2

Factor de corrimiento					
Nivel 2	AD	-0 ,5	Nivel 1	DG	-0 ,5
	BE	-0 ,5		EH	-0 ,5
	CF	-0 ,5		FI	-0 ,5
Sumatoria		-1 ,5	Sumatoria		-1 ,5

- Primera iteración: La secuencia a seguir es: A-B-C-F-E-D

  - NUDO A: -4 130 ,99 X (-0 ,3105) = 1 282 ,635
    -4 130 ,99 X (-0 ,1895) = 782 ,858

  - NUDO B: -0 ,8564 X 3 930 ,57 + 782 ,85 = -403 ,658
    -0 ,1403 X 3 930 ,57 + 782 ,85 = -661 ,35
    -0 ,2740 X 3 930 ,57 + 782 ,85 = -1 291,704

  - NUDO C: -0 ,3306 X 200 ,42 + (-1291 ,70) = 360 ,875
    -0 ,1693 X 200 ,42 + (-1291 ,70) = 184 ,77

  - NUDO F: -0 ,1375 X 240 ,42 + 184 ,77 = -58 ,50
    -0 ,2687 X 240 ,42 + 184 ,77 = -114 ,26
    -0 ,0936 X 240 ,42 + 184 ,77 = -39 ,83

  - NUDO E: -0,2300 X 7 747,64 + (-114,26)+(-661,35) = -1 604,17
    -0 ,1178 X 7747 ,64 + (-114 ,26) + (-661 ,35) = -821 ,33

-0 ,0802 X 7747 ,64 + (-114 ,26)+ (-661 ,35) = -559 ,206

-0 ,0719 X 7747 ,64 + (-114 ,26) + (-661 ,35)= - 501 ,303

- NUDO D: -0 ,1331 X -7 988 ,05 + 1282 ,64 + (-501 ,30) = 959,90

  -0 ,1485 X -7 988 ,05 + 1282 ,64 + (-501 ,30) = 1070 ,77

  -0 ,2182 X -7 988 ,05 + 1282 ,64 + (-501 ,30) = 1572694

Cuando se haya llegado a una convergencia en los valores de tres o más iteraciones sucesivas, el proceso puede detenerse. Los momentos finales se calculan de la siguiente manera:

$M = Mf_{ik} + M'ik + M'ki\ M''ik$;

Mf_{ik} = momento de empotramiento

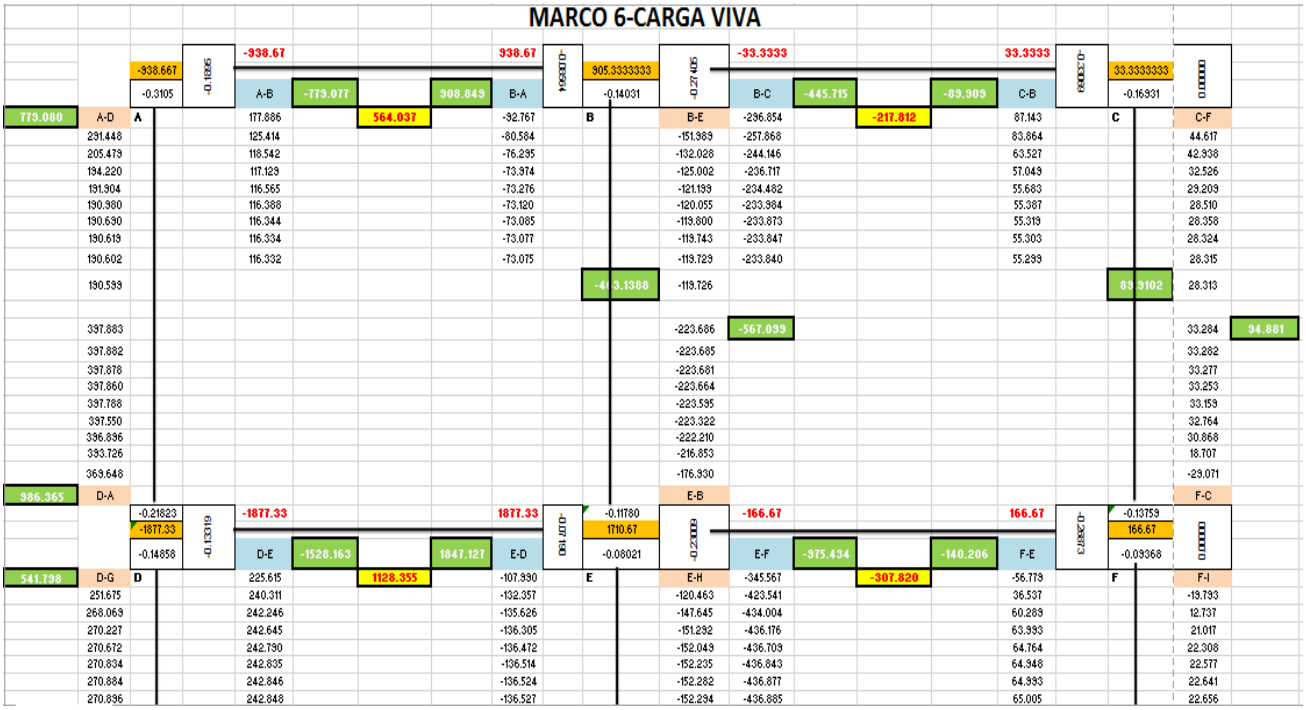
$M'i_k$ = momento debido al giro del nudo i

M'_{ki} = momento debido al giro del nudo k

M''_{ik} = momento debido al desplazamiento del nudo i

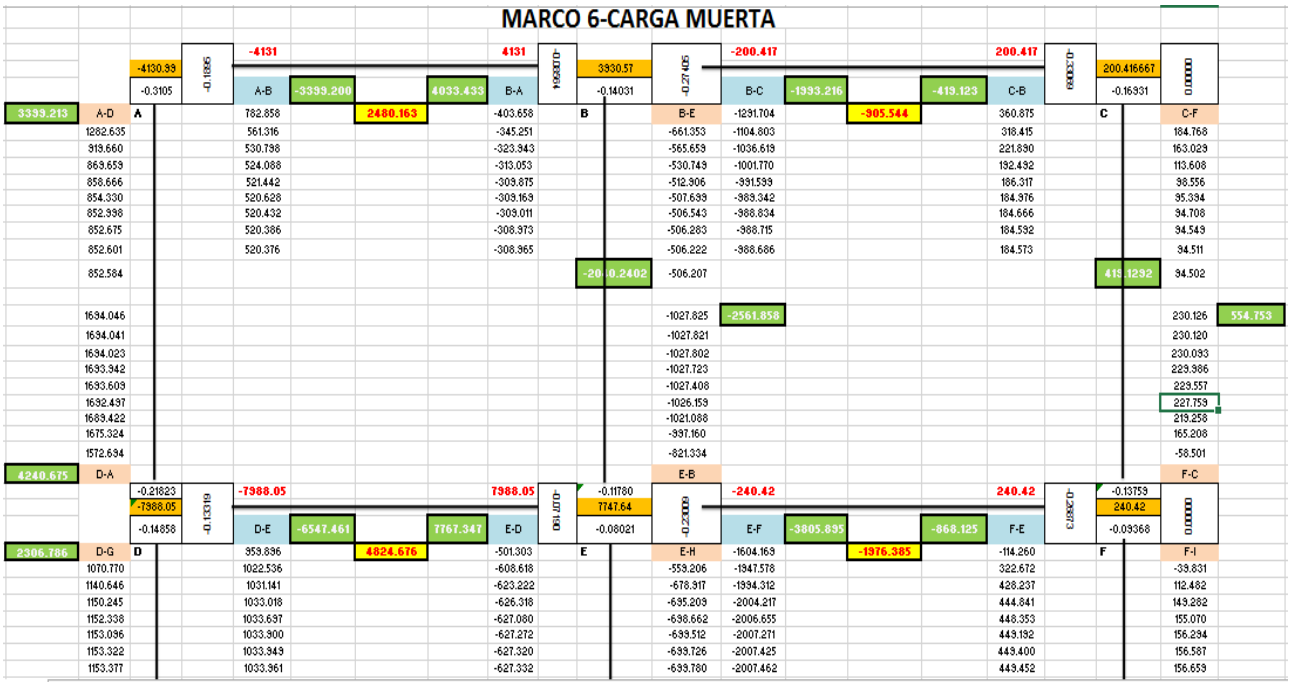
Siguiendo con el procedimiento, y cálculos del método de Kani, se obtienen los momentos generales para vigas y columnas, considerando el desplazamiento de los nudos, para carga viva y muerta. Sus resultados se muestran en la figura 21 y la figura 22.

Figura 21. **Diagrama de momentos para carga viva por el método de Kani, para el marco del eje 6, módulo I [kg-m]**



Fuente: elaboración propia.

Figura 22. **Diagrama de momentos para carga muerta por el método de Kani, para el marco del eje 6, módulo I [kg-m]**

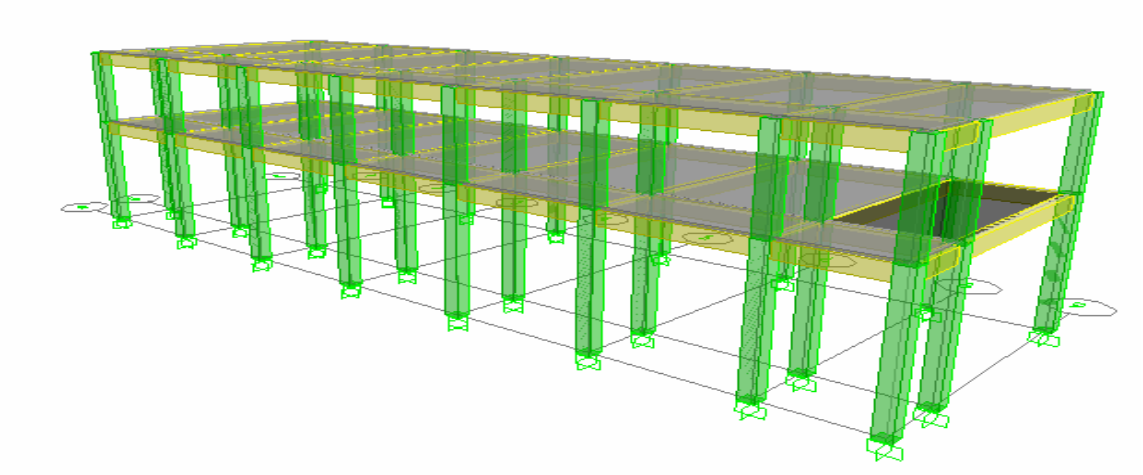


Fuente: elaboración propia.

2.1.7.2. Análisis estructural utilizando Etabs

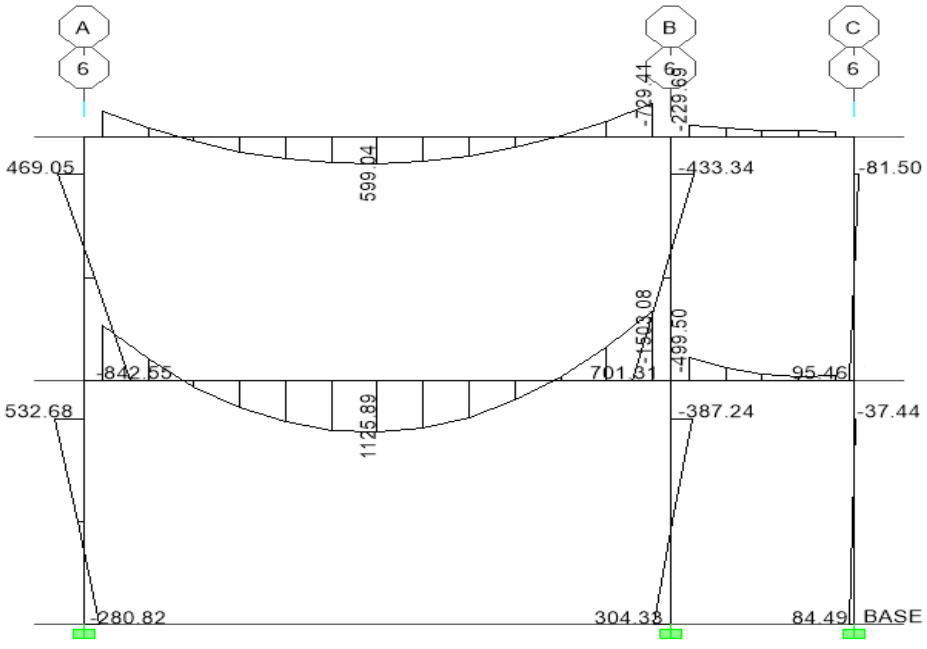
Al Efectuar el análisis estructural para todos los grados de libertad del modelo tridimensional, se obtienen los diagramas de momento para carga viva y carga muerta sin aplicar factores de mayoración, y se muestran en las figuras siguientes.

Figura 23. **Modulo I, Escuela Pixcaya, Aldea Montúfar**



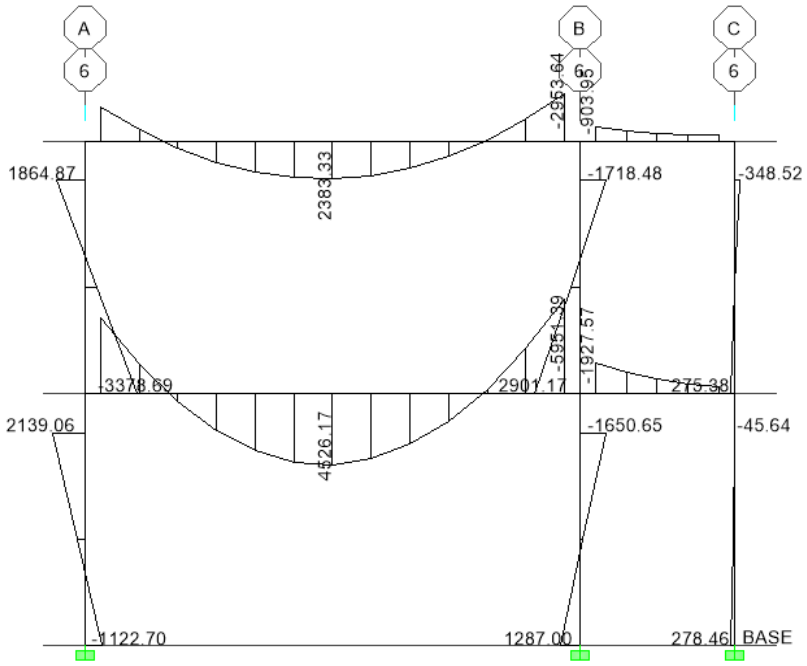
Fuente: elaboración propia, empleando el programa Computers and Structures. Etabs 9

Figura 24. **Diagrama de momentos para carga viva, por Etabs para el marco del eje 6, módulo I [kg-m]**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Computers and Structures. Etabs 9

Figura 25. **Diagrama de momentos para carga muerta por Etabs para el marco del eje 6, módulo I [kg-m]**



Fuente: elaboración propia, empleando el programa Computers and Structures. Etabs 9

2.1.7.2.1. Comparación de resultados

Como se aprecia en los diagramas de momento anteriores, la discrepancia de resultados tienen un valor porcentual aceptable, inferior al 10 por ciento como se muestra en la tabla XLI; La variación de los resultados radica en las mismas simplificaciones de los métodos aproximados como Kani, debido a que se basa en valores de momento de empotramiento perfecto, o momentos fijos que, a su vez, están en función de la distribución de cargas sobre la luz libre del elemento.

Otro motivo para la variación de los resultados obtenidos es que los algoritmos de cálculo de Etabs no permiten realizar simplificaciones mayores al modelo matemático, y puede considerarse la rigidez de los elementos del marco

de manera más exacta, incluyendo, en estos, la rigidez de la losa como diafragma horizontal.

Tabla XLI. **Comparación de momentos**

Marco 6 (ton-m)									
	VIGA 2N-A6-B6								
	M-(izquierdo)			M+(centro)			M-(Derecho)		
	KANI	ETABS	Diferencia %	KANI	ETABS	Diferencia%	KANI	ETABS	Diferencia%
M cv	0 ,77	0 ,73	5 ,19%	0 ,56	0 ,59	5%	0 ,908	0 ,85	6 ,38%
M cm	4 ,01	3 ,89	3%	2 ,48	2 ,38	4%	1 ,84	2 ,03	9 ,35%
M sismo	1 ,5	1 ,63	7 ,98%	0 ,8	0 ,76	5%	1 ,33	1 ,42	6 ,33%
	VIGA 1N-A6-B6								
	M-(izquierdo)			M+(centro)			M-(Derecho)		
	KANI	ETABS	Diferencia %	KANI	ETABS	Diferencia%	KANI	ETABS	Diferencia%
M cv	1 ,52	1 ,62	6 ,10%	1 ,12	1 ,125	1%	1 ,84	1 ,76	4 ,34%
M cm	6 ,5	6 ,58	1%	4 ,8	4 ,5	6 ,25%	7 ,7	7 ,62	1 ,00%
M sismo	1 ,3	1 ,413	8 ,00%	0 ,6	0 ,66	9%	1 ,38	1 ,51	8 ,60%

Fuente: elaboración propia.

Con base en el análisis de resultados obtenidos, se considerarán para el diseño estructural siguiente, los resultados del software Etabs, por considerarse un procedimiento exacto.

2.1.8. Diseño estructural de concreto armado

La base técnica del diseño estructural usada en el presente documento es la indicada por el American Concrete Institute, en su comité 318, (ACI 318-08).

También comprende la definición de los elementos estructurales de manera que puedan satisfacer la demanda y solicitaciones de carga, resistencia y estabilidad, según lo establecido por los reglamentos para su diseño.

2.1.8.1. Combinaciones de carga

Los estados de carga básicos son: carga muerta (D); carga viva (L); sismo (Ex , Ey). Con base en estos estados de carga, se realizan las combinaciones críticas para el diseño estructural sugeridos por el ACI 318-08, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla XLII. **Factores de carga y combinaciones sugeridos por el ACI 318S-08**

ID	Combinación	Referencia ACI 318-08
U1	1,4D	9.2.1 – Eq. (9-1)
U2	1,2D + 1,6L	9.2.1 – Eq. (9-2)
U3	1,2D + 1,0L	9.2.1 – Eq. (9-3)
U4	$1,2D + 1,0L + 1,0E_x$	9.2.1 – Eq. (9-5)
U5	$1,2D + 1,0L - 1,0E_x$	9.2.1 – Eq. (9-5)
U6	$1,2D + 1,0L + 1,0E_y$	9.2.1 – Eq. (9-5)
U7	$1,2D + 1,0L - 1,0E_y$	9.2.1 – Eq. (9-5)
U8	$0,9D + 1,0E_x$	9.2.1 – Eq. (9-7)
U9	$0,9D - 1,0E_x$	9.2.1 – Eq. (9-7)
U10	$0,9D + 1,0E_y$	9.2.1 – Eq. (9-7)
U11	$0,9D - 1,0E_y$	9.2.1 – Eq. (9-7)

Fuente: American Concrete Institute. Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario (ACI 318s-08) p. 121.

2.1.8.1.1. Envolvente de momentos

El proceso es netamente aritmético, y se resume a continuación para la viga 2N-4A-4B

Tabla XLIII. **Envolvente de momento para viga 2N-4A-4B**

Estado de Carga		Momento [kg-m]		
		Izquierdo	Centro	Derecho
CM	Muerta	-5 101 ,49	3 457 ,86	-3 834 ,31
CV	Viva	-1 261 ,54	859 ,32	-1 115 ,81
EX	Sismo X	-33 ,96	1 ,4	-35 ,76
EY	Sismo Y	1 549 ,86	82 ,86	1 715 ,58
U1	1 ,4D	-6 854 ,53	5 741 ,75	-5 450 ,78
U2	1 ,2D + 1 ,6L	-7 489 ,69	6 296 ,42	6 067 ,88
U3	1 ,4D + 1 ,0L + 1 ,5EX	7 895 ,26	6 602 ,47	6 288 ,60
U4	1 ,4 + 1 ,0L - 1 ,5EX	-7 831 ,77	6 599 ,67	-6 357 ,70
U5	1 ,4D + 1 ,0L +1 ,5Ey	-6 415 ,70	6 518 ,21	-7 936 ,69
U6	1 ,4D + 1 ,0L -1 ,5EY	-9 311 ,33	6 683 ,93	-4 709 ,60
U7	1 ,4D + 1 ,5EX	-6 886 ,28	5 743 ,15	-5 416 ,23
U8	1 ,4D -1 ,5EX	-6 822 ,78	5 740 ,35	-5 485 ,33
U9	1 ,4D + 1 ,5EY	-5 406 ,72	5 658 ,89	-7 064 ,32
U10	1 ,4D - 1 ,5EY	-8 302 ,34	5 824 ,61	-3 837 ,24
U11	0 ,7D + 1 ,5EX	-3 459 ,01	2 872 ,28	2 690 ,84
U12	0 ,7D - 1 ,0EX	-3 395 ,52	2 869 ,47	-2 759 ,94
U13	0 ,7D + 1 ,0EY	-1 979 ,45	2 788 ,01	-4 338 ,93
U14	0 ,7D - 1 ,0EY	-4 875 ,08	2 953 ,74	-1 111 ,85
ENVO	…	-9 311 ,33	6 683 ,94	-7 936 ,69

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIV. **Envolvente de corte para viga 2N-4A-4B**

		Corte [kg-m]		
Estado de Carga		Izquierdo	Centro	Derech0
CM	Muerta	-4 794 ,02	0 ,00	4 493 ,98
CV	Viva	-1 222 ,77	0	1 117 ,23
EX	Sismo X	10 ,92	10 ,92	10 ,92
EY	Sismo Y	506 ,00	506 ,08	506 ,08
U1	1 ,4D	-8 162 ,40	-232 ,8	7 696 ,80
U2	1 ,2D + 1 ,6L	-8 952 ,77	-235 ,97	8 480 ,83
U3	1 ,4D + 1 ,0L + 1 ,5EX	-9 396 ,09	-266 ,49	8 863 ,11
U4	1 ,4 + 1 ,0L - 1 ,5EX	-9 374 ,25	-244 ,65	8 884 ,95
U5	1 ,4D + 1 ,0L +1 ,5Ey	-8 879 ,09	-243 ,98	9 380 ,11
U6	1 ,4D + 1 ,0L -1 ,5EY	8 367 ,95	-761 ,65	8 367 ,95
U7	1 ,4D + 1 ,5EX	-8 173 ,32	59 ,06	7 685 ,88
U8	1 ,4D -1 ,5EX	-8 151 ,48	68 ,87	7 707 ,72
U9	1 ,4D + 1 ,5EY	-7 656 ,32	273 ,23	8 202 ,88
U10	1 ,4D - 1 ,5EY	-8 668 ,48	-738 ,88	7 190 ,72
U11	0 ,7D + 1 ,5EX	-4 092 ,12	127 ,32	3 837 ,48
U12	0 ,7D - 1 ,0EX	-4 070 ,28	-105 ,48	3 859 ,32
U13	0 ,7D + 1 ,0EY	-3 575 ,12	389 ,69	4 354 ,48
U14	0 ,7D - 1 ,0EY	-4 587 ,28	-622 ,48	3 342 ,32
ENVO	…	-9 891 ,25	-761 ,65	9 380 ,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XLV. **Envolvente de carga axial para columna 6B**

Envolvente de carga axial Columna 6B		
Estado de Carga		carga axial
CM	Muerta	30 182
CV	Viva	6 200
EX	Sismo X	114 ,8
EY	Sismo Y	1711 ,06
U1	1 ,4D	43640 ,35
U2	1 ,2D + 1 ,6L	53052 ,22
U3	1 ,4D + 1 ,0L + 1 ,5EX	50877 ,57
U4	1 ,4 + 1 ,0L - 1 ,5EX	50053 ,58
U5	1 ,4D + 1 ,0L +1 ,5Ey	57332 ,34
U6	1 ,4D + 1 ,0L -1 ,5EY	43598 ,8
U7	1 ,4D + 1 ,5EX	44052 ,34
U8	1 ,4D -1 ,5EX	43228 ,35
U9	1 ,4D + 1 ,5EY	50507 ,12
U10	1 ,4D - 1 ,5EY	36773 ,58
U11	0 ,7D + 1 ,5EX	22232 ,17
U12	0 ,7D - 1 ,0EX	21408 ,18
U13	0 ,7D + 1 ,0EY	28686 ,94
U14	0 ,7D - 1 ,0EY	14953 ,4
ENVO	…	57332 ,34

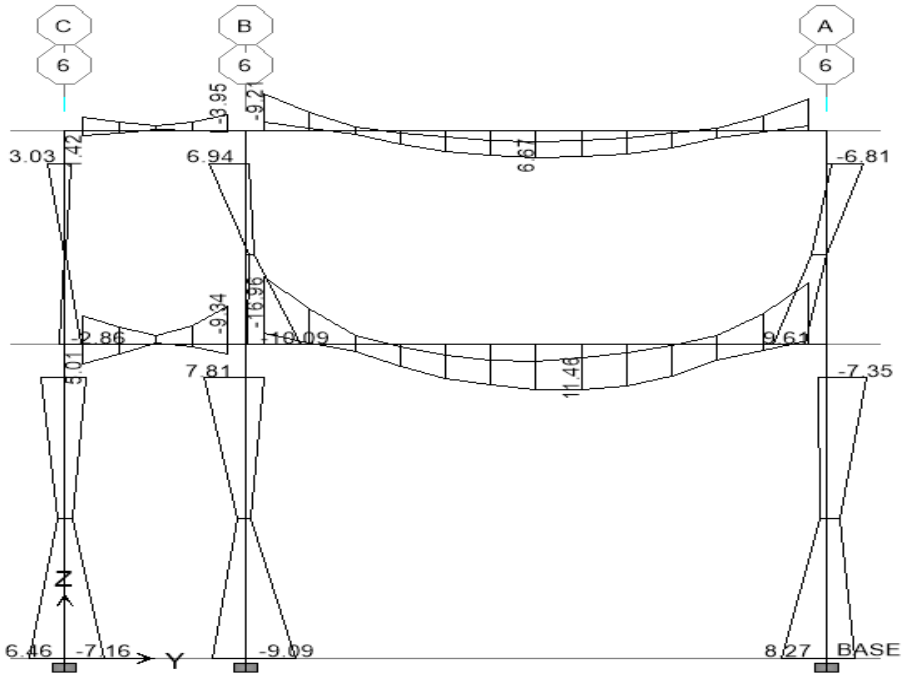
Fuente: elaboración propia.

Con cálculos similares para todas las vigas y columnas del marco, se encuentra el valor de la envolvente de cortes y momentos. Para realizar esta tarea, es importante mencionar la facilidad con la que Etabs lo hace. Dentro del software se define una combinación de cargas del tipo ENVE, y esto proporcionará la envolvente de las combinaciones indicadas.

2.1.8.1.2. Diagramas de corte y momento de diseño

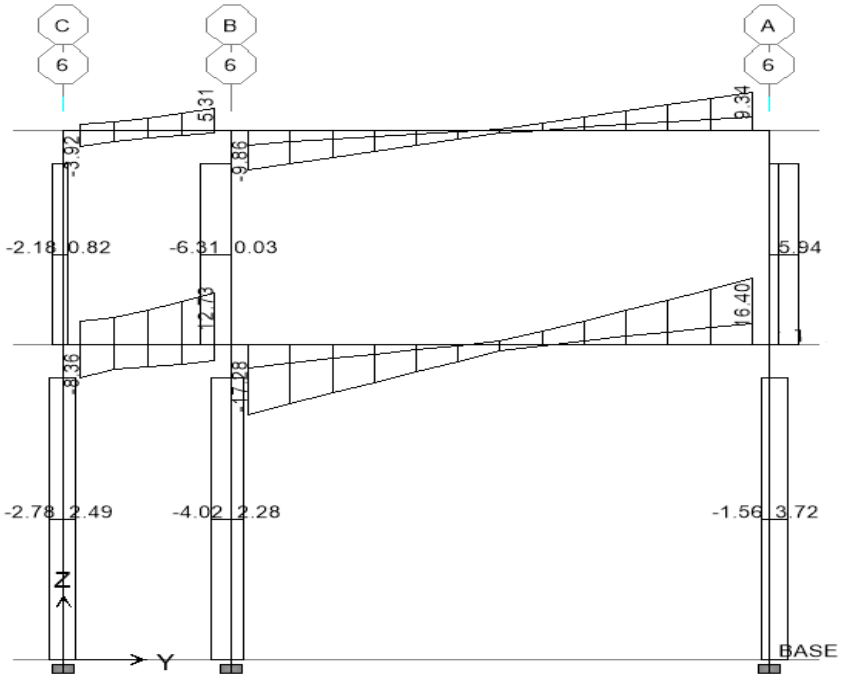
A continuación se presentan los diagramas de corte y momento de la envolvente de diseño obtenidos del análisis estructural con Etabs®, incluyéndose la carga gravitacional y lateral respectiva, para los marcos de los ejes de análisis: eje 6 (sentido Y) y eje A (sentido X).

Figura 26. **Envolvente de momentos para marco del eje 6 [ton-m]**



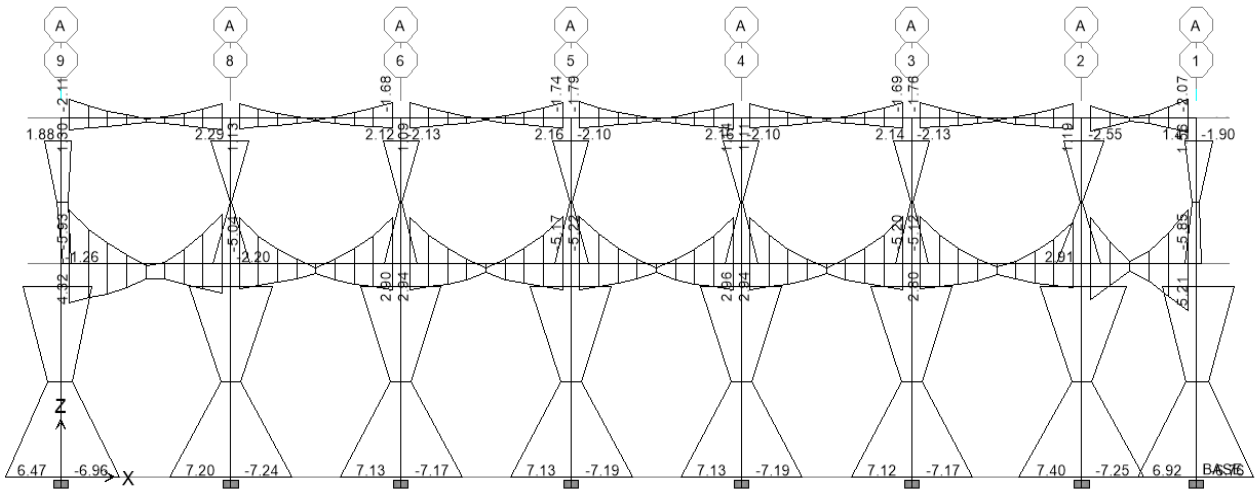
Fuente: elaboración propia, empleando el programa Computers and Structures. Etabs 9

Figura 27. **Envolvente de corte para marco del eje 6 [ton]**



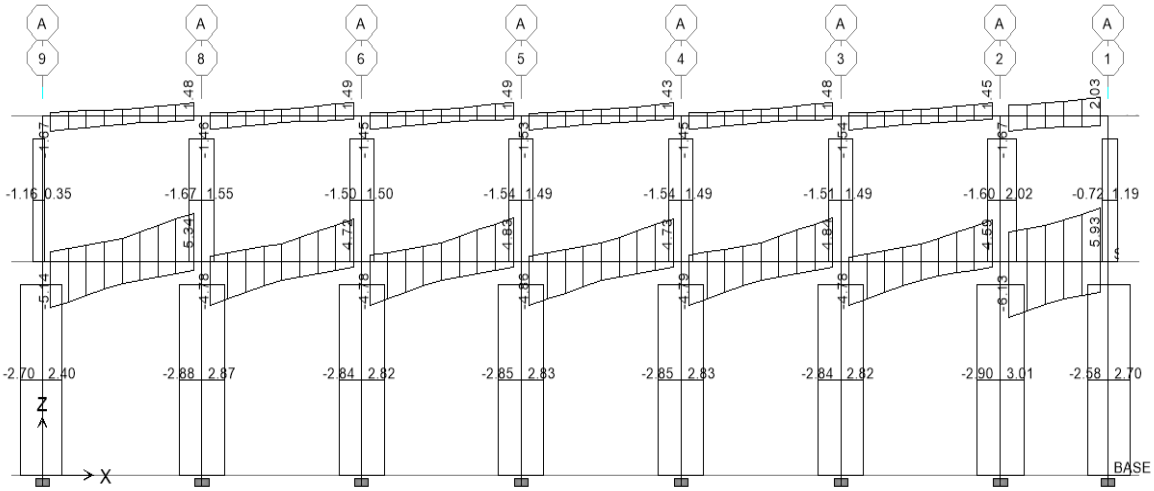
Fuente: elaboración propia, empleando el programa Computers and Structures. Etabs 9

Figura 28. **Envolvente de momentos para marco del eje A [ton-m]**



Fuente: Computers and Structures. Etabs 9.

Figura 29. **Envolvente de Corte para marco del eje A [ton]**



Fuente: Computers and Structures. Etabs 9.

2.1.8.2. Diseño estructural y detallado sismorresistente

Para fines ilustrativos, algunos cálculos se encuentran referenciados al código ACI 318S-08 para una mayor facilidad de verificación.

2.1.8.2.1. Diseño de vigas

Las vigas son elementos estructurales sometidos a esfuerzos de compresión, tensión y corte, transmiten la carga de la losa hacia las columnas. Para su diseño son necesarios los resultados obtenidos del análisis estructural. Para el diseño se consideraron los siguientes datos:

- Resistencia del concreto: f c = 280 kg cm2⁄(4 000 psi)
- Resistencia del acero: fy = 4 200 kg cm2⁄(60 000 psi)
- Base de viga: b = 25 cm

- Peralte de viga: h = 50 cm

A continuación se describe el procedimiento para el diseño de vigas, tomando como ejemplo, el diseño de viga 1N-6A-6B, del eje 6 en el primer nivel.

- Peralte efectivo

$$d = 50cm - 4cm \rightarrow 46\ cm$$

Según la sección 7.7.1 del ACI 318-08 dice que la protección de concreto mínima para elementos sometidos a flexión debe ser de 4 centímetros, en condiciones normales de exposición, este valor aumenta si el elemento está expuesto a la intemperie.

- Límites del refuerzo
  - Acero mínimo

$$As = \frac{14\ ,1\ x\ b\ x\ d}{fy} \geq \text{As} = \frac{0\ ,8\ \sqrt{f´c}}{fy}\ b\ x\ d$$

Referencia a código ACI sección 10.5.1

Donde:

b = base del elemento

fy = esfuerzo a fluencia del elemento (4 200 kg/cm^2)

f´c = resistencia a compresión del concreto (281 kg/cm^2)

$$As\ \text{min} = \frac{14\ ,1\ x\ 25\ x\ 46}{4\ \ 200} \rightarrow 3\ ,83\ cm2$$

$$As\ \text{min} = \frac{0\ ,8\ x\ \sqrt{281}}{4\ 200} 25\ x\ 46 \rightarrow 3\ ,67\ cm2$$

El área de acero mínima a utilizar es 3,83 cm2

- Acero Máximo

$$As\ Max = 0,5\ x\ \rho b\ x\ b\ x\ d$$

Donde:

$$\rho b = \frac{0,85\ x\ \beta\ x\ f´c}{fy}\left(\frac{6\,120}{6\,120 + fy}\right)$$

Referencia a código ACI, sección 21.5.2.1

β = Factor igual a 0,85 cuando f´c es igual a 280 kg/cm2

$$\rho b = \frac{0,85\ x\ 0,85\ x\ 280}{4\ 200}\left(\frac{6\,120}{6\,120 + 4\ 200}\right) \rightarrow 0,02856$$

$$As\ \max = 0,5\ x\ 0,02856\ x\ 25\ x\ 46 \rightarrow 16,42\ cm2$$

Para determinar el área de acero que requieren los momentos últimos se tiene la siguiente expresión:

$$As = \left[b\ x\ d - \sqrt{(b\ x\ d)^2 - \frac{Mu\ x\ b}{0,003825\ x\ f´c}}\right] x\ \frac{0,85\ x\ f´c}{fy}$$

Referencia a código ACI, sección 21.5.2.2

Tabla XLVI. **Área de acero requerido para viga de tramo 1N-6A-6B eje 6 nivel 1**

	Mu [kg-m]	As Mu [cm2]	As Min [cm2]	As Max [cm2]	Condición
Negativo I	16 963 ,67	10 ,62	3 ,83	16 ,42	simplemente reforzada
Positivo	11 462 ,25	6 ,96	3 ,83	16 ,42	simplemente reforzada
Negativo D	15 183 ,47	9 ,41	3 ,83	16 ,42	simplemente reforzada

Fuente: elaboración propia.

La viga en todas sus secciones es simplemente reforzada, para aquellos momentos que se requiera un valor menor al del acero mínimo, se utiliza el área de acero mínimo.

Para definir el armado de la viga, se deben cumplir las siguientes condiciones que establece el ACI 318-08, capítulo 21.

Para la cama superior colocar como mínimo:

- As min = 3 ,83 cm^2
- 2 varillas No ,4 = 2 ,53 cm^2
- 33% As (-)Mayor (11 ,4 cm^2) = 3 ,76cm^2

Nota: se toma el dato mayor.

Para cubrir un área de acero de 3,83 cm^2, es necesario colocar 2 varillas número 6 corridas, las cuales tienen un área total de 5,7cm^2 mayor a 3,83 cm^2.

Para la cama inferior se debe colocar como mínimo:

- As min = 3,83 cm^2
- 2 varillas No.4 = 2,53 cm^2
- 50% As + (6,96) = 3,48 cm^2
- 50% As(-)mayor(11,4 cm^2)= 5,7 cm^2

Nota: se toma el mayor de estos datos

Para cubrir un área de acero de 5,7 cm^2, es necesario colocar 2 varillas número 6 corridas, las cuales tienen un área total de 5,7cm^2 igual al arrea necesaria 5,70 cm^2.

Tabla XLVII. **Armado de refuerzo para viga de tramo 1N-6A-6B, eje 6, nivel 1**

Mu [kg-m]	As mu [cm2]	Armado	As [cm2|
M(-)16 963 ,67	10 ,62	2 No. 6 + 2 bastones No.6	11 ,4
M(+)11 462 ,25	6 ,96	2 varillas No.6 1 tensión No.4	6 ,96
M(-)15 183 ,47	9 ,41	2 No. 6 + 1 bastón No.6 + 1 bastón No.4	9 ,8

Fuente: elaboración propia.

La propuesta de armado cubre las áreas requeridas y cumple con las condiciones anteriormente descritas.

- Diseño a corte

Los esfuerzos cortantes serán contrarrestados por un refuerzo transversal que consiste en estribos espaciados a intervalos variables a lo largo del eje longitudinal de la viga. Además de contrarrestar los efectos de corte, el refuerzo transversal ayuda a mantener el refuerzo longitudinal en la posición deseada.

Si Vr < Vact → colocar S y longitud de confinamiento

Si Vr > Vact → por armado estribos a Sma = d/2

Donde:

$$Vr = \phi \; x \; 0{,}53 \; x \; \sqrt{f'c} \; x \; (b \; x \; d)$$

Referencia a código ACI, sección 9.3.2.3

Vr = resistencia del concreto a corte

Vact = esfuerzo cortante actuante

S = espaciamiento

$$Vr = 0\,,85\ x\ 0\,,53\ x\ \sqrt{280}\ x\ 25\ x\ 46 \rightarrow 8\ \ 669\,,05$$

Según el diagrama presentado en la figura 20, se tiene un corte actuante máximo en la viga de 17 383,44 kilogramos. Por lo tanto, se procede a calcular el espaciamiento y longitud de confinamiento.

- Cortante actuante

$$Vact = \frac{Vu}{b\ x\ d} = \frac{17\ 383\,,44}{25\ x\ 46} \rightarrow 15\,,12\frac{kg}{cm2}$$

Referencia código ACI, sección 11.1.1

- Cortante resistente

$$Vr = \ \phi\ x\ o\,,53\ x\ \sqrt{f'y} = 0\,,85\ x\ 0\,,53\ x\ \sqrt{280} \rightarrow 7\,,54\frac{kg}{cm2}$$

- Espaciamiento

$$S = \frac{Avarilla\ x\ fy}{(Vact - Vr)\ x\ b} \rightarrow \frac{2\ x\ 0\,,71\ x\ 4\ \ 200}{(15\,,12 - 7\,,54)\ x\ 25} \rightarrow 31\,,47\ cm$$

Referencia a código ACI, sección 11.4.7.2

- Confinamiento

Según la sección 21.5.3.1 del ACI 318-08 dice que estribos cerrados para el confinamiento se colocan en las regiones:

a) En una longitud igual a dos veces la altura del elemento, medida desde la cara del elemento de apoyo hacia el centro de la luz, en ambos extremos del elemento en flexión.

b) En longitudes iguales a dos veces la altura del elemento a ambos lados de una sección donde puede ocurrir fluencia por flexión debido a desplazamientos laterales inelásticos del pórtico.

Longitud de Confinamiento = 2 x h → (2) (50cm) = 100 cm

También dice en la sección 21.5.3.2 que el primer estribo cerrado para el confinamiento debe estar situado a no más de 50 milímetros de la cara del elemento de apoyo, Además el espaciamiento en la zona de confinamiento de los estribos no debe exceder el menor de:

1. d/4 = 46/4 → 11 ,5 cm
2. 8 x ϕ varilla longitudinal = 8 x 1 ,90 → 15 ,24 cm
3. 24 ϕ varilla transversal = 24 x 0 ,95 → 22 ,86 cm
4. 30 cm

Por lo tanto el espaciamiento en la zona de confinamiento es de 10 centímetros.

Como todas las barras continuas serán traslapadas con la longitud requerida, las secciones 12.15.1 y 12.15.2 del ACI, indican que se utilice un traslape clase B. La longitud requerida para el traslape = 1.3 ld ≥ 30 centímetros.

Basado en lo anterior se puede construir la siguiente tabla.

Tabla XLVIII. **Longitud de desarrollo para armado de vigas**

Barra	longitud de desarrollo [ld] cm	
No. 5	Superior	65
	Inferior	55
No.6	Superior	80
	Inferior	60

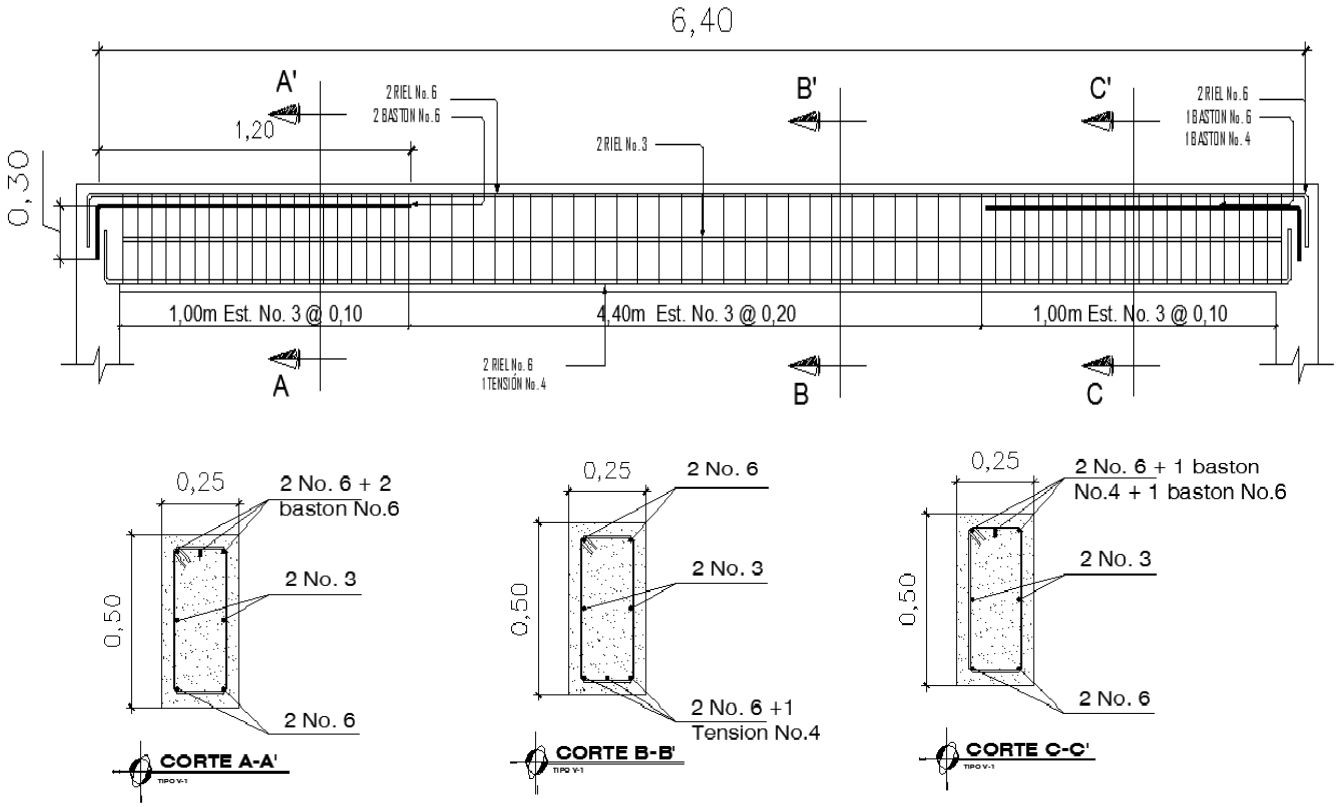
Fuente: elaboración propia.

Tabla XLIX. **Longitud de anclaje para barras en tensión**

Barra	Longitud de anclaje
No. 5	25
No.6	30

Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Armado de viga 1N -6A-6B del módulo I, nivel 1**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

2.1.8.2.2. Columnas

Las columnas son elementos verticales que trasladan la carga completa del edificio hacia la cimentación.

Estos elementos se encuentran sometidos principalmente a esfuerzos de compresión axial y momentos flexionantes. Se diseña únicamente la columna crítica para el nivel completo. En este diseño se contemplan únicamente las columnas que se encuentran sometidas a los mayores esfuerzos de cada nivel. El resultado del diseño es aplicado a todas las columnas del nivel al que corresponde, aplicando el método de Bresler.

Requisitos para columnas según ACI 318-08:

i. El número mínimo de barras longitudinales en elementos sometidos a compresión debe ser de 4 para barras dentro de estribos rectangulares, según sección 10.9.2.
ii. El área de refuerzo longitudinal no debe ser menor que 0,01Ag ni mayor que 0,06Ag, según sección 21.6.3.1.

Tabla L. **Datos para el diseño de columna critica 1N-6B**

Datos de columna		
Mx (nivel 1)	6 631 ,25	kg-m
My (nivel 1)	9 092 ,10	kg-m
Mx (nivel 2)	1 986 ,21	kg-m
My (nivel 2)	6 093 ,18	kg-m
Vact (nivel 1)	4 023 ,60	kg
Vact (nivel 2)	2 307 ,07	kg
Ln (nivel 1)	4 ,70	m
Ln (nivel 2)	3 ,20	m
Área tributaria	33 ,60	m2
Dimensiones de columna	40 x 40	cm

Fuente: elaboración propia con datos tomados del software Etabs.

- Carga axial :

En la tabla XLV se encuentra la envolvente de carga axial según software Etab.

P = 57 332 ,34 kg

- Esbeltez en columnas

La esbeltez se define a partir de la relación de longitud y la sección transversal. Para determinar la esbeltez se tiene la siguiente expresión:

$$E = \frac{Kp\ x\ Ln}{r}$$

Referencia a código ACI, sección 10.10.6.3

Donde:

Kp = factor de pandeo (monograma de Jackson)

Dado por $\psi A = \frac{\sum K\ col}{\sum K\ vigas}$; $\psi B = \frac{\sum K\ col}{\sum K\ viga}$

ψA ψB = grado de empotramiento a la rotación

Ln = longitud efectiva de pandeo

r = 30% x el lado menor de columna

Tabla LI. **Clasificación de columnas por su esbeltez**

Clasificación	**Rango**
Columna corta	E < 22
Columna intermedia	22 < E < 100
Columna esbelta	E > 100

Fuente: ACI 318S-08 SECCION 10.10

Tabla LII. **Esbeltez de columna de primer nivel 1N-6B sentido X, sentido Y.**

Grado de empotramiento		Kp	E	Clasificación
ψB	0 ,45	1 ,08	42 ,30	Columna intermedia
ψA	0			

grado de empotramiento		Kp	E	Clasificación
ψB	0 ,34	1 ,06	41 ,52	Columna intermedia
ψA	0			

Fuente: elaboración propia.

Tabla LIII. **Esbeltez de columna de primer nivel 2N-6B sentido x, sentido y.**

grado de empotramiento		Kp	E	Clasificación
ψB	0 ,27	1 ,12	29 ,87	Columna intermedia
ψA	0 ,45			
grado de empotramiento		Kp	E	Clasificación
ψB	0 ,20	1 ,13	30 ,13	Columna intermedia
ψA	0 ,34			

Fuente: elaboración propia.

Los valores de Kp fueron calculados en base al monograma de Jackson que se encuentra en el capítulo 10 de ACI sección 10.10.1.

De acuerdo con los valores de esbeltez obtenidos en las tablas LII Y LIII, las columnas se clasifican como intermedias, por lo tanto se procede a magnificar los momentos actuantes.

El magnificador de momentos (δ) es un factor de seguridad por el cual deben multiplicarse los momentos últimos en columnas, para evitar el pandeo.

El procedimiento para la magnificación de momentos se realiza según la sección 10.10 del ACI 318-08, y para ello se tiene la siguiente expresión:

$$Mc = \delta ns \; x \; Mu$$

Donde:

$$\delta ns = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0\,,75 \; x \; Pc}} => 1$$

$$Pc = \frac{\pi^2 \; x \; EI}{(\; Kp \; x \; Lu)^2}$$

$$EI = \frac{0\,,4 Ec \; x \; Ig}{1 + \; _{\beta}d}$$

$$_{\beta}d = \frac{CMu}{Cu}$$

Mc = momento mayorado amplificado

Mu = momento último

Cm = factor del efecto de extremo igual a 1

Ec = módulo de elasticidad del concreto igual a 15 100 √f´c

Ig = Inercia del elemento

βd = factor de flujo plástico (0 ≤ βd ≤ 1)

A continuación se desarrolla la magnificación de momentos para la columna del segundo nivel en sentido X y Y.

$$\beta d = \frac{1\,,4 \; x \; 19\,154\,,65}{1\,,4 \; x \; 19\,154\,,65 + 1\,,7 \; x \; (12\,,8 \; x \; 200 + 4 \; x \; 500)} \longrightarrow 0\,,7757$$

$$EI = \frac{0\,,4 \; X \; 15100 \sqrt{281} \; x \; \frac{40^4}{12}}{1 + 0\,,7757} \longrightarrow 1\,,216 \; x \; 10^{10} \; kg - cm2$$

$$pcx = \frac{\pi^2 \; x \; 1\,,216 \; x \; 10^{10}}{(1\,,08 \; x \; 320)^2} \longrightarrow 1\,005\,123\,,70$$

$$pcy = \frac{\pi^2 \; x \; 1\,,216 \; x \; 10^{10}}{(1\,,06 \; x \; 320)^2} \longrightarrow 1\,043\,089\,,64$$

$$\delta nsx = \frac{1}{1 - \frac{53\,052,22}{0,75\ x\ 1\,005\,123,70}} = 1,075 => 1 \rightarrow Cumple$$

$$\delta nsy = \frac{1}{1 - \frac{53\,052,22}{0,75\ x\ 1\,043\,089,64}} = 1,072 => 1 \rightarrow Cumple$$

$$Mcx = 1,076\ x\ 6\,631,25 = 7\,135,22\ \text{kg} - \text{m}$$

$$Mcy = 1,073\ x\ 9\,092,10 = 9\,753,35\ \text{kg} - \text{m}$$

- Refuerzo longitudinal

El refuerzo longitudinal en columnas puede diseñarse por varios métodos según el tipo de cargas al que se encuentra sometida la misma. En este caso, las columnas son del tipo axial y momento biaxial.

El método que se empleará fue desarrollado por Bresler. Es un método sencillo que consiste en que dado un sistema de cargas actuantes, se debe calcular el sistema de cargas resistentes, la expresión utilizada es:

$$\frac{1}{Pnu} = \frac{1}{Pnx} + \frac{1}{Pny} - \frac{1}{Po}$$

- Límites de acero

$$Asmax = 6\%Ag \rightarrow (0,06\ x\ 40x40) = 96\ cm2$$

$$Asmin = 1\%Ag \rightarrow (0,01\ x\ 40x40) = 16\ cm2$$

Para el refuerzo longitudinal se propone utilizar 4 varillas número 8 y 4 varillas número 4 que es igual a 25,33 centímetros cuadrados y un recubrimiento de 5 centímetros.

- Método de Bresler

Continuando con el diseño de acero longitudinal para la columna del primer nivel en sentido X y Y.

Datos para realizar el diseño:

Sección: 0 ,40 m x 0 ,40 m

P = 57 332 ,34 kg

Mx = 6 631,25 kg-m

My= 9 092,10 kg-m

Lu= 3 m

- Valor de la grafica

$$r = \frac{d - d'}{h} \rightarrow \frac{35 - 5}{40} = 0\,,75$$

- Valor de la curva

$$\rho\mu = \frac{As}{Ag}\left(\frac{fy}{0\,,85\ x\ f'c}\right) \rightarrow \frac{25\,,33}{1600}\left(\frac{4200}{0\,,85\ x\ 281}\right) = 0\,,278$$

- Excentricidades

$$ex = \frac{Mdx}{Pu} \rightarrow \frac{6\ 631\,,25}{57\ 332\,,34} = 0\,,115m$$
$$ey = \frac{Mdy}{Pu} \rightarrow \frac{9\ 092\,,10}{57\ 332\,,34} = 0\,,158m$$

- Valor de las diagonales

$$\frac{ex}{hx} \rightarrow \frac{0\,,115}{0\,,4} = 0\,,28$$
$$\frac{ex}{hx} \rightarrow \frac{0\,,158}{0\,,4} = 0\,,395$$

Con los valores obtenidos se buscan los valores de los coeficientes Kx y Ky en el diagrama de interacción, (ver apéndice) obteniendo:

$$Kx = 0\,,6$$

$$Ky = 0\,,45$$

- Cargas

$$Pnx = Kx\ x\ f´c\ x\ Ag \rightarrow 0\,,60\ x\ 281x\ 40x40 = 269\ 760{,}00$$

$$Pny = Ky\ x\ f´c\ x\ Ag \rightarrow 0\,,45\ x\ 281x\ 40x40 = 202\ 320{,}00$$

$$Po = \phi(0\,,85f´c(Ag - As) + Asfy$$
$$\rightarrow 0\,,7(0\,,85x281(1600 - 25\,,33) + 25\,,33x4\ 200$$
$$= 369\ 662\,,95$$

$$\frac{1}{Pnu} = \frac{1}{269\ 760} + \frac{1}{202\ 320} - \frac{1}{369\ 662\,,95}$$

$$Pnu = \ 102\ 417\,,05\ kg$$

$$102\ 417\,,05\ kg > 57\ 332\,,34\ kg$$

$$Pnu > Pu \rightarrow si\ cumple$$

Debido a que Pnu es mayor que Pu, el área de acero propuesta si soporta los esfuerzos a los que se encuentra sometido el elemento. Por lo que no es necesario aumentar el área de acero.

- Refuerzo transversal

Las columnas también se encuentran sometidas a esfuerzos de corte por lo que es necesario proveer refuerzo transversal en su armado. Además, se considera que Guatemala es un país sísmico y por ello debe proveerse suficiente ductilidad mediante el confinamiento del refuerzo transversal en los extremos.

$$si\ Vr > Vact \rightarrow se\ colocan\ estribos\ para\ armado\ de\ Smax = d/2$$

$$si\ Vr < Vact \rightarrow calcular\ S\ y\ longitud\ de\ confinamiento$$

$$Vr = 0\ ,85\ x\ 0\ ,53\ x\ \sqrt{281}\ x\ 40\ x\ 35 = 10\ 572\ ,46\ kg$$

Según los datos presentados en la tabla XLIX, se tiene un corte máximo en la columna de 4 023 ,60 kilogramos. Por lo tanto se colocan los estribos a un espaciamiento máximo de d/2.

$$Smax = \frac{d}{2} \rightarrow \frac{35}{2} = 17\ ,5 \rightarrow 15cm$$

Por lo tanto se colocarán estribos número 3 @ 0,15 metros.

- Confinamiento

Según la sección 21.6.4.1 del ACI dice que debe suministrarse de refuerzo transversal en una longitud medida desde cada cara del nudo y a ambos lados de cualquier sección donde pueda ocurrir fluencia por flexión como resultado de desplazamientos laterales inelásticos. Dicha longitud no debe ser menor que la mayor de:

  - h = 40 cm
  - 1/6 Ln = 1/6 x 300cm = 50 cm
  - 45 cm

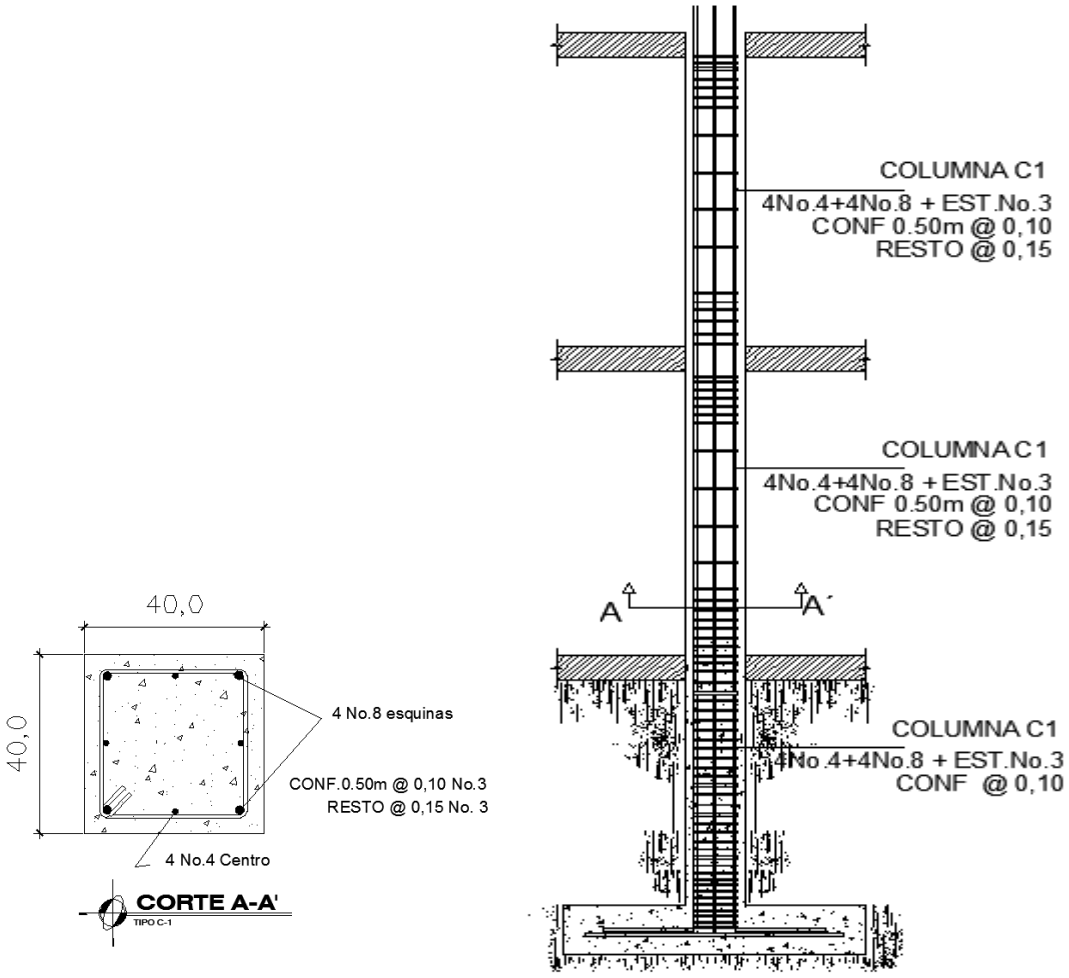
Según la sección 21.6.4.3 dice que la separación del refuerzo transversal a lo largo del eje longitudinal del elemento no debe exceder el valor menor de:

  - 1/4 b = 1/4(40) -> 10 cm
  - 6 x ϕLongitudinal = 6 x 2 ,54 = 15 ,24 cm

Por lo tanto la longitud de confinamiento es de 0,50 metros en ambos extremos de la columna con estribos número 3 a cada 0,10 metros.

El mismo procedimiento se desarrolla para el diseño del refuerzo longitudinal y transversal de la columna en el segundo nivel, proponiendo el mismo armado el cual cumple también con las condiciones ya presentadas.

Figura 31. **Armado final de columna**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

2.1.8.2.3. Diseño de losa

Son elementos estructurales que, además de funcionar como diafragmas para transmitir cargas horizontales, también sirven como cubiertas que protegen de la intemperie y como entrepisos en el edificio.

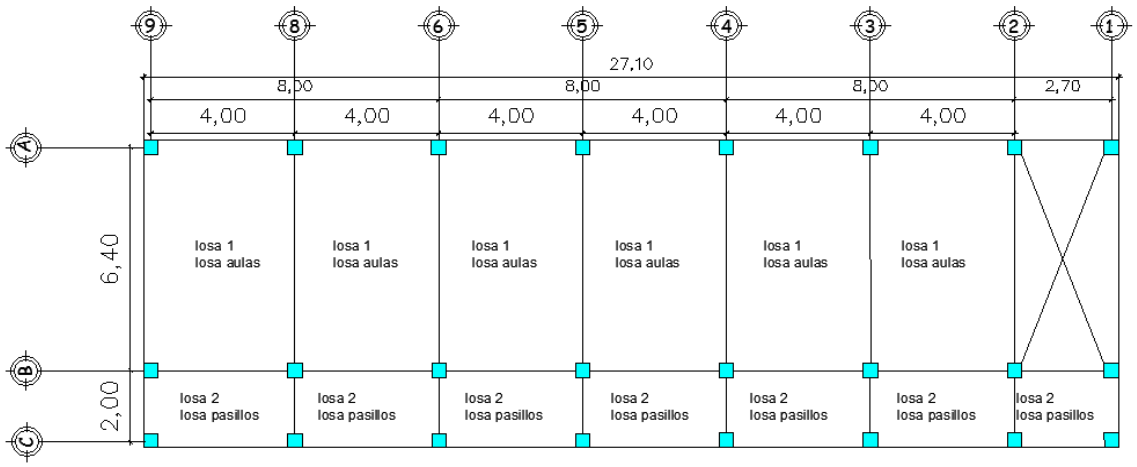
Dependiendo de la geometría de la losa, esta puede trabajar en uno o ambos sentidos. Para saber cómo trabaja una losa se tiene la siguiente expresión:

$$m = \frac{a\ lado\ menor}{b\ lado\ mayor}$$

Si m ≥ 0,50 la losa trabaja en ambos sentidos

Si m < 0,50 la losa trabaja en un sentido.

Figura 32. **Planta típica de losas del primer nivel**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014

Se procede a identificar en qué sentido trabajan las losas:

$$losa\ aulas = \frac{4}{6\ ,4} = 0\ ,625$$

$$losa\ pasillos = \frac{2}{4} = \ 0\ ,5$$

Por lo tanto las losas tipo 1 y 2, trabajan en ambos sentidos y para su diseño se emplea el método 3 del Código ACI, también conocido como el método de los coeficientes.

- Peralte

Según sección 2.1.3.2 de este documento el peralte es de 12 cm.

- Carga de diseño

$$Cu = 1.4CM + 1.7CV$$

Para ambos tipos de losa la carga muerta es la misma.

Para la integración de carga muerta se utilizaron todas las cargas de la tabla III.

Tabla LIV. **Integración carga muerta**

Elemento	carga [kg/m2]	carga [kg/m2]
concreto reforzado [kg/m3]	2 400 x 0 ,12 m	288
repellos y cernidos	25	25
piso de granito	120	120
relleno	25	25
sobre carga	35	35
CM		493 kg/m2

Fuente: elaboración propia

CM = 493 kg/m2 x 1 ,4 → 690,2 kg/m2

Losa aulas (según AGIES) CV = 200 kg/m2 x 1 ,7 → 340 kg/m2

Losa pasillos (según AGIES) CV = 500 kg/m2 x 1 ,7 → 850 kg/m2

Datos de las cargas tomados de tablas II y III.

$$losa\ aulas - Cu = 690\ ,2 + 340 = 1\ 030\ ,2\frac{kg}{m2}$$

$$losa\ pasillos - Cu = 690\ ,2 + 850 = 1\ 540\ ,2\frac{kg}{m2}$$

- Momentos actuantes

$$Mi\pm = Ci \pm x\ W\ x\ L^2 i$$

Donde:

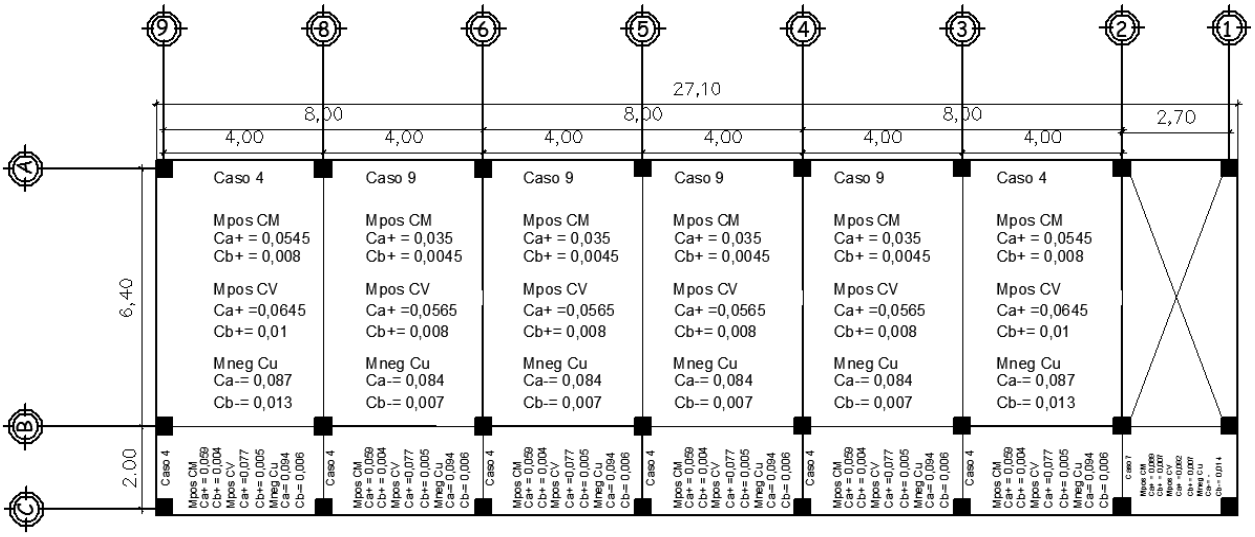
Mi± = momento en la dirección i

Ci± = factor de distribución para el lado i

W = carga uniforme total

L = longitud en dirección i

Figura 33. **Coeficientes para momentos en losas en ambos sentidos**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Los coeficientes para momentos positivos y momentos negativos para m = 0,625; m = 0,74 fueron obtenidos según su caso, mediante una interpolación de los valores para m = 0,65 y m = 0,60; m= 0,75 y m = 0,70 respectivamente de las tablas 7.2 del ACI para momentos en losas.

Losas del primer nivel caso 4, área de aulas.

- Momentos Flexionantes.

  - M positivos:

$$Ma+ = 0,0545 \; x \; 690,2 \; x \; 4^2 + 0,0645 \; x \; 340 \; x \; 4^2 = 952,73 \; kg - m$$

$$Mb+ = 0,008 \; x \; 690,2 \; x \; 6,4^2 + 0,01 \; x \; 340 \; x \; 6,4^2 = 365,43 kg - m$$

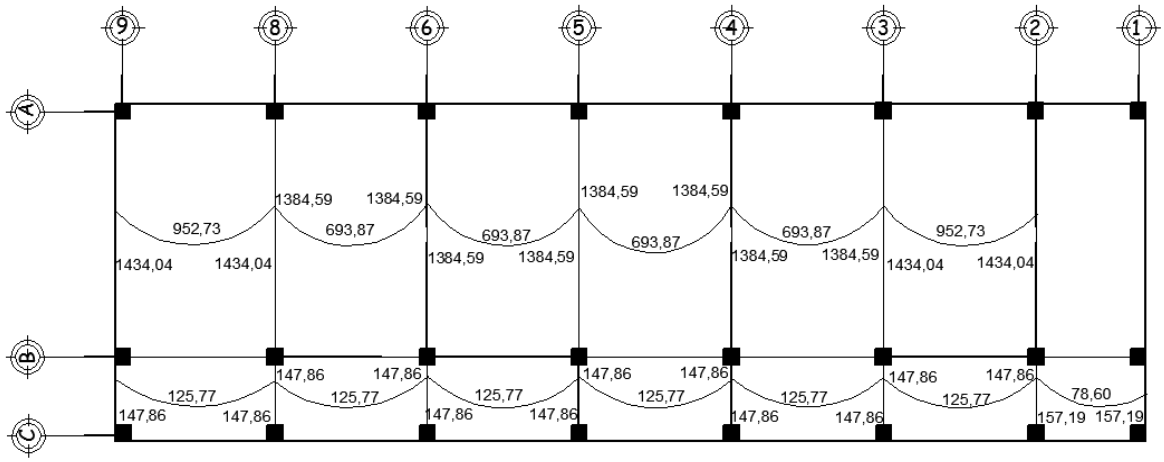
  - M negativos

$$Ma- = 0,087 \; x \; 1030,2 \; x \; 4^2 = 1434,04 \; kg - m$$

$$Mb- = 0\,,013\ x\ 1\ 030\,,2\ x\ 6\,,4^2 = 548\,,56\ kg - m$$

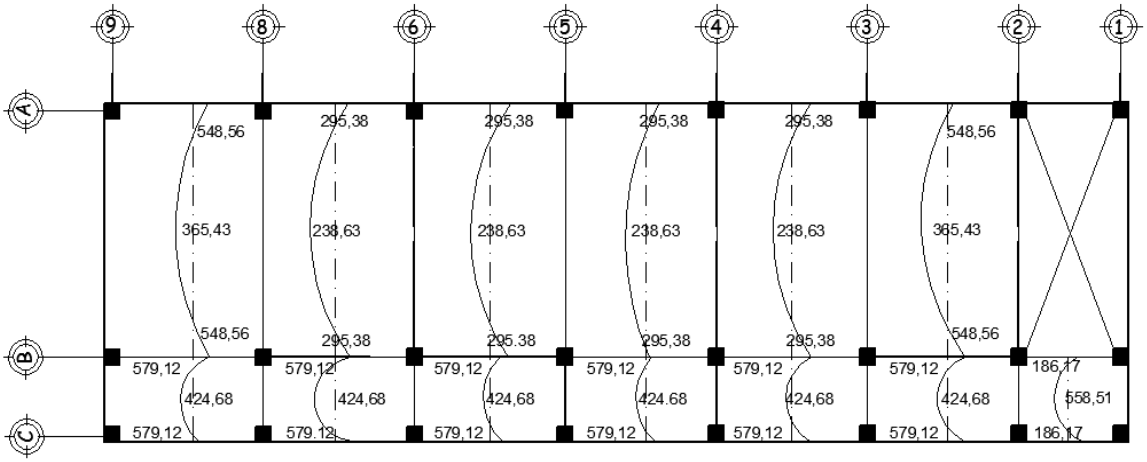
Según el procedimiento anterior, se calculan los momentos restantes en todas las losas.

Figura 34. **Momentos a ± de losas en primer nivel en kg-m**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Figura 35. **Momentos b ± de losas en primer nivel en kg-m**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

- Balanceo de momentos

Cuando dos losas presentan un lado en común con momentos diferentes se debe realizar un balance en los valores previo al diseño del acero de refuerzo que se requiere.

El balanceo de los momentos puede hacerse mediante un promedio de los valores, si se cumple la siguiente condición:

$$0\,,80\ x\ Mmayor < Mmenor$$

Si no se cumple la condición, el balanceo de momentos se procede a realizar por su rigidez. Para determinar el balance de momentos por rigideces se tiene la siguiente expresión:

$$M\ bal = M \pm Di(M\ mayor - M\ menor)$$

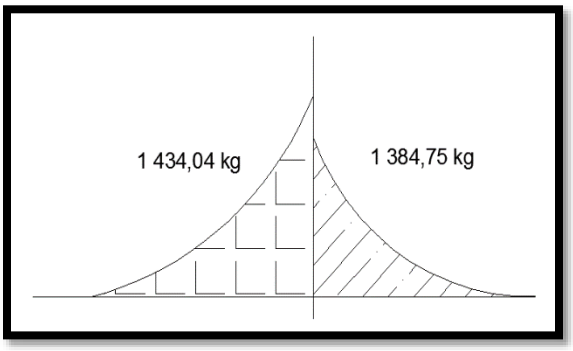
Donde:

$$Di = \frac{K}{\sum K}$$

$$K = \frac{1}{L}$$

Balanceo de Momentos 1:

Figura 36. **Balance de Momentos 1**



Fuente: elaboración propia

$$0\ ,80\ x\ 1\ \ 434\ ,04\ kg - m < 1\ \ 384\ ,75\ kg - m$$

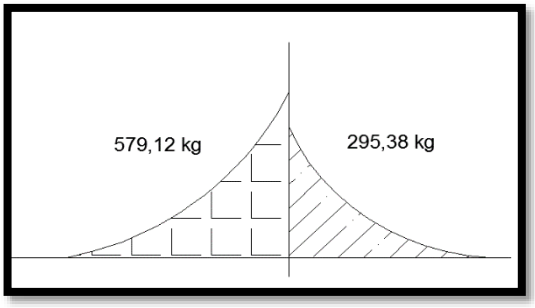
$$1\ 147\ ,23\ kg - m < 1\ \ 384\ ,75\ kg - m$$

Cumple la condición, lo que indica que el balance de momentos puede realizarse mediante un promedio de los valores. Por lo tanto el momento balanceado corresponde a:

$$M\ bal = \frac{1\ \ 434\ ,04 + 1\ 384\ ,75}{2} \rightarrow 1\ 409\ ,39\ kg - m$$

Balanceo de momentos 2:

Figura 37. **Balance de momentos 2**



Fuente: elaboración propia.

$$0\,,8\ x\ 579\,,12\ kg-m < 295\,,38\ kg-m$$

$$463\,,29\ kg-m < 295\,,38\ kg-m$$

No cumple la condición, el balance de momentos se realiza por el método de rigideces.

$$K1 = \frac{1}{6\,,4} \rightarrow 0\,,156$$

$$K2 = \frac{1}{2} \rightarrow 0\,,5$$

$$D1 = \frac{K1}{K1+K2} \rightarrow \frac{0\,,156}{0\,,156+0\,,5} = 0\,,24$$

$$D2 = \frac{K2}{K2+K1} \rightarrow \frac{0\,,5}{0\,,5+0\,,156} = 0\,,76$$

Comprobación:

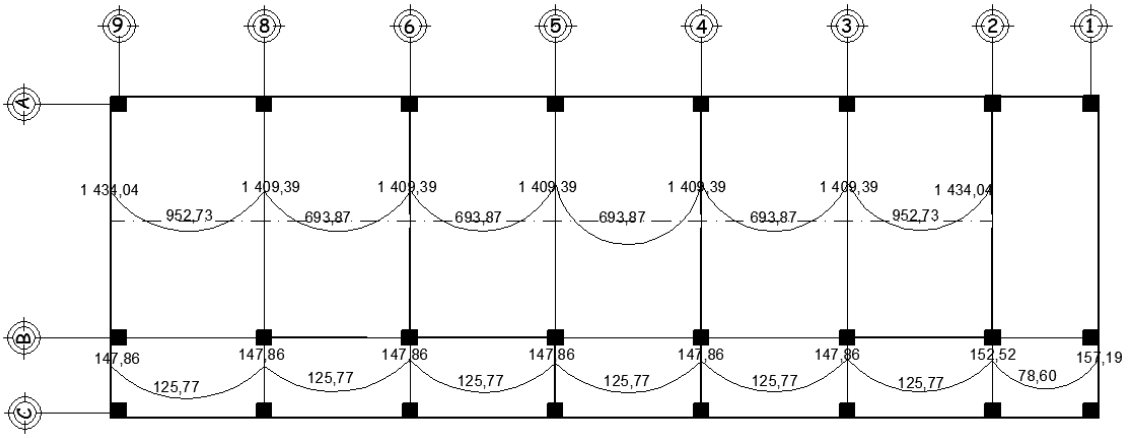
$$\sum D = 0\,,24+0\,,76 = 1$$

$$M\ bal = 579\,,12 - 0\,,24(579\,,12 - 295\,,38) = 511\,,02\ kg-m$$

$$M\ bal = 295\,,38 + 0\,,76(579\,,12 - 295\,,38) = 511\,,02\ kg-m$$

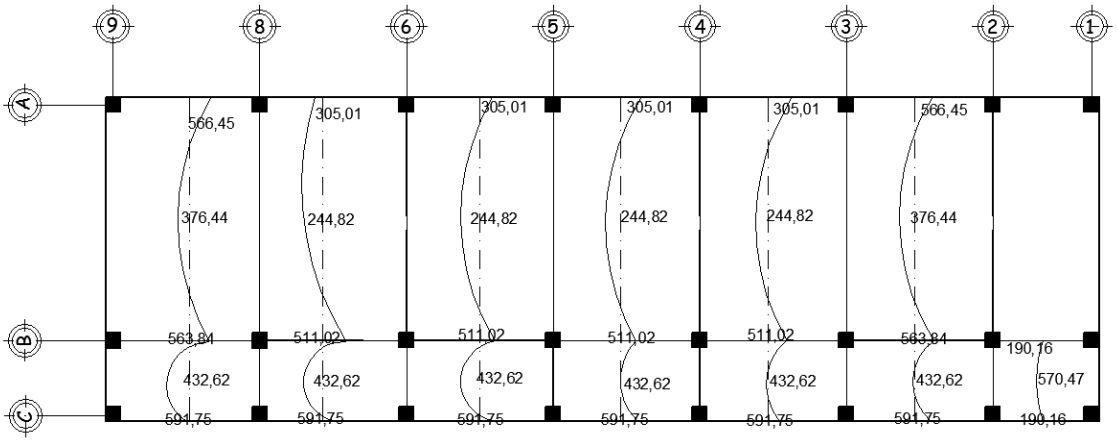
De igual manera se realiza el balance para todos los momentos que hagan falta.

Figura 38. **Momentos a ± balanceados de losas en primer nivel.**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Figura 39. **Momentos b ± balanceados de losas en primer nivel.**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

- Diseño de Acero de refuerzo

  - Peralte efectivo

Para determinar el peralte efectivo en la losa un recubrimiento de 2,5 centímetros.

$$d = t - recubrimiento \rightarrow 12\ cm - 2\ ,5\ cm = 9\ ,5\ cm$$

Donde:

t = espesor de la losa en cm

- Acero mínimo

Según la sección 10.5 del ACI 318-08 dice que para elementos sometidos a flexión el área de acero no debe ser menor a:

$$As\ \min = 40\%\ (\frac{14\ ,1}{fy})(bw\ x\ d)$$

$$As\ min = 0\ 4\ x\ 0\ 8\ \sqrt{(f´c)}/fy\ bwd$$

Donde:

Fy = resistencia a compresión del concreto 281kg/cm^2

Fy: esfuerzo de fluencia del acero igual a 4,200 kg/cm^2

bw: base unitaria igual a (100 cm)

d: peralte efectivo

$$As\ \min = 0\ ,4\ (\frac{14\ ,1}{4\ 200})(100\ x\ 9\ ,5) \rightarrow 1\ ,27\ \frac{cm2}{cm}$$

$$As\ min = 0\ 4\ x\ 0\ 8\ \frac{\sqrt{281}}{4200}\ (100\ x\ 9\ ,5) \rightarrow 1\ ,21$$

Por lo tanto el acero mínimo es 1,27 cm^2

- Espaciamiento

Para determinar el espaciamiento del refuerzo en la losa, se tiene la siguiente expresión:

$$S = \frac{As\ ref\ x\ bw}{As}$$

Donde:

As ref = área de refuerzo a utilizar.

bw = base de 100 cm a utilizar

Según la sección 13.3.2 del ACI 310-08 dice que el espaciamiento del refuerzo no debe exceder dos veces el espesor de la losa.

$$Smax = 2\ x\ t = 2\ x\ 12 \rightarrow 24\ cm$$

Por facilidad se adoptará 20 centímetros para el espaciamiento máximo y el área de acero requería para dicho espaciamiento corresponde a:

$$As = \frac{0\ ,71\ x\ 100}{20} \rightarrow 3\ ,55\ cm2$$

- Momento mínimo

$$Mmin = \ \phi\ x\ Asmin\ x\ fy\ x\ \left(d - \frac{As\ \min\ x\ fy}{1\ ,7\ x\ f´c\ x\ b}\right)$$

Donde:

f´c = resistencia específica a la compresión del concreto igual a 280 kg/cm2

$$Mmin = \ 0\ ,9\ x\ 3\ ,55\ x\ 4\ 200\ x\ \left(9\ ,5 - \frac{3\ ,55\ x\ 4\ 200}{1\ ,7\ x\ 280\ x\ 100}\right) \rightarrow 123\ 277{,}19\ kg - cm$$

$$= 1\ \ 232\ ,77\ kg - m$$

Para aquellos momentos que son menores al valor del momento mínimo, se utiliza el área de acero mínimo y para aquellos momentos que sobrepasan su valor se utiliza la siguiente expresión:

$$As = [\ b\ x\ d - \sqrt{(b\ x\ d)^2 - (\frac{Mu\ x\ b}{0\ ,003825\ x\ f´c}}]\ x\ \frac{0\ ,85\ x\ f´c}{fy}$$

Tabla LV. **Áreas de acero y separación para losas de primer nivel**

Mu [kg-m]	As [cm2]	S [cm]	Armado	Área
Mu < 1 232 ,77	3 ,55	20	No. 3 @ 0 ,20 m ambos lados	losa de pasillos
1 409 ,39	3 ,86	15	No. 3 @ 0 ,15 m ambos lados	Losa de aulas

Fuente: elaboración propia.

- Chequeo por corte

Las losas están sometidas a esfuerzos de corte, los cuales deben ser resistidos por sus materiales. En este caso, por el tipo de losa que se utiliza, dichos esfuerzos deben ser resistidos únicamente por el concreto. Por tal razón se debe verificar si el espesor de la losa es adecuado.

$$Vactuante < Vresistente$$

Donde:

$$Vmax = \frac{CU\ x\ a}{2}$$

$$Vc = 0\ ,85\ x\ 0\ ,53\ x\ \sqrt{f´c}\ x\ bw\ x\ d$$

CU = carga ultima de losa analizada

a = el lado más corto de la losa

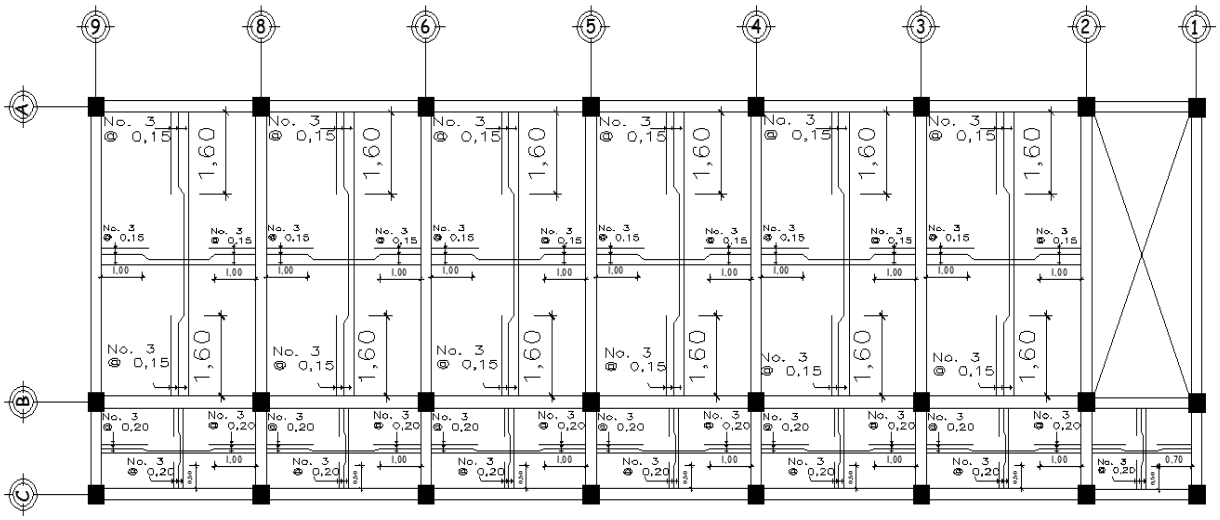
A continuación se verificará si el espesor de losa propuesto es el adecuado para las losas en una dirección del primer nivel.

$$\frac{1\ 540\ ,2\ x\ 2}{2} < 0\ ,85\ x\ 0\ ,53\ x\ \sqrt{280}\ x\ 100\ x\ 9\ ,5$$

$$1\ 573\ ,8\ kg < 7\ 161{,}39\ kg$$

Por lo tanto, el espesor de 12 centímetros es adecuado para las losas de pasillos que trabajan en dos sentidos para el primer nivel. De igual manera se verifica en las demás losas, el resultado es que el espesor propuesto es adecuado para todas las losas.

Figura 40. **Detalle de armado de losa de primer nivel, modulo I**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

2.1.8.2.4. Diseño de zapatas

Son elementos que reciben las cargas propias de la estructura y las cargas externas aplicadas a la misma. Los cimientos se encargan de transmitir estas cargas al suelo. Para este proyecto, se utilizó una cimentación superficial que consiste en zapatas aisladas de concreto reforzado.

- Diseño de zapata

Datos:		
Pu	57 332 ,34	kg
Mx	9 402 ,14	kg-m
My	6 632 ,81	kg-m
Vs	24 679	kg/m2
peso específico del suelo		1 500 kg/m3
Desplante	1 ,5 m	
peso específico del concreto		2 400 kg/m3

Fuente: elaboración propia

La sección 15.2.2 del ACI indica que para considerar cargas de servicio se utiliza el Factor de Carga Última (FCU), definido de la siguiente manera:

$$fcu = \frac{Cu}{CM + CV}$$

Donde:

$$fcu = \frac{Cu}{CM + CV}$$

Cu = carga axial última

CM = carga muerta

CV = carga viva

$$Fcu = \frac{57\ \ 332\ ,34kg}{30\ \ 317\ ,3kg + 6\ \ 240kg}$$

$$Fcu = 1\ ,5$$

- Cargas de trabajo:

$$P' = \frac{Pu}{fcu}$$

$$Mtx = \frac{Mux}{fcu}$$

$$Mty = \frac{Muy}{fcu}$$

$$Pt = \frac{57\ \ 332\ ,34}{1\ ,5} \longrightarrow 38\ \ 221\ ,56\ kg$$

$$Mtx = \frac{9\ \ 402\ ,14}{1\ ,5} \longrightarrow 6\ \ \ 268\ ,09\ kg - m$$

$$Mty = \frac{6\ \ 632\ ,81}{1\ ,5} \longrightarrow 4\ \ 421\ ,87k\ g - m$$

- Área de zapata

$$A = \frac{1\ ,5\ x\ 38\ 221\ ,56\ kg}{24\ 679\frac{kg}{m2}} \rightarrow\ 2\ ,32\ m2$$

Si se propone una zapata cuadrada para cubrir 2,32 metros cuadrados solo se toma en cuenta la carga de trabajo y no la acción de momentos, es por ello que se proponen una zapata con dimensiones de 1,90 x 1,90 metros.

Comprobación de presión sobre el suelo

Para realizar la comprobación se debe cumplir la condición:

$$qmax < Vs$$

$$qmin > 0$$

La sección 15.2.1 del ACI, permite calcular las presiones del suelo mediante:

$$qmax\ \min = \frac{P}{A} \pm \frac{Mtx}{sx} \pm \frac{Mty}{sy}$$

Siempre y cuando se cumpla la siguiente condición:

$$e > \frac{B}{6} \rightarrow trabaja\ a\ tension\ y\ compresión$$

De lo contrario aplicar otra fórmula para calcular qmax.

Donde.

$$Sx = Sy = \frac{1}{6} bh^2$$

$$P = Pu + Pcolumna + Psuelo + Pcimiento$$

$Pcolumna = 0\ ,4x0\ ,4x(7\ ,9)x\ 2\ 400 =\ 3\ 033\ ,6\ kg$

$Psuelo = 1\ ,5\ x\ 1\ ,90\ x\ 1\ ,90\ x\ 1\ \ 500 = 8\ 122\ ,5\ kg$

$Pcimiento = 1\ ,90\ x1\ ,90\ x\ 0\ ,2\ x\ 2\ 400 = 1\ 732\ ,8\ kg$

$Pt = 38\ \ 221\ ,56\ kg$

$$P = 51\ 110\ ,46\ kg$$

$$Sx = Sy = \frac{1}{6}\ x\ 1\ ,90\ x\ 1\ ,90^2 \rightarrow 1\ ,14$$

$$qmax = \frac{51\ 110\ ,46}{1\ ,90\ x\ 1\ ,90} + \frac{6\ 268\ ,09}{1\ ,14} + \frac{4\ 421\ ,87}{1\ ,14} \rightarrow 23\ 535\ ,18 \frac{kg}{m2} < 24\ 679 \frac{kg}{m2}$$

$$\rightarrow cumple$$

$$qmin = \frac{51\ 110\ ,46}{1\ ,90\ x\ 1\ ,90} - \frac{6\ 268\ ,09}{1\ ,14} - \frac{4\ 421\ ,87}{1\ ,14} \rightarrow 4\ 780\ ,86 \frac{kg}{m2} > 0 \frac{kg}{m2} \rightarrow cumple$$

La presión máxima no excede el valor soporte del suelo, y la presión mínima es mayor que cero, lo que indica que no existe presión negativa. Por lo tanto las dimensiones propuestas para la zapata son adecuadas.

- Espesor de zapata

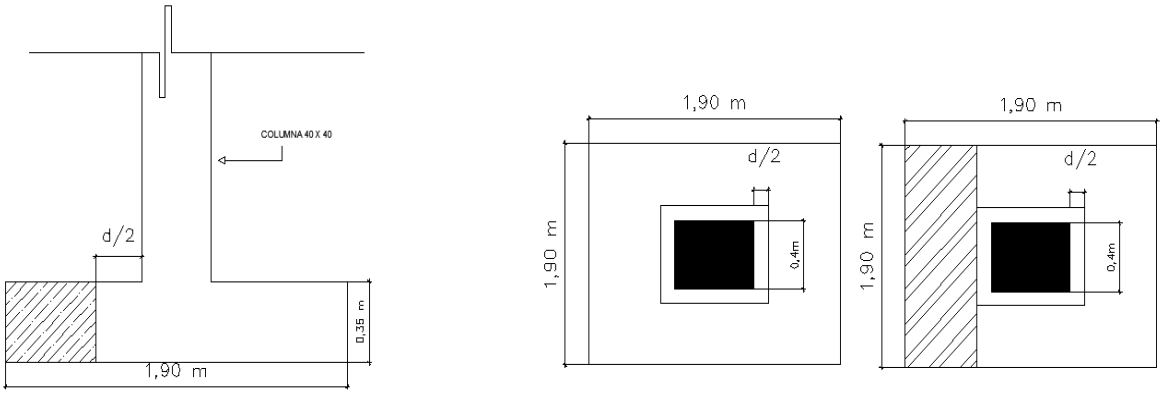
Según la sección 15.7 del ACI 318-08 dice que la altura de zapatas sobre el refuerzo inferior no debe ser menor que 0,15 metros para zapatas apoyadas sobre el suelo. Tomando en cuenta lo anterior, se propone un espesor de 35 centímetros con un recubrimiento de 7,5 centímetros.

Comprobación por corte simple:

La falla debido al esfuerzo cortante ocurre a una distancia igual al peralte efectivo del borde de la columna. Por ello, se debe comprobar si en esa zona el peralte resiste el esfuerzo cortante.

Se asumirá que el comportamiento de las presiones sobre el suelo es de forma lineal, de manera tal que se utilizará la presión máxima (qmax) calculada anteriormente. Para poder diseñar la zapata por el método de cargas últimas, se utilizará el Factor de Carga Última (FCU)

Figura 41. **Dimensiones para chequeo por corte simple para zapata**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

- Recubrimiento

$$d = 35 - 7\,,5 = 27\,,5\ cm$$

- Corte actuante

$$Vact = qmax\ x\ fcy\ x\ A \rightarrow\ 23\,535\,,18\ x\ 1\,,5\ x \left(\frac{1\,,90 - 0\,,4}{2} - 0\,,275\right) x\ 1\,,50$$

$$=\ 25\,153\,,22\ kg$$

- Corte resistente

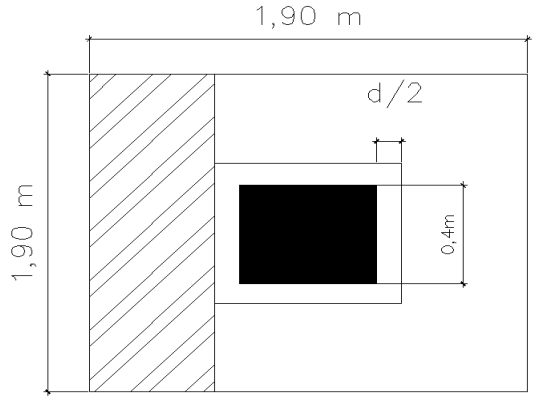
$$Vres = \phi\ x\ 0\,,53\ x \sqrt{f'c}\ x\ bd \rightarrow 0\,,85\ x\ 0\,,53\ x \sqrt{280}\ x\ 190\ x\ 27\,,5$$

$$=\ 39\ \ 387\,,65\ kg > 25\,153\,,22\ kg \rightarrow cumple$$

El corte actuante es menor que el corte resistente. El espesor propuesto resiste el esfuerzo cortante, por lo tanto es adecuado.

- Comprobación por corte punzante

Figura 42. **Dimensiones del área punzante de la zapata**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

La zapata se encuentra sometida a esfuerzos de corte punzante a causa de los esfuerzos de corte que se producen en ella alrededor del perímetro de la columna; esta falla ocurre a un límite de d/2 del perímetro de la columna.

$$\frac{d}{2} \rightarrow \frac{27\,,5}{2} = 13\,,75$$

- Área de punzonamiento

$$Ap = Azapata - (c + d)^2 \rightarrow 3\,,61 - (0\,,40 + 0\,,275)^2 = \ 3\,,15\ m2$$

- Perímetro de la sección de punzonamiento

$$Bo = 4(d + c) \rightarrow 4(0\,,275 + 0\,,4) = 2\,,7\ m$$

- Corte actuante

$$Vact = q\max x\ fcu\ \ x\ Ap \rightarrow \ x\ 3\,,15 = 110\ 343\,,77\ kg$$

- Corte resistente sección 11 ,11 ,2 ,1 ACI

$$Vres = 0\,,85\ x\ 1\,,0(\ concreto\ de\ peso\ normal)\ x\ \sqrt{f´c}\ x\ Bo\ x\ d$$

$$Vres = 0\,,85\ x\ 1\,,0\ \ x\ \sqrt{280}\ x\ 270\ x\ 27\,,5 = 111\ 943\,,86\ kg$$

$$111\ 943\,,86\ kg > 110\ 343\,,77\ \ kg \rightarrow si\ cumple$$

El corte actuante es menor que el corte resistente. El peralte es adecuado y resiste el corte punzante.

- Refuerzo a flexión

El empuje hacia arriba del suelo produce momentos flectores en la zapata, por esa razón, es necesario reforzarla con acero para soportar los esfuerzos inducidos.

El tramo de la zapata donde se debe reforzar por flexión, se analiza como una losa en voladizo. Debido a que la zapata es cuadrada y los momentos en los sentidos X y Y presentan similitud, el armado será similar para X y Y.

La sección 15.4.2 del código ACI permite tomar la sección crítica ubicada en el rostro de la columna.

$$Mu = \frac{q\ max\ x\ L^2}{2} \rightarrow \frac{35\ 302\ ,77\ x\ \left(\frac{1\ ,9-0\ ,40}{2}\right)^2}{2} = 9\ 928\ ,90\ kg-m$$

Definido el momento producido por el empuje del suelo, se determinar el área de acero.

$$As = \left[b\ x\ d - \sqrt{(b\ x\ d)^2 - \frac{Mu\ x\ b}{0\ ,003825\ x\ f´c}} \right] x\ \frac{0\ ,85\ x\ f´c}{fy}$$

$$As = [\ 190\ x\ 27\ ,5 - \sqrt{(190\ x\ 27\ ,5)^2 - (\frac{9\ 928\ ,90\ x\ 190}{0\ ,003825\ x\ 280}]\ x\ \frac{0\ ,85\ x\ 280}{4\ 200}$$

$$= 9\ ,71\ cm2$$

- Cálculo de acero mínimo

$$As = \frac{14}{fy}\ b\ x\ d$$

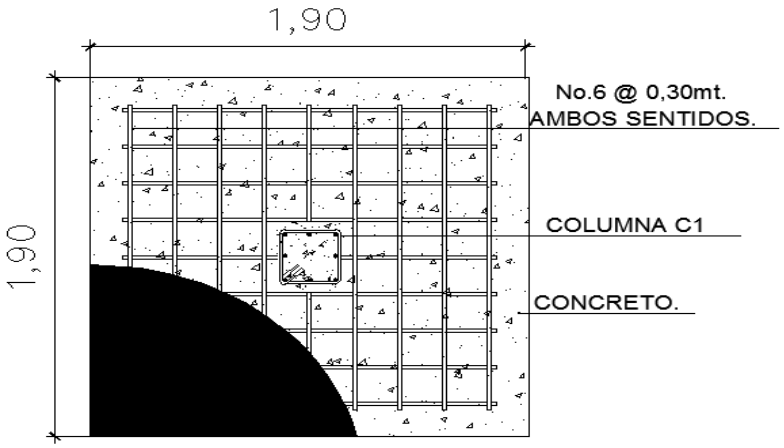
$$Asmin = \frac{14\ x\ 190\ x\ 27\ ,5}{4\ 200} = 17\ ,41\ cm2$$

Debido a que el acero mínimo es mayor que el acero requerido, se utiliza el acero mínimo. Se procede a calcular el espaciamiento del refuerzo con varilla número 6 como propuesta de armado.

$$S = \frac{No\ \ ,6 \rightarrow 2\ ,85\ cm2\ x\ 1\ ,90m}{17\ ,41\ cm2} = 0\ ,30\ m$$

Se usará un espaciamiento de barras igual a s = 30 centímetros. Según la sección 15.10.4, el espaciamiento máximo permitido es 45 centímetros.

Figura 43. **Armado final en planta de zapata**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014

2.1.8.2.5. Diseño de gradas

La forma y disposición que se le da a un módulo de gradas depende principalmente de las dimensiones e importancia de la edificación, del espacio que el proyecto les otorgue y finalmente del material y tipo de construcción escogida.

Una escalera debe ser cómoda y segura, dependiendo de la relación de los peldaños, es decir, la relación de huella (C) y contrahuella (H), cumpliendo con los siguientes criterios:

a) Contra huella (C) ≤0,20 m
b) Huella (H) > Contrahuella (C)
c) 2C + H ≤ 0,64 m (valor cercano)

d) C + H = 0,45 - 0,48 m
e) CH = 480 cm^2 – 500 cm^2

- Relaciones de comodidad:

Se propone una contrahuella de 16,5 cm y una huella de 30 cm

$$No\ , de\ escalones = \frac{3\ ,2\ m}{0\ ,165\ m} \rightarrow 19\ ,,39 = 20\ escalones$$

Se chequea que cumpla con los criterios antes previstos:

$$C = 16\ ,5\ cm\ ; H = 30\ cm$$

a) C = 16,5 cm ≤0 ,20 m --cumple
b) 30 cm > 16,5 cm -- cumple
c) 2 x 16,5 + 30 = 63 – cumple
d) 16,5 + 30 = 46,5 --- cumple
e) 16,5 x 30 = 495 -- cumple

Como todo chequeo, se tienen 20 contrahuellas de 16,50 cm, 20 huellas de 30 cm.

- Espesor de losa

Para ello se utiliza el espesor dado por el ACI para losas en una dirección según sección 9.5.3.3.

L como una longitud inclinada

$$t = \frac{L}{20} \rightarrow \frac{4\ ,20}{30} = 14\ cm$$

- Integración de cargas

- CM

$$Pp = 2\,400\,x\left(0\,,14 + \frac{0\,,165}{2}\right) = 534\,\frac{kg}{m2}$$

$$Acabados\ 60\ kg/m2$$

$$CM = 534 + 60 = 594\,\frac{kg}{m2}$$

- CV

$$Cv = 500\,\frac{kg}{m2} \rightarrow segun\ AGIES\ tabla\ I$$

$$Cu = 1\,,4\ Cm + 1\,,7\ Cv$$

$$CU\ = (1\,,4x\ 594) + (1\,,7\ x\ 500) = 1\,681\,,6\,\frac{kg}{m2}$$

Según ACI los momentos actuantes en la losa son:

$$M(+) = \frac{WL^2}{9} \rightarrow \frac{1\ \ 681\,,6\ X\ 4\,,2^2}{9} = 3\ \ 295\,,95\ kg - m$$

$$M(-) = \frac{WL^2}{14} \rightarrow \frac{1\ \ 681\,,6\ X\ 4\,,2^2}{14} = 2\ \ 118\,,82\ kg - m$$

- Acero de refuerzo

Para el diseño del acero de refuerzo se utilizará una franja unitaria de 1 metro de largo, además se utilizará un peralte efectivo de la losa igual a 14 centímetros.

$$As+= [\ 100\ x\ 14 - \sqrt{(100\ x\ 14)^2 - (\frac{3\ 298\,,68\ x\ 100}{0\,,003825\ x\ 280}]}\ x\ \frac{0\,,85\ x\ 280}{4\ 200} =\ 6\,,5\ cm2$$

Se colocara refuerzo No.3 @ 10 cm

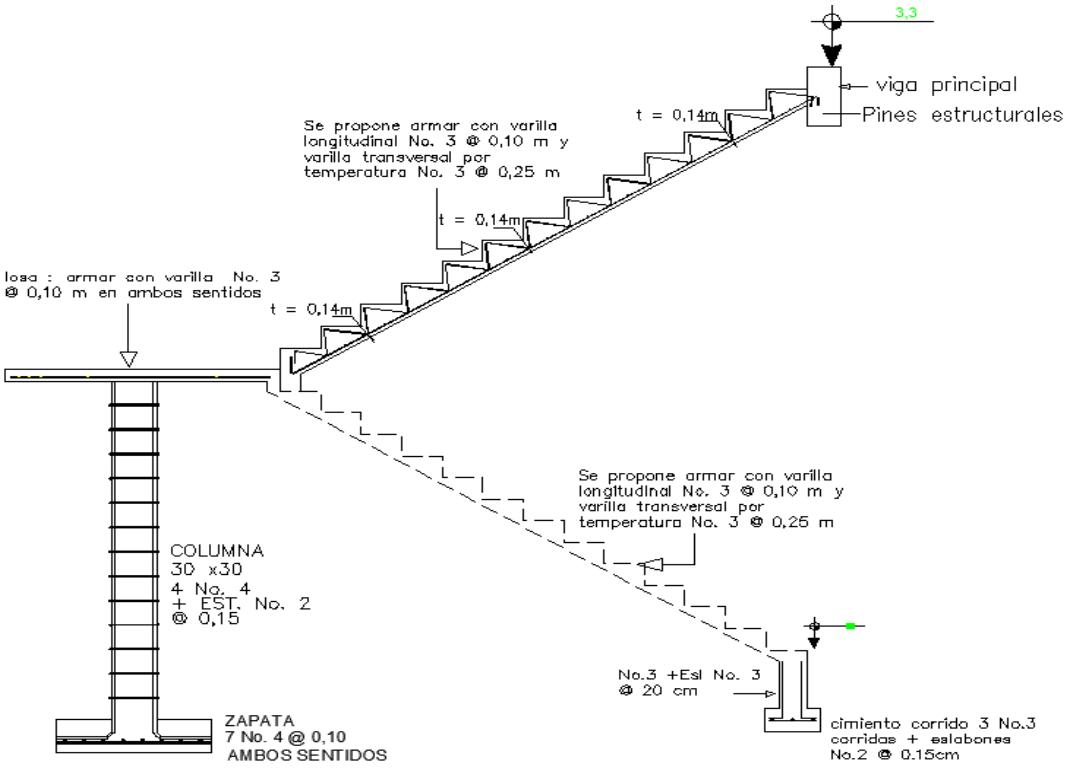
$$As-= [\ 100\ x\ 14 - \sqrt{(100\ x\ 14)^2 - (\frac{2\ 120\,,58\ x\ 100}{0\,,003825\ x\ 280}]}\ x\ \frac{0\,,85\ x\ 280}{4\ 200} =\ 4\,,11\ cm2$$

Se colocara refuerzo No. 3 @ 15 cm

$$As\ por\ temperatura = 0\,,002\ x\ 100\ x\ 14 = 2\,,8\ cm2$$

Se colocara As por temperatura en ambos sentidos No. 3 @ 25 cm

Figura 44. **Detalle de gradas**

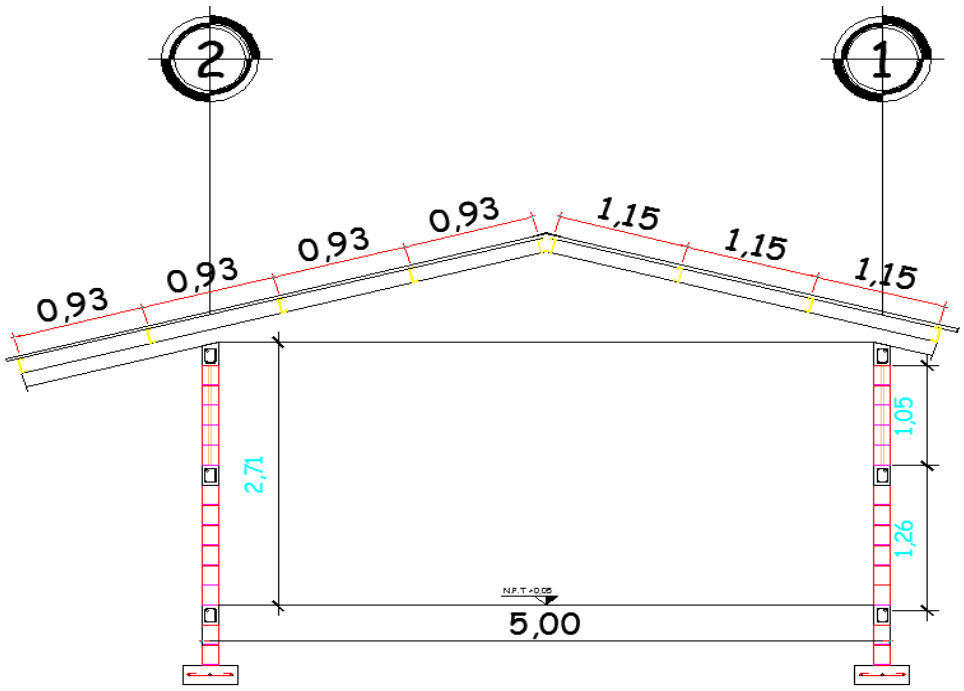


Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

2.1.8.2.6. Diseño de cubierta metálica

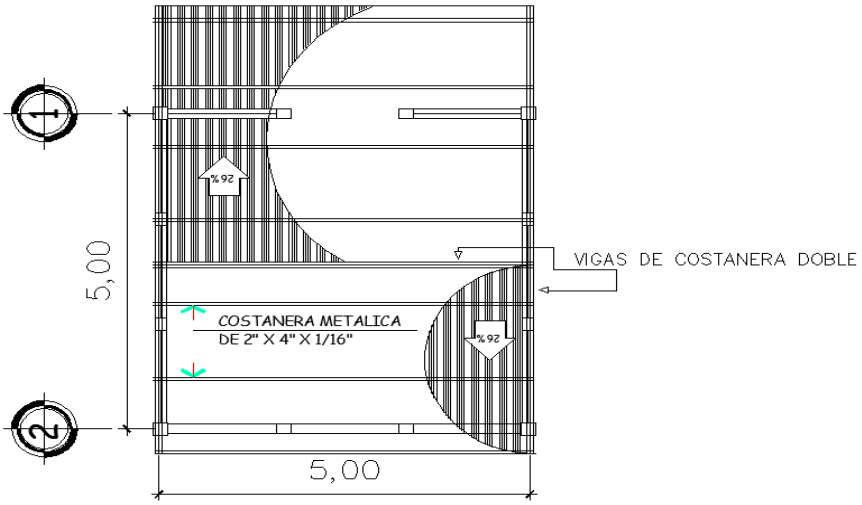
La cubierta o techo sirve de defensa contra las inclemencias del tiempo o cualquier otro agente exterior perturbador. En su construcción, tiene que tomarse en cuenta las características que deben poseer, para hacerlas más idóneas al clima o medio ambiente imperante. La cubierta será de lámina galvanizada corrugada calibre 26 que estará apoyada sobre una armadura formada por costanera y tendales.

Figura 45. **Elevación de techo metálico**



Elaboración propia con programa AutoCAD 2014

Figura 46. **Vista en planta estructura de techo metálico**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014

- Costanera

Para calcular la carga uniformemente distribuida (w) que actúa sobre cada costanera, es necesario determinar el área tributaria sobre cada costanera y las cargas por unidad de superficie del techo. Para el diseño de costanera se utilizarán las siguientes cargas:

Figura 47. **Cargas muertas para cubierta de láminas**

Tipo de lámina	Peso lb/pie²
Lamina corrugada	
Calibre 28	1.09
Calibre 26	0.82
Calibre 24	0.68
Calibre 20	2
Calibre 18	3
Lamina duralita	
Costalita de 3 mm de espesor	1.8
Ondalita de 6 mm de espesor	3
Canaleta extra	4

Fuente: Márquez Vásquez, Luis Arnoldo. *Consideraciones en el diseño de edificios industriales en acero*. Pág. 44-45.

Integración de cargas:

Lamina = 0 ,82 lb/pie^2

Instalaciones (general) = 1 lb/pie^2

Carga viva según AGIES = 12lb/pie^2

Carga de viento según Norma NSE 2 AGIES: 10lb/pie^2

- Combinación

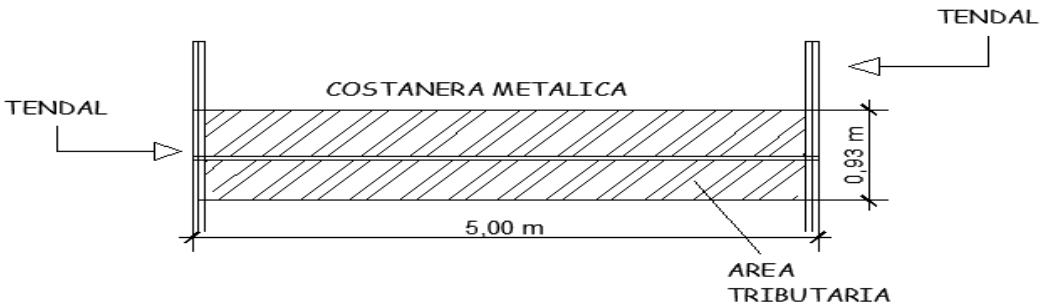
$$CM + CVIVA = 1{,}82 + 12 = 13{,}82 \text{ lb/pie}^2$$

$$CM + CVIENTO = 1{,}82 + 10 = 11{,}82 \text{ lb/pie}^2$$

Datos obtenidos de AGIES y tablas del IBC / AISC

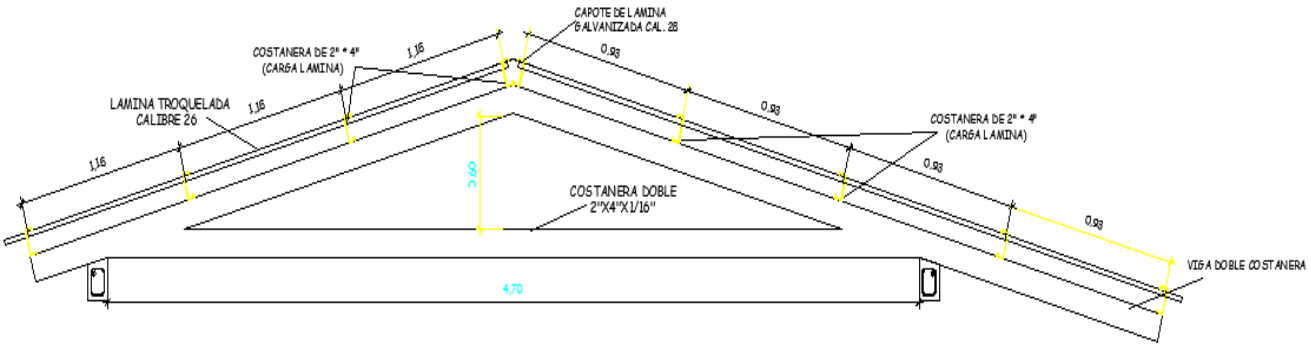
Dados las combinaciones, la carga de diseño es 13,82 lb/pie^2

Figura 48. **Área tributaria de costanera**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014

Figura 49. **Anchos tributarios elevación**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

El ancho tributario de una costanera oscila entre 0,9m y 1,20m

Ancho tributario = 3,72m/0,90m = 4,13 costaneras

Ancho tributario = 3,72m/4c = 0,93 m

El ancho tributario será de 0,93m como se muestra en la (figura 49).

Área tributaria = (5 x 0,93) x (3,28)^2 = 50 pie^2 (ver figura 48)

Carga de diseño = 13, 82 lb/pie^2

Se propone una costanera de 2” x 6” x 1/6”, la cual posee una carga de 2,29 lb/pie según tablas IBC / AISC

$$W = \frac{(carga\ total\ x\ área\ tributaria)}{longitud\ de\ costanera} + Ppropio = \frac{(13,82\ x\ 50)}{16,4} + 2,29 \rightarrow 44,42\ \frac{lb}{pie}$$

El momento máximo de una viga simplemente apoyada está dado por:

$$M = \frac{W\ X\ L^2}{8} = \frac{(44,42\ X\ 16,4^2)}{8} \rightarrow 1,49\ \frac{klb}{pie^2}$$

- Comprobación

El momento resistente de una Costanera de 2” x 6” x 1/6” es 2 ,24 klb-pie

M actuante ≤ M resistente

$$1,49\ klb - pie \leq 2,24\ \text{klb} - \text{pie}$$

Ya que el momento resistente es mayor que el momento actuante la costanera de 2” x 6” x 1/6” si cumple.

- Deflexión

La distancia perpendicular del eje neutro de la costanera hasta el punto más lejano de la curva elástica se conoce como deflexión. La deflexión real debe ser menor que la deflexión permisible.

$$Dr = \frac{5Wl^3}{384EI}$$

Donde:

Dr = deflexión real

W = carga uniformemente distribuida

L = longitud de costanera

E = elasticidad del acero (29,000) kips

I = inercia de la costanera

Datos:

W = 3,70 lb / plg

L = 196,8 plg

E = 29 000 x 10^3 lb / plg^2

I = 3,66 plg^4 de tabla IBC/AISC

$$Dr = \frac{5\ x\ 3\ ,70\ x\ 196\ ,8^3}{384\ x\ 29\ 000x10^3\ x\ 3\ ,66} \longrightarrow 0\ ,00345\ plg$$

Deflexión permisible:

Dp = L / 360

$$Dp = \frac{196\ ,8}{360} \longrightarrow 0\ ,55\ plg$$

- Comprobación

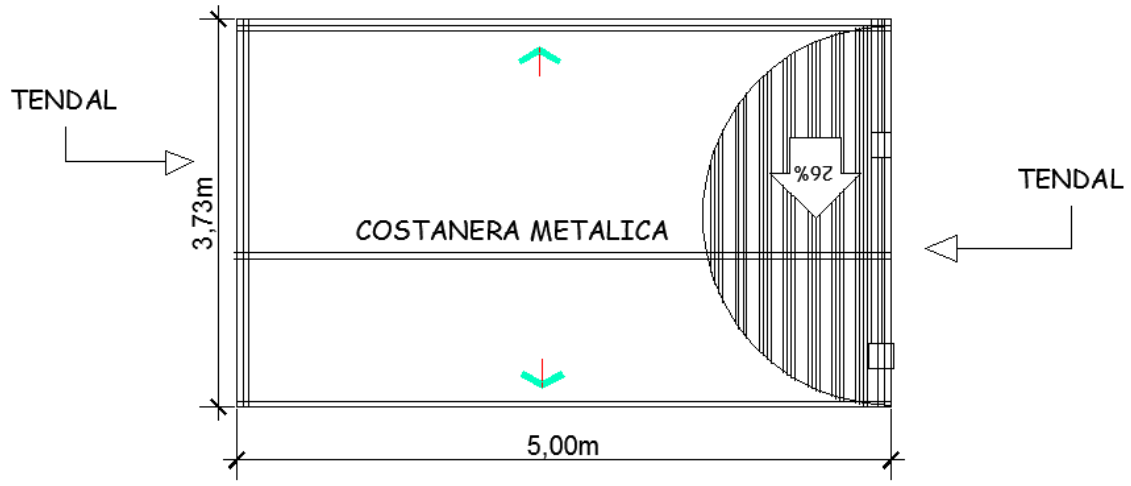
$$Dr < Dp$$

Como la deflexión real es menor que la deflexión permisible la costanera elegida es correcta.

- Tendal

Los tendales también conocidos como cuerdas superiores, son las estructuras que soportan todo el peso de la cubierta. En este caso, estarán formados por una sección cerrada de dos costaneras dobles tipo “c” como se verá más adelante.

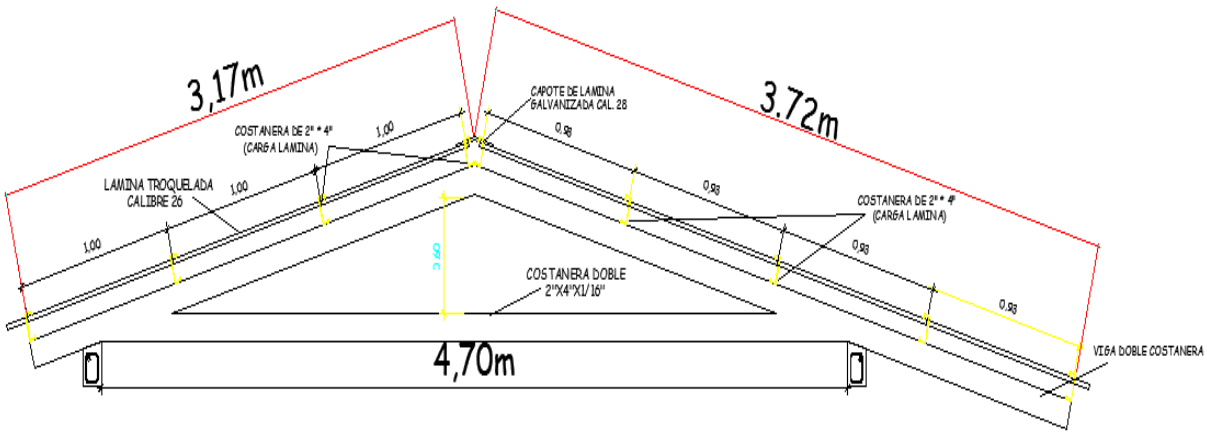
Figura 50. **Área tributaria de tendales**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Para realizar la estimación de carga, se tomarán en cuenta las cargas puntuales por costanera, y la carga distribuida por peso propio.

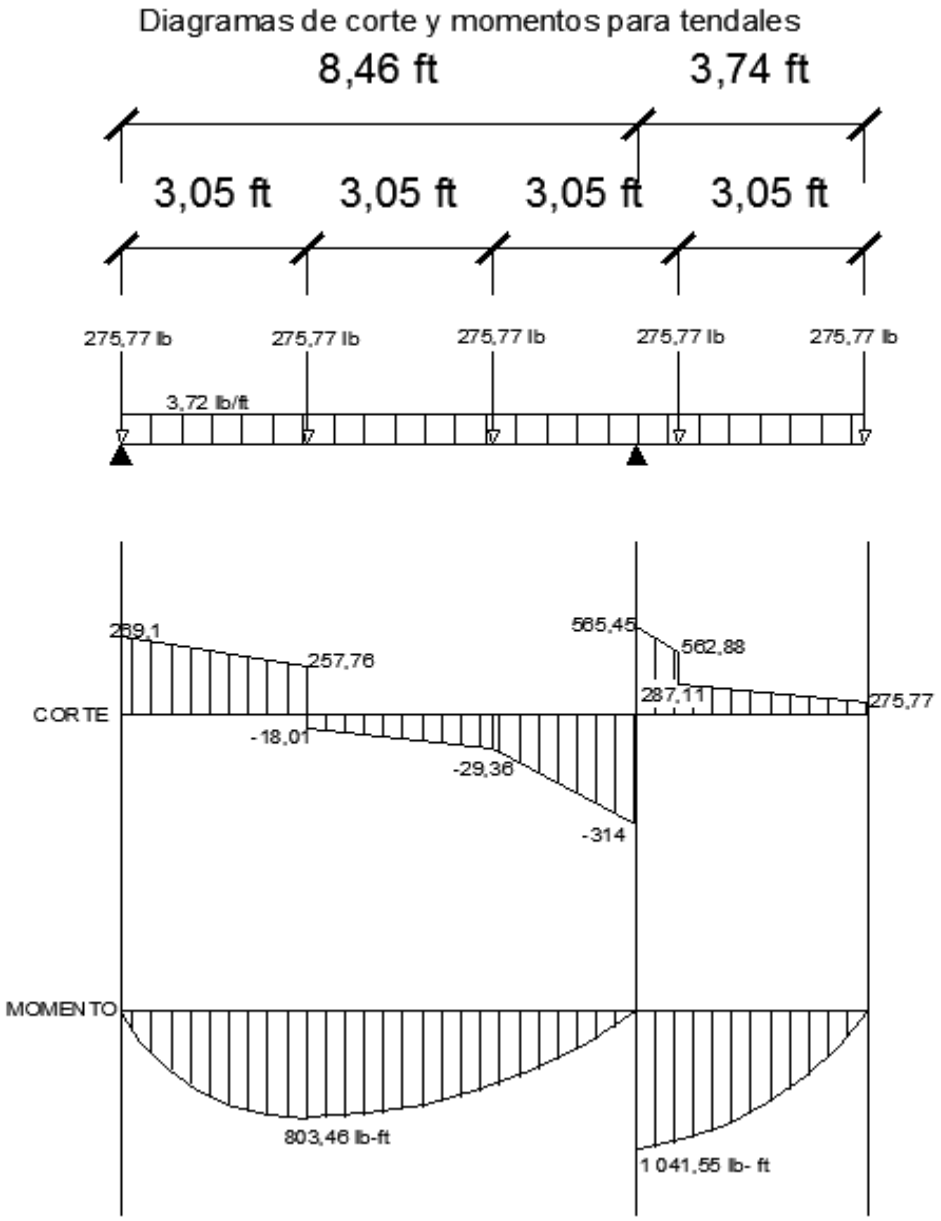
Figura 51. **Elevación cubierta metálica**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

El análisis de diseño se muestra a continuación:

Figura 52. **Análisis de diseño para tendales**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Nota: el Peso propio de la costanera doble tipo “C” 2” x 4” x 1/6”, es 3,72 lb/pie. El análisis de cargas se realizó, como se muestra en la figura anterior, cuyo resultado fue el momento actuante en la costanera doble:

$$Momento\ máximo = 1\ ,042\ klb - pie$$

- Comprobación

El momento resistente de una costanera doble de 2”x4”x1/16” es 2,63 klb-pie

M actuante ≤ M resistente

1 ,042 klb – pie ≤ 2,63 klb – pie

Ya que el momento resistente es mayor que el momento actuante la costanera doble tipo “C” de 2” x 4” x 1/6” si cumple.

2.1.9. Presupuesto

El presupuesto incluye un resumen general del costo total de ejecución del proyecto de la escuela primaria Pixcayá aldea Montúfar.

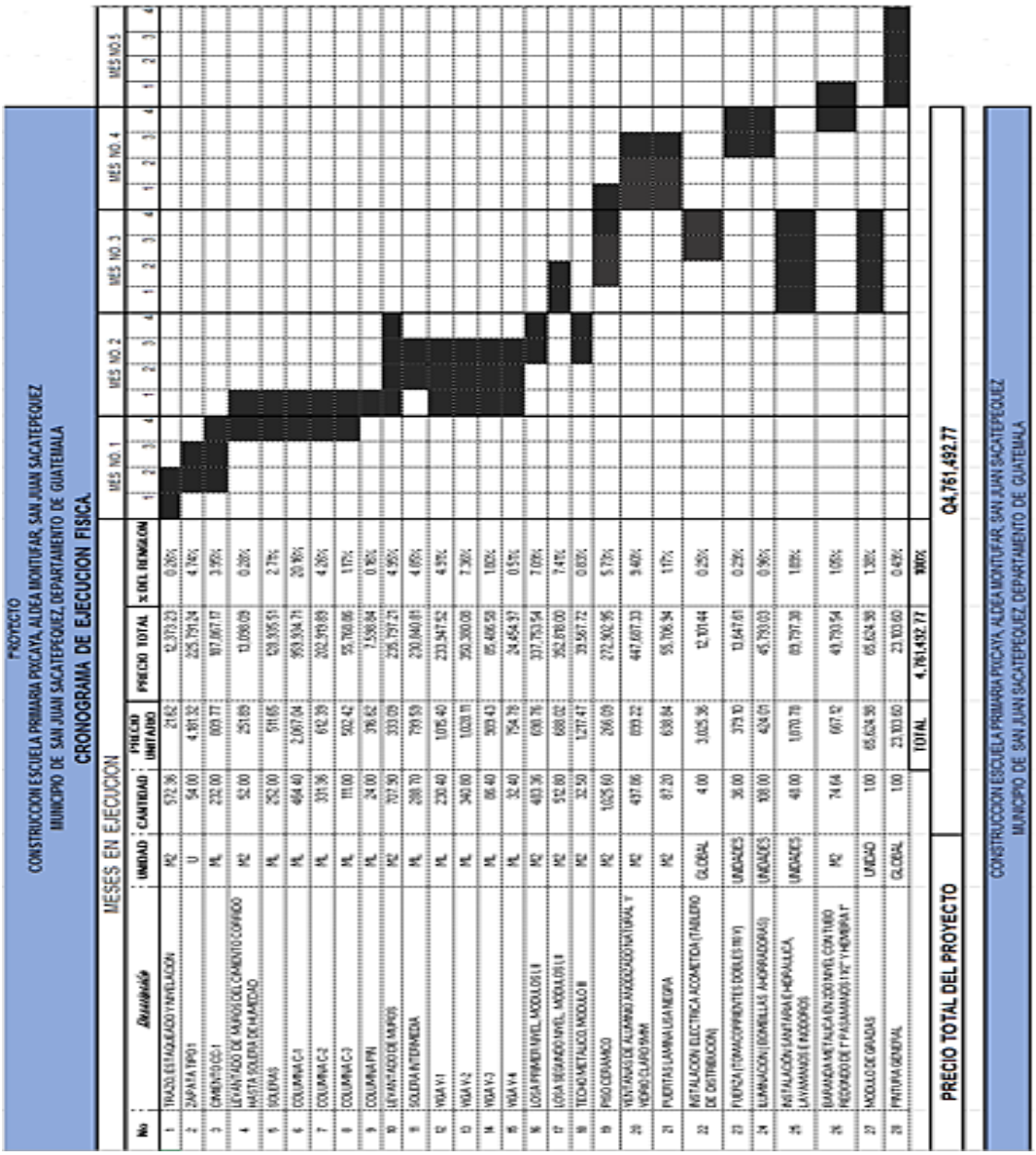
El criterio para la elaboración del presupuesto es el generalizado con el uso de los costos unitarios, para los cuales, la cuantificación se apegó a los planos del proyecto y los costos de mano de obra y materiales para cada renglón fueron obtenidos de la DMP.

En la tabla LVI se muestra el resumen del presupuesto general para la escuela primaria Pixcayá, aldea Montúfar integrando los tres módulos que la conforman.

2.1.10. Cronograma de ejecución

El cronograma se realiza bajo los criterios de rendimientos de trabajo promedio usados de manera general en este tipo de planificación.

Figura 53. **Cronograma de actividades**



Fuente: elaboración propia.

Tabla LVI. **Resumen del presupuesto**

PROYECTO

CONSTRUCCION ESCUELA PRIMARIA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

RESUMEN DE RENGLONES DE TRABAJO

No	Descripción	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TRAZO, ESTAQUEADO Y NIVELACION	M2	572.36	Q21.62	Q12,373.23
2	ZAPATA TIPO 1	U	54	Q4,181.32	Q225,791.24
3	CIMIENTO CC-1	ML	232	Q809.77	Q187,867.17
4	LEVANTADO DE MUROS DEL CIMIENTO CORRIDO HASTA SOLERA DE HUMEDAD	M2	52	Q251.89	Q13,098.09
5	SOLERAS	ML	252	Q511.65	Q128,935.51
6	COLUMNA C-1	ML	464.4	Q2,067.04	Q959,934.71
7	COLUMNA C-2	ML	331.36	Q612.39	Q202,919.89
8	COLUMNA C-3	ML	111	Q502.42	Q55,768.86
9	COLUMNA PIN	ML	24	Q316.62	Q7,598.84
10	LEVANTADO DE MUROS	M2	707.9	Q333.09	Q235,797.21
11	SOLERA INTERMEDIA	ML	288.7	Q799.59	Q230,840.81
12	VIGA V-1	ML	230.4	Q1,015.40	Q233,947.52
13	VIGA V-2	ML	340.8	Q1,028.11	Q350,380.08
14	VIGA V-3	ML	86.4	Q989.43	Q85,486.58
15	VIGA V-4	ML	32.4	Q754.78	Q24,454.97
16	LOSA SEGUNDO NIVEL, MODULOS I, II	M2	512.8	Q688.02	Q352,818.00
17	LOSA PRIMER NIVEL, MODULOS I, II	M2	483.36	Q698.76	Q337,753.54
18	TECHO METALICO, MODULO III	M2	32.50	Q1,217.47	Q39,567.72
19	PISO CERAMICO	M2	1025.60	Q266.09	Q272,902.95
20	VENTANAS DE ALUMINIO ANODIZADO NATURAL Y VIDRIO CLARO 5MM	M2	497.86	Q899.22	Q447,687.33
21	PUERTAS LAMINA LISA NEGRA	M2	87.2	Q638.84	Q55,706.94
22	INSTALACION ELECTRICA ACOMETIDA (TABLERO DE DISTRIBUCION)	GLOBAL	4.00	Q3,025.36	Q12,101.44
23	FUERZA (TOMACORRIENTES DOBLES 110 V)	UNIDADES	36.00	Q379.10	Q13,647.61
24	ILUMINACION (BOMBILLAS AHORRADORAS)	UNIDADES	108.00	Q424.01	Q45,793.03
25	INSTALACIÓN SANITARIA E HIDRAULICA, LAVAMANOS E INODOROS	UNIDADES	48.00	Q1,870.78	Q89,797.38
26	BARANDA METALICA EN 2DO NIVEL CON TUBO REDONDO DE 1" PASAMANOS 1 1/2" Y HEMBRA 1"	M2	74.64	Q667.12	Q49,793.54
27	MODULO DE GRADAS	UNIDAD	1.00	Q65,624.98	Q65,624.98
28	PINTURA GENERAL	GLOBAL	1.00	Q23,103.60	Q23,103.60
	PRECIO TOTAL DEL PROYECTO				**Q4,761,492.77**

CONSTRUCCION ESCUELA PRIMARIA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

Fuente: elaboración propia.

2.1.11. Estudio económico

En todo proyecto de ámbito social o de prestación de servicios a la comunidad el estudio económico que involucra el conocimiento del flujo de efectivo, ingresos y egresos, de un proyecto no puede ser utilizado directamente. Cabe mencionar que, para este proyecto, el costo por m^2 es de Q4 159,53.

2.1.11.1. Beneficios sociales

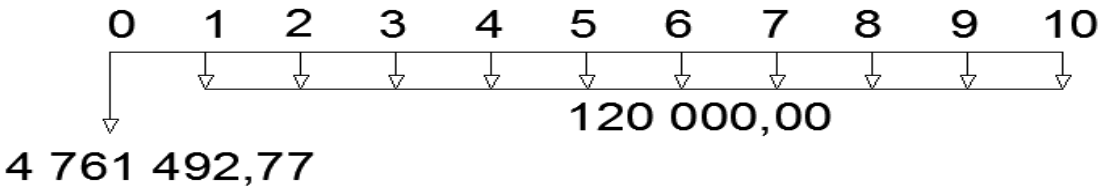
La forma más coherente de establecer ganancias en un proyecto de inversión social es la enumeración de los beneficios sociales que se lograrán con la realización del proyecto. En el caso de la escuela primaria Pixcayá, el beneficio se puede medir en el número (o porcentaje) de alumnos o estudiantes que han encontrado (o que previsiblemente encontrarán) un empleo productivo y que, sin la formación considerada, estarían desempleados o subempleados. Si el objetivo principal consiste en mejorar las posibilidades de los estudiantes o alumnos potenciales en el mercado de trabajo, los beneficios podrán cuantificarse y evaluarse en función del aumento previsto de la renta de los estudiantes como consecuencia de la formación recibida (subempleo evitado, mejor posición en el mercado de trabajo, etc.).

2.1.11.2. Valor presente neto

El flujo de efectivo se considera negativo debido a la inversión inicial que el proyecto requiere, así como los gastos de operación y mantenimiento preventivo necesario para garantizar el óptimo desempeño de la estructura, razón por la cual, el Valor Presente Neto (VPN) será negativo y está dado en quetzales.

De manera muy superficial, se asume un costo de operación de Q. 12 000,00 que incluyen los salarios de docentes y personal de mantenimiento. Además, en los cálculos siguientes, se considera solamente los primeros 10 años de vida operativa del proyecto. Se puede asumir de manera correcta una tasa de interés mínima del 12 por ciento.

Figura 54. **Flujo de efectivo para la escuela primaria Pixcayá**



Fuente: elaboración propia.

$$VPN = -4\,761\,492\,,77 - 120\,000\,[\frac{(1+0\,,12)^{10}-1}{0\,,12\,X\,(1+0\,,12)^{10}}]$$

$$VPN = -5\,439\,519\,,53$$

Cuando el VPN < 0, en proyectos de inversión indicaría que no existe ganancia alguna al final del período de tiempo de vida útil del proyecto, y se debería rechazar. En el caso de un proyecto social, debe de prevalecer el criterio por la urgencia y la necesidad de la realización del mismo.

La evaluación del proyecto desde el punto de vista económico en función del valor presente neto no es determinante.

2.1.11.3. Tasa interna de retorno

Debido a que la educación debe ser gratuita por orden Constitucional, el asumir una cuota de mantenimiento que pudiera pagar la comunidad estudiantil no justifica la existencia de la TIR, por lo que ésta no existe para este proyecto.

2.1.12. Estudio de impacto ambiental

Como parte primordial del Estudio de Impacto Ambiental deben identificarse los posibles efectos o impactos sobre el medio ambiente circundante al área de influencia del proyecto.

2.1.12.1. Impacto ambiental positivo

- Impactos positivos sobre el paisaje

El paisaje recibirá un impacto positivo permanente, de gran magnitud y beneficio por construcción del nuevo proyecto, ya que en la actualidad, es un área baldía e insalubre debido a la acumulación de basura y crecimiento de maleza. La ejecución y operación de la escuela primaria mejorará significativamente la infraestructura general de la comunidad; además el paisaje en el área circundante al proyecto mejorara notablemente.

- Impactos positivos sobre el medio cultural y socioeconómico:

El mayor impacto ambiental del proyecto será el aspecto socioeconómico, el cual será positivo, muy significativo y de larga duración, durante las fases de construcción y especialmente en la operación del proyecto.

Estos impactos positivos influirán directamente en la calidad de vida de la población beneficiada, mejorando el entorno de la comunidad y el efecto de la relación hombre – naturaleza, al contar con proyectos de infraestructura que permitan el desarrollo adecuado de sus actividades sociales, educativas y recreativas. Además, se puede destacar que el proyecto podrá generar fuentes de empleo temporal, beneficiando la economía y el comercio de la comunidad.

2.1.12.2. Impacto ambiental negativo

- Impactos negativos sobre el aire

Las actividades de construcción del proyecto afectarán el aire en forma negativa de baja magnitud y de corta duración, debido a la generación de polvo proveniente de la fase de movimiento de tierras y de la preparación de mezclas de concreto y otras. Los olores no tendrán alteraciones significativas debido a la construcción del proyecto. Los niveles sonoros serán afectados en forma temporal y con una magnitud mediana debido la actividad de la construcción y del transitar de los vehículos.

- Impactos negativos sobre el suelo

Los impactos principales identificados sobre el suelo serán temporales y de baja magnitud, se darán principalmente en la etapa de construcción. El área afectada será únicamente el área de construcción del proyecto, los efectos serán por la erosión del suelo, sedimentos generados, cambios en su estructura y textura.

- Impactos negativos sobre aguas subterráneas

Las aguas subterráneas en el área del proyecto no sufrirán alteraciones por infiltración y drenajes de aguas usadas; el nivel freático no será alterado ni contaminado durante la construcción y operación del proyecto.

- Impactos negativos sobre la flora

Se identificaron impactos poco significativos sobre la flora en general del área del proyecto, tanto en la fase de construcción, como de operación del proyecto. No se prevén impactos negativos en la flora del área circundante.

- Impactos negativos sobre el medio circundante

El impacto más significativo que se identifico es la dificultad para el tránsito de personas y vehículos durante la etapa de construcción de los proyectos. Este impacto será temporal y de mediana magnitud. Se prevén otros impactos menores y poco significativos, como la posible acumulación de escombros y desechos sólidos dentro y fuera del área de construcción.

2.1.12.3. Análisis de riesgo y planes de contingencia

El objetivo y la necesidad de evaluar el riesgo ambiental, surge de la importancia de proteger y mejorar el entorno ambiental humano. Los estudios de riesgo no solo deben comprender la evaluación de la probabilidad de que ocurran accidentes que involucren a los materiales peligrosos, sino también la determinación de las medidas para prevenirlos, así como un plan de emergencia interno.

2.1.12.3.1. Plan de contingencia

Es el plan descriptivo de las medidas que se deben tomar como respuesta a situaciones de emergencia derivadas del desarrollo de un proyecto o actividad.

Este plan en términos generales debe:

- Proporcionar los mecanismos necesarios para la toma de decisiones en caso de ocurrencia de eventos imprevistos.
- Disponer de una rápida y efectiva respuesta en el caso de que signifiquen un riesgo para la salud y el ambiente.
- Definir los recursos humanos, equipos y materiales necesarios para el control, recolección y disposición de las posibles sustancias o desechos provocados por el evento.

2.1.12.3.2. Plan de contingencia en construcción

A manera de reducir los impactos negativos que el proyecto provocará sobre el medio ambiente circundante se deberán tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- Proteger y cerrar el área de construcción de los proyectos, de manera que se minimicen los efectos negativos sobre las áreas circundantes.
- Disponer los desechos sólidos y cualquier desperdicio generado, en un lugar adecuado dentro de la construcción, para

posteriormente ser trasladado a un vertedero o relleno sanitario municipal.

- Evitar el derrame de cualquier líquido o sustancia nociva para la salud de los habitantes y el medio ambiente en general.
- Proteger las áreas verdes aledañas a los proyectos, a manera de conservarlas en buenas condiciones y en su estado natural.
- Señalizar adecuadamente el área circundante y de influencia de cada proyecto, desde el inicio de su construcción hasta su finalización.

2.2. Ampliación de tramo carretero para la aldea lo de Mejía hacia la aldea Sajcavillá, San Juan Sacatepéquez

2.2.1. Consideraciones preliminares

Fue necesario considerar algunos elementos preliminares, para la mejor variabilidad del proyecto y que, en determinado momento, no existan obstáculos para su ejecución, los cuales son: derecho de paso o derecho de vía, criterios de diseño, etc.

2.2.1.1. Derechos de paso o de vía

Se llama derecho de vía a la faja que se adquiere para la construcción de una carretera, dentro de la cual se deberá localizar la misma, incluyendo las obras necesarias.

El ancho del derecho de vía ha sido motivo de discusión, ya que las consecuencias derivadas de la selección del mismo son, en algunos casos imprevisibles, en general, su obtención es asunto de orden legal y, por lo tanto, está regido por las leyes del país.

En el pasado, los derechos de vía adquiridos eran generalmente, estrechos. Así, cuando por diferentes razones tal como el aumento del volumen de tránsito, era necesario añadir vías o ampliar de cualquier otra forma el camino, la propiedad adicional a lo largo de uno o ambos lados, frecuentemente, tenía que ser adquirida a un costo mucho más elevado que el inicial, esta circunstancia es válida para toda carretera de cualquier categoría.

Para la realización de un proyecto de carretera, es necesario obtener los derechos de paso, en este caso, los propietarios de los terrenos por donde pasa la carretera, fueron conscientes de la importancia del proyecto por lo que no hubo ninguna reclamación u objeción al trazo de la ruta.

El reglamento de la Dirección General de Camino (DGC), sobre derecho de vía de los caminos públicos y su relación con los predios que atraviesan, establece artículos sobre el derecho de vía, previendo el incremento del ancho del proyecto diseñado y así considerarlo dentro del derecho de vía.

El artículo 3º. de este reglamento indica que para las diversas clases de camino tendrán el ancho siguiente:

a) Para carreteras nacionales, veinticinco metros.
b) Para carreteras departamentales, veinte metros.
c) Para carreteras municipales, quince metros.
d) Para caminos de herradura y vecinales, seis metros.

Dentro de ese derecho de vía, se construirán los caminos con el ancho que la intensidad de tránsito requiera. Para el caso del proyecto del camino que

conduce de aldea Sajcavilla hacia aldea Lo de Mejía, se reservó el derecho de vía de 6 metros según el inciso (d) del reglamento anterior.

2.2.1.2. Recursos

2.2.1.2.1. Mano de obra

Los vecinos de las comunidades, que se encuentran en el trayecto del tramo carretero, tuvieron participación directa en los trabajos preliminares, de los levantamientos topográficos. La colaboración de los pobladores fue siempre decisiva en la realización y culminación de los trabajos de campo, manifestando, siempre interés y deseo de participar ya que, ya habían tenido experiencias en trabajos similares.

2.2.1.2.2. Equipo

El equipo utilizado para el levantamiento topográfico fue:
Estación Total Nikon DTM-322

- 2 Bastones
- 2 prismas

Con este equipo se realizó el levantamiento planimétrico localizando la línea central.
Para el levantamiento altimétrico:
Estación Total Nikon DTM-322

- 2 Bastones
- 2 prismas

- Clavos
- Pintura aerosol

Con este equipo se pudo obtener información de campo de perfiles y curvas de nivel.

2.2.1.2.3. Recursos económicos para el estudio

Pese a la colaboración del vecino de las diferentes comunidades, que se encuentran en el trayecto del tramo carretero, el apoyo recibido por parte de la municipalidad de San Juan Sacatepéquez, fue importante para un mejor desarrollo de los trabajos de campo, transporte al lugar y alimentación.

2.2.1.3. Estudio de suelos

2.2.1.3.1. Proctor

Con este estudio se determina la humedad óptima de la muestra, la densidad máxima seca y las características de compactación. Para alcanzar la densidad máxima, es necesario que la masa del suelo tenga una humedad determinada, la que se conoce como humedad óptima. Cuando el suelo alcanza su densidad máxima se reducen los vacíos y la capacidad de absorber humedad. También se aumenta la capacidad del suelo para soportar cargas mayores.

Según el resultado del ensayo proctor modificado el suelo posee una densidad seca máxima de 1 761,40 kg/m³ o 109,95 lb/pie³ y una humedad óptima de 17,50 %.

2.2.1.3.2. CBR

El valor soporte de California, cuyas siglas CBR viene de California Bearing Ratio; es una prueba empírica realizada para determinar el valor de soporte en la subbase y subrasante de las carreteras.

Dado que es una medida comparativa de la resistencia al corte del suelo, en condiciones de compactación y humedad; se expresa como un porcentaje en esfuerzo requerido para hacer penetrar un pistón en un suelo bien compactado, en relación al esfuerzo requerido para hacer penetrar el mismo pistón a la misma profundidad en una muestra estándar de piedra triturada. Para determinar el valor soporte se toma como material de comparación piedra triturada bien graduada que tiene un CBR, igual al 100 por ciento.

Según el resultado del ensayo CBR el suelo posee un valor soporte de 20,52 % al 96,8% de compactación, expansión 0,02 % a 30 golpes. Para determinar si es un material apto para la subrasante se clasifica el material como se indica en la tabla LVII:

Tabla LVII. **Clasificación de material según su CBR**

No. de CBR	Clasificación general	Usos
0-3	Muy pobre	Subrasante
3-7	Pobre A regular	Subrasante
7-20	Regular	Subbase
20-50	Bueno	Base, Subbase
> 50	Excelente	Base

Fuente: BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. p. 191.

Para la muestra de material, se obtuvo un valor de CBR de 20,52% por lo que se clasifica el material como bueno y tiene un uso para base o subbase.

2.2.1.3.3. Límites de Atterberg

Con este ensayo se determina el comportamiento del suelo cuando está en contacto con el agua o humedad. Cada límite se define por la variación de humedad que produce una consistencia determinada en el suelo.

- Limite líquido: está definido como el contenido de humedad en la cual una muestra de suelo se encuentra entre el estado plástico, para pasar al estado líquido.
- Limite plástico: se define como el contenido de humedad en el cual una muestra de suelo se encuentra entre el estado semisólido y el estado plástico. Para medir esta propiedad se hace un cilindro de un diámetro aproximado de tres milímetros con la palma de la mano, el procedimiento se repite hasta que se agriete el cilindro y ya no sea posible moldear un cilindro con las mismas dimensiones.
- Índice de plasticidad: es la diferencia entre el límite líquido y el plástico. Este parámetro relaciona la manejabilidad de un suelo con la cantidad y tipo de arcilla que contenga. El índice de plasticidad depende generalmente, de la cantidad de arcilla en el suelo.

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = índice de plasticidad

LL = límite líquido

LP = límite plástico

Si I.P = 0, es un suelo no plástico, Si I.P entre 0 y 7, es un suelo de baja plasticidad

I.P entre 7 y 17, es un suelo de mediana plasticidad

I.P mayor de 17, es un suelo altamente plástico

Según el resultado del ensayo de límites de Atterberg, el suelo tiene un LL de 27,7% y un IP de 5,8%, teniendo una clasificación CL, dicha clasificación indica que representa una arcilla de baja a media plasticidad.

2.2.1.3.4. Granulometría

Con ella se estima, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo con el tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

Tabla LVIII. **Clasificación de material según partículas**

Tipo de material	Tamaño de las partículas
Grava	75 mm – 2 mm
Arena	Arena gruesa 2 mm – 0,2 mm Arena fina: 0,2 mm – 0,05 mm
Limo	0,05 mm – 0,005 mm
Arcilla	Menor a 0,005 mm

Fuente: Ministerio de Transportes y Comunicaciones. *Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito*. p. 113.

Según los resultados obtenidos del ensayo de granulometría, el suelo posee 0,72 % de grava, 46,70 % de arena y 52,58 % de finos. El suelo se clasificó como arcilla arenosa color café oscuro, A-4 según clasificación AASHTO.

2.2.1.4. Levantamiento Topográfico

La topografía se utiliza para obtener la información necesaria para diseñar la calle que se va ampliar y pavimentar; para este proyecto se realizó un estudio topográfico de planimetría y altimetría. El levantamiento topográfico de la carretera se realizó con estación total, mediante la combinación de las medidas según los tres elementos del espacio: dirección, elevación y distancia.

2.2.1.4.1. Planimetría

Consiste en obtener las características horizontales de la superficie. Se miden las distancias horizontales y los ángulos que definen la ruta preliminar.

Con la planimetría se representan los puntos por donde pasará la carretera y se definen los accidentes geográficos que pueden afectar el diseño de la carretera.

2.2.1.4.2. Altimetría

Consiste en obtener las elevaciones o alturas de cada punto respecto a un plano de referencia. Con la altimetría se obtiene la representación en relieve del terreno.

2.2.1.4.3. Secciones transversales

La sección transversal en un punto de una carretera, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Las secciones transversales están definidas por la corona, las cunetas, los taludes, las contra cunetas, las partes complementarias y el terreno comprendido dentro del derecho de vía.

Por medio de estas secciones se podrá determinar la topografía de la faja de terreno que se necesita para lograr un diseño apropiado.

Se realizó a lo largo de la carretera, en cada punto de nivelación, con el fin de definir las curvas de nivel en el derecho de vía. En las estaciones de línea central se trazaron perpendiculares y se hizo un levantamiento de por lo menos 20 metros a cada lado de la línea central, las alturas se midieron con una Estación total para cada cambio de pendiente, definiendo así la topografía del lugar.

El cálculo de las secciones transversales se realizaron por medio del programa AutoCAD Civil 3D 2014 al cual se le debe indicar toda la información concerniente a los cortes que se desean, en las estaciones deseadas y también indicar la relación de taludes.

2.2.1.5. Criterios de Diseño

A continuación según las normas de la Dirección General de Caminos en la tabla LIX, se dan las características geométricas para un camino tipo D por ser el tipo de carretera que se diseñará.

Tabla LIX. **Clasificación y características de las carreteras**

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LAS CARRETERAS EN ESTADO FINAL

T.P.D.	CARRETERA	VELOCIDAD DE DISEÑO (K.P.H.)	ANCHO DE CALZADA (m)	ANCHO DE TERRACERÍA		DERECHO DE VIA (m)	RADIO MÍNIMO (m)	PENDIENTE MÁXIMA (m)	DISTANCIA VISIB PARADA *		DISTANCIA VISIB PASO	
				CORTE (m)	RELLENO (m)				MÍNIMA (m)	RECOMEN (m)	MÍNIMA (m)	RECOMEN (m)
	TIPO "A"		2 * 7.20	25.00	24.00	50.00						
3000	REGIONES:											
A	LLANAS	100					375	3	160	200	700	750
5000	ONDULADAS	80					225	4	110	150	520	550
	MONTAÑOSAS	60					110	5	70	100	350	400
	TIPO "B"		7.20	13.00	12.00	25.00						
1500	REGIONES:											
A	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
3000	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO "C"		6.50	12.00	11.00	25.00						
900	REGIONES:											
A	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
1500	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO "D"		6.00	11.00	10.00	25.00						
500	REGIONES:											
A	LLANAS	80					225	6	110	150	520	550
900	ONDULADAS	60					110	7	70	100	350	400
	MONTAÑOSAS	40					47	8	40	50	180	200
	TIPO "E"		5.50	9.50	8.50	25.00						
100	REGIONES:											
A	LLANAS	50					75	8	55	70	260	300
500	ONDULADAS	40					47	9	40	50	180	200
	MONTAÑOSAS	30					30	10	30	35	110	150
	TIPO "F"		5.50	9.50	8.50	15.00						
10	REGIONES:											
A	LLANAS	40					47	10	40	50	180	200
100	ONDULADAS	30					30	12	30	35	110	150
	MONTAÑOSAS	20					18	14	20	25	50	100

ESTRUCTURAS:	CARGA	H-15-S-12
	ALTURA LIBRE	4.75 m
	ANCHO RODADURA	7.90 m
ESFUERZOS UNITARIOS		
	CONCRETO CLASE "A"	
	ACERO DE REFUERZO	
	ACERO ESTRUCTURAL	
	* DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA=	
	LONGITUD MÍNIMA DE CURVA VERTICAL	

NOTAS:

1) T.P.D.: Promedio de Tráfico Diario
2) La sección típica para carreteras tipo "A", incluye isla central de 1.5 m de ancho.
3) Las características de las estructuras son generales para todos los tipos de carretera, con excepción de la tipo "A", en donde el ancho es doble.
4) La calidad de la capa de recubrimiento para calzada podrá ser para carreteras Tipo "A": Hormigón, Concreto asfáltico(caliente o frio) o tratamiento superficial Múltiple; para tipo "B" y "C" Concreto asfaltico (frio o caliente) o tratamiento superficial doble; para tipo "D":Trat. Sup. Doble; para tipo "E", Trat. Sup. Simple, y para tipo "F": Recubrimiento de material selecto.

Fuente: Dirección General de Caminos

Fuente: Dirección General de Caminos (DGC).

Los parámetros de diseño se tomaron del el Manual Centroamericano para Diseño geométrico de carreteras y Pavimentos SIECA, el libro de Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes de la Dirección General de Caminos (DGC) y algunos criterios de la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y Transporte, AASHTO (siglas de American Association of State Highway and Transportation Officials).

Para determinar el diseño y tipo de carretera, se utilizaron como parámetros de diseño el tránsito promedio diario (TPD), la topografía de la zona donde se encuentra la carretera y el tipo de vehículo que circulará por la carretera.

2.2.1.6. Tipo de carpeta de rodadura

- El pavimento rígido implica un costo más elevado que el pavimento flexible, pero necesita un menor mantenimiento, lo cual a largo plazo, nivela el costo en comparación con un pavimento flexible.
- Para la construcción de un pavimento rígido no se requiere de mano de obra especializada.
- El pavimento rígido posee una mayor durabilidad que el pavimento flexible.

Por lo anterior, se seleccionó un pavimento rígido para el presente proyecto. Además, los resultados de los ensayos de suelos muestran una muy buena subrasante, por lo que se aprovechará las características del suelo.

2.2.2. Diseño geométrico

El diseño se basa en una carretera tipo F, clasificación según la Dirección General de Caminos; con un tráfico promedio diario (TPD) de 0 a 100 vehículos y ancho de calzada de 5,50 metros

Consiste en diseñar y trazar la línea central de la carretera. Para el trazo de la línea central se deben tomar en cuenta muchos factores, entre ellos están: la topografía del terreno, la geología y tipo de suelos por donde pasará la carretera, la hidrología de la región, accidentes geográficos cercanos al terreno por donde pasará la carretera e infraestructura cercana a la carretera.

Con el diseño geométrico se definen tanto el eje en planta como en perfil, por lo que se deben realizar alineamientos horizontales y verticales.

2.2.2.1. Alineamiento horizontal

En el diseño de la carretera horizontalmente, se calculan tangentes o rectas, y las curvas que unirán dichas rectas. El diseño horizontal deberá cumplir con las Normas establecidas por la Dirección General de Caminos (DGC).

2.2.2.1.1. Diseño de localización

El diseño de la línea de localización, consiste en un proceso de tanteos y comparaciones, se toman en cuenta aspectos y consideraciones que se van adquiriendo con la práctica en el diseño de carretera.

Consideraciones importantes para el diseño de la línea de localización:

- El uso de tangentes largas pero no excesivas, ofrece seguridad. Sin embargo hay que quebrarlas para alejarse de terrenos pantanosos, lugares donde el derecho de vía es muy costoso, evitar pasar ríos.
- Es preferible una línea que siga las ondulaciones del terreno, que una tangente larga con repetidos cortes y rellenos.
- Para una velocidad de diseño, debe evitarse el uso de la curvatura máxima permisible. El proyectista debe tender a usar curvas suaves.
- Debe evitarse un alineamiento con quiebres bruscos.
- Debe evitarse en lo posible la localización de puentes cerca de curvas, por la brusca sensación que siente el conductor al ingresar al mismo. Si no se puede evitar, se debe ubicar la estructura de tal manera que la transición del peralte al bombeo normal no se extienda hasta el puente. Si se coloca un puente en una curva, debe ser dentro de la curva y de preferencia fuera de las espirales de transición.
- Evitar curvas sucesivas cuando existan tangentes cortas.
- El diseño se efectúa utilizando tangentes, curvas de diseño y especificaciones. Se efectuó el primer tanteo tratando en lo posible de seguir la línea fijada por la curva de la subrasante trasladada del perfil al rollo de planta. Si se logra adaptar la línea de localización a esta curva, su perfil seguirá la pendiente de la subrasante, es decir que se obtendría una condición ideal de corte y relleno en toda la línea. Sin embargo, esto difícilmente se consigue. Las curvas de diseño deben adaptarse, lo mejor posible, a las características del terreno y a la curva de la subrasante. Luego, con líneas, las curvas se unen a través de tangentes, moviendo constantemente dichas tangentes y curvas hasta que el proyecto obtenga una forma lógica. En este caso, dado que existe una apertura de brecha la carretera se acomodó de la mejor manera posible al alineamiento horizontal ya existente, rectificando curvas y tangentes[1]

2.2.2.1.2. Corrimientos

Los corrimientos de línea se hacen cuando por razones especiales el caminamiento preliminar no llene los requerimientos del proyecto, tales como: especificaciones, pasos obligados, suelos rocosos, barrancos, etc. Existen tres tipos de corrimientos de línea, el primero que cambia totalmente en azimut y distancia de dos de las rectas de la poligonal de la preliminar; el segundo que cambia únicamente en distancia dos rectas, conservando los mismos ángulos, y el tercer caso consiste en obviar una o más estaciones del levantamiento preliminar, para formar una sola recta entre dos puntos.

1 CONTRERAS, Néstor. Diseño geométrico de carretera aldea el Ciprés, Jutiapa. p. 214.

Primer caso: es un cálculo hecho por tanteos (mediante coordenadas), los puntos que contengan las rectas que se quieren modificar, a una escala fácil de leer. Todo corrimiento de línea tiene como base dos puntos fijos y un tercer punto que se quiere modificar. Para ello, deberán suponer las coordenadas del tercer punto en cada tanteo y revisar si las nuevas rectas calculadas pasan por donde se desea, si esto fuese así únicamente queda calcular el azimut y la distancia de cada recta.

Segundo caso: es un cálculo hecho en los casos en que una de las rectas del levantamiento de la preliminar es muy corta y no da cabida a la curva o que se desee calcular una sola curva en lugar de dos. Para el cálculo se necesita contar con las coordenadas de los puntos en cuestión, así como de los azimut de las rectas involucradas. Se conservan los azimut de ambas rectas pero se calculan las distancias a las que estas dos rectas en cuestión se interceptan, formando con esto un solo punto de intersección en lugar de dos.

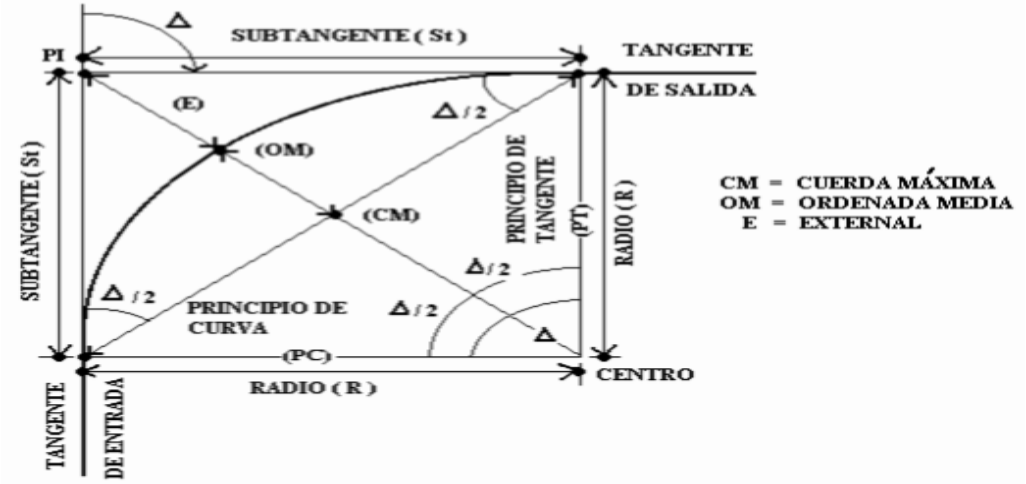
Tercer caso: este corrimiento de línea se calcula cuando existe una parte del levantamiento de la preliminar, que puede evitarse o acortarse sin causar que el diseño de localización sufra cambios técnicamente inaceptables, por lo que únicamente se tendrá que calcular la distancia y el azimut de la recta que unirá a dos puntos del levantamiento de preliminar obviando por lo menos un punto del mencionado levantamiento.

2.2.2.1.3. Tangentes y curvas horizontales

Son segmentos de circunferencia que sirven para unir dos rectas consecutivas. Para el cálculo de los elementos de curvas horizontales es necesario conocer las deflexiones entre tangentes (Δ) y el grado de curvatura (G).

El grado de curvatura de una curva depende la velocidad de diseño de la carretera. Tanto mayor sea la velocidad de diseño de la carretera menor será el grado de curvatura de la curva. A continuación, en la figura 55 se presentan los otros elementos que forman parte de una curva horizontal simple.

Figura 55. **Elementos de curva circular simple**



Fuente: Augusto Rene Pérez Méndez. *Metodología de actividades para el Diseño geométrico de carreteras*. Página 29.

En la figura 55 se puede apreciar los siguientes elementos:

- Subtangente (St)
- Delta (Δ)
- External (E)
- Longitud de curva (LC)
- Cuerda máxima (Cm)
- Principio de curva (PC)
- Principio de tangente (PT)
- Ordenada media (OM)
- Radio (R)
- Centro de curva
- Punto de intersección (PI)

- Grado de curvatura: es el ángulo central que subtiende un arco de circunferencia de 20 metros de longitud.

$$G = 1\ 145{,}9156 / R$$

- Subtangente: es la distancia entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección (PI) o la distancia entre el punto de intersección (PI) y el principio de tangente (PT).

$$St = R * \tan (\Delta/2)$$

- External: distancia entre el punto de intersección (PI) y el arco de la curva, intersecta la curva exactamente en el centro.

$$E = R* [\sec (\Delta/2) – 1]$$

- Longitud de curva: distancia total del arco o de la curva, inicia en el PC y termina en el PT.

$$Lc = (20* \Delta) / G$$

- Cuerda máxima: distancia en línea recta desde el PC hasta el PT.

$$CM = 2 * R * \text{sen} (\Delta/2)$$

- Ordenada media: distancia dentro del punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima.

$$OM = R * (1 – \cos (\Delta/2))$$

- Ejemplo de diseño de curva 1

  - Deflexión (Δ)

Entre dos azimuts existe un delta o diferencia angular. Se calcula restando el azimut 2 del azimut 1 y sirve para escoger el tipo de curvatura que se utilizará. Mientras más grande es el radio se utiliza un grado de curvatura mayor. Para facilitar su cálculo el Angulo delta fue obtenido del programa Civil CAD 2014.

$$\Delta = 48°19'34''$$

  - Radio (R)

Es la distancia perpendicular al principio de curva (PC), o principio de tangente (PT), hacia el centro. Por ser carretera tipo E, el radio mínimo es de 30 m, así que se diseña con el radio mínimo porque el espacio es reducido y si el terreno lo permite el radio puede proponerse más grande.

$$R = 30 \text{ m}$$

- Grado de curvatura (G)

En Guatemala se define como el ángulo central que sobre una circunferencia define un arco de 20 metros de longitud. Es decir, que el grado de curva (G) es el ángulo subtendido por un arco de 20 metros.

$$G= 1145\ 9156 / 30 \quad G= 38$$

- Longitud de curva (LC)

Es la distancia medida desde el principio de la curva (PC), al principio de tangente (PT), sobre la curva diseñada.

$$Lc = (20 \times 48°19'34'')/ 30 \quad Lc = 25,4 \text{ m}$$

- Subtangente (St)

Es la distancia entre el principio de curva (PC) y el punto de intersección (PI), ya que la curva es simétrica la distancia entre el punto de intersección (PI) y el principio de tangente (PT) es igual, en curvas circulares simples que forma un ángulo de 90° con el radio.

$$St= R * \tan (48°19'34'')/ 2) \quad St = 13,5 \text{ m}$$

- External (E)

Es la distancia desde el PI al punto medio de la curva.

$$E= 30 \times \sec (48°19'34'')/ 2) -1 \quad E = 2,9 \text{ m}$$

- Ordenada media (Om)

Es la distancia dentro del punto medio de la curva y el punto medio de la cuerda máxima.

Om= 30 (1- Cos (48°19'34´´/ 2) Om = 2,64 m

- Cuerda máxima (Cm)

Es la distancia en línea recta desde el principio de curva PC al principio de tangencia PT.

Cm= 2*30 (Sen (48°19'34´´/ 2) Cm = 24,69 m

2.2.2.1.4. Curvas de transición

La sección transversal de la carretera sobre un alineamiento recto tiene una inclinación llamada bombeo, el cual facilita el drenaje o escurrimiento del agua de lluvia. El valor del bombeo dependerá del tipo de superficie y de la intensidad de las lluvias en la zona del proyecto, variando del 1 al 4 por ciento.

Asimismo, la sección transversal de la calzada sobre un alineamiento curvo tendrá una inclinación asociada al peralte, el cual tiene por objetivo facilitar el desplazamiento seguro de los vehículos sin peligros de deslizamientos.

Las curvas de transición se utilizan para hacer el cambio de pendiente de una sección transversal con bombeo a una sección transversal con peralte. La función de la curva de transición es hacer el cambio de pendiente de una forma gradual a lo largo de la curva.

Para obtener la longitud de la curva de transición se pueden utilizar varios métodos. Si se toma en cuenta la variación de la aceleración centrífuga, se puede deducir una fórmula en función de la velocidad de diseño y del radio de la curva circular. Para calcular la longitud de curva de transición se puede utilizar la siguiente fórmula:

- Fórmula de Barnett, deducida de la fórmula de Euler

$$Lt = V^3 / 28\ R$$

Donde:

Lt = longitud de curva de transición (m)

V = velocidad de diseño (kph)

R = radio de la curva circular (m)

2.2.2.1.5. Peralte

Es la pendiente transversal que se coloca en las curvas de la carretera para poder contrarrestar la fuerza centrífuga ejercida por los vehículos en las curvas.

$$e = (V^2 / (127 * R)) – Cr$$

Donde:

e = peralte

V = velocidad

R = radio

Cr = coeficiente de rozamiento

Para el diseño de peralte se utilizó la siguiente tabla:

Tabla LX. **Peralte y longitud de espiral recomendados**

VELOCIDAD		30			40			50			60			70			80			90			100			110			120		
G°	RADIO	Db=27		l:125	Db=30		l:140	Db=33		l:155	Db=37		l:170	Db=40		l:185	Db=43		l:200	Db=46		l:215	Db=50		l:230	Db=53		l:245	Db=56		l:260
		e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ	e%	Ls	Δ
1°	1145.92	BN	17	0°51'	BN	23	1°09'	BN	28	1°24'	1.4	34	1°42'	1.9	39	1°57'	2.5	45	2°15'	3.1	50	2°30'	3.8	56	2°48'	4.7	62	3°06'	5.5	67	3°21'
2°	572.96	BN	17	1°42'	BN	23	2°18'	1.9	28	2°48'	2.8	34	3°24'	3.8	39	3°54'	4.9	45	4°30'	6.2	51	5°06'	7.7	64	6°24'	9.0	79	7°54'	9.9	94	9°24'
3°	381.97	BN	17	2°33'	BN	23	3°27'	2.9	28	4°12'	4.1	34	5°06'	5.6	40	6°00'	7.3	53	7°57'	8.9	69	10°21'	9.9	83	12°27'						
4°	286.48	1.4	17	3°24'	2.5	23	4°36'	3.8	28	5°36'	5.5	35	7°00'	7.47	49	9°48'	9.1	65	13°00'	10.00	77	15°24'									
5°	229.18	1.7	17	4°15'	3.1	23	5°45'	4.8	28	7°00'	6.8	42	10°30'	8.7	58	14°30'	9.9	71	17°45'												
6°	190.99	2.1	17	5°06'	3.7	23	6°54'	5.8	32	9°36'	7.9	48	14°24'	9.6	64	19°12'															
7°	163.70	2.4	17	5°57'	4.3	24	8°24'	6.6	37	12°57'	8.8	54	18°54'	10.00	67	23°27'															
8°	143.24	2.8	17	6°48'	4.9	25	10°00'	7.4	41	16°24'	9.4	58	23°12'																		
9°	127.32	3.1	17	7°39'	5.5	28	12°36'	8.1	45	20°15'	9.8	60	27°00'																		
10°	114.59	3.5	17	8°30'	6.1	31	15°30'	8.7	49	24°30'	10.00	61	30°30'																		
11°	104.17	3.8	17	9°21'	6.6	33	18°09'	9.1	51	28°03'																					
12°	95.49	4.2	19	11°24'	7.1	36	21°36'	9.5	53	31°48'																					
13°	88.15	4.5	20	13°00'	7.6	38	24°42'	9.8	55	35°45'																					
14°	81.85	4.8	22	15°24'	8.0	40	28°00'	9.9	56	39°12'																					
15°	76.39	5.2	23	17°15'	8.4	42	31°30'	10.00	56	42°00'																					
16°	71.62	5.5	25	20°00'	8.7	44	35°12'																								
17°	67.41	5.8	26	22°06'	9.0	45	38°15'																								
18°	63.66	6.1	27	24°18'	9.3	47	42°18'																								
19°	60.31	6.4	29	27°33'	9.5	48	45°36'																								
20°	57.30	6.7	30	30°00'	9.7	49	49°00'																								
21°	54.57	7.0	32	33°36'	9.8	49	51°27'																								
22°	52.09	7.2	32	35°12'	9.9	50	55°00'																								
23°	49.82	7.5	34	39°06'	10.0	50	57°30'																								
24°	47.75	7.8	35	42°00'	10.0	50	60°00'																								
25°	45.84	7.9	36	45°00'																											
26°	44.07	8.1	37	48°06'																											
27°	42.44	8.3	37	49°57'																											
28°	40.93	8.5	38	53°12'																											
29°	39.51	8.7	39	56°33'																											
30°	38.20	8.9	40	60°00'																											
31°	36.97	9.0	41	63°33'																											
32°	35.81	9.2	41	65°36'																											
33°	34.73	9.3	42	69°18'																											
34°	33.70	9.4	42	71°24'																											
35°	32.74	9.5	43	75°15'																											
36°	31.83	9.6	43	77°24'																											
37°	30.97	9.7	44	81°24'																											
38°	30.16	9.8	44	83°36'																											

PERALTE RECOMENDADO, MINIMAS LONGITUDES DE TRANSICION Y DELTAS MINIMOS

1.- EL PERALTE FUE CALCULADO SEGÚN EL METODO "4" RECOMENDADO POR LA AASHO
2.- EL PERALTE SE REPARTIRA PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE LA ESPIRAL USADA, DEBIENDO SER EL PC o PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL
3.- EN LAS CURVAS CON PERALTE CALCULADO MENOR QUE LA PENDIENTE DEL BOMBEO SE RECOMIENDA USAR COMO PERALTE LA PENDIENTE DEL BOMBEO
4.- EL PASO DEL BOMBEO AL 0% EN EL PRINCIPIO o FINAL DE LA ESPIRAL (TS o ST) DEBE HACERSE PROPORCIONALMENTE A LA DISTANCIA, SE CALCULA EN BASE AL BOMBEO, EL ANCHO DEL ASFALTO Y LA MITAD DE LA PENDIENTE DE DESARROLLO DEL PERALTE SIN EMBARGO SE RECOMIENDA USAR LAS QUE APARECEN EN ESTE CUADRO QUE SON ALAS CORRESPONDIENTES A UN BOMBEO DE 3%, UN ANCHO ASFALTICO DE 7.20 m. Y LA MITAD DE LAS PENDIENTES INDICADAS.
5.- LAS LONGITUDES DE ESPIRAL FUERON CALCULADAS SEGÚN LAS PENDIENTES DE DESARROLLO DEL PERALTE INDICADAS ARRIBA Y RECOMENDADAS POR AASHO.
6.- LOS MINIMOS VALORES DE LONGITUD DE ESPIRAL SON LOS CORRESPONDIENTES A LAS DISTANCIAS RECORRIDAS EN 2 SEGUNDOS A LA VELOCIDAD DE DISEÑO.
7.- VELOCIDAD EN KILOMETROS POR HORA.

Leiscod

Fuente: Dirección General de Caminos.

2.2.2.1.6. Sobreancho

Es el ancho adicional que se da a la curvas con el objetivo de que, los vehículos no se salgan de la carretera. Para calcular el sobreancho es importante conocer el tipo de vehículo que transitará en la carretera.

$$Sa = n\,(R - \sqrt{(R\text{^}2 - L\text{^}2)}) + V(\frac{10}{\sqrt{R}})$$

Donde:

Sa = sobreancho [m]

n = número de carriles

R = radio de la curva [m]

L = longitud de la parte frontal a la posterior del vehículo (largo del vehículo) [m]

V = velocidad de diseño [kph]

Para el diseño de sobreancho de la carretera se utilizó la siguiente tabla:

Tabla LXI. **Especificaciones de sobreancho**

VALORES DE DISEÑO PARA SOBRE-ANCHOS DE PAVIMENTO EN CURVAS PARA CARRETERAS DE DOS VIAS																										
ANCHO CALZADA		TIPICA "E" 5.50			TIPICA "D" 6.00									TIPICA "C" 6.50									TIPICA "B" 7.20			
VELOCIDADES		30	40	50	40	50	60	70	80	90	100	110	120	40	50	60	70	80	90	100	110	120	40	50	60	70
GRADO DE CURVATURA	1°	0.60	0.60	0.60	AN	AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	AN	AN	AN	AN	AN	AN	AN	AN	0.60	AN	AN	AN	AN
	2°	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	AN	AN	AN	AN	0.60	0.60	0.60	0.60		AN	AN	AN	AN
	3°	0.60	0.60	0.70	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70			AN	AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60			AN	AN	AN	AN
	4°	0.60	0.70	0.70	0.60	0.60	0.60	0.70	0.70	0.80				AN	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60				AN	AN	AN	AN
	5°	0.70	0.70	0.80	0.60	0.60	0.70	0.80	0.90					0.60	0.60	0.60	0.60	0.60					AN	AN	AN	AN
	6°	0.80	0.80	0.90	0.60	0.70	0.80	0.90						0.60	0.60	0.60	0.70						AN	AN	AN	AN
	7°	0.80	0.90	1.00	0.70	0.80	0.80	0.90						0.60	0.60	0.60	0.70						AN	AN	AN	0.6
	8°	0.90	1.00	1.00	0.80	0.80	0.90							0.60	0.60	0.70							AN	AN	0.60	
	9°	0.90	1.00	1.10	0.80	0.90	1.00							0.60	0.70	0.80							AN	0.60	0.60	
	10°	1.00	1.10	1.20	0.90	1.00	1.10							0.70	0.80	0.90							AN	0.60	0.60	
	11°	1.00	1.10	1.20	0.90	1.00								0.70	0.80								0.60	0.60		
	12°	1.10	1.20	1.30	1.00	1.10								0.80	0.90								0.60	0.60		
	13°	1.10	1.20	1.30	1.00	1.10								0.80	0.90								0.60	0.60		
	14°	1.20	1.30	1.40	1.10	1.20								0.90	1.00								0.60	0.60		
	15°	1.20	1.40	1.50	1.20	1.20								1.00	1.10								0.60	0.70		
	16°	1.30	1.40		1.20									1.00									0.60			
	17°	1.30	1.50		1.30									1.10									0.70			
	18°	1.40	1.50		1.30									1.10									0.70			
	19°	1.40	1.60		1.40									1.20									0.80			
	20°	1.50	1.60		1.40									1.20									0.80			
	21°	1.50	1.70		1.50									1.30									0.90			
	22°	1.60	1.70		1.50									1.30									0.90			
	23°	1.60	1.80		1.60									1.40									1.00			
	24°	1.70	1.80		1.60									1.40									1.00			
	25°	1.70			1.60																					
	26°	1.80			1.60																					
	27°	1.80			1.60																					
	28°	1.90			1.60			1.- LOS SOBREANCHOS FUERON CALCULADOS DE ACUERDO A ESPECIFICACIONES DE LA AASHO																			
	29°	1.90			1.60			2.- EL SOBREANCHO SE REPARTIRA PROPORCIONALMENTE A LA LONGITUD DE LA ESPIRAL USADA, DEBIENDO SER EL PC O PT EL PUNTO MEDIO DE DICHA ESPIRAL																			
	30°	2.00			1.60			3.-SOBRE LAS LINEAS HORIZONTALES LOS VALORES CALCULADOS FUERON MENORES DE 0.60 m. PERO MAYORES QUE 0.30m. , EN CASO DE SER MENORES DE 0.30 m. NO SE USARA																			
	31°	2.00			1.60			SOBREANCHO.-																			
	32°	2.10			1.60			4.- PARA ANCHO DE CALZADA DE 7.20m., Y VELOCIDADES MAYORES DE 70 KPH LAS CURVAS NO SERAN SOBREANCHADAS																			
	33°	2.10			1.60			5.- ANCHOS DE CALZADA Y SOBREANCHOS EN METROS. VELOCIDADES EN KPH= KILOMETROS POR HORA.																			
	34°	2.20			1.70			6.- AN= ANCHO NORMAL																			
	35°	2.20			1.70																					
	36°	2.30			1.80																					
	37°	2.30			1.80																					
	38°	2.40			1.90			Leiscod									Leiscod						Leiscod			

Fuente: Dirección General de Caminos.

Tabla LXII. **Resumen de diseño geométrico horizontal**

Diseño de curvas horizontales											
curva	radio	Grado de curvatura	Deflexión	Subtangente	Longitud de curva	External	Ordenada media	Cuerda Maxima	e%	Ls	Sa
1	30,16	38	48°19'34´´	13,531	25,435	2,90	2,64	24,69	9,8	44	2,4
2	30,16	38	33°17'16´´	9,016	17,520	1,32	1,26	17,28	9,8	44	2,4
3	30,16	38	20°5'42´´	5,344	10,576	0,47	0,46	10,52	9,8	44	2,4
4	30,16	38	13°46'20´´	3,642	7,249	0,22	0,22	7,23	9,8	44	2,4
5	30,16	38	24°17'47´´	6,492	12,788	0,69	0,68	12,69	9,8	44	2,4
6	190,99	6	2°15'21´´	3,760	7,519	0,04	0,04	7,52	2,1	17	0,8
7	76,39	15	18°36'38´´	12,517	24,814	1,02	1,01	24,70	5,2	23	1,2
8	190,99	6	1°06'10"	1,838	3,676	0,01	0,01	3,68	2,1	17	0,8
9	39,51	29	17°49'54´´	6,198	12,298	0,48	0,48	12,25	8,7	39	1,9
10	190,99	6	1°37'31´´	2,709	5,418	0,02	0,02	5,42	2,1	17	0,8
11	190,99	6	4°43'2´´	7,867	15,724	0,16	0,16	15,72	2,1	17	0,8
12	381,97	3	4°59'36´´	16,655	33,289	0,36	0,36	33,28	1,4	17	0,6
13	190,99	6	4°32'48´´	7,582	15,156	0,15	0,15	15,15	2,1	17	0,8
14	229,18	5	8°7'27´´	16,275	32,497	0,58	0,58	32,47	1,7	17	0,7
15	229,18	5	1°48'51´´	3,629	7,257	0,03	0,03	7,26	1,7	17	0,7
16	18,19	63	145°14'17´´	58,112	46,107	42,70	12,76	34,72	…	…	…
17	39,51	29	45°17'6´´	16,481	31,231	3,30	3,05	30,42	8,7	39	1,9
18	76,39	15	2°47'15´´	1,859	3,717	0,02	0,02	3,72	5,2	23	1,2
19	30,16	38	41°53'33´´	11,545	22,049	2,13	1,99	21,56	9,8	44	2,4
20	34,72	33	19°17'46´´	5,902	11,695	0,50	0,49	11,64	9,3	42	2,1
21	190,99	6	7°27'12´´	12,440	24,844	0,40	0,40	24,83	2,1	17	0,8
22	190,99	6	10°25'3´´	17,411	34,725	0,79	0,79	34,68	2,1	17	0,8
23	30,16	38	52°36'24´´	14,908	27,688	3,48	3,12	26,73	9,8	44	2,4
24	60,31	19	8°42'56´´	4,596	9,174	0,17	0,17	9,17	6,4	29	1,4
25	30,16	38	50°4'20´´	14,087	26,354	3,13	2,83	25,53	9,8	44	2,4
26	190,99	6	2°52'30´´	4,793	9,583	0,06	0,06	9,58	2,1	17	0,8
27	190,99	6	8°24'43´´	14,045	28,040	0,52	0,51	28,02	2,1	17	0,8
28	60,31	19	16°4'58´´	8,520	16,929	0,60	0,59	16,87	6,4	29	1,4
29	190,99	6	0°36'29´´	1,013	2,027	0,00	0,00	2,03	2,1	17	0,8
30	71,62	16	13°12'24´´	8,291	16,508	0,48	0,48	16,47	5,5	25	1,3
31	39,51	29	13°47'24´´	4,778	9,510	0,29	0,29	9,49	8,7	39	1,9
32	190,99	6	1°14'36´´	2,072	4,144	0,01	0,01	4,14	2,1	17	0,8

Continuación tabla LXII.

33	30,16	38	23°43'28´´	6,335	12,487	0,66	0,64	12,40	9,8	44	2,4
34	229,18	5	3°43'15´´	7,444	14,883	0,12	0,12	14,88	1,7	17	0,7
35	190,99	6	13°13'27´´	22,139	44,081	1,28	1,27	43,98	2,1	17	0,8
36	30,16	38	20°25'15´´	5,432	10,748	0,49	0,48	10,69	9,8	44	2,4
37	190,99	6	14°14'48´´	23,868	47,489	1,49	1,47	47,37	2,1	17	0,8
38	229,18	5	7°57'1´´	15,926	31,801	0,55	0,55	31,78	1,7	17	0,7
39	229,18	5	3°4'44´´	6,159	12,316	0,08	0,08	12,31	1,7	17	0,7
40	229,18	5	0°45'40´´	1,522	3,044	0,01	0,01	3,04	1,7	17	0,7
41	30,16	38	27°44'7´´	7,446	14,598	0,91	0,88	14,46	9,8	44	2,4
42	229,18	5	2°19'43´´	4,658	9,314	0,05	0,05	9,31	1,7	17	0,7
43	49,82	23	30°12'51´´	13,449	26,273	1,78	1,72	25,97	7,5	34	1,6
44	229,18	5	0°36'33´´	1,218	2,437	0,00	0,00	2,44	1,7	17	0,7
45	30,16	38	30°9'32´´	8,126	15,873	1,08	1,04	15,69	9,8	44	2,4
46	229,18	5	16°23'17´´	33,001	65,552	2,36	2,34	65,33	1,7	17	0,7
47	229,18	5	2°5'35´´	4,187	8,372	0,04	0,04	8,37	1,7	17	0,7
48	229,18	5	6°18'2´´	12,614	25,202	0,35	0,35	25,19	1,7	17	0,7
49	229,18	5	10°41'53´´	21,458	42,792	1,00	1,00	42,73	1,7	17	0,7
50	190,99	6	17°56'22´´	30,146	59,798	2,36	2,34	59,56	2,1	17	0,8
51	229,18	5	12°18'17´´	24,704	49,219	1,33	1,32	49,12	1,7	17	0,7
52	229,18	5	10°48'23´´	21,677	43,226	1,02	1,02	43,16	1,7	17	0,7
53	229,18	5	3°12'33´´	6,420	12,837	0,09	0,09	12,83	1,7	17	0,7
54	229,18	5	7°55'27´´	15,873	31,697	0,55	0,55	31,67	1,7	17	0,7
55	76,39	15	18°20'21´´	12,331	24,452	0,99	0,98	24,35	5,2	23	1,2
56	229,18	5	12°4'24´´	24,236	48,293	1,28	1,27	48,20	1,7	17	0,7
57	229,18	5	4°21'50´´	8,732	17,456	0,17	0,17	17,45	1,7	17	0,7
58	30,16	38	88°55'49´´	29,602	46,805	12,10	8,64	42,25	9,8	44	2,4
59	572,96	2	4°29'57´´	22,507	44,992	0,44	0,44	44,98	BN	BN	0,6
60	1145,9	1	2°6'52´´	21,147	42,289	0,20	0,20	42,29	BN	BN	0,6
61	229,18	5	8°48'29´´	17,651	35,232	0,68	0,68	35,20	1,7	17	0,7
62	127,32	9	22°27'48´´	25,283	49,919	2,49	2,44	49,60	3,1	17	0,9
63	229,18	5	3°1'6´´	6,038	12,073	0,08	0,08	12,07	1,7	17	0,7

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.2. Alineamiento Vertical

Igual que el diseño horizontal, el eje del alineamiento vertical está constituido por una serie de tramos rectos denominados tangentes verticales, enlazados entre sí por curvas verticales. El alineamiento que se proyectará estará en directa correlación con la topografía del terreno natural.

Las pendientes del alineamiento vertical dependen, tanto de la velocidad de diseño como del tipo de carretera y topografía del terreno. Para el diseño de la carretera para la aldea Lo de Mejía hacia aldea Sajcavillá, se ha utilizado como pendiente máxima 14 por ciento, de acuerdo a los datos de la tabla LIX. Para el diseño de las curvas verticales deben tomarse en cuenta factores de seguridad, comodidad, apariencia y drenaje. Las curvas verticales pueden diseñarse circular o parabólicamente. Por facilidad de cálculo y mejor adaptación a las condiciones topográficas, la Dirección General de Caminos recomienda diseñar las curvas verticales con el método de la parábola simple.

Para poder diseñar el alineamiento vertical es necesario conocer primero la subrasante de la carretera.

2.2.2.2.1. Diseño de subrasante

Es la línea trazada en el perfil que define las zonas de corte y de relleno. Sobre la subrasante se coloca la sub-base, la base y la carpeta de rodadura.

Un factor que influye significativamente en el trazo de la subrasante es el costo del movimiento de tierras. Para economizar en este aspecto, es importante tratar de trazar la línea de la subrasante lo más cercano a la línea del terreno natural.

Se deberán de seleccionar los materiales que conformarán la subrasante. Serán suelos de preferencia granulares con menos de 3 por ciento de hinchamiento, de acuerdo con el ensayo AASHTO T 193 (CBR). No se debe colocar material con compuestos orgánicos, texturas fibrosas y olores a podredumbre. Es importante que el material que se coloque no debe de tener características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo o sección que se está reacondicionando.

2.2.2.2.2. Pendientes

Las pendientes dependen del terreno, para economizar en movimientos de tierra se tratará de seguir la pendiente del terreno, respetando los siguientes valores máximos y mínimos.

La pendiente mínima será con la que sea posible drenar el agua de lluvia de la carretera eficientemente. Para este proyecto la pendiente mínima será de 0,5 por ciento.

La pendiente máxima para el proyecto es de 14%, de acuerdo a las Especificaciones de la Dirección General de Caminos.

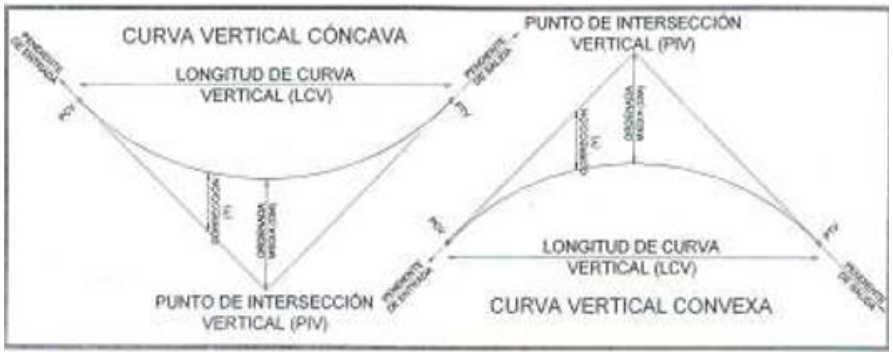
Según la dirección de las pendientes, pueden clasificarse en positivas y negativas. Las positivas son las que generan un cambio de altura positivo, es decir, la altura va aumentando con respecto a puntos de referencia anteriores.

Por el contrario, las pendientes negativas disminuyen la elevación con respecto a puntos anteriores.

2.2.2.2.3. Tangentes y curvas verticales

Después de definir las tangentes en el alineamiento vertical, se calculan las curvas verticales que unirán dos tangentes consecutivas. Como pueden suscitarse cambios de pendientes de positivo a negativo y viceversa, existen curvas verticales cóncavas y convexas. Las convexas se originan por un cambio de pendiente de positivo a negativo, mientras que las cóncavas de un cambio de pendiente de negativo a positivo.

Figura 56. **Elementos de curva vertical**



Fuente: Augusto Rene Pérez Méndez. *Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras*. P. 53.

Para determinar la longitud de curvas se utilizan los siguientes criterios:

- Criterio de seguridad

Es la visibilidad de parada, la longitud de curva debe permitir que, a lo largo de ella, la distancia de visibilidad sea mayor o igual que la de parada. Se aplica a curvas cóncavas y convexas.

$$LCV = K*A$$

Donde:

Lcv= longitud de curva vertical

K= constante que depende de las velocidades de diseño

A% = diferencia algebraica de pendientes

Tabla LXIII. **Valores para K para curvas cóncavas y convexas**

Velocidad de diseño K.P.H.	valores de K según tipo de curvatura	
	Cóncava	Convexa
10	1	0
20	2	1
30	4	2
40	6	4
50	9	7
60	12	12
70	17	19
80	23	29
90	29	43
100	36	60

Fuente: PAIZ, Byron. *Guía de cálculo para carreteras*. p. 62.

- Criterio de apariencia

Para curvas verticales con visibilidad completa, cóncavas, sirve para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente.

$$K = \frac{LCV}{A} \geq 30$$

- Criterio de comodidad

Para curvas verticales cóncavas en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo, al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo.

$$K = \frac{LCV}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

- Criterio de drenaje

Para curvas verticales convexas y cóncavas, alojadas en corte, se utiliza para que la pendiente en cualquier punto de la curva sea adecuada para que el agua pueda escurrir fácilmente.

$$K = \frac{LCV}{A} \leq 43$$

Tabla LXIV. **Resumen de diseño de curvas verticales**

Diseño de curvas verticales																
No. Curva	pendiente de entrada	pendiente de salida	Diferencia Δ	tipo de curva	K curva de visibilidad (concava 2, convexa 1)		LCV de diseño	Apariencia (LCV / Δ)	criterio de Comodidad LCV/ Δ ≥ 1.012	criterio de Drenaje LCV/ Δ ≤ 43	criterio de Seguridad LCV= Δ x k	EST PIV	ELEV PIV	Ordenada media	ELEV SUBRASANTE CORREGIDA
1	-11,59	-8,53	3,06	concava	2	1	80	26,14	SI	SI	6,12	0+060	5223,95	0,306	5224,26365
2	-8,53	-13,9	5,37	convexa	2	1	100	18,62	SI	SI	5,37	0+218	5210,47	0,67125	5209,78533
3	-13,9	-12,79	1,11	concava	2	1	40	36,04	SI	SI	1,11	0+462	5176,57	0,0555	5176,62828
4	-12,79	-11,89	0,9	concava	2	1	35	38,89	SI	SI	1,8	0+618	5156,64	0,039375	5156,68156
5	-11,89	-6,85	5,04	concava	2	1	100	19,84	SI	SI	10,08	0+769	5138,72	0,63	5139,37722
6	-6,85	-2,53	4,32	concava	2	1	80	18,52	SI	SI	8,64	0+923	5128,14	0,432	5128,5828
7	-2,53	-13,43	10,9	convexa	2	1	100	9,17	SI	SI	10,9	1+019	5125,72	1,3625	5124,33025
8	-13,43	-2,82	10,61	concava	2	1	100	9,43	SI	SI	21,22	1+270	5091,96	1,32625	5093,31278
9	-2,82	-7,35	4,53	convexa	2	1	100	22,08	SI	SI	4,53	1+381	5088,85	0,56625	5088,27243
10	-7,35	-1,19	6,16	concava	2	1	110	17,86	SI	SI	12,32	1+530	5077,86	0,847	5078,7224
11	-1,19	-13,12	11,93	convexa	2	1	120	10,06	SI	SI	11,93	1+675	5076,15	1,7895	5074,33068
12	-13,12	-4,78	8,34	concava	2	1	100	11,99	SI	SI	16,68	1+926	5043,17	1,0425	5044,23335
13	-4,38	-7,5	3,12	convexa	2	1	80	25,64	SI	SI	3,12	2+047	5037,4	0,312	5037,0802
14	-7,5	-15,34	7,84	convexa	2	1	100	12,76	SI	SI	2	2+292	5019,03	0,98	5018,0304

Fuente: elaboración propia.

2.2.2.2.4. Correcciones

Cuando se diseña una curva vertical, se deben calcular las cotas de la subrasante en la curva. Debido al cambio de pendientes hay que calcular las correcciones en las cotas o elevaciones. Mientras exista menor distancia entre el cálculo de correcciones mayor será la exactitud del cálculo de alturas de la curva. Para calcular las correcciones se utiliza la siguiente fórmula:

$$y = \frac{A\ x\ L^2}{200\ x\ LCV}$$

Donde:

y = corrección

A = diferencia de pendientes (pendiente de salida menos pendiente de entrada)

L = distancia horizontal del PCV al punto donde se calcula la corrección; O también puede ser la distancia del PTV al punto donde se calcula la corrección.

LCV = longitud de curva vertical

2.2.3. Movimiento de tierras

El movimiento de tierras es el corte, remoción, utilización o disposición de los materiales extraídos en los cortes, incluyendo el de préstamo o desperdicio. Comprende también, la construcción de terraplenes, conformación, compactación y acabado de todo el trabajo de terracería.

El movimiento de tierras depende directamente, del diseño de la subrasante de la carretera, e influye, en el costo de la misma. Puede variar de volúmenes de cientos de metros cúbicos a mover en terrenos planos, a miles de metros cúbicos en terrenos montañosos.

2.2.3.1. Cálculo de áreas de las secciones transversales

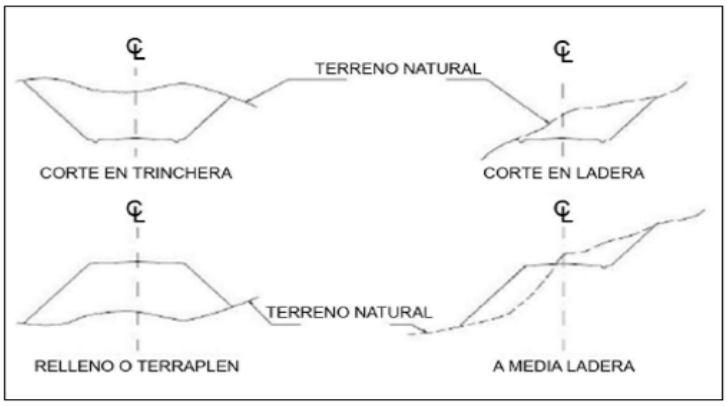
Para calcular las áreas de las secciones transversales de la línea de localización, primero se dibujan estas a cada 20 metros, con la sección típica de la carretera tipo F para regiones montañosas. Para esta sección se tienen establecidos los taludes de corte y relleno según su altura.

Para el cálculo de área se utiliza, también el método de determinantes, en el que, con las coordenadas de los puntos que delimitan las áreas de corte y relleno, se calcula el área.

Para el diseño de esta carretera se utilizó el software AutoCAD Civil 3D 2014, para calcular las áreas de las secciones transversales.

Con el software se determinan las áreas de las siguientes secciones transversales típicas.

Figura 57. **Tipos de secciones transversales**

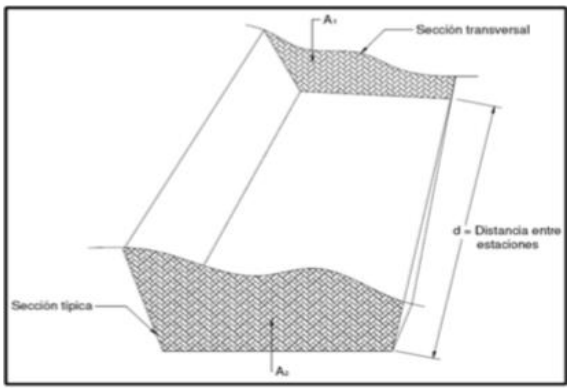


Fuente: CASANOVA, Leonardo. *Elementos de geometría*. p. 1-24.

2.2.3.2. Cálculo de los volúmenes de tierra

Para el cálculo de volúmenes se deben conocer las áreas de las secciones, ya sean de corte, de relleno o combinadas. El volumen que se obtiene es el que se encuentra dentro de las dos secciones transversales.

Figura 58. **Representación geométrica para cálculo de volúmenes**



Fuente: PÉREZ, Augusto. *Metodología de actividades para el diseño geométrico de carreteras*. p.65.

Fórmula para el cálculo de volúmenes:

$$V = \frac{(A1 + A2)}{2} \; x \; d$$

Donde:

V = Volumen de tierra

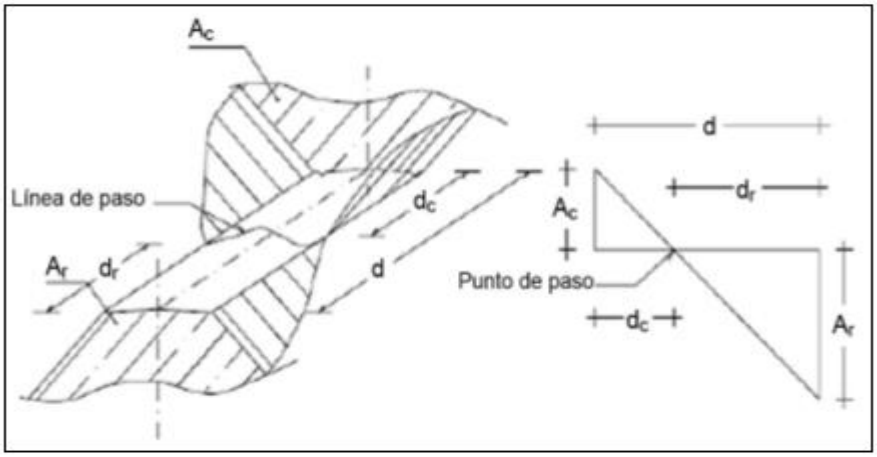
A1 = Área de sección 1

A2 = Área de sección 2

d = Distancia entre estaciones

Cuando en un extremo la sección tenga solo área de corte y la otra solamente área de relleno, debe calcularse una distancia de paso, la cual está comprendida entre la primera sección transversal y el punto donde el área cambia de corte a relleno o viceversa.

Figura 59. **Cálculo analítico de la distancia de paso**



Fuente: CASANOVA, *Leonardo. Elementos de Geometría*. p. 92.

Se asume que la línea de paso es perpendicular al eje. El volumen de corte entre el área de corte Ac y el área de la línea de paso que es cero, y el volumen de relleno entre el área de relleno Ar y el área de la línea de paso, se calculan de la siguiente manera:

$$Vc = \frac{1}{2}\, x\, (\, Ac + Ao\,) x\, dc\,;\;\; VR = \frac{1}{2}\, x\, (Ar + Ao) x\, dr$$

Donde:

Vc, Vr = volumen de corte y de relleno en metros cúbicos

Ac, Ar = áreas de las secciones en corte y relleno en metros cuadrados

Ao = área de la sección en la línea de paso = 0

dc, dr = distancias de corte y relleno en metros

Por medio de la relación de triángulos, se determinan los valores de dc y dr, de la siguiente manera.

$$dc = \frac{Ac}{Ac + Ar}\ x\ d\ ;\quad dr = \frac{Ar}{Ac + Ar}\ x\ d$$

El cálculo de movimiento de tierras se obtuvo mediante resultados presentados por el programa AutoCAD Civil 3D 2014, los cuales se encuentran en los planos de secciones transversales.

2.2.3.3. Cálculo de balance y diagrama de masas

El balance de masas es la diferencia de volúmenes de corte y de relleno acumulados en un tramo de carreta. Sirve para determinar la cantidad de material que se deberá cortar y la cantidad de material que servirá como relleno donde sea necesario. El diagrama de masas es la representación gráfica del balance de masas. El diagrama de masas de este proyecto se encuentra en el apéndice.

Para el diseño de la carretera de la aldea Lo de Mejía hacía aldea Sajcavilla se tomó en cuenta que la mayoría del movimiento de tierras es para relleno, por lo que el acarreo de materiales será tomado en bancos de materiales que se encuentran a menos de mil metros de distancia entre ellos, utilizando los camiones y maquinaria municipal.

2.2.4. Diseño de pavimento

El diseño del pavimento se basó en normas AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportación), por el método de PCA simplificado y Reglamento del manual DGC-2001.

2.2.4.1. Estructura del pavimento

A continuación se encuentra la estructura de pavimentos.

- Componentes estructurales:

Los pavimentos están constituidos por diferentes componentes, como capa de rodadura, base, subrasante y bombeo.

- Capa de rodadura

Superficie de rodamiento constituida por materiales endurecidos para pasar minimizados los esfuerzos hacia las terracerías. Pueden ser materiales granulares con o sin liga, o más comúnmente de concreto asfáltico o hidráulico, en sus diferentes variantes. Constituye el área propiamente dicha por donde circulan los vehículos y peatones, en este diseño la capa de rodadura será de concreto.

- Base

Es la capa de material selecto conformado de grava de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno y libre de materia vegetal, basura o terrones de arcilla, que se coloca encima de la sub-base. Esta capa permite reducir los espesores de carpeta y drenar el agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento hacia las cunetas. Deberá transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie de rodadura y debido a que está en contacto directo con la superficie de rodadura, tendrá que ser resistente a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión, producidas por el tránsito. Deberá poseer un valor soporte CBR de 70% en compactación al 95%.

- Subbase

Es la primera capa de la estructura destinada a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad el efecto de las cargas del tránsito provenientes de las capas superiores del pavimento. Está constituida por una capa de material selecto o estabilizado, de un espesor compactado, en ningún caso menor de 10 centímetros. Deberá estar libre de vegetales, basura, o cualquier otro material que pueda causar fallas en el pavimento. Sus funciones son eliminar la acción del bombeo, aumentar el valor soporte y hacer mínimos los efectos de cambio de volumen en los suelos de la subrasante.

La subbase está compuesta por suelos granulares en estado natural o mezclados, los cuales deberán llenar los siguientes requisitos:

a) Valor soporte: debe tener un CBR mínimo de 40% según el libro de la Dirección General de Caminos, efectuando sobre muestra saturada a 95 por ciento mínimo de compactación (AASHTO T-180).
b) Granulometría: el tamaño máximo de las piedras del material que se utilice para sub-base no debe ser mayor de 7 centímetros y no tener más del 50% en peso, partículas que pasen el tamiz núm. 200.
c) Plasticidad y cohesión: el material que pase por el tamiz núm. 40, no deberá tener un índice de plasticidad mayor de 6 % (AASHTO T-90), ni un límite líquido mayor que 25 % (AASHTO T-89).

- Subrasante

Los materiales que se utilicen como capa subrasante deberán ser de preferencia, del tipo: GW, GW, SW, SM, ML, siempre que la porción fina, o sea

la arcilla, no sea de alta plasticidad. Este material deberá ser compactado del 95 al 100% de la prueba de compactación AASHTO T-99 o estándar.

Tabla LXV. **Calidad de subrasante en función del CBR**

C.B.R (%)	Calidad de Sub-rasante
0 – 3	Muy mala
3 – 5	Mala
5 – 20	Buena
20 – 30	Excelente

Fuente: BOWLES, Joseph E. *Manual de laboratorio de suelos en ingeniería civil*. p. 191.

El CBR obtenido por el ensayo de laboratorio de la subrasante fue de 20.52 %, por lo que se considera excelente para subrasante.

2.2.4.2. Tipos de pavimento

2.2.4.2.1. Pavimento rígido

Los pavimentos rígidos consisten en una mezcla de cemento pórtland, arena de río, agregado grueso y agua, tendido en una sola capa y pueden o no incluir, según la necesidad, la capa de subbase y base, que al aplicarles cargas rodantes no se deflecten perceptiblemente, y al unir todos los elementos antes mencionados, constituyen una losa de concreto, de espesor, longitud y ancho variable.

Los pavimentos de concreto hidráulico están sujetos a los esfuerzos siguientes:

I. Esfuerzos abrasivos causados por las llantas de los vehículos.
II. Esfuerzos directos de impacto causados por accidentes.

III. Esfuerzos de compresión y tensión que resultan de la deflexión de las losas bajo las cargas de las ruedas.

IV. Esfuerzos de compresión y tensión debidos a la combadura del pavimento por efectos de los cambios de temperatura.

2.2.4.2.2. Pavimento flexible

Son aquellos cuya estructura total se deflecta o flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. El uso de pavimentos flexibles se realiza fundamentalmente en zonas de abundante tráfico como puedan ser vías, aceras o parqueos.

- Características

Los Pavimentos flexibles se caracterizan por estar conformados principalmente de una capa bituminosa, que se apoya de otras capas inferiores llamadas base y sub base. Sin embargo, es posible prescindir de estas capas dependiendo de la calidad de la subrasante y de las necesidades de cada obra. Cada capa recibe las cargas por encima de la capa, se extiende en ella, entonces pasa estas cargas a la siguiente capa inferior.

Por lo tanto, la capa de más abajo en la estructura del pavimento, recibe menos carga. Para aprovechar al máximo esta propiedad, las capas son generalmente dispuestas en orden descendente de capacidad de carga, por lo tanto la capa superior será la que posee la mayor capacidad de carga de material (y la más cara) y la de más baja capacidad de carga de material (y más barata) ira en la parte inferior.

2.2.4.2.3. Pavimento semirrígidos

En términos generales, en un pavimento semirrígido o compuesto se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos "flexibles" y pavimentos "rígidos". Normalmente la capa rígida está por debajo y la capa flexible por encima. Es usual que un pavimento compuesto comprenda una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una superficie de rodadura de concreto asfáltico. La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento Portland) permite que se obtengan materiales con capacidad de soporte suficiente para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como ser camiones o aeronaves.

Un material comúnmente usado en pavimentos semirrígidos es el adoquín, para la construcción de calles, parqueos, etc.

2.2.4.3. Métodos

Los métodos para el diseño del espesor de la carpeta de rodadura que son aceptados en nuestro medio, el método de capacidad, el método racional para pavimento flexible, el método AASHTO, y el método que será utilizado para el diseño de la carretera que conduce de aldea Lo de Mejía hacía aldea Sajcavilla, el método simplificado de la Pórtland Cement Association (PCA).

2.2.4.3.1. Diseño de pavimento por método de PCA simplificado

Para el diseño del espesor del pavimento se utilizó el método simplificado de la Portland Cement Asociation (PCA), el cual muestra una tabla para clasificar los vehículos según su categoría de cargas por eje. Dichas tablas

manejan un factor de seguridad de 1, 1,1, 1,2 y 1,3 para las categorías 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

- Periodo de diseño

El período de diseño se define como el tiempo necesario para que se produzca la falla. Existen dos tipos de fallas, la funcional y la estructural. La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no transporta cómoda y seguramente a los vehículos. La falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento, de tal forma que este no puede soportar las cargas a la que está sometido. Para el diseño de esta carretera se tomó un período de diseño de 20 años.

- Tránsito promedio diario

Tabla LXVI. **Tabla de crecimiento anual y periodo de diseño de 20 años**

Crecimiento anual, en %	Período de diseño 20 años	Período de diseño 40 años
1,0	1,1	1,2
1,5	1,2	1,3
2,0	1,2	1,5
2,5	1,3	1,6
3,0	1,3	1,8
3,5	1,4	2,0
4,0	1,5	2,2
4,5	1,6	2,4
5,0	1,6	2,7
5,5	1,7	2,9
6,0	1,8	3,2

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 98.

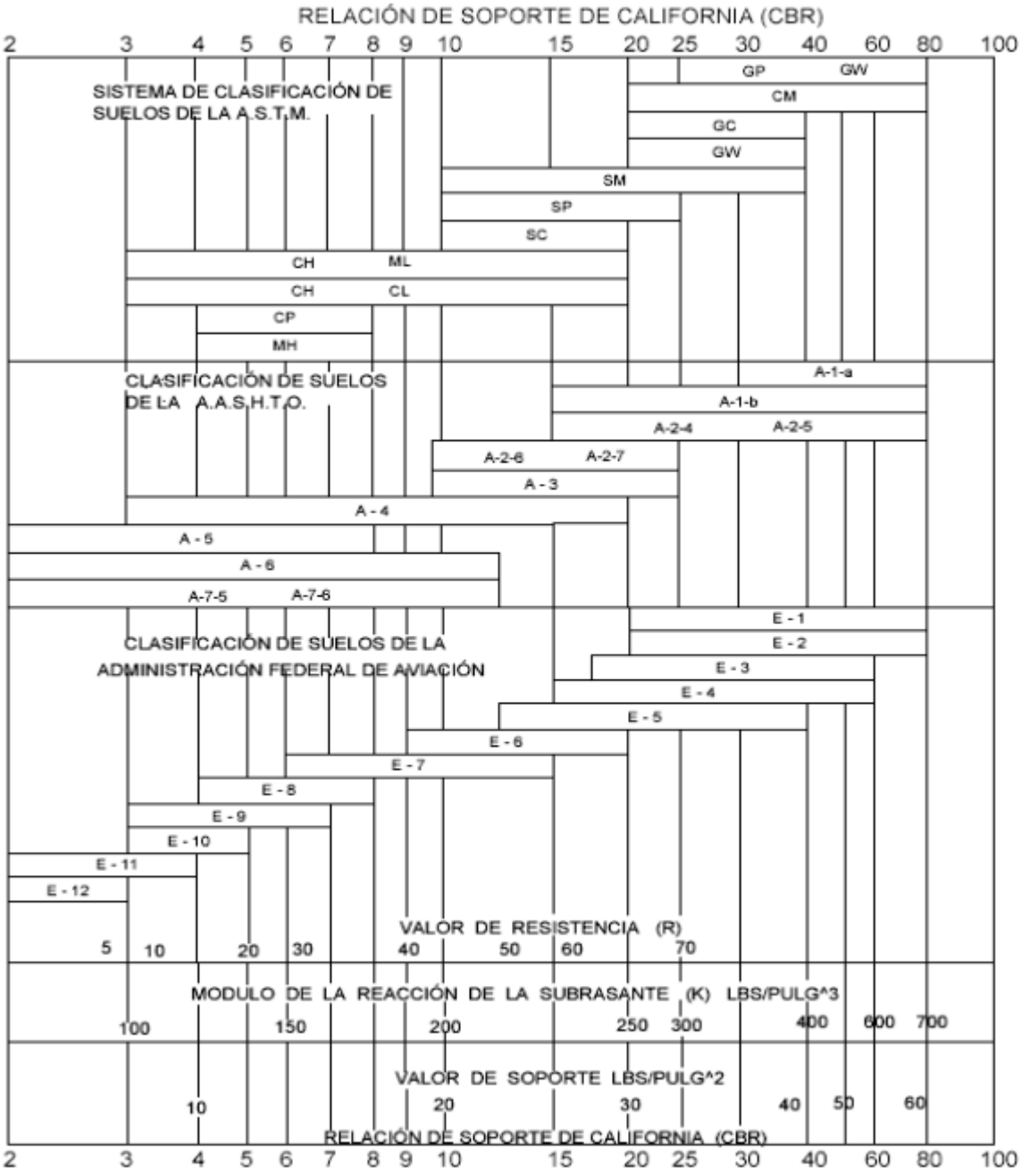
Se tomó un TPDA de 95 contando todo tipo de transporte. Se utilizará un factor de crecimiento de 1,3 según la tasa de crecimiento del 3% y periodo de 20 años. El total de vehículos será 95 * 1,3 = 124 vehículos.

- Diseño de base

Es la capa de material selecto conformado de grava de buena calidad, triturada y mezclada con material de relleno y libre de materia vegetal, basura o terrones de arcilla, que se coloca encima de la subbase. Esta capa permite reducir los espesores de carpeta y drenar el agua atrapada dentro del cuerpo del pavimento hacia las cunetas. Deberá transmitir y distribuir las cargas provenientes de la superficie de rodadura y debido a que está en contacto directo con la superficie de rodadura, tendrá que ser resistente a los cambios de temperatura, humedad y desintegración por abrasión, producidas por el tránsito. Debe tener un valor soporte CBR, mínimo de 70%, efectuado sobre muestra saturada a 95 % de compactación (AASHTO T-180).

Con la figura 60 se pretende calcular el módulo de reacción (K) de la subrasante y con forme a este determinar el espesor de la capa de la base según el valor K.

Figura 60. **Correlación aproximada entre la clasificación de los suelos**



Fuente: LONDOÑO, Cipriano. *Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto*. p. 126.

Tabla LXVII. **Valores de “k” según clasificación de suelo**

TIPO DE SUELO	SOPORTE	Rango de valores de k [lb/plg^3]
Suelos de grano fino en el cual el tamaño de partículas de limo y arcilla es predominante.	Bajo	75 – 120
Arenas y mezclas de arena con grava, con una cantidad considerable de limo arcilla.	Mediano	130 – 170
Arenas y mezclas de arena con grava, relativamente libre de finos.	Alto	180 – 220
Subbase tratada con cementos.	Muy alto	250 - 400

Fuente: *Manual de proyecto geométrico de carreteras*. p. 430.

Dado que el CBR de la subrasante es de 20,52% por ciento, con un porcentaje de compactación del 96,8 por ciento, se puede observar en la figura 60 que el módulo de reacción de la subrasante es de 250 libras por pulgada cúbica, k = 250 lb/plg3, la misma se clasifica como una subrasante con soporte muy alto según tabla LXVII.

Debido a que el material existente en la subrasante es de alta calidad, no es necesario agregar una base para el asentamiento de la carpeta de rodadura. Se reacondicionará la subrasante con material selecto, el cual tendrá la función de impermeabilizar la subrasante, distribuyendo el agua hacia los costados de la carretera. Tendrá un espesor de 10 centímetros.

- Módulo de ruptura del concreto (MR)

El módulo de ruptura del concreto o resistencia a la flexión del concreto se puede calcular teniendo como índice la resistencia a compresión del mismo. Se utilizará un concreto con una resistencia a la compresión de 280 kg/cm2 (f´c),

ya que se trata de una carretera poco transitada y además cuenta con una subrasante con muy buenas características.

El método de ensayo de hendido, se refiere a que la tensión máxima probable del concreto se encuentra entre el rango de 10 a 20 por ciento del valor de la resistencia a la compresión del elemento. Tomando un valor de 15 por ciento se procede a realizar el cálculo de la siguiente forma:

$$MR = 15\ \%\ f´c$$

$$MR = 0.15 \times 281\ kg/cm2$$

$$MR = 42\ kg/cm2$$

- Diseño de espesor del pavimento

Antes de diseñar el espesor del pavimento se debe clasificar la vía que se pavimentará, según su tráfico en función de las cargas por eje y determinar el TPPD.

Dado que el tramo carretero se encuentra en zona rural y es un camino con un tránsito pesado de bajo a medio, su clasificación fue categoría 1 según la siguiente tabla.

Tabla LXVIII. **Categorías de tráfico en función de cargas por eje**

Categoría de ejes	Descripción					
		TPDA	TPPD		Carga máxima / eje	
Cargados			%	Por día	Eje sencillo	Eje doble
1	**Calles residenciales, caminos rurales y secundarios (de bajo a medio*)**	200 – 800	1 – 3	Hasta 25	22	36
2	Calles colectoras, caminos rurales y secundarios (altos*), Arterias principales	700 -5,000	5 – 18	40 - 1,000	26	44
3	Caminos primarios y arterias principales (medio*), viaductos, vías rápidas periféricos, vialidades urbanas (de bajo a medio*)	3,000 - 12,000 en 2 carriles, 3,000 - 50,000 en 4 carriles	8 – 30	500 - 1,000	30	52
4	Arterias principales, carreteras principales, viaductos (altos*), Carreteras y vías urbanas y rurales (medios a alto*)	3,000 - 20,000 en 2 carriles, 3,000 - 150,000	8 – 30	1,500 - 8,000	34	60

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos*. p. 148.

Tomando como estimación un TPDA de 124, se obtuvo el TPPD con la ayuda de la tabla LXVIII, el TPPD está dado como un porcentaje del TPDA que es el transporte pesado, para este proyecto se tomó un porcentaje de 3% de 124 según la tabla LXVIII:

TPPD = TPDA 124 X 3% = 4 es el número de camiones que pasan en el día

Dado que el tramo carretero corresponde a la categoría de carga por eje núm. 1, la tabla que le corresponde para determinar el espesor de la losa de concreto según el método de la PCA simplificado es la tabla LXIX, que presenta los valores de TPPD permisibles para esta categoría de vía.

Para determinar el espesor de la losa, se excluyó la cuneta, porque esta no se construye monolíticamente con la losa, por lo tanto se utilizaron los datos del lado izquierdo de la tabla LXIX.

La condición de apoyo del terreno es alta según la tabla LXVII, se procedió a ubicarse en la columna que corresponde a la condición de apoyo del terreno “muy alto” ubicada del lado derecho de la tabla LXIX, luego se procedió a ubicarse en la parte que corresponde a un MR = 42 kg/cm², el cual fue el módulo de ruptura asumido para el concreto de este pavimento, y se busca la fila donde se encuentre el valor que se aproxime al número de TPPD .

Tabla LXIX. **TPPD permisible, categoría de carga por eje núm. 1, pavimento con junta de trabazón de agregado**

Sin acotamiento ni guarnición					Acotamiento o guarnición			
Espesor de losa (cm)		Apoyo del terreno natural o de sub-base			Espesor de losa (cm)	Apoyo del terreno natural o de sub-base		
		Bajo	Medio	Alto		Bajo	Medio	Alto
Mr = 46 Kg/cm²					10,0		0,2	0,9
	11,5			0,1	11,5	2	8	25
	12,5	0,1	0,8	3	12,5	30	130	330
	14,0	3	15	45	14,5	320		
	15,0	40	160	430				
	16,5	330						
Mr = 42 Kg/cm²	12,5		0,1	0,4	10,0			0,1
	14,0	0,5	3	9	11,5	0,2	1	5
	15,0	8	36	98	12,5	6	27	75
	16,5	76	300	760	14,5	73	290	730
	17,8	520			15,0	610		
Mr = 39 Kg/cm²	14,0	0,1	0,3	1	11,5		0,2	0,6
	15,0	1	6	18	12,5	0,8	4	13
	16,5	13	60	160	14,0	13	57	150
	17,8	110	400		15,0	130	480	
	19,0	620						

Fuente: SALAZAR RODRÍGUEZ, Aurelio. *Guía para el diseño y construcción de pavimentos*. p. 87.

Dado lo anterior el espesor de losa que resistirá el TPPD de 4 camiones estimado para este proyecto corresponde a 14 cm el cual tiene un TPPD permisible de 9 según la tabla LXIX.

2.2.4.3.2. Diseño de mezcla

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

Existen diferentes métodos de diseños de mezcla, algunos pueden ser muy complejos como consecuencia de la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos. Sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión.

En algunas oportunidades no es necesario tener exactitud en cuanto a las proporciones de los componentes del concreto. En estas situaciones se frecuenta el uso de reglas generales, lo que permite establecer las dosis correctas a través de recetas que permiten contar con un diseño de mezcla apropiado para estos casos.

Datos para el diseño de mezcla:

Resistencia requerida: 280 kg/cm2

Tamaño máximo agregado grueso: 3/4 pulg

Módulo de finura agregado fino: 2,6 – 2,9

Asentamiento para pavimento de concreto: 8 cm, en prueba de revenimiento

- Se define la relación agua/cemento de la mezcla.

La función f (w/c) se define de la siguiente manera:

$$f\ (w/c) = w/c$$

Ya que se conoce el valor del asentamiento y el tamaño máximo del agregado grueso, se obtiene de la tabla LXX el valor de la cantidad de agua en litros.

Agua = 182 Lts

Tabla LXX. **Datos para diseño de mezcla (1m3 concreto fresco)**

Resistencia media requerida a los 28 dias		Tamaño maximo del agregado		Concentracion de pasta		Agua en litros para los distintos asentamientos indicados en cm.				% de agregado fino Vol. Abs./Agr. Total			% aire		
										M.F.			M.F.		
kg/cm2	lb/plg2	mm.	plg.	W/C	C/W	0 a 2	2 a 5	5 a 10	10 a 15	2.2 - 2.6	2.6 - 2.9	2.9 - 3.2	2.2 - 2.6	2.6 - 2.9	2.9 - 3.2
140	2000	19.1	3/4	0.65	1.54	165	175	186	197	47	49	51	4.8	4.9	5
		25.4	1	0.65	1.54	157	165	173	181	44	46	48	4.4	4.5	4.6
		38.1	1 1/2	0.65	1.54	154	160	166	193	42	44	46	4	4.1	4.2
175	2500	19.1	3/4	0.6	1.67	165	175	186	197	45	47	49	4.3	4.4	4.5
		25.4	1	0.6	1.67	157	165	173	181	42	44	46	3.7	3.8	3.9
		38.1	1 1/2	0.6	1.67	154	160	166	193	40	42	44	3.3	3.4	3.5
210	3000	19.1	3/4	0.56	1.79	164	171	184	195	44	46	48	3.6	3.7	3.8
		25.4	1	0.56	1.79	156	164	172	180	41	43	45	3	3.1	3.2
		38.1	1 1/2	0.56	1.79	154	160	166	191	39	41	43	2.6	2.7	2.8
246	3500	19.1	3/4	0.52	1.92	164	174	184	195	42	44	46	3.1	3.2	3.3
		25.4	1	0.52	1.92	156	164	172	180	39	41	43	2.3	2.4	2.5
		38.1	1 1/2	0.52	1.92	154	160	166	191	37	39	41	1.9	2	2.1
281	4000	19.1	3/4	0.49	2.04	162	172	182	193	40	42	44	2.6	2.7	2.8
		25.4	1	0.49	2.04	155	163	171	179	37	39	41	2	2.1	2.2
		38.1	1 1/2	0.49	2.04	154	160	166	189	35	37	39	1.6	1.7	1.8
316	4500	19.1	3/4	0.46	2.17	162	172	182	193	38	40	42	2.4	2.5	2.6
		25.4	1	0.46	2.17	155	163	171	179	35	37	39	1.7	1.8	1.9
		38.1	1 1/2	0.46	2.17	154	160	166	189	33	35	37	1.4	1.5	1.6

Fuente: material de apoyo de materiales de construcción, primer semestre 2014.

Se obtiene el valor de la relación w/c. Teniendo como resultado:

$$182/c = 0{,}49$$

Obteniendo:

$$C = 371.43 \text{ kg}$$

- Conociendo el peso del cemento se procede a encontrar el peso de los agregados. Sabiendo que el peso unitario del concreto se compone de la sumatoria de los pesos del cemento, agua y agregados

$$PUc = c + a + Ag$$

Donde:

PUc = peso unitario del concreto [kg/m3]

c = peso del cemento [kg]

a = peso del agua [kg]

Ag = peso de los agregados [kg]

Despejando la fórmula queda de la siguiente manera:

$$Ag = PUc - c - a$$

$$Ag = 2\,400 - 371{,}43 - 182$$

$$Ag = 1\,846{,}57 \text{ kg}$$

Se procede a encontrar los porcentajes de cada agregado según tabla LXX.

Agregado fino (Af) = 42%

Agregado grueso (Ag) = 58%

Obteniendo estos porcentajes, se multiplican por el total de agregados.

$$Af = 0{,}42 \text{ X } 1\,846{,}57 = 775{,}56 \text{ kg}$$

$$Ag = 0{,}58 \text{ X } 1\,846{,}57 = 1\,071{,}01 \text{ kg}$$

De esta manera, se tienen todos los pesos de los componentes de la mezcla de concreto, para 1 m3, los cuales son:

c = 371,43 kg

Af = 775,56 kg

Ag = 1 071,01 kg

Agua = 182 Lts

- Para expresar estos datos en proporciones, se toma como referencia el cemento.

$$\frac{cemento}{cemento} : \frac{Arena}{cemento} : \frac{Piedrin}{cemento} : \frac{Agua}{cemento}$$

Dando como resultado una proporción:

$$1 : 2 : 3 : 0.5$$

- Para obtener la relación en volumen para 1 metro cúbico, primero se debe multiplicar por ese valor y dividir después los valores dentro del peso específico de cada material.

Cemento = 408,16 kg = 371,43 kg / 42,5 kg/ saco = 9 sacos

Arena = 775,56 kg = 775,56 kg / 1,400 kg/ m3 = 0,55 m3

Piedrín = 1 071,01 kg/m3 = 1 071,01 kg / 1 600 kg/ m3 = 0,67 m3

Agua = 182 Lts = 182 L / 3.785 l/gal = 48 gal

Para lograr la conversión de la relación de peso a relación en volumen, se debe tomar en cuenta que un saco de cemento tiene un volumen de un pie cúbico.

$$1\ pie^3\ x\ (\frac{1\ m}{3.28\ pie})^3 = 0{,}028\ m^3\ x\ 9\ sacos = 0{,}25\ m3$$

$$\frac{0{,}25}{0{,}25}\ ;\ \frac{0{,}55}{0{,}25}\ ;\ \frac{0{,}67}{0{,}25}$$

Tabla LXXI. **Proporciones en volumen**

Proporción volumen			
Cemento	Arena	Piedrín	Agua
1	2,2	2,68	48 gal

Fuente: elaboración propia.

Estas son las proporciones para 1 m3.

2.2.4.3.3. Tipos de juntas

Debido a que el pavimento presenta esfuerzos causados por la acción del tránsito, contracciones por cambios de temperatura y por distintos niveles de humedad, las juntas tienen como principal objetivo el control y disipación de dichos esfuerzo, impidiendo así la formación de grietas en las losas de concreto del pavimento.

Los tipos de juntas más utilizados son:

- Juntas transversales de contracción

Este tipo de juntas son construidas transversalmente al eje central de la carretera y a la vez espaciadas para controlar los agrietamientos causados por las contracciones que resultan de los cambios de temperatura y humedad en el

pavimento. El espaciamiento de las juntas transversales de contracción puede ser determinado según la siguiente ecuación práctica.

$$S = F * D$$

Donde:

S = espaciamiento entre juntas transversales de contracción en metros.

F= factor de fricción entre la sub-base y la losa de concreto. Este factor puede tomarse en un rango de (21-24) según la *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos, escrita por Aurelio Salazar.*

D = espesor de la losa de concreto en metros.

La separación entre juntas transversales no debe ser mayor de 5 metros.

Se deben formar cuando el concreto tiene cierto grado de endurecimiento.

El corte debe ser como mínimo de 1/3 del espesor de la losa (D/3) y su ancho debe ser como mínimo de 3 milímetros.

La formación de estas juntas debe realizarse dentro de un período considerable que evite el desmoronamiento del concreto en la cara de las juntas. Si este período es muy corto, se produce desmoronamiento en la cara de la junta y si el período es muy largo, puede producir agrietamientos en la losa. Este período está en función de las condiciones ambientales del lugar como temperatura, humedad, viento y la luz directa del sol, en el medio se puede considerar un período de 6-8 horas como óptimo. Para este proyecto el espaciamiento de juntas transversales será:

S= 23*0,14 = 3,22 metros, por lo tanto el espaciamiento de juntas transversales será de 3,3 metros

Con una profundidad de 1/3 * 0,14m = 0,05m = 5cm

- Juntas transversales de construcción

Este tipo de juntas son las colocadas al final de un día de pavimentación o en el momento en que los trabajos de pavimentación son interrumpidos o paralizados por algún hecho, en particular en un período considerable.

- Juntas longitudinales

Este tipo de juntas son paralelas al eje longitudinal del pavimento y son las que determinan el ancho de los carriles, las juntas longitudinales son utilizadas para evitar los agrietamientos longitudinales causados por los efectos de las cargas del tránsito y el alabeo de las losas, siendo el alabeo un pandeo de la losa causado por los cambios de temperatura y humedad.

La formación de esta junta debe realizarse haciendo una ranura de un cuarto del espesor de la losa como mínimo (D/4). La separación máxima de estas juntas es de 3,8 metros.

Para este proyecto se tiene en promedio un ancho de calzada de 5,50 metros, las juntas longitudinales serán colocadas al centro de la carretera, por lo cual dichas juntas quedarán a una separación de 2,75 metros y una ranura de 0,04 m de profundidad. La relación entre largo y ancho de los tableros debe ser 0,71 < x / y < 1,40, según la *Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos, escrita por Aurelio Salazar.*

Comprobación:

$$3{,}3 \,/\, 2{,}75 \;=\; 1{,}20$$ Si cumple

2.2.5. Drenajes

En el presente proyecto se describirán el longitudinal y el transversal.

2.2.5.1. Método racional

El método racional se utiliza en hidrología para determinar el Caudal Máximo de descarga de una cuenca hidrográfica; En el diseño de la carretera que conduce de aldea Lo de Mejía hacia aldea Sajcavilla se utilizara este método para determinar el caudal de diseño del drenaje longitudinal y transversal.

2.2.5.2. Drenaje transversal

Tiene la función de evacuar el agua existente en los drenajes longitudinales de la carretera. Deben colocarse perpendicularmente a la carretera. La distancia recomendada entre drenajes transversales es de 150 metros máximo. También se recomienda colocar drenajes transversales al inicio de curvas horizontales, en los puntos más bajos de la carretera y en zonas donde exista riesgo de estancamiento de agua.

Para los drenajes transversales de esta carretera se usará tubería circular. El caudal a utilizar será el de escorrentía máxima el cual es:

$$Q = Qe + Qr$$

Donde:

Qe = caudal de escorrentía máxima en metros cúbicos sobre segundo

Qr = caudal de riachuelos intermitentes generados en época lluviosa

Para este caso: Qe será el caudal calculado para el drenaje longitudinal

La fórmula que expresa el principio racional es:

$$Qe = \frac{CIA}{360}$$

Donde:

Q = caudal máximo (m³/s)

A = área de la cuenca

(Ha) I = intensidad máxima de lluvia (mm/h)

C = coeficiente de escorrentía (depende de la vegetación, el tipo de suelo y la pendiente)

Figura 61. **Tiempo de concentración**

	2 años	5 años	10 años	20 años
Ciudad de Guatemala	2838/t+18	3706/t+22	4204/t+23	4604/t+24
Bananera, Izabal	5771.5/t+48.98	7103.95/t+53.80	7961.65/t+56.53	8667.77/t+54.43
Labor Ovalle, Quetzaltenango	977.7/t+3.80	1128.5/t+3.24	1323.5/t+3.48	------
El Pito Chicolá, Suchitepéquez	11033.6/t+101.10	11618.7/t+92.19	13455.2/t+104.14	------
La Fragua, Zacapa	3700.5/t+50.69	3990.5/t+41.75	4049.0/t+37.14	------

Fuente: Insivumeh actualización 2015.

Para obtener el dato de intensidad de lluvia se utiliza la siguiente fórmula:

$$I = \frac{A}{tc + B}$$

Donde:

I = intensidad de lluvia (mm/hr).

A y B = constantes que se obtienen por el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH).

Tc = tiempo de concentración de la cuenca en minutos.

Para determinar el tiempo de concentración de la cuenca se utilizará la siguiente fórmula:

$$tc = \frac{3\ x\ L^{1,15}}{154\ x\ H^{0,38}}$$

Donde:

Tc = tiempo de concentración de la cuenca

L = longitud del cauce principal en metros

H = diferencia del nivel inicial respecto al nivel final en metros

La zona del proyecto es afectada por una cuenca con una longitud de cauce de 457,86 metros y una diferencia de niveles desde el punto inicial hasta el punto final de 46 metros. Los datos fueron proporcionados por la topografía tomada en las secciones anteriores y programa Google Earth.

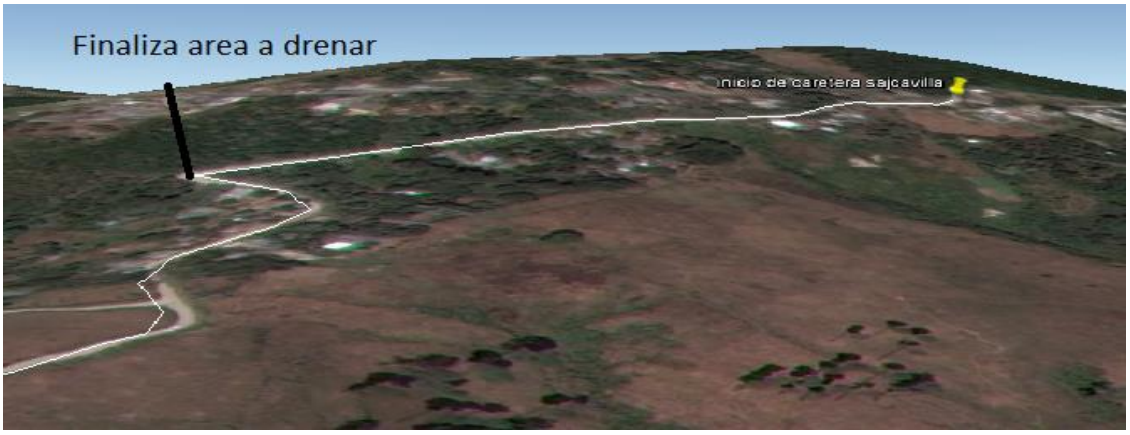
$$tc = \frac{3\ x\ 457{,}86^{1.15}}{154\ x\ 46^{0,38}} \longrightarrow 5{,}20\ minutos$$

Las constantes A, B y n fueron obtenidas de la estación meteorológica más cercana, la cual se encuentra en ciudad de Guatemala. Los datos son para un periodo de retorno de 20 años.
Con los datos anteriores se obtiene la intensidad de lluvia.

$$I = \frac{4\ 604}{5{,}20 + 24} = 157{,}67\ mm/hr$$

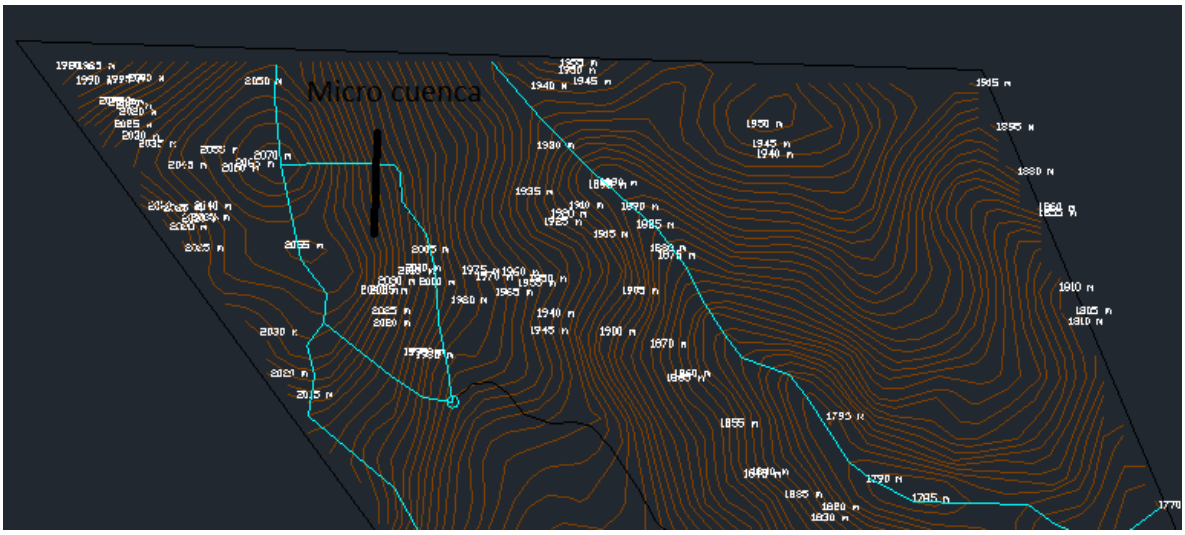
El área de la cuenca que afecta al proyecto es de aproximadamente 6,5 hectáreas. El dato fue obtenido por el software computacional Google Earth, y Global Mapper v16.

Figura 62. **Área de microcuenca tributaria**



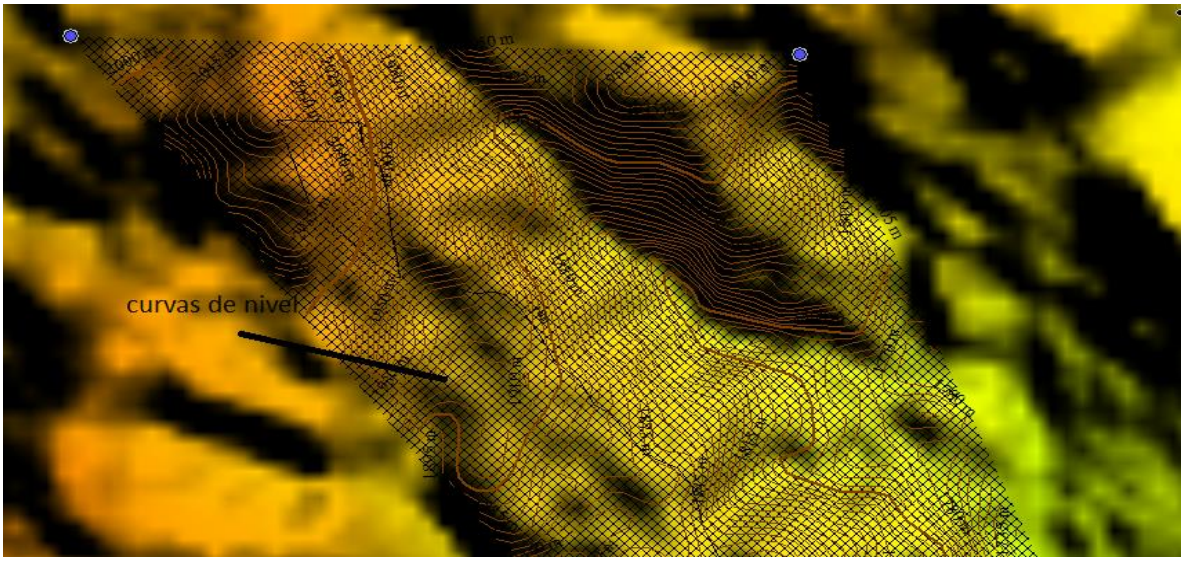
Fuente: Google Earth. Consulta: 18 de mayo de 2016.

Figura 63. **Área real de microcuenca tributaria**



Fuente: elaboración con programa AutoCAD.

Figura 64. **Curvas de nivel de la carretera**



Fuente: elaboración con programa Global Mapper V16.

El valor del coeficiente de escorrentía se tomó de la tabla LXXII, se consideró el área del proyecto como una tierra cultivada en área montañosa con textura de suelo tierra franca arenosa, por lo que el coeficiente de escorrentía adecuado para el área es de 0,52.

Tabla LXXII. **Valor de escorrentía**

Topografía y vegetación	Textura del suelo		
Bosques	Tierra franca arenosa	Arcilla y limo	Arcilla compacta
Llano, 0-5% pendiente	0.10	0.30	0.40
Ondulado 5-10% pendiente	0.25	0.35	0.50
Montañoso, 10-30% pendiente	0.30	0.50	0.60
Pastizales			
Llanos	0.10	0.30	0.40
Ondulados	0.16	0.36	0.55
Montañosos	0.22	0.42	0.60
Tierras cultivadas			
Llanas	0.30	0.50	0.60
Onduladas	0.40	0.60	0.70
Montañosas	0.52	0.72	0.82
Zonas urbanas	30% de la superficie impermeable	50% de la superficie impermeable	70% de la superficie impermeable
Llanas	0.40	0.55	0.65
Onduladas	0.50	0.65	0.80

Fuente: *National Engineering Handbook*. p. 89.

$$Qe = \frac{0{,}52\ x\ 6{,}5\ x\ 157{,}67}{360} \rightarrow 1{,}48 \frac{m3}{s}$$

Mientras que Qr: será el caudal obtenido de la microcuenca del riachuelo:

$$Qr = \frac{0{,}52\ x\ 157{,}67\ x\ 0{,}89}{360} \rightarrow\ 0{,}20 \frac{m3}{s}$$

Para calcular el diámetro de tubería se utilizará la siguiente fórmula de Manning:

$$D = \left(\frac{Q\ x\ 4^{\frac{5}{3}} x\ n}{S^{\frac{1}{2}}\ x\ \pi} \right)^{\frac{3}{8}}$$

Donde:

D = diámetro en metros

n = rugosidad, por proponer una tubería de concreto el coeficiente es de 0,013

S = pendiente de la tubería, que será de 0,01.

Q = caudal en metros cúbicos sobre segundo.

$$D = \left(\frac{1{,}68\ x\ 4^{\frac{5}{3}} x\ 0{,}013}{0{,}01^{\frac{1}{2}}\ x\ \pi} \right)^{\frac{3}{8}} \rightarrow 0{,}87\ m$$

El diámetro en pulgadas es de: 0,87 x 100 / 2,54 = 34 pulgadas

Se colocará un diámetro de 36 pulgadas.

2.2.5.3. Drenaje longitudinal

Se utilizó el método racional, donde se asume que el caudal máximo para un punto dado se alcanza cuando el área tributaria está contribuyendo con su escorrentía superficial durante un periodo de precipitación máxima. Para lograr esto, la tormenta máxima (de diseño) debe prolongarse durante un período

igual o mayor que el que necesita la gota de agua más lejana, para llegar hasta el punto considerado (tiempo de concentración).

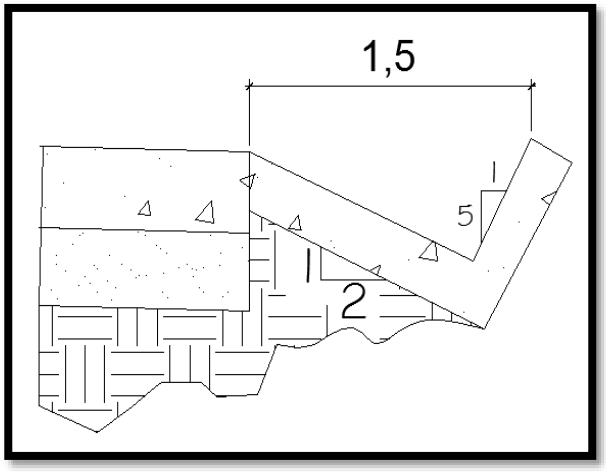
2.2.5.3.1. Cunetas

Son los canales abiertos situados a ambos lados de la línea central de la carretera, recubiertos de piedra ligada con mortero, concreto simple fundido en sitio, concreto simple pre fundido o mezclas asfálticas, que sirven para conducir hacia los drenajes, el agua de lluvia que cae sobre la corona y los taludes.

Como ya conocemos el caudal de diseño, ahora se debe calcular el caudal que la cuneta propuesta puede transportar. Para esto, se utilizará la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{A}{n}\, x\, R^{\frac{2}{3}}\, x\, S^{\frac{1}{2}}$$

Figura 65. **Predimensionamiento de la cuneta**



Fuente: elaboración propia con programa AutoCAD 2014.

Donde:

Q = caudal en m³/s

n = rugosidad de la cuneta = 0,016 (concreto revestido)

A = área mojada

R = radio hidráulico

S = pendiente

El área mojada de la cuneta es de 0,937 m²

El radio hidráulico es igual a: (3,75*0,5) / (2 x ((1+3,75²)½)) = 0,241 m

La pendiente mínima es de 0,50%

El caudal es:

$$Q = \frac{0{,}937}{0{,}016}\ x\ 0{,}241^{\frac{2}{3}}\ x\ 0{,}005^{\frac{1}{2}} \rightarrow 1{,}60\,\frac{m3}{s}$$

$$Qmx = 1{,}48\,\frac{m3}{s} < Qd = 1{,}60\,\frac{m3}{s} \rightarrow cumple$$

Como el caudal que puede transportar la cuneta es mayor al caudal de escorrentía máximo, se concluye que es diseño de la cuneta es correcto.

2.2.6. Presupuesto

2.2.6.1. Integración de precios unitarios

La integración de precios unitarios se encuentra en el apéndice.

2.2.6.2. Resumen de presupuesto

Tabla LXXIII. **Resumen de presupuesto**

PROYECTO					
AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ					
RESUMEN DE RENGLONES DE TRABAJO					
No	**Descripción**	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**PRECIO UNITARIO**	**PRECIO TOTAL**
1	REPLANTEO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	KM	2,46	Q1 972,49	Q4 846 ,40
2	EXCAVASION NO CLASIFICADA	M3	12 734,40	Q89,99	Q1 145 923 ,43
3	EXCAVASION NO CLASIFICADA DE DESPERDICIO	M3	21 868,91	Q37 74	Q825 424 ,34
4	CONFORMACION DE SUBRASANTE	M2	13 513 ,50	Q5 ,69	Q76 938 ,24
5	CONFORMACION DE BASE	M3	1 351 ,44	Q156 ,81	Q211 916 ,67
6	CARPETA DE RODADURA 0 ,14 MTS	M3	1 892 ,01	Q1 649,40	Q3 120 688 ,99
7	EXCVACION DE DRENAJE TRANSVERSAL	M3	108 ,00	Q215 ,80	Q23 306 ,47
8	CAJAS	M3	10 ,00	Q3 025,85	Q30 258 ,47
9	CUNETAS TIPO L	ML	4 914 ,00	Q249,46	Q1 225 823 ,66
10	TUBERIA PARA DRENAJE TRANSVERSAL	ML	36 ,00	Q953 ,12	Q34 312 ,16
11	CABEZAL DE DESCARGA	M3	6 ,00	Q4 738 ,09	Q28 428 ,51

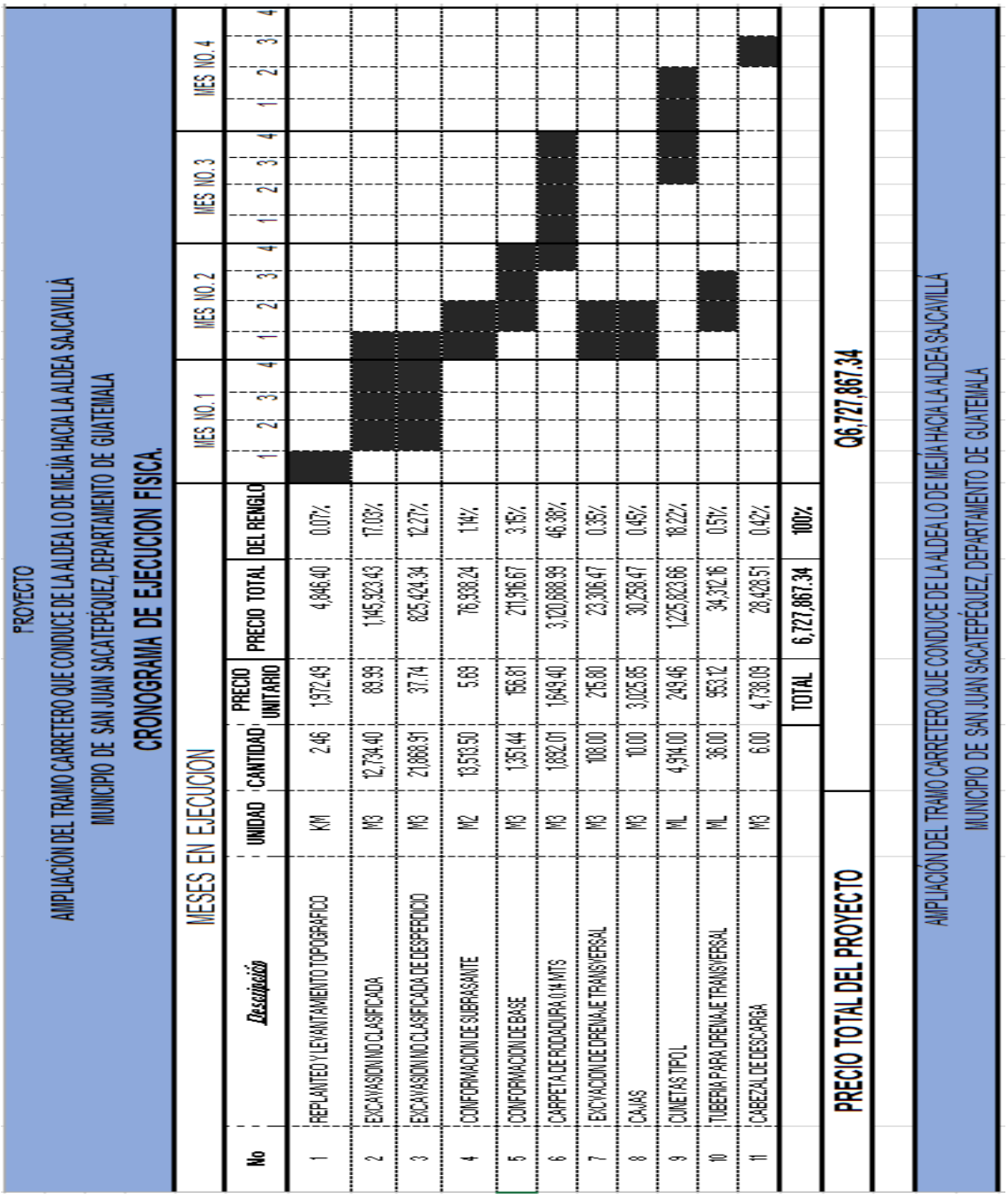
PRECIO TOTAL DEL PROYECTO	**Q6 727 867 ,34**

AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ

Fuente: elaboración propia

2.2.7. Cronograma de ejecución físico y financiera

Tabla LXXIV.**Cronograma de ejecución físico**



PROYECTO

AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ

MUNICIPIO DE SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

CRONOGRAMA DE EJECUCION FISICA.

No	MESES EN EJECUCION Descripción	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	DEL RENGLO	MES NO. 1				MES NO. 2				MES NO. 3				MES NO. 4			
							1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	REPLANTEO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	K/M	2.46	1,972.49	4,846.40	0.07%																
2	EXCAVASION NO CLASIFICADA	M3	12,734.40	89.99	1,145,923.43	17.03%																
3	EXCAVASION NO CLASIFICADA DE DESPERDICIO	M3	21,868.91	37.74	825,424.34	12.27%																
4	CONFORMACION DE SUBRASANTE	M2	13,515.50	5.69	76,938.24	1.14%																
5	CONFORMACION DE BASE	M3	1,351.44	156.81	211,916.67	3.15%																
6	CARPETA DE RODADURA 0.14 MTS	M3	1,892.01	1,649.40	3,120,688.99	46.38%																
7	EXCVACION DE DRENAJE TRANSVERSAL	M3	108.00	215.80	23,306.47	0.35%																
8	CAJAS	M3	10.00	3,025.85	30,258.47	0.45%																
9	CUNETAS TIPO L	ML	4,914.00	249.46	1,225,823.66	18.22%																
10	TUBERIA PARA DRENAJE TRANSVERSAL	ML	36.00	953.12	34,312.16	0.51%																
11	CABEZAL DE DESCARGA	M3	6.00	4,738.09	28,428.51	0.42%																
				TOTAL	6,727,867.34	100%																
	PRECIO TOTAL DEL PROYECTO				Q6,727,867.34																	
	AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ MUNICIPIO DE SAN JUAN SACATEPÉQUEZ, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA																					

Fuente: elaboración propia.

Tabla LXXV. **Cronograma de ejecución financiera**

PROYECTO

AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ

MUNICIPIO DE SAN JUAN SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

CRONOGRAMA DE EJECUCION FINANCIERA.

MESES EN EJECUCION						MES NO. 1				MES NO. 2				MES NO. 3				MES NO. 4			
No	Descripción	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	REPLANTEO Y LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO	KM	2.46	1,972.49	4,846.40	Q4,846.40															
2	EXCAVASION NO CLASIFICADA	M3	12,734.40	89.99	1,145,923.43	Q1,145,923.43															
3	EXCAVASION NO CLASIFICADA DE DESPERDICIO	M3	21,868.91	37.74	825,424.34					Q825,424.34											
4	CONFORMACION DE SUBRASANTE	M2	13,513.50	5.69	76,938.24					Q76,938.24											
5	CONFORMACION DE BASE	M3	1,351.44	156.81	211,916.67					Q211,916.67											
6	CARPETA DE RODADURA 0.1M MTS	M3	1,892.01	1,649.40	3,120,888.99									Q3,120,688.99							
7	EXCVACION DE DRENAJE TRANSVERSAL	M3	108.00	215.80	23,306.47					Q23,306.47											
8	CAJAS	M3	10.00	3,025.85	30,258.47					Q30,258.47											
9	CUNETAS TIPO L	ML	4,914.00	249.46	1,225,823.66													Q1,225,823.66			
10	TUBERIA PARA DRENAJE TRANSVERSAL	ML	36.00	953.12	34,312.16					Q34,312.16											
	CABEZAL DE DESCARGA	M3	6.00	4,738.09	28,428.51													Q28,428.51			
				CANTIDAD MENSUAL		Q1,150,769.83				Q1,202,156.35				Q3,120,688.99				Q1,254,252.17			
				CANTIDAD ACUMULADO		Q1,150,769.83				Q2,352,926.18				Q5,473,615.17				Q6,727,867.34			
				PORCENTAJE MENSUAL		17%				18%				46%				19%			
				PORCENTAJE ACUMULADO		17%				35%				81%				100%			
PRECIO TOTAL DEL PROYECTO					**Q6,727,867.34**																

AMPLIACIÓN DEL TRAMO CARRETERO QUE CONDUCE DE LA ALDEA LO DE MEJÍA HACIA LA ALDEA SAJCAVILLÁ

MUNICIPIO DE SAN JUAN SACATEPEQUEZ, DEPARTAMENTO DE GUATEMALA

Fuente: elaboración propia.

2.2.8. Evaluación de impacto ambiental

La siguiente tabla muestra la evaluación de impacto ambiental para el proyecto de ampliación del tramo carretero que conduce de la aldea Lo de Mejía hacia la aldea Sajcavilla. Para esta evaluación se utilizó el método de la matriz de Leopold que consiste en la asignación de valores: de magnitud y de gravedad cuantitativamente de 1 a 10, (-) si se considera perjudicial y (+) si se considera beneficioso la asignación es subjetiva.

Tabla LXXVI. **Matriz de Leopold de impacto ambiental para pavimento**

				Acciones con posibles efectos								
				Modificasion de regimen			on del territorio			Operción y mantenimiento		
				Alteracion cubierta y terrestre	Ruido y vibracion	Contaminacion de humo	Superficie de pavimento	Drenaje pluvial	Desmonte y rellenos	Arbustos y plantas	Impacto en ambiente	Importancia de impacto
Factores ambientales	Fisicoquimico	Tierra	suelos	-1	-3	0	5	3	1	1	6	
				5	3	3	5	1	5	5		27
		Agua	calidad	0	0	0	0	3	0	0	3	
				5	0	5	0	5	0	0		15
		Atmosfera	calidad	-3	-2	0	5	4	-1	-1		
				5	5	5	1	3	2	3		
			inundaciones	0	0	0	4	5	0	0	11	
				0	0	0	1	3	2	2		32
	Condiciones biologicas	Procesos	Compactacion	5	0	0	5	3	1	0	14	
				5	2	0	5	3	3	2		20
		Flora	Arboles	-2	0	-2	0	2	0	-2		
				5	2	3	1	0	2	5		
			Cosecha	-3	0	0	5	4	0	-2	4	
				5	0	3	2	0	2	2		14
		Fauna	Macro fauna	0	-4	-2	0	0	0	-3	-9	
				5	3	3	3	1	3	5		23
	Factores culturales	Uso de terreno	Agricola	-1	0	-1	4	4	0	-1		
				5	3	5	2	3	3	5		
			Zona residencial	3	-3	-1	5	4	-1	-1	11	
				4	4	4	5	5	3	5		56
		Nivel Cultural	Culturas o formas de vida	-3	-3	-1	5	5	0	0		
				5	5	5	5	4	2	3		
			Salud y seguridad	-1	-1	-1	3	3	0	0		
				4	4	4	4	5	2	3		
			Empleo	3	-1	0	5	3	0	0	16	
				3	3	3	3	3	3	3		76
		Servicio e infraestructura	Red de transporte	0	0	0	5	3	0	0		
				5	3	3	5	5	3	3		
			Servicios	2	1	0	5	5	0	0	21	
				3	3	4	4	4	2	3		50
		Impacto de la accion		-1	-16	-8	56	51	0	-9		
		Importancia de la accion		64	40	50	46	45	37	49		

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la tabla LXXVI, el impacto ambiental será positivo para la población, salvo en la fauna, los cuales presentan valores negativos. Sin embargo, como ya se encuentra una carretera existente, podrían disminuirse estos valores, aunque por los ruidos y vibraciones podría afectar de cierta manera, al igual que la cantidad de humo.

CONCLUSIONES

1. El diseño de la escuela de dos niveles para la aldea Montúfar y la ampliación del tramo carretero que conduce de aldea lo de Mejía hacia aldea Sajcavillá, beneficiará directamente a las aldeas de San Juan Sacatepéquez, dándoles acceso y propiciando el desarrollo económico y social. Con ello se elevará el nivel de vida con servicios de salud, educación, alimentos, y vías de comunicación, para brindar una mejor calidad de vida.

2. La escuela primaria en aldea Montúfar es un edificio de dos plantas con la capacidad de albergar 300 estudiantes, para la población en edad escolar del caserío y áreas circundantes. Esta escuela cumple con los estándares y normativos vigentes que aplican en el diseño estructural y arquitectónico de la edificación; se pretende que el proyecto sea capaz habilitarse como alberque en caso de emergencia y así beneficiar a la comunidad.

3. La ampliación del tramo carretero que conduce de aldea lo de Mejía hacia aldea Sajcavillá cumple con las especificaciones de la dirección general de caminos, institución guatemalteca encargada de regular los parámetros de diseño, el tramo carretero tiene una velocidad de diseño de 20 kph según (DGC) es una carretera tipo F; El diseño geométrico está basado en el Manual Centroamericano para el diseño geométrico de carreteras rurales (SIECA).

4. Se capacitó a los integrantes del comité de desarrollo de la aldea lo de Mejía y de la aldea Sajcavillá, sobre aspectos relacionados con el mantenimiento de carreteras y a los educandos de la aldea Montúfar sobre el manejo y operación del edificio escolar.

RECOMENDACIONES

A la Municipalidad de San Juan Sacatepéquez, Guatemala:

1. Dar prioridad a la planificación y ejecución de proyectos de vías públicas, para fomentar una mejor calidad de vida en las comunidades y preservar los recursos naturales y el medio ambiente.

2. Buscar fuentes de financiamiento externas que permitan la ejecución de proyectos de los cuales se conoce su factibilidad y cuenten con un estudio técnico completo para ayudar a solucionar los problemas más inmediatos en las comunidades.

3. Supervisar de manera eficiente la ejecución de proyectos, para que se apegue a planos constructivos, especificaciones técnicas y técnicas de construcción calificadas que protejan la inversión económica en cada proyecto, y garanticen su correcto desempeño para la comunidad a la que beneficia. Debe prevalecer el beneficio social frente al particular.

4. Realizar una revisión y actualización de los costos de los proyectos al momento de su ejecución.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica. *Bases generales de diseño y construcción.* Guatemala: AGIES, Colección NR-1, 2000.45 p.

2. *Demandas estructurales*, condiciones de sitio y niveles de protección. Guatemala: AGIES, Colección NR-2, 2002. 42 p.

3. *Diseño estructural de edificaciones*. Guatemala: AGIES, Colección NR-3, 2001. 61 p.

4. BAZÁN, Enrique; MELI, Roberto. *Diseño sísmico de edificios*. México D.F.: Limusa, 1985. 200 p.

5. CANTER, Larry. *Manual de evaluación de impacto ambiental, técnicas para la elaboración de los estudios de impacto*. 2a ed. España: McGraw-Hill, 1998. 841 p.

6. CRESPO VILLALAZ, Carlos. *Mecánica de suelos y cimentaciones*. 5ª ed. México D.F.: Limusa, 2004. 650 p.

7. DAS, Braja. *Principios de ingeniería de cimentaciones*. 5a ed. México D.F.: Thomson, 2006. 766 p.

8. DG Política Regional, Comisión Europea. *Guía del análisis costos beneficios de los proyectos de inversión*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, 2003. 154 p.

9. DOWRICK, David. *Diseño de estructuras resistentes a sismos: para ingenieros y arquitectos*. México D.F.: Limusa, 1984. 410 p.

10. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas. *Especificaciones generales para construcción de carreteras y puentes*. Guatemala: Impresos Industriales, 1975. 690 p.

11. GONZALEZ CUEVAS, Oscar. *Análisis estructural*. México D.F.: Limusa, 2003. 200 p.

12. Instituto Americano del Concreto, Comité 318. *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario (ACI 318SR-08).* Estados Unidos: ACI, 2008. 518 p.

13. International Conference of Building Officials. *Uniform Building Code: Structural Engineering Design Provisions.* 8a ed., vol. 2. Estados Unidos: UBC, 1997. 492 p.

14. KANI, Greg; RODÓN Enrique. *Cálculo de pórticos de varios pisos*. España: Reverté, 1981. 100 p.

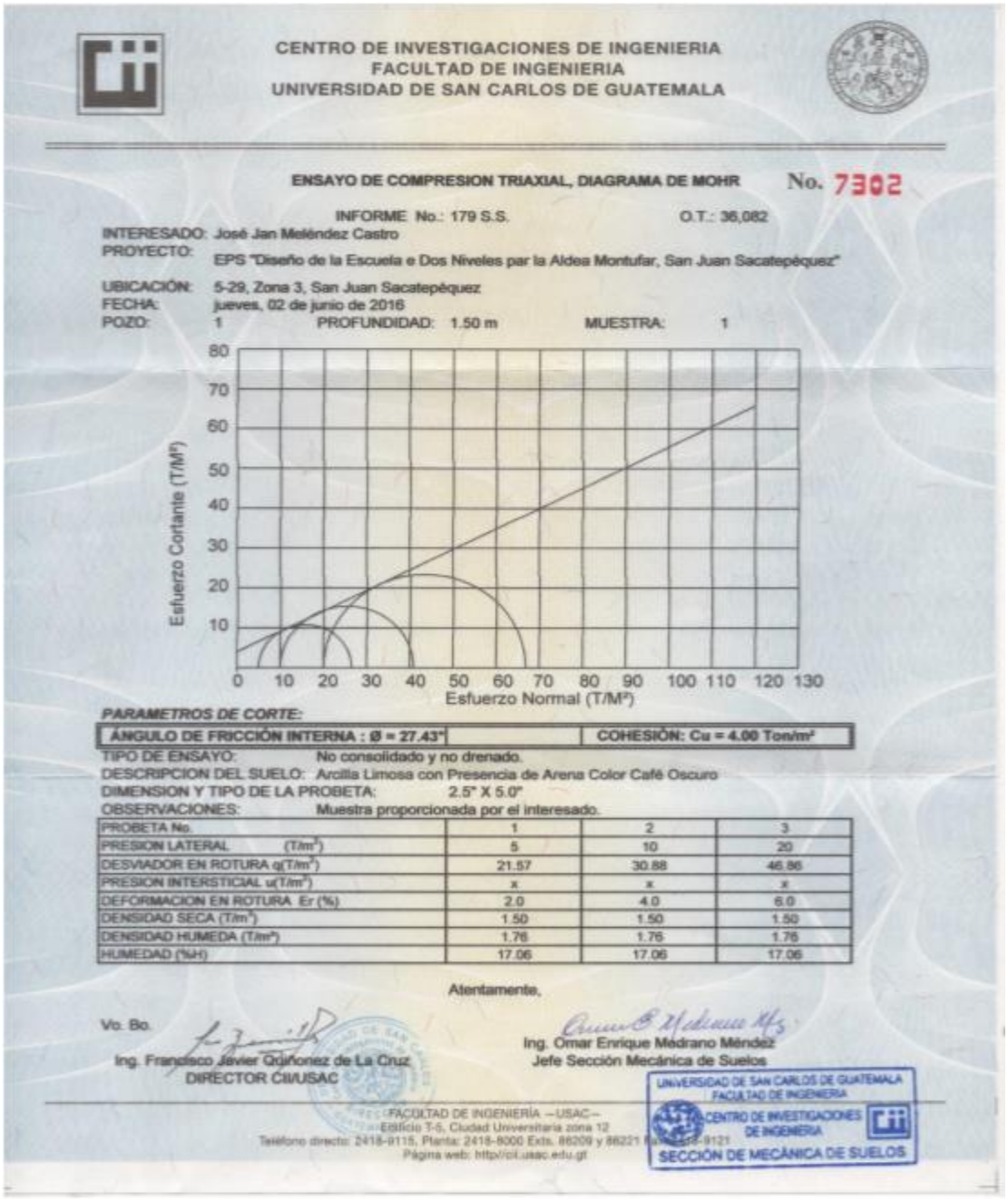
15. MCCORMAC, Jack. *Diseño de concreto reforzado*. 4a ed. México D.F.: Alfaomega, 2002. 784 p.

16. Ministerio de Educación. *Criterios normativos para el diseño arquitectónico de centros educativos*. Guatemala: MINEDUC, 2007. 157 p.

17. NILSON, Arthur; WINTER, George. *Diseño de estructuras de concreto*. 11a ed. Colombia: McGraw-Hill, 1994. 770 p.

APÉNDICES

Apéndice 1. **Ensayo de compresión triaxial, diagramas de Mohr**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL, DIAGRAMA DE MOHR No. 7302

INFORME No.: 179 S.S. O.T.: 36,082

INTERESADO: José Jan Meléndez Castro
PROYECTO: EPS "Diseño de la Escuela e Dos Niveles par la Aldea Montufar, San Juan Sacatepéquez"
UBICACIÓN: 5-29, Zona 3, San Juan Sacatepéquez
FECHA: jueves, 02 de junio de 2016
POZO: 1 PROFUNDIDAD: 1.50 m MUESTRA: 1

Esfuerzo Cortante (T/M²)
80 70 60 50 40 30 20 10
0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130
Esfuerzo Normal (T/M²)

PARAMETROS DE CORTE:

ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA : Ø = 27.43°	COHESIÓN: Cu = 4.00 Ton/m²

TIPO DE ENSAYO: No consolidado y no drenado.
DESCRIPCION DEL SUELO: Arcilla Limosa con Presencia de Arena Color Café Oscuro
DIMENSION Y TIPO DE LA PROBETA: 2.5" X 5.0"
OBSERVACIONES: Muestra proporcionada por el interesado.

PROBETA No.	1	2	3
PRESION LATERAL (T/m²)	5	10	20
DESVIADOR EN ROTURA q(T/m²)	21.57	30.88	46.86
PRESION INTERSTICIAL u(T/m²)	x	x	x
DEFORMACION EN ROTURA Er (%)	2.0	4.0	6.0
DENSIDAD SECA (T/m³)	1.50	1.50	1.50
DENSIDAD HUMEDA (T/m³)	1.76	1.76	1.76
HUMEDAD (%H)	17.06	17.06	17.06

Atentamente,

Vo. Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñonez de La Cruz
DIRECTOR CII/USAC

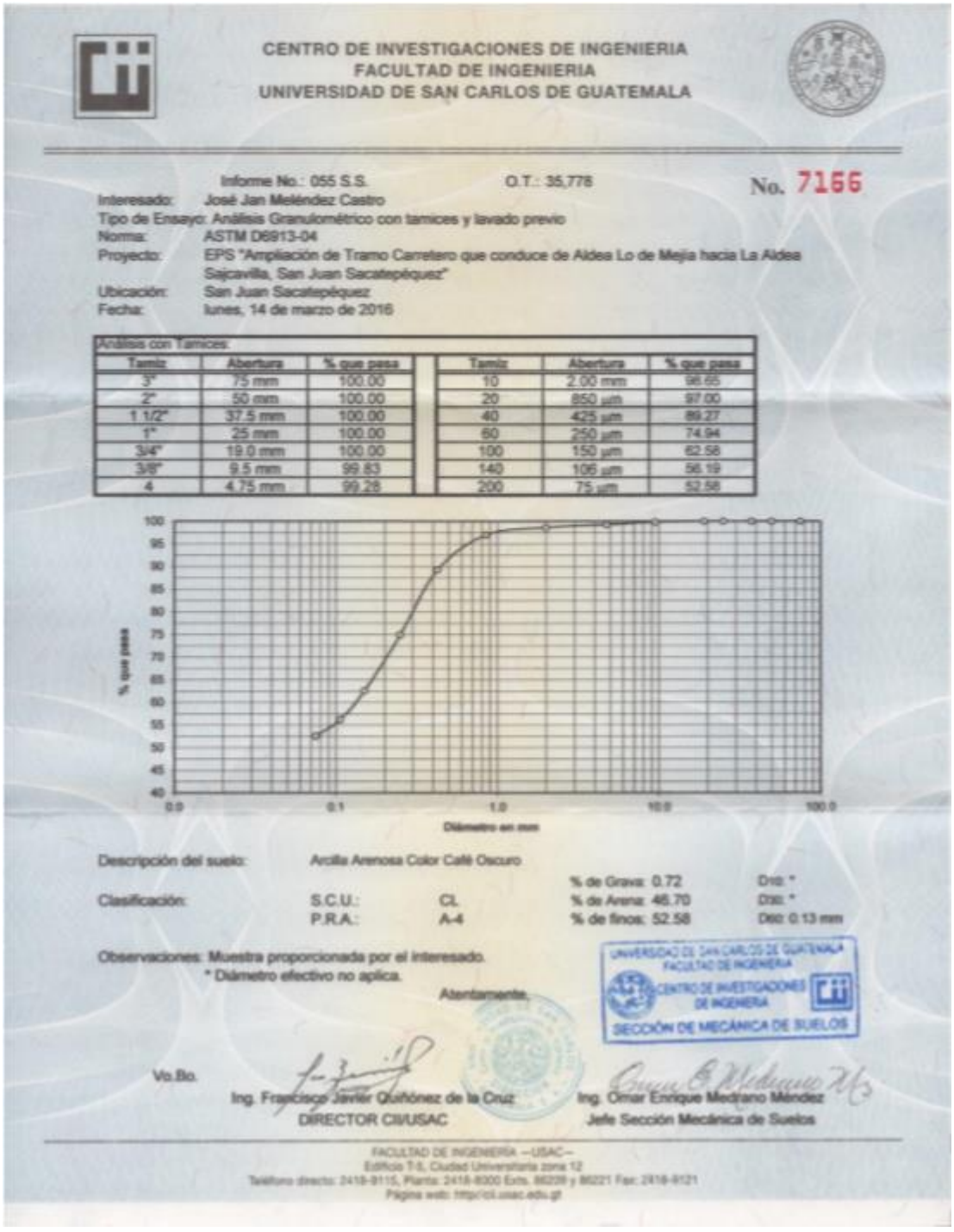
Ing. Omar Enrique Médrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERÍA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Página web: http://cii.usac.edu.gt

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Ensayo Granulométrico**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Informe No.: 055 S.S. O.T.: 35,778 No. 7166

Interesado: José Jan Meléndez Castro
Tipo de Ensayo: Análisis Granulométrico con tamices y lavado previo
Norma: ASTM D6913-04
Proyecto: EPS "Ampliación de Tramo Carretero que conduce de Aldea Lo de Mejía hacia La Aldea Sajcavilla, San Juan Sacatepéquez"
Ubicación: San Juan Sacatepéquez
Fecha: lunes, 14 de marzo de 2016

Análisis con Tamices:

Tamiz	Abertura	% que pasa	Tamiz	Abertura	% que pasa
3"	75 mm	100.00	10	2.00 mm	98.65
2"	50 mm	100.00	20	850 µm	97.00
1 1/2"	37.5 mm	100.00	40	425 µm	89.27
1"	25 mm	100.00	60	250 µm	74.94
3/4"	19.0 mm	100.00	100	150 µm	62.56
3/8"	9.5 mm	99.83	140	106 µm	56.19
4	4.75 mm	99.28	200	75 µm	52.58

Descripción del suelo: Arcilla Arenosa Color Café Oscuro

Clasificación: S.C.U.: CL P.R.A.: A-4

% de Grava: 0.72 D10: *
% de Arena: 46.70 D30: *
% de finos: 52.58 D60: 0.13 mm

Observaciones: Muestra proporcionada por el interesado.
* Diámetro efectivo no aplica.

Atentamente,

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA FACULTAD DE INGENIERIA CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Vo.Bo.

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERÍA --USAC--
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86239 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. **Ensayo CBR**

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INFORME No. 085 S.S. O.T. No. 35,848 No. 7174

Interesado: José Jan Meléndez Castro
Asunto: Ensayo de Razón Soporte California (C.B.R.) Norma: A.A.S.H.T.O.T-193
Proyecto: EPS "Ampliación de Tramo Carretero que Conduce de Aldea Lo de Mejía hacia La Aldea Sajcavilla, San Juan Sacatepéquez"
Ubicación: San Juan Sacatepéquez
Descripción del suelo: Arcilla Arenosa Color Café Oscuro
Fecha: miércoles, 06 de abril de 2016

PROBETA	GOLPES	A LA COMPACTACION		C	EXPANSION	C.B.R.
No.	No.	H (%)	γs (Lb/pie^3)	(%)	(%)	(%)
1	10	17.50	100.71	91.6	0.04	11.09
2	30	17.50	106.48	96.8	0.02	20.52
3	65	17.50	111.74	101.6	0.17	40.79

GRAFICA DE % C.B.R- % DE COMPACTACION

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado. Proctor Según Orden de Trabajo No. 35,778.

Atentamente,

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Vo. Bo.

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

FACULTAD DE INGENIERÍA --USAC--
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Ensayo Proctor**

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INFORME No. 056 S.S. O.T.: 35,778 No. 7167

Interesado: José Jan Meléndez Castro
Asunto: ENSAYO DE COMPACTACIÓN.
Proyecto: EPS "Ampliación de Tramo Carretero que Conduce de Aldea Lo de Mejía hacia La Aldea Sajcavilla, San Juan Sacatepéquez"
Ubicación: San Juan Sacatepéquez
Fecha: lunes, 14 de marzo de 2016

Proctor Estándar: ( ) Norma: A.A.S.H.T.O. T-99
Proctor Modificado: (X) Norma: A.A.S.H.T.O. T-180

Descripción del suelo: Arcilla Arenosa Color Café Oscuro
Densidad seca máxima γd: 1,761.40 Kg/m^3 109.95 lb/pie^3
Humedad óptima Hop.: 17.50 %
Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.
Atentamente,

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Vo. Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

FACULTAD DE INGENIERIA –USAC–
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86209 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 5. **Ensayo Límites de atterberg**

CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INFORME No. 054 S.S. O.T.: 35,778 No. 7165

Interesado: José Jan Meléndez Castro

Proyecto: EPS "Ampliación de Tramo Carretero que conduce de Aldea Lo de Mejía hacia la Aldea Sajcavilla, San Juan Sacatepéquez"

Asunto: ENSAYO DE LIMITES DE ATTERBERG

Norma: AASHTO T-89 Y T-90

Ubicación: San Juan Sacatepéquez

FECHA: lunes, 14 de marzo de 2016

RESULTADOS:

ENSAYO No.	MUESTRA No.	L.L. (%)	I.P. (%)	CLASIFICACION *	DESCRIPCION DEL SUELO
1	1	27.7	5.8	CL	Arcilla Arenosa Color Café Oscuro

(*) CLASIFICACION SEGÚN CARTA DE PLASTICIDAD

Observaciones: Muestra proporcionado por el interesado.

Atentamente,

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
SECCIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS

Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
Jefe Sección Mecánica de Suelos

Vo.Bo.
Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
DIRECTOR CII/USAC

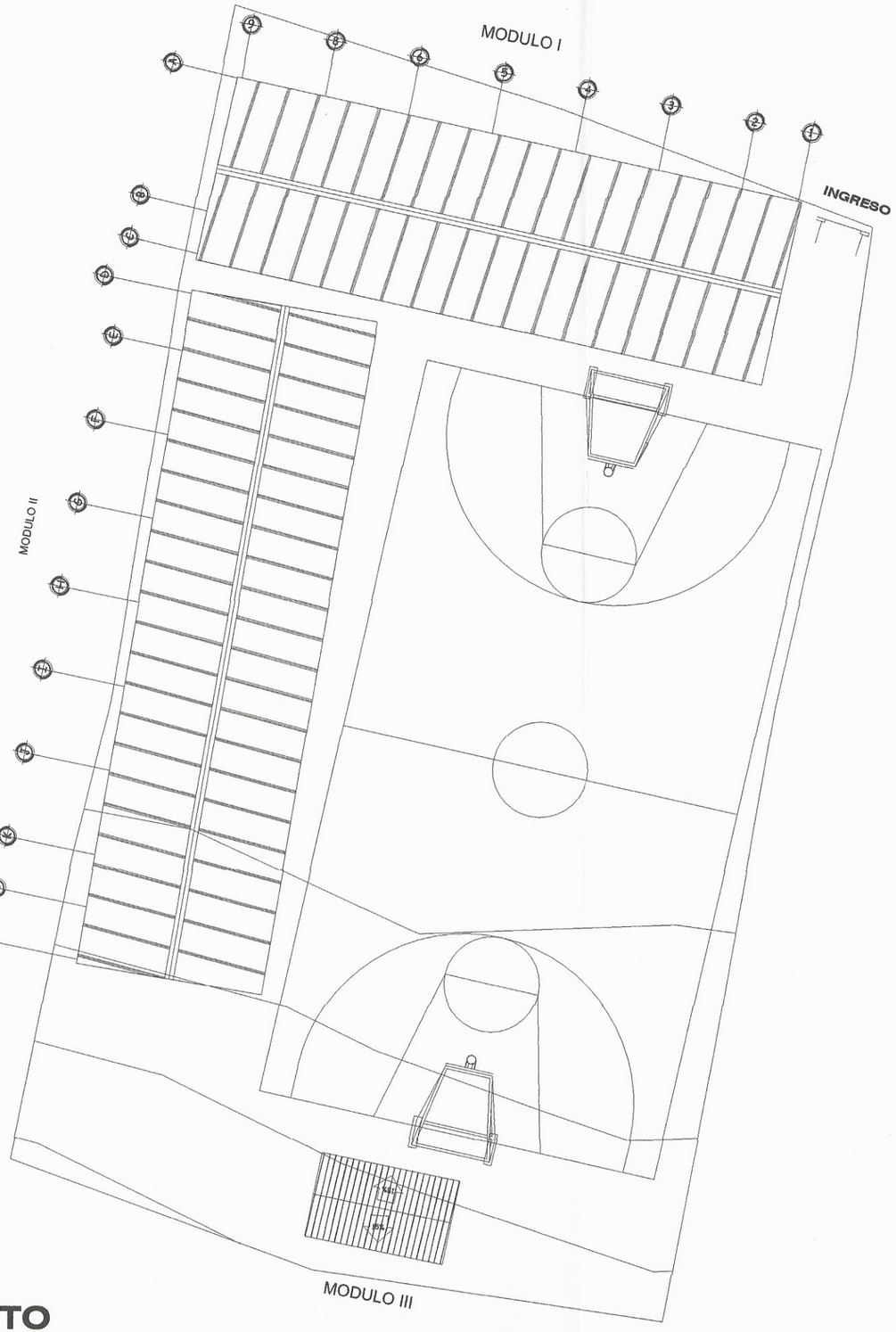
FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC –
Edificio T-5, Ciudad Universitaria zona 12
Teléfono directo: 2418-9115, Planta: 2418-8000 Exts. 86208 y 86221 Fax: 2418-9121
Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 1. **Planos constructivos, escuela Pixcaya, aldea Montúfar.**

Fuente: Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.



PLANTA DE CONJUNTO

ESCALA 1:350

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

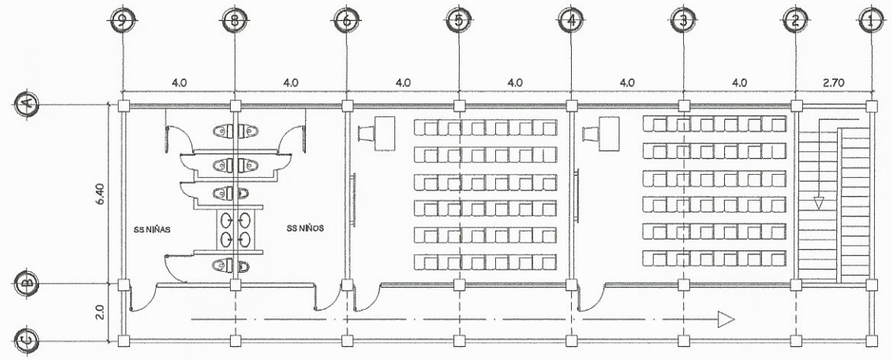
CONTIENE: PLANTA DE CONJUNTO

TIPO	HOJA
A	1/15

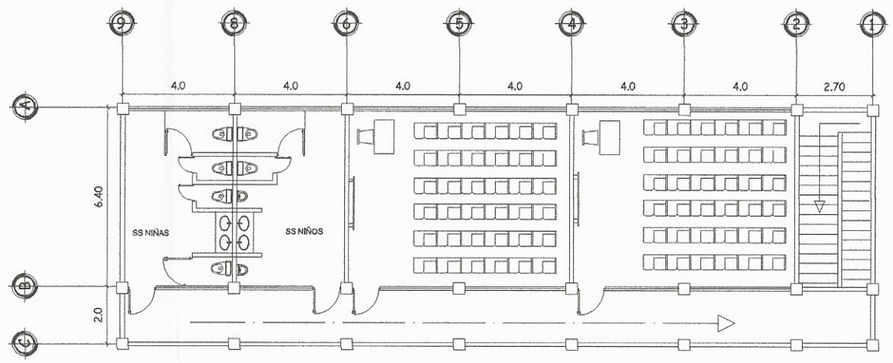
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

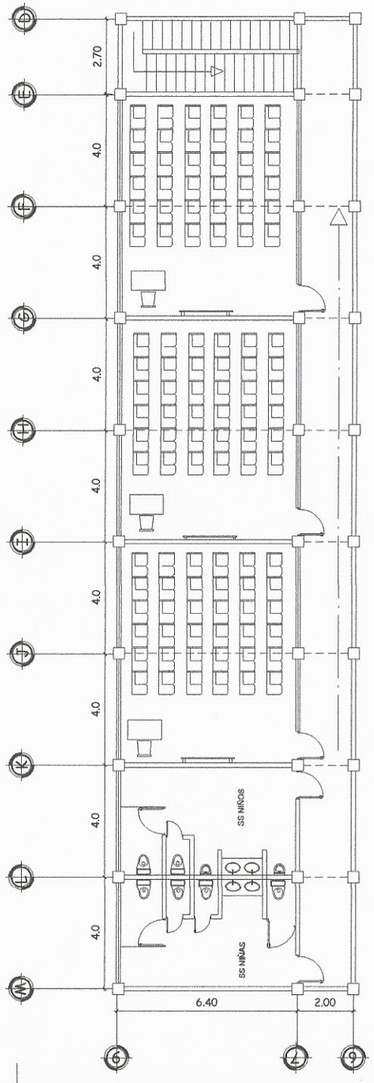
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



MODULO I



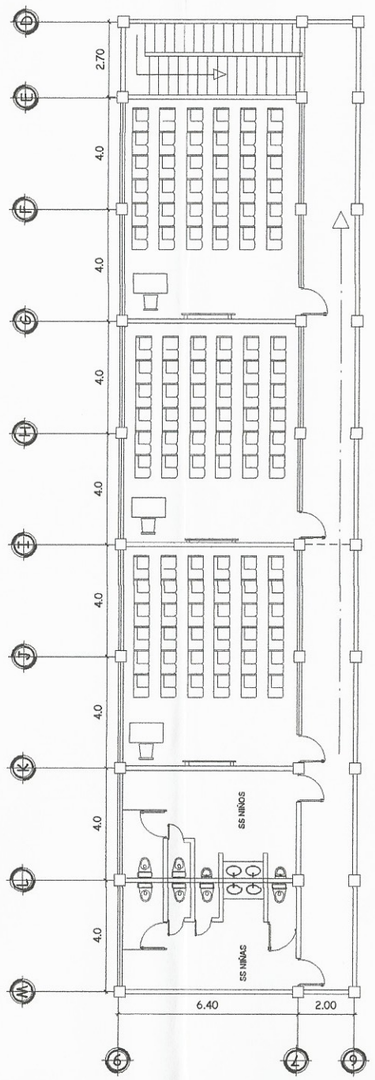
MODULO I



MODULO II

PLANTA AMUEBLADA 1er NIVEL

ESCALA 1:125



MODULO II

PLANTA AMUEBLADA 2do NIVEL

ESCALA 1:125

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: PLANTA AMUEBLADA

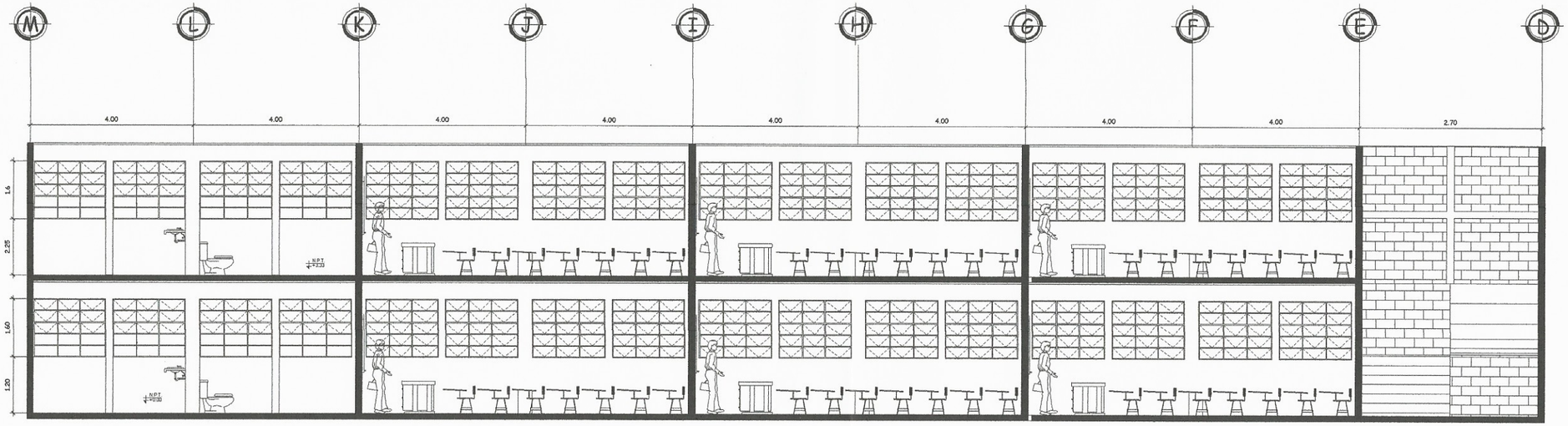
TIPO: A

HOJA: 2 / 15

DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

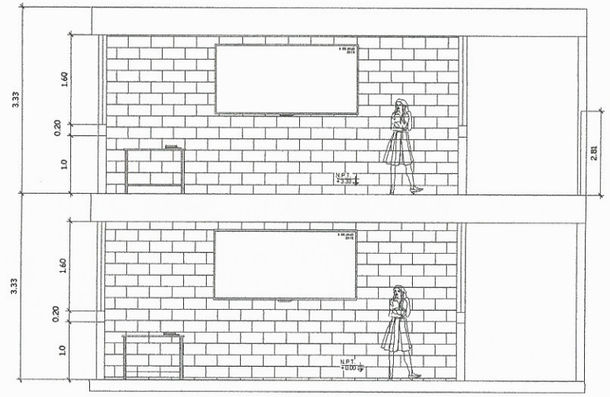
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



SECCION B-B'

ESCALA 1:125



SECCION C-C'

ESCALA 1:150

SECCION A-A'

ESCALA 1:125

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: SECCIONES

TIPO: A

HOJA: 3/15

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

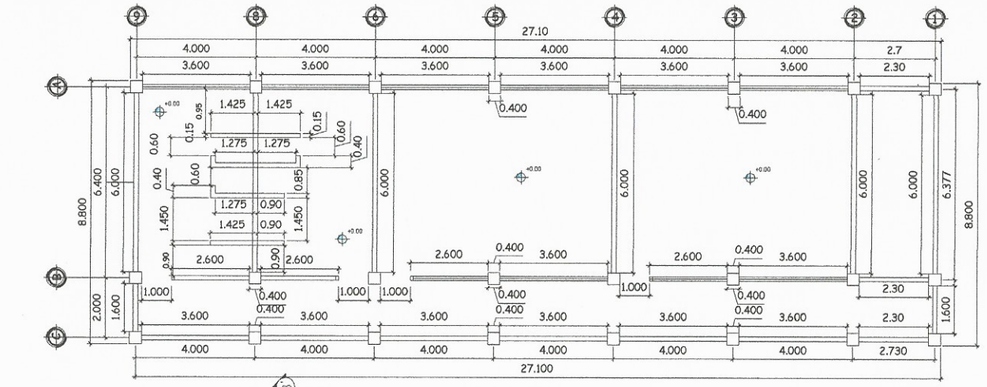
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

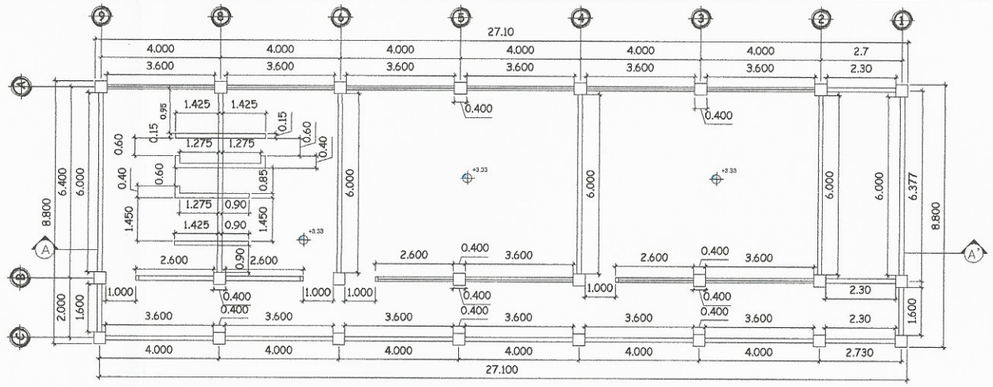
ESCALA: INDICADA

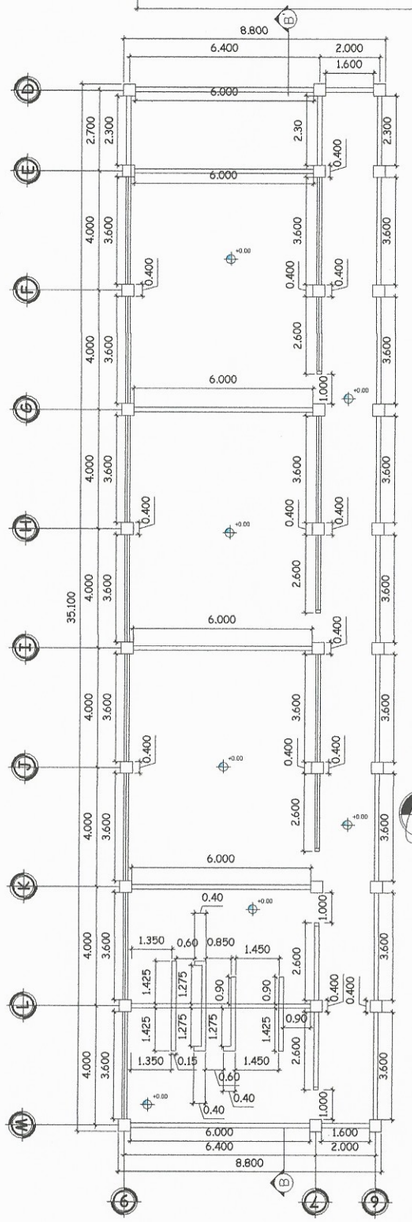
FECHA: JULIO 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Maya Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA
SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

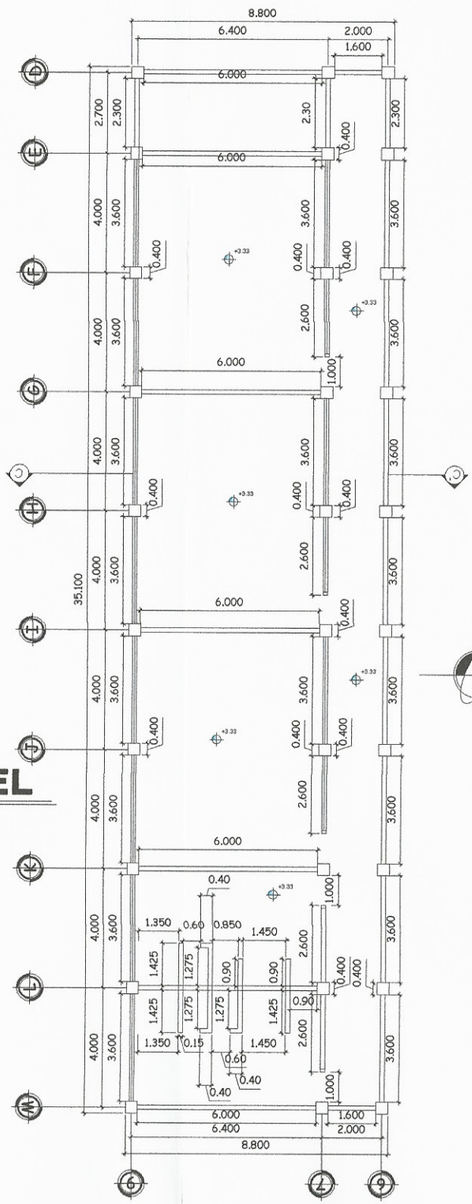






PLANTA ACOTADA 1 NIVEL

ESCALA 1:125



PLANTA ACOTADA 2 NIVEL

ESCALA 1:125

NOTA:

- LOS MODULOS SE ENCUENTRAN SEPARADOS 1.00 MTS.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

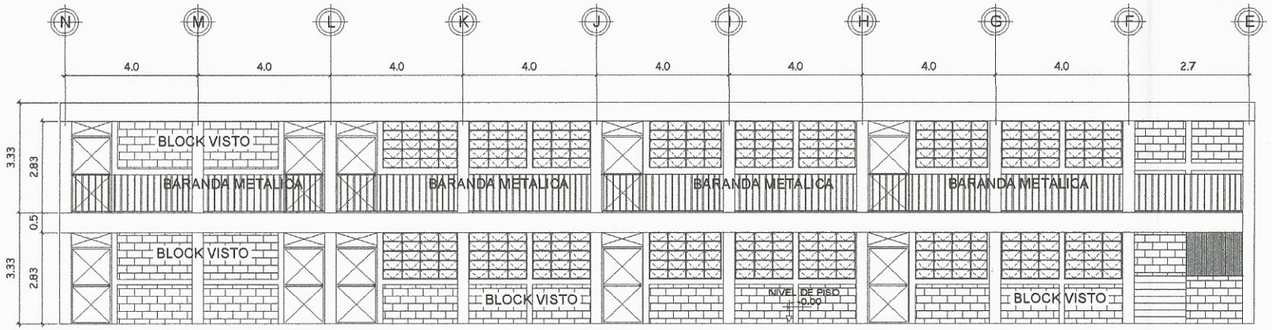
PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE:	TIPO	HOJA
PLANTA ACOTADA	A	4 / 15

DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2018

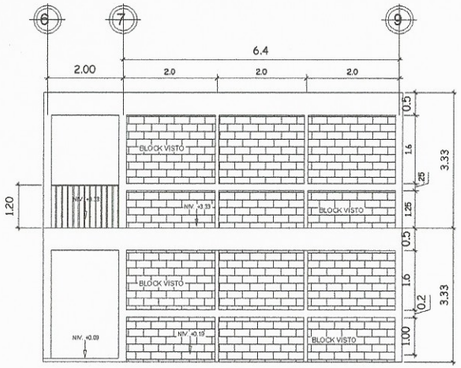
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



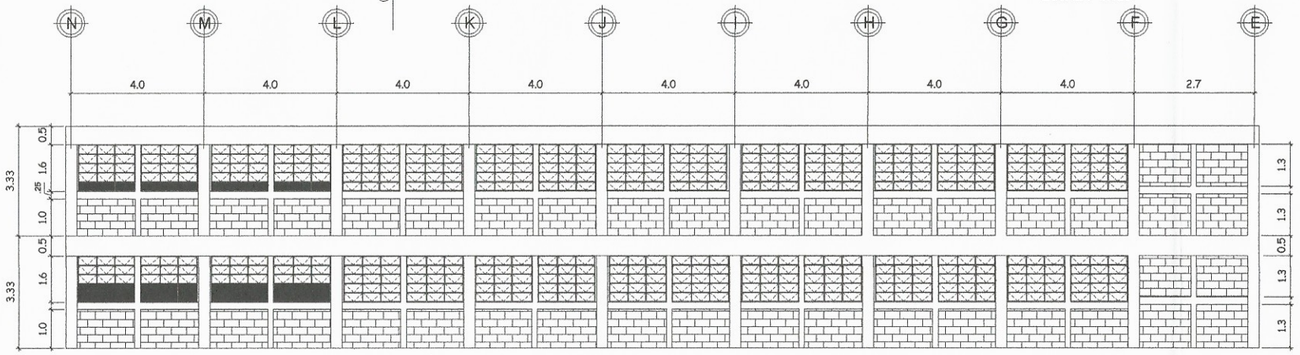
ELEVACION FRONTAL MODULO II

ESCALA 1:125



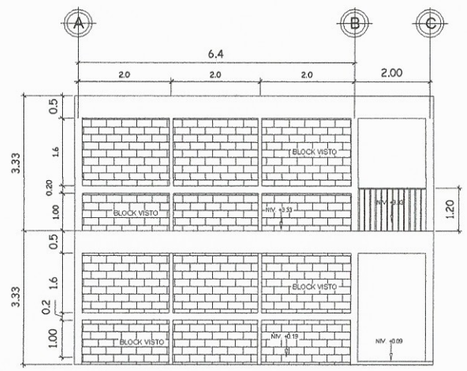
ELEVACION LATERAL MODULO II

ESCALA 1:125



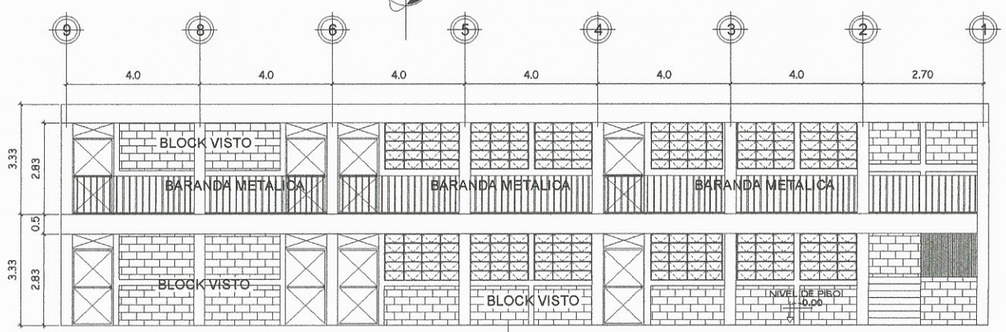
ELEVACION POSTERIOR MODULO II

ESCALA 1:125



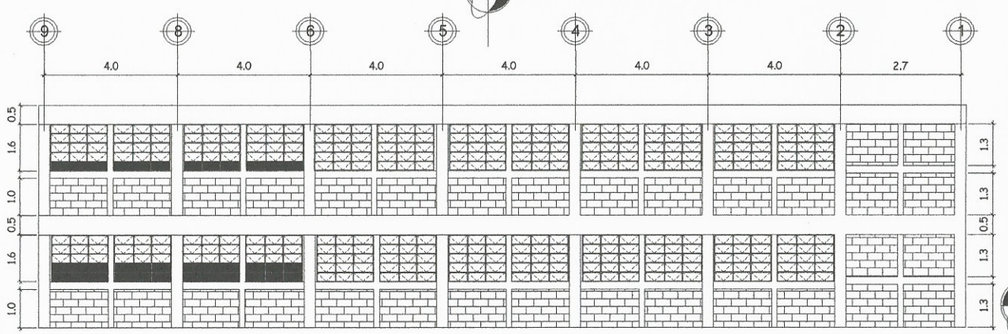
ELEVACION LATERAL MODULO I

ESCALA 1:125



ELEVACION FRONTAL MOODULO I

ESCALA 1:125



ELEV. POST. MODULO I

ESCALA 1:125

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: ELEVACIONES

TIPO: A

HOJA: 5 / 15

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

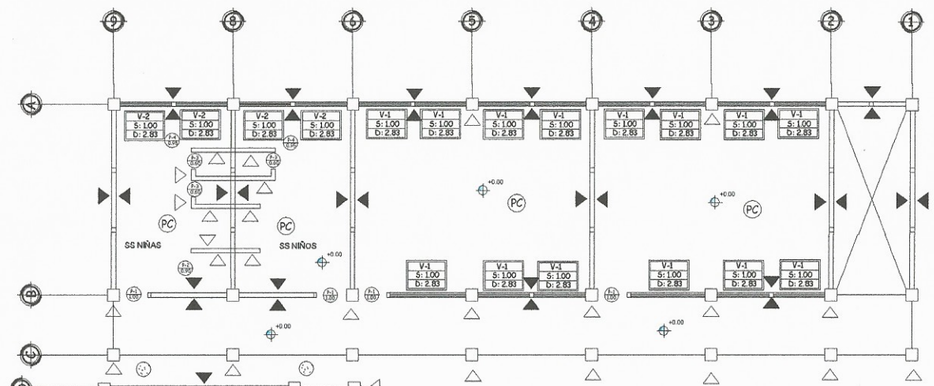
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

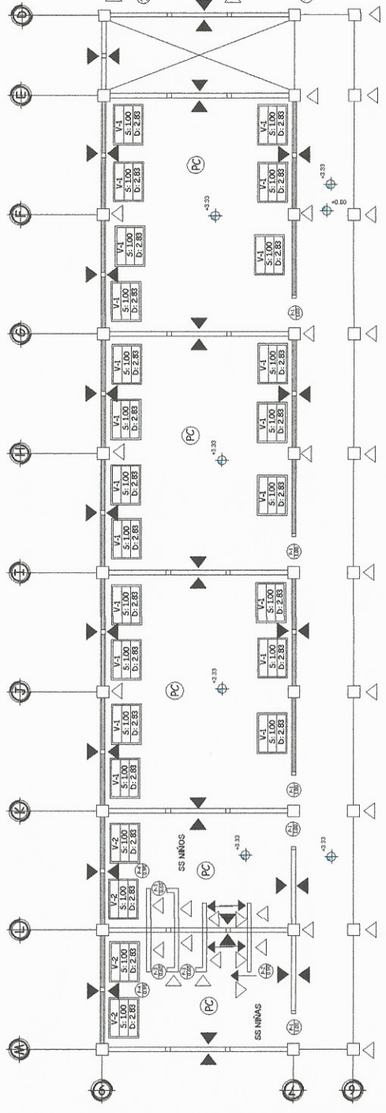
ESCALA: INDICADA

FECHA: JULIO 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

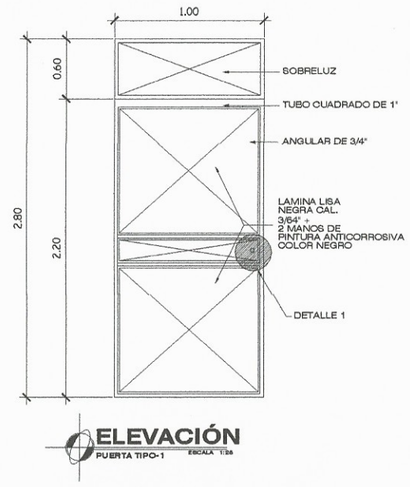
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA





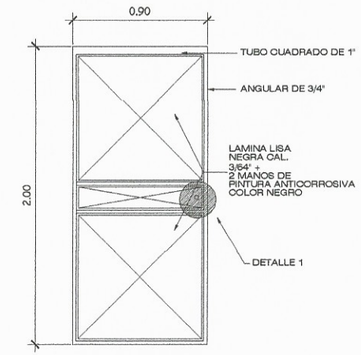
PLANTA DE ACABADOS 1er NIVEL

ESCALA 1:125



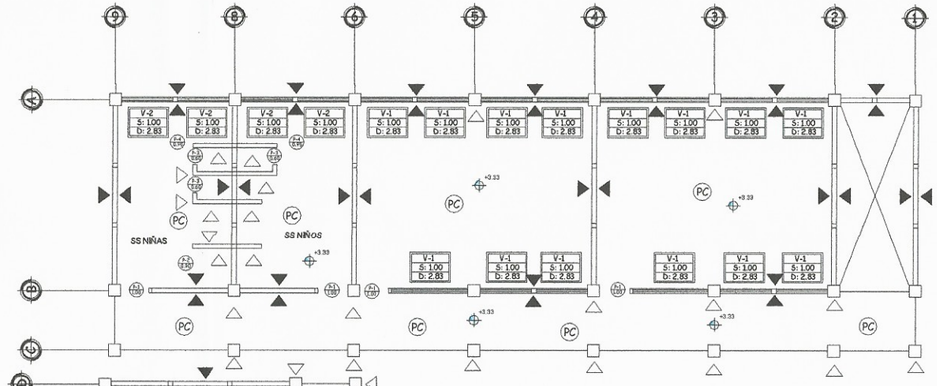
ELEVACIÓN

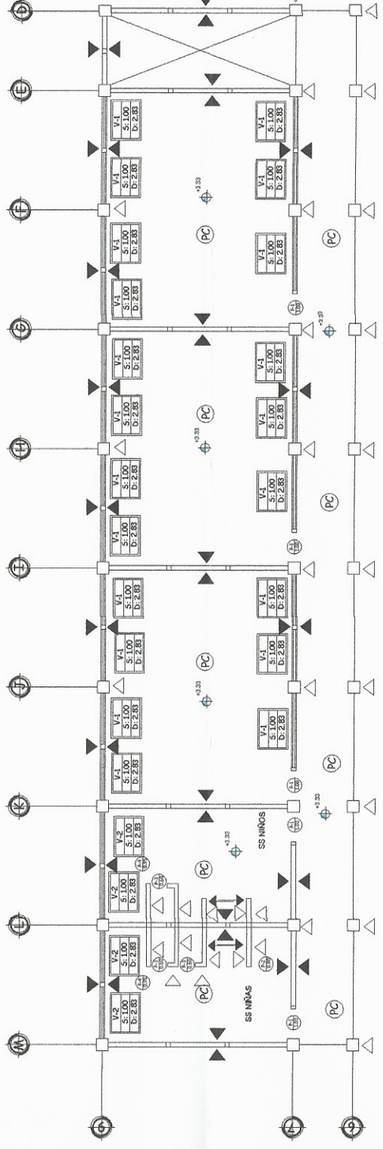
PUERTA TIPO-1 ESCALA 1:25



ELEVACIÓN

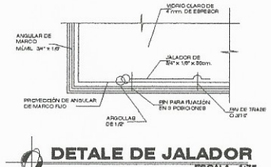
PUERTA TIPO-2 ESCALA 1:25





PLANTA DE ACABADOS 2do NIVEL

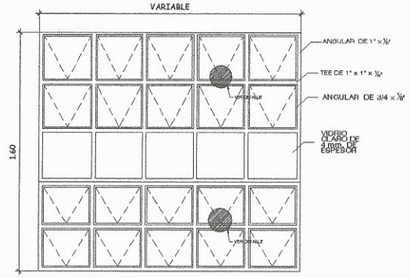
ESCALA 1:125



DETALE DE JALADOR

ESCALA 1:75

DETALLE 1



ELEVACIÓN

VENTANERIA V1 - V2 ESCALA 1:25

PLANILLA DE PUERTAS

TIPO	ANCHO	ALTO	ALTURA DINTEL	UNIDADES	MATERIAL	TIPO DE ABATIMIENTO
P-1	1.00	2.20	---	18	LAMINA LISA NEGRA CAL. 3/64"+ 2 MANOS DE PINTURA COLOR BLANCO	ABATIMIENTO 180 GRADOS
P-2	0.90	2.00	---	4	LAMINA LISA NEGRA CAL. 3/64"+ 2 MANOS DE PINTURA COLOR BLANCO	ABATIMIENTO 90 GRADOS
P-3	0.60	2.00	----	12	LAMINA LISA NEGRA CAL. 3/64"+ 2 MANOS DE PINTURA COLOR BLANCO	ABATIMIENTO 90 GRADOS
P-4	0.95	2.00	---	8	TUBO CUADRADO DE 1" 2 MANOS DE PINTURA ANTICORROSIVA COLOR BLANCO MADERA DE CEDRO + BARNIZ	ABATIMIENTO 90 GRADOS

PLANILLA DE VENTANAS

TIPO	ANCHO	ALTO	SILLAR	DINTEL	UNIDADES	MATERIAL	OBSERVACIONES
V-1	1.7	1.6	1.20	2.80	40	VIDRIO DE 4mm. PINTURA ANTICORROSIVA COLOR BLANCO	DE BALANCIN
V-2	1.70	1.6	1.20	2.80	16	VIDRIO DE 4mm. PINTURA ANTICORROSIVA COLOR BLANCO	DE BALANCIN

SIMBOLOGIA DE ACABADOS

SIMBOLO	SIGNIFICADO
V-1 / S: 1.73 / D: 3.10	INDICA TIPO DE VENTANA; INDICA ALTURA DEL SILLAR; INDICA ALTURA DEL DINTEL
▷	INDICA REPELLO GRIS + CERNIDO VERTICAL + PINTURA
▶	INDICA BLOCK VISTO SISADO COLUMNAS Y SOLERAS TALLADAS + PINTURA
P-1 / 1.00	INDICA TIPO DE PUERTA Y BANO DE LA PUERTA
⋰	INDICA BANQUETA DE CONCRETO CERNIDA
PC	PISO CERAMICO
→	AZULEJO TIPO NACIONAL h =1.20m.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: PLANTA DE ACABADOS + DETALLES

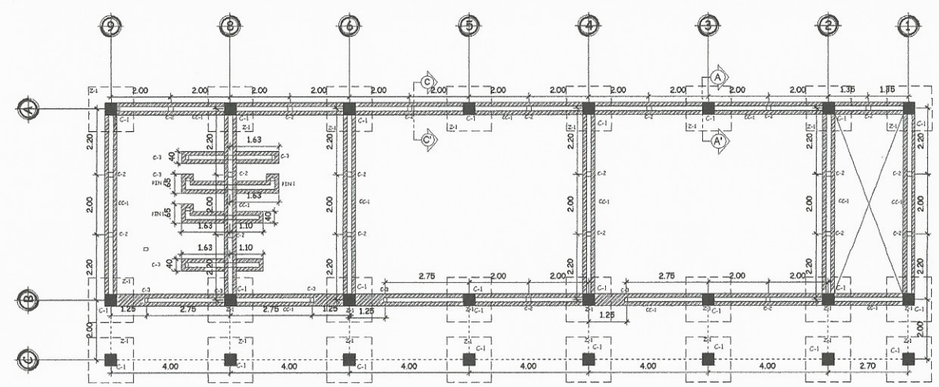
TIPO: A

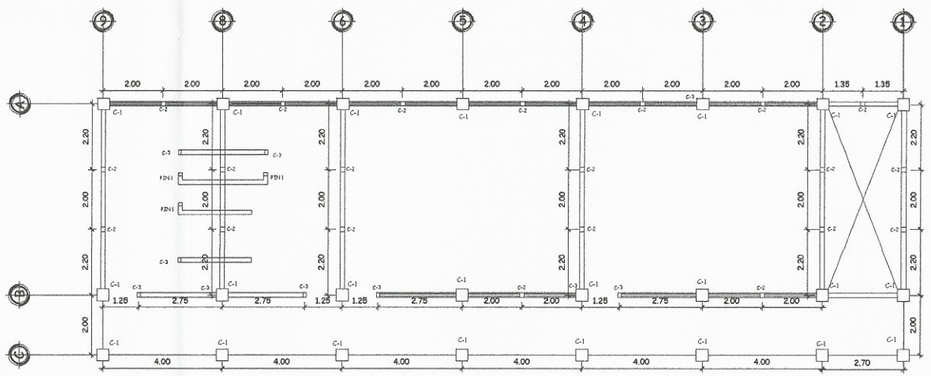
HOJA: 6 / 15

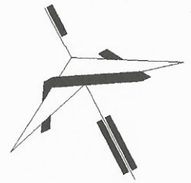
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

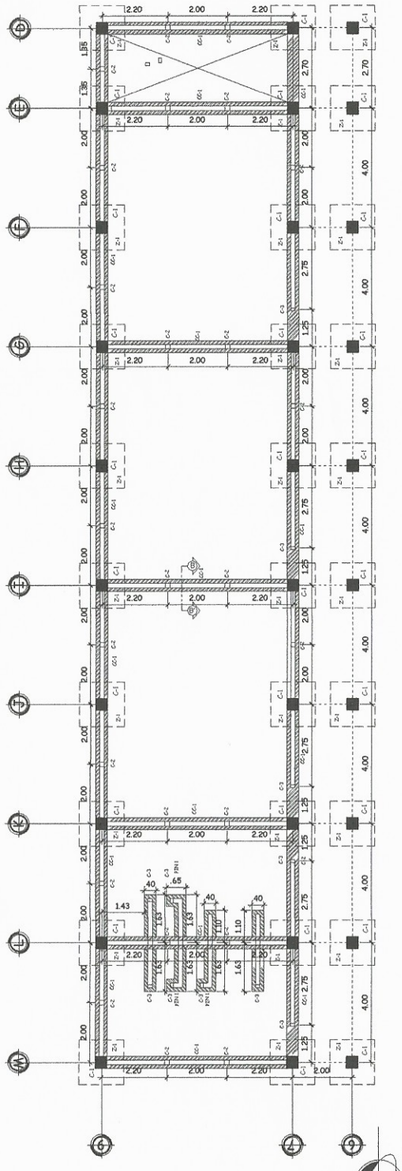
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

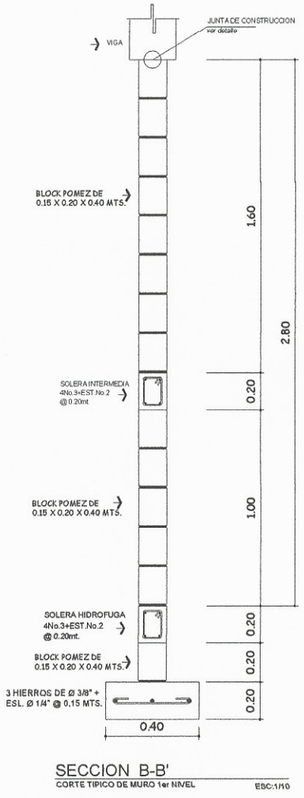
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



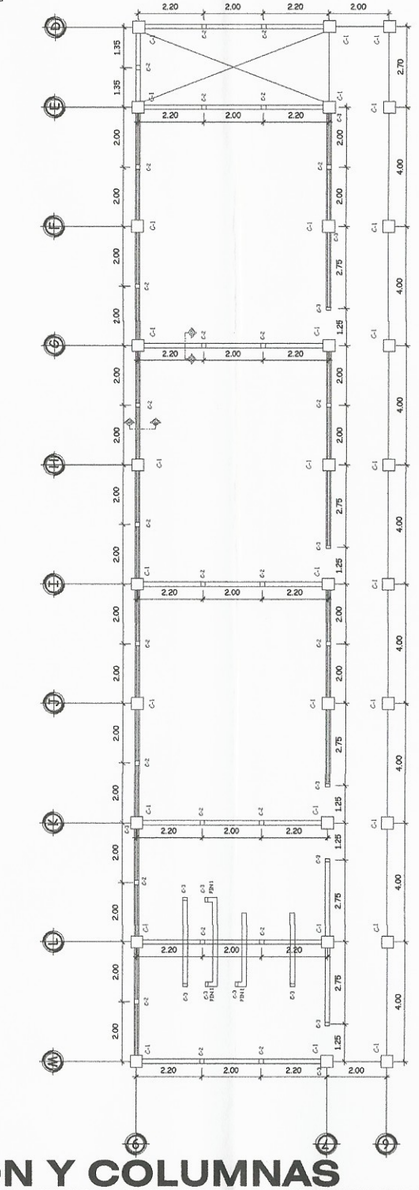


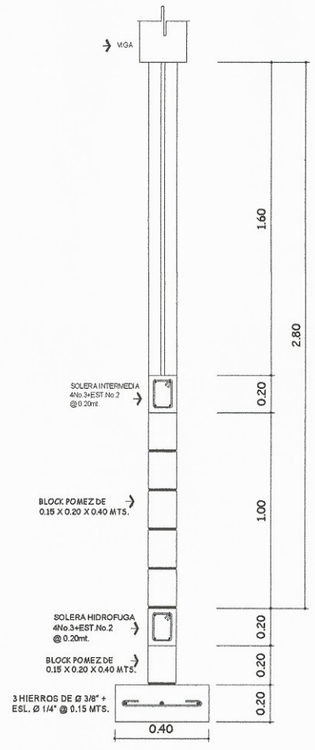






SECCION B-B'
CORTE TIPICO DE MURO 1er NIVEL ESC:1/10





SECCION C-C'
CORTE TIPICO DE MURO ESC:1/10

CONCRETO
F'c = CONCRETO 4000 lbs/plg^2 A LOS 28 DIAS AGREGADO ø 3/4"

ACERO DE REFUERZO
Fy = 40,000 Lbs/Plg.^{2}

MAMPOSTERIA
F'm = 35 Kg/Cm.^{2}

SOPORTE DE SUELO
ASUMIDO 33 T/m^2

CODIGOS DE REFERENCIA
ACI-318-08
AGIES NSE 2010

EMPALMES DE VARILLAS Y LONGITUDES DE ANCLAJE

VARILLA	LONGITUD A	LONGITUD B
No 3	0.40 m	0.12 m
No 4	0.50 m	0.16 m
No 5	0.60 m	0.20 m
No 6	0.70 m	0.25 m
No 8	0.80 m	0.30 m

RECUBRIMIENTOS

CIMIENTOS	7 cm.
ZAPATAS	7.5 cm.
COLUMNAS	5 cm.
VIGAS	4 cm.

PLANTA DE CIMENTACION Y COLUMNAS

ESCALA 1:125

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

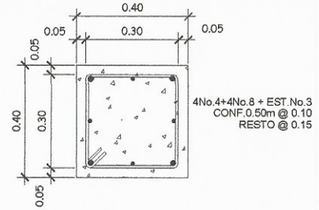
PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE:	TIPO	HOJA
PLANTA DE CIMENTACION	A	7/15

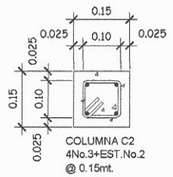
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

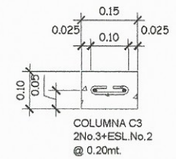
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



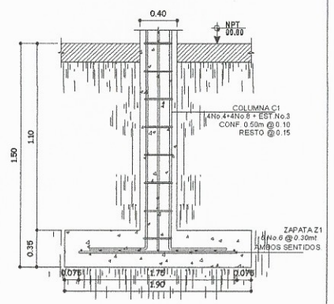
COLUMNA C-1
DETALLE SECCION ESC:1/10



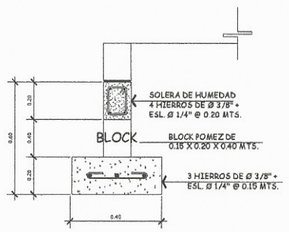
COLUMNA C2
DETALLE PLANTA ESC:1/10



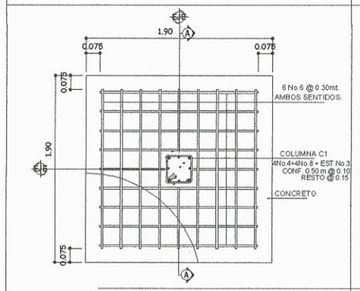
COLUMNA C3
DETALLE PLANTA ESC:1/10



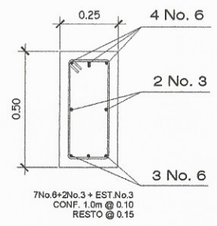
ZAPATA Z1
SECCION A - A ELEVACION ESC:1/10



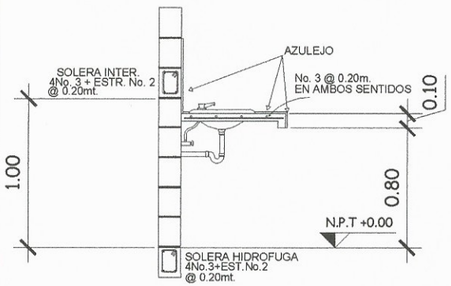
DETALLE CC-1
CIMIENTO CORRIDO TIPO CC-1 ESC:1/10



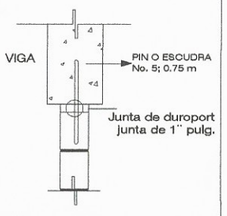
ZAPATA Z1
DETALLE PLANTA ESC:1/10



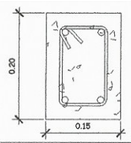
PLANTA DE VIGA
VIGA TIPO V-1 ESC:1/10



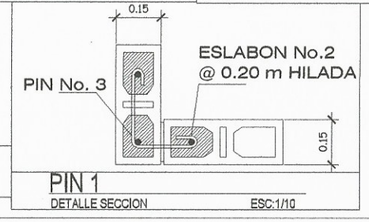
DET. SOPORTE DE LAVAMANOS
ESC:1/5



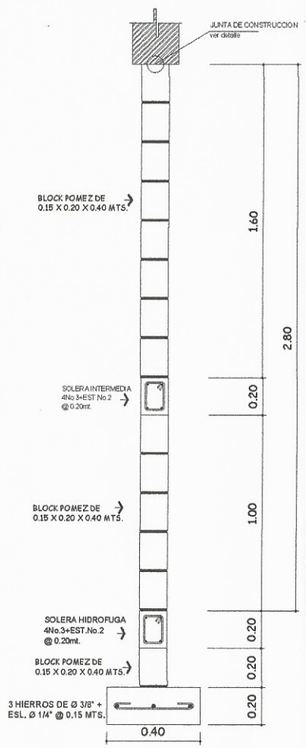
DETALLE DE JUNTA
JUNTA DE CONSTRUCCION ESC:1/10



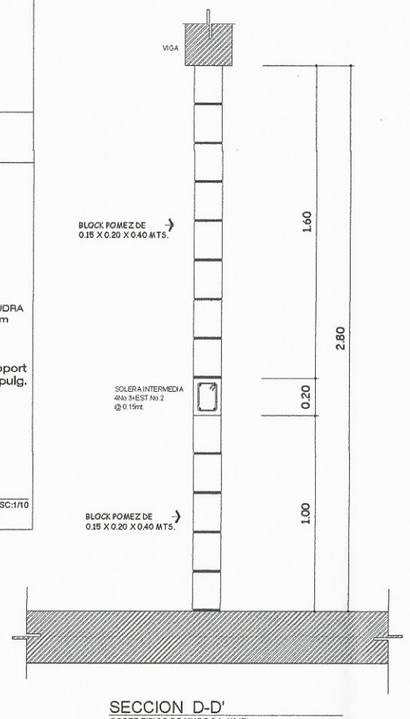
SOLERA S1
DETALLE PLANTA ESC:1/10



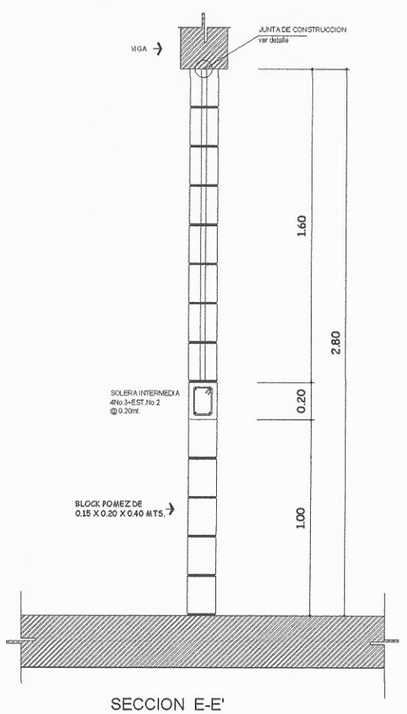
PIN 1
DETALLE SECCION ESC:1/10



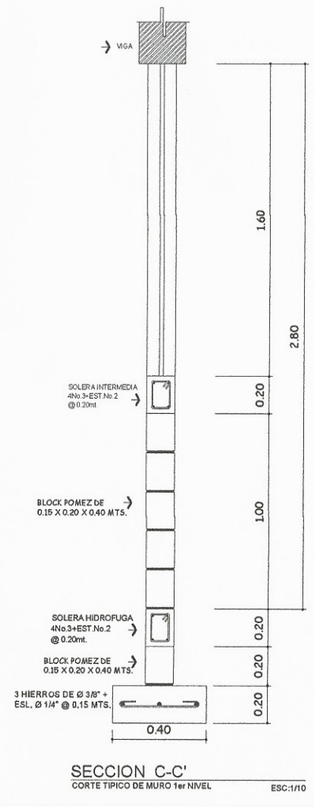
SECCION B-B'
CORTE TIPICO DE MURO 1er NIVEL ESC:1/10



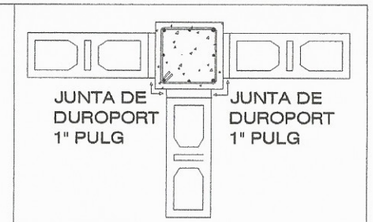
SECCION D-D'
CORTE TIPICO DE MURO 2do NIVEL ESC:1/10



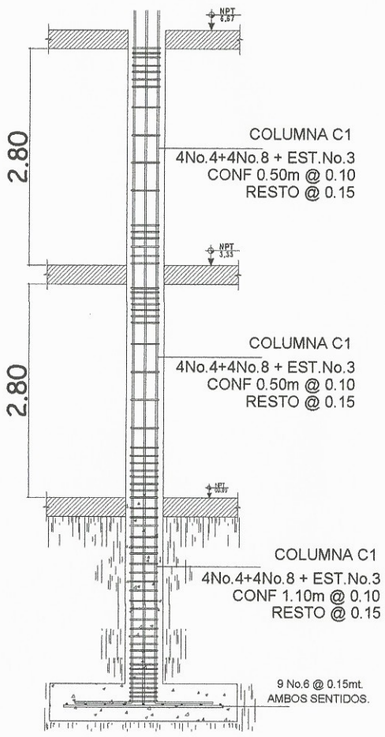
SECCION E-E'
CORTE TIPICO DE MURO 2do NIVEL ESC:1/75



SECCION C-C'
CORTE TIPICO DE MURO 1er NIVEL ESC:1/10



DETALE DE JUNTA
DETALLE SECCION ESC:1/10



DETALLE DE COLUMNA
CORTE TIPICO DE COLUMNA ESC:1/10

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

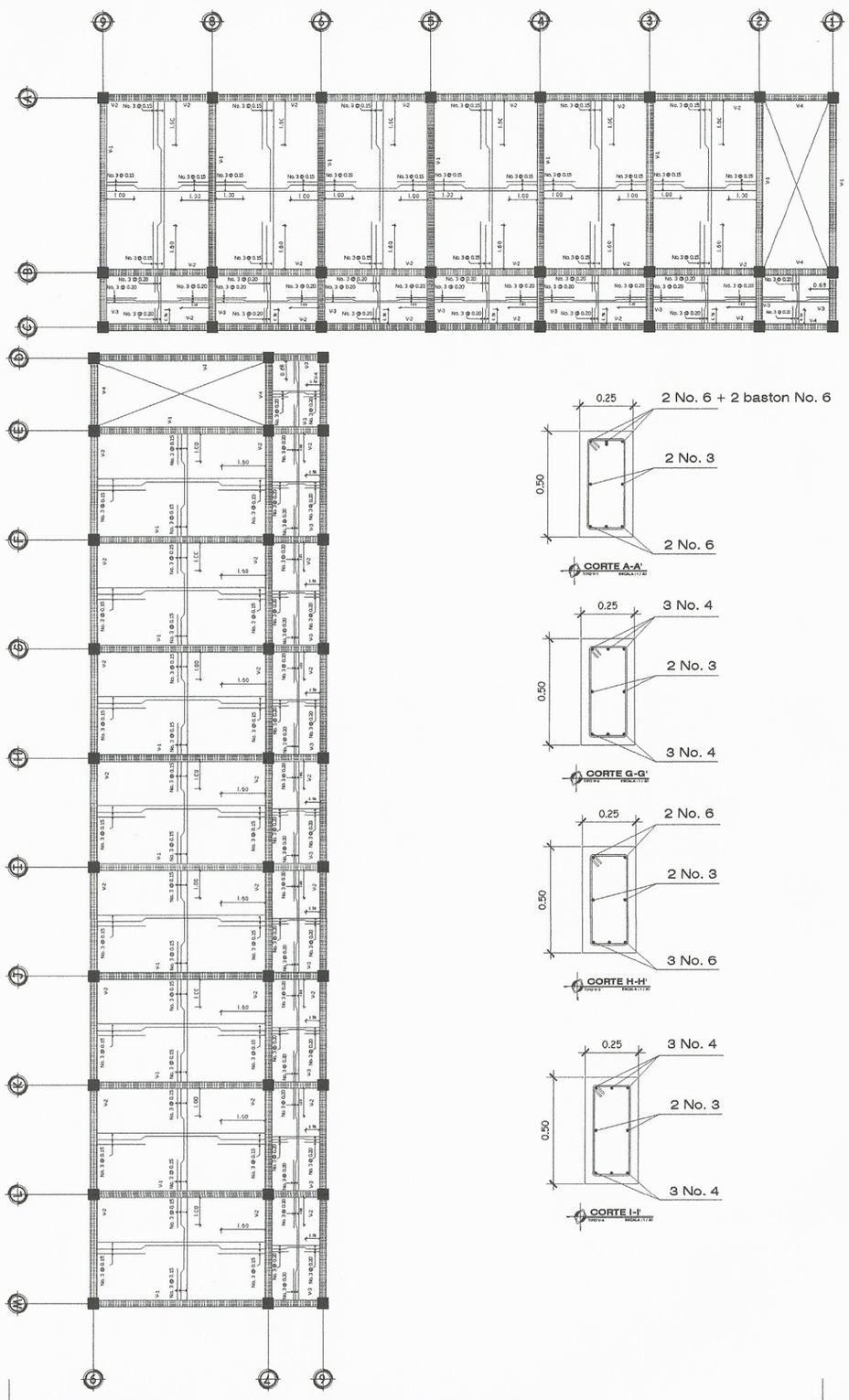
CONTIENE: DETALLES ESTRUCTURALES

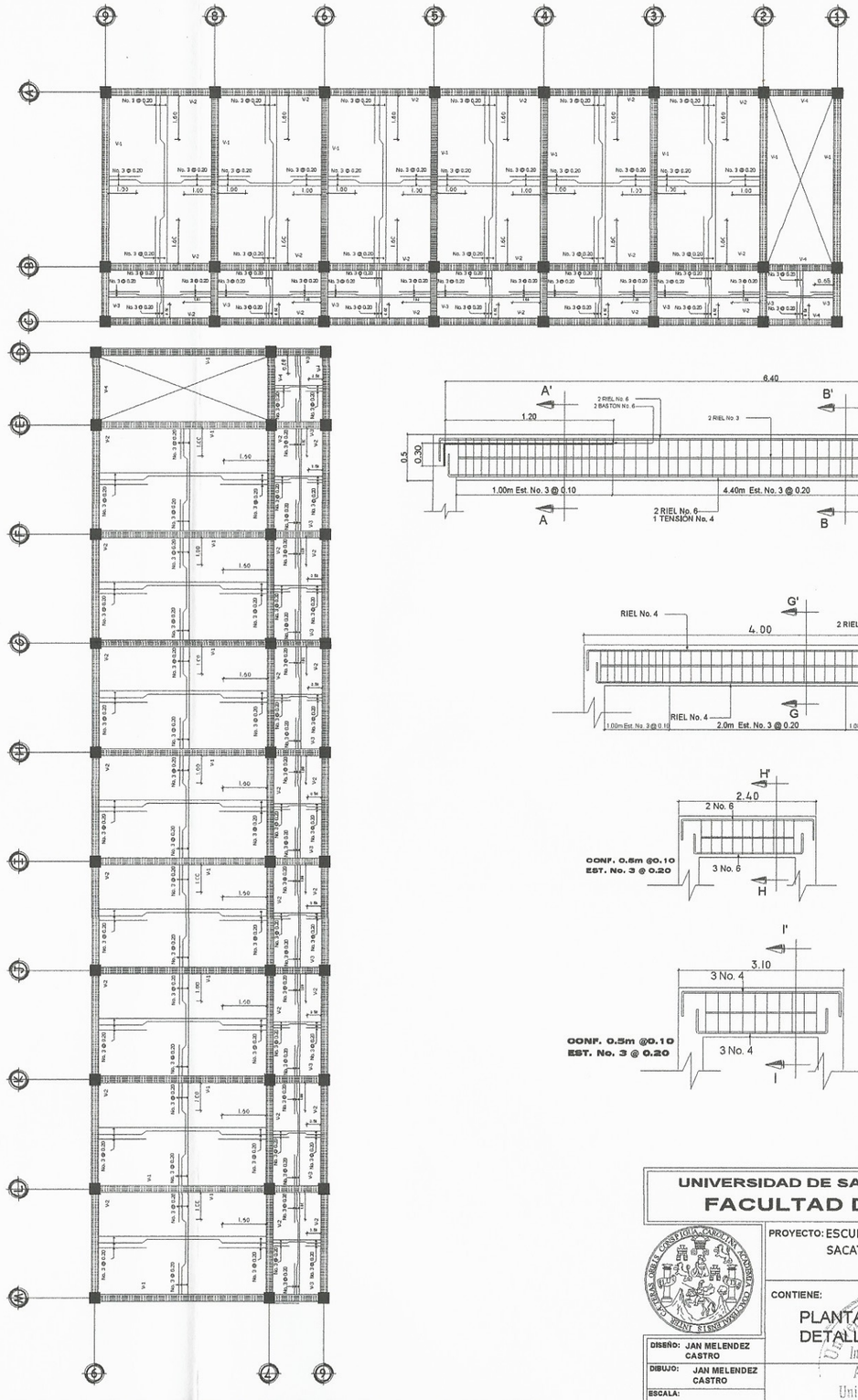
TIPO	HOJA
A	8 / 15

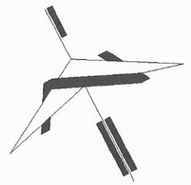
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

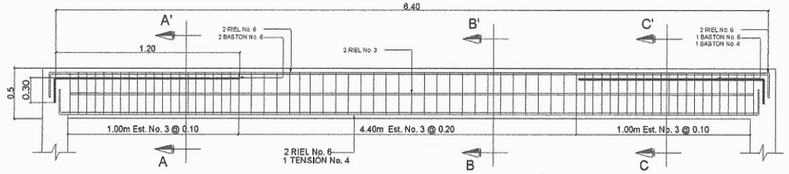
Vo.Bo. Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

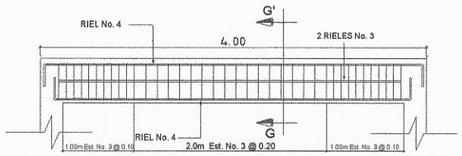








DETALLE DE VIGA V-1
ESCALA: 1 / 25



DETALLE DE VIGA V-2
ESCALA: 1 / 25

DETALLE DE VIGA V-3
ESCALA: 1 / 25

DETALLE DE VIGA V-4
ESCALA: 1 / 25

ARMADO DE LOSA 1er NIVEL

ESCALA 1:125

ARMADO DE LOSA 2do NIVEL

ESCALA 1:125

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: PLANTA DE TECHOS + DETALLES DE VIGAS

TIPO: A

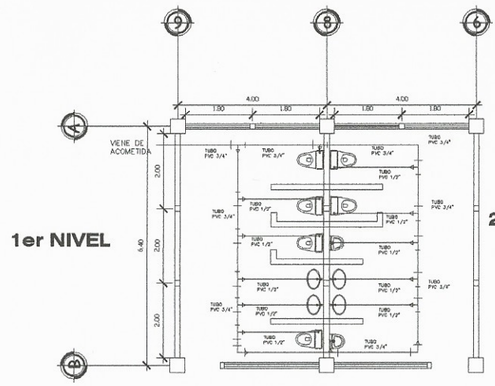
HOJA: 9 / 15

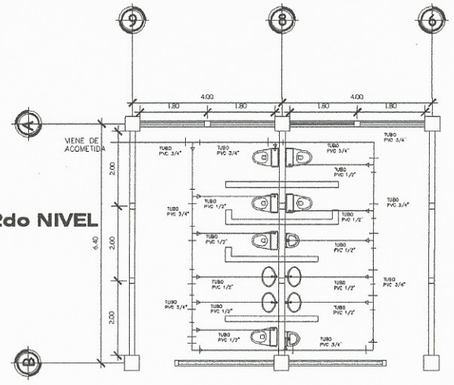
DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA: INDICADA
FECHA: JULIO 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

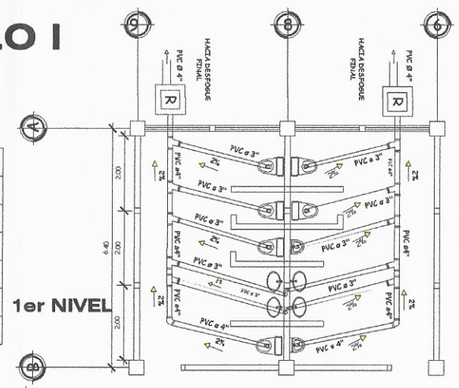
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

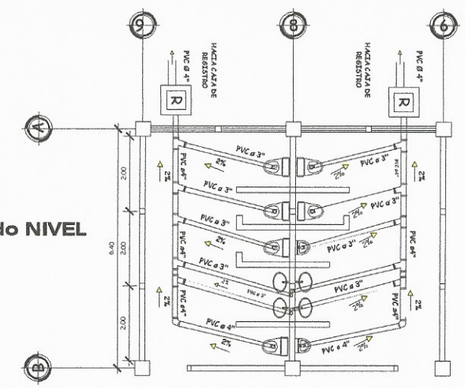
MODULO I





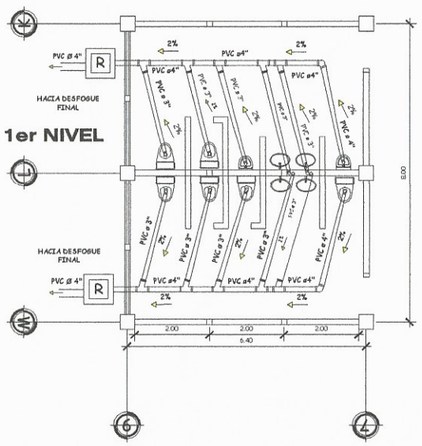
SIMBOLOGIA AGUA POTABLE	
	TUBO PVC ø 3/4" y 1/2"
	CODO PVC HORIZONTAL A 90°
	CODO PVC VERTICAL A 90°
	"T" PVC HORIZONTAL
	"T" PVC VERTICAL
	REDUCIDOR PVC ø 3/4" A ø 1/2"

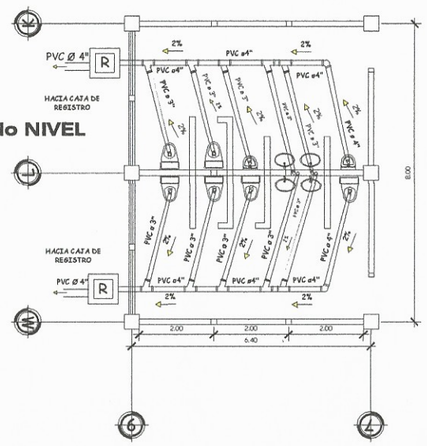




PLANTA DE INSTALACION DE AGUAS POTABLES

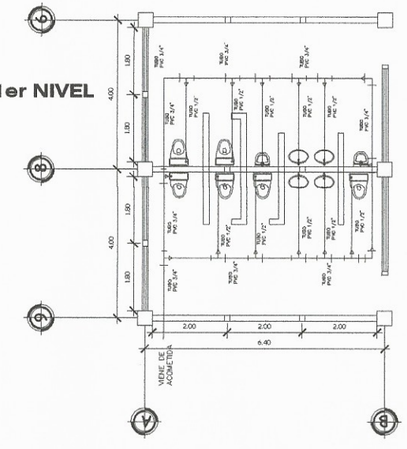
ESCALA 1:125

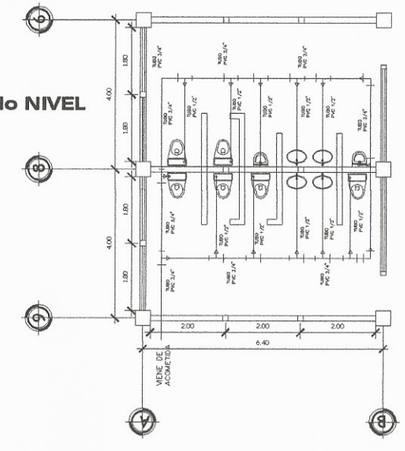




MODULO II

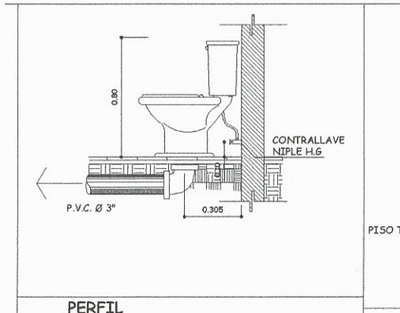
SIMBOLOGIA DRENAJES	
	TUBO PVC ø 4" y 3"
	TEE PVC VERTICAL
	CODO PVC HORIZONTAL A 45°
	"Y" PVC HORIZONTAL
	CODO PVC A 90 VERTICAL
	REDUCIDOR PVC ø 4" A ø 3"
CU	CAJA UNIFICADORA
CR	CAJA DE REGISTRO





PLANTA DE INSTALACION DE DRENAJES

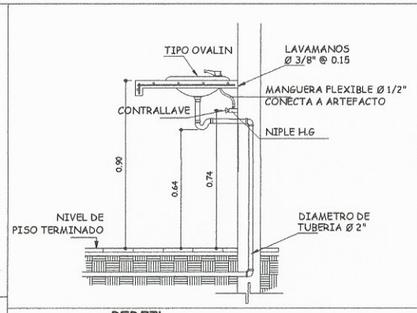
ESCALA 1:125



PERFIL
DETALLE DE INODORO

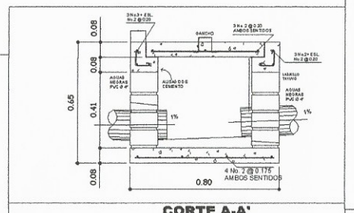
PARA PERSONAS CON CAPACIDADES ESPECIALES

ESC:1:20

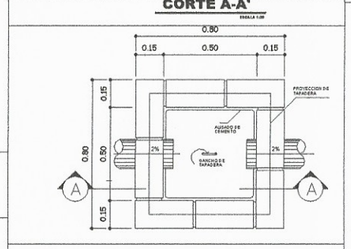


PERFIL
DETALLE DE LAVAMANOS

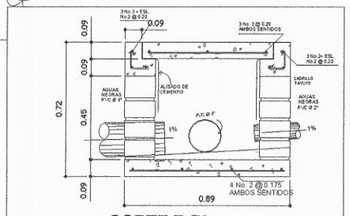
ESCALA:1:20



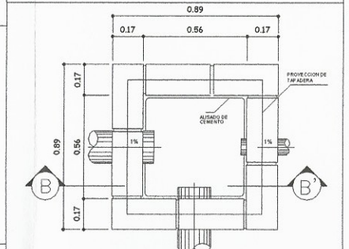
CORTE A-A'



PLANTA CAJA DE REGISTRO



CORTE B-B'



PLANTA CAJA UNION

PLANTA DE INSTALACION DE AGUAS POTABLES

ESCALA 1:125

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

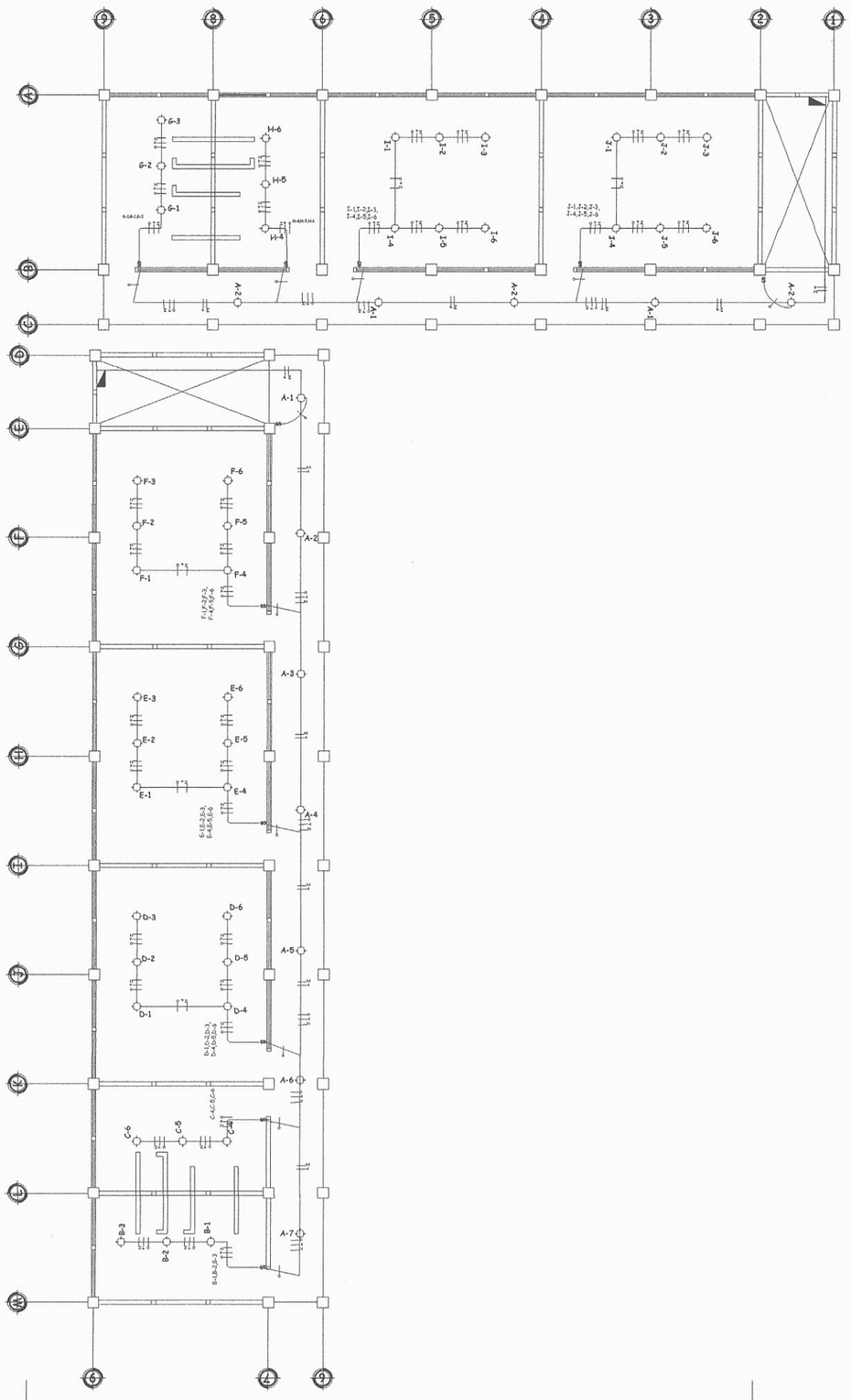
CONTIENE: INSTALACION DE HIDRAULICAS

TIPO	HOJA
A	10 / 15

DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

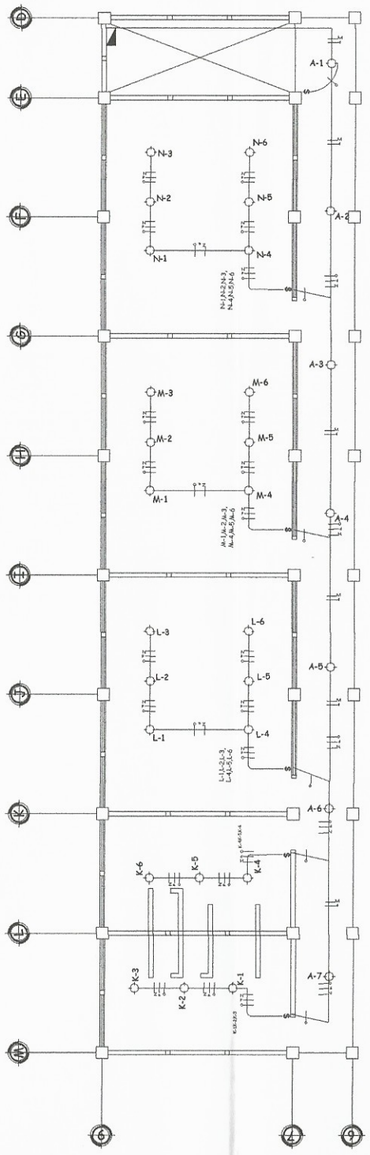
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



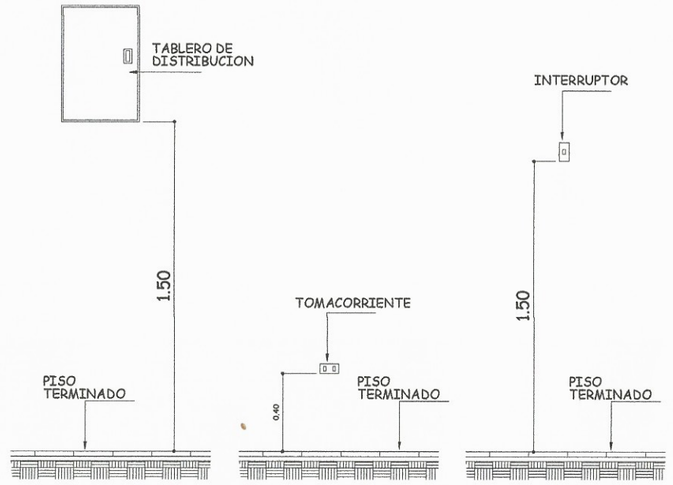
PLANTA ILUMINACION 1er NIVEL

ESCALA 1:125



PLANTA ILUMINACION 2do NIVEL

ESCALA 1:125



ELEVACION
DETALLES DE PLACAS Y TABLERO

ESCALA:1:20

ESPECIFICACIONES

- LA TUBERIA A UTILIZAR EN LA INSTALACION ELECTRICA SERA POLIDUCTO DE Ø 3/4".
- EL CALIBRE A UTILIZAR ES DE 10
- LOS INTERRUPTORES DEBERAN ESTAR COLOCADOS A UNA ALTURA DE 1.20 MTS.

NOTAS

1. X= 5.50 mts. CUANDO EL CABLE DE ACOMETIDA CRUZA LA CALLE Y H=1.60 mts. X=3.00 mts. CUANDO EL CABLE DE ACOMETIDA NO CRUZA LA CALLE Y H=0.20 mts. MAXIMO.
2. PARA CARGAS MENORES DE 2.5Kw EL NEUTRO DE LA INSTALACION DEBE ESTAR SOLIDAMENTE CONECTADO A TIERRA, TAMBIEN PARA CARGAS MAYORES DE 2.5Kw.
3. LA ALTURA DEL CONTADOR SERA DE 1.90 mts. SI SE COLOCA DENTRO DEL TERRENO POR RAZON VALIDA.

CIRCUITO	UNIDAD	FLIPON
CIRCUITOS	6	1X20 AMP.

SIMBOLOGIA DE ILUMINACION	
	CONTADOR
	TABLERO DE DISTRIBUCION DE CIRCUITOS
	TUBERIA PRINCIPAL PARA TABLERO RH
	PLAFONERA + LAMPARA FLUORESCENTE EN CIELO (BOMBILLO AHORRADOR)
	DUCTO ELECTRICO Ø 3/4"
$	INTERRUPTOR SIMPLE
$	INTERRUPTOR DOBLE

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

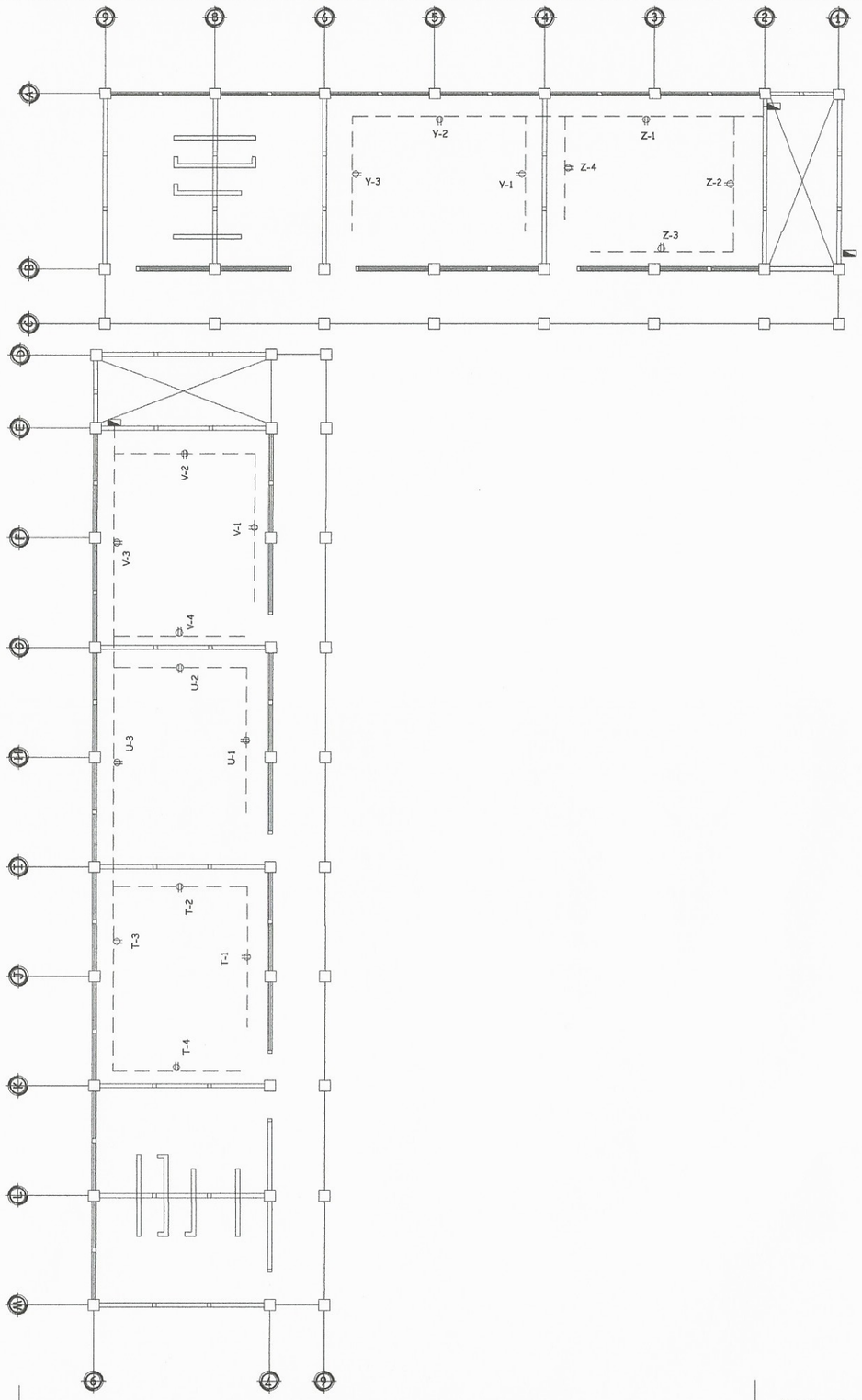
PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: PLANTA DE INSTALACIONES DE ILUMINACION, DETALLES

TIPO	HOJA
A	11/15

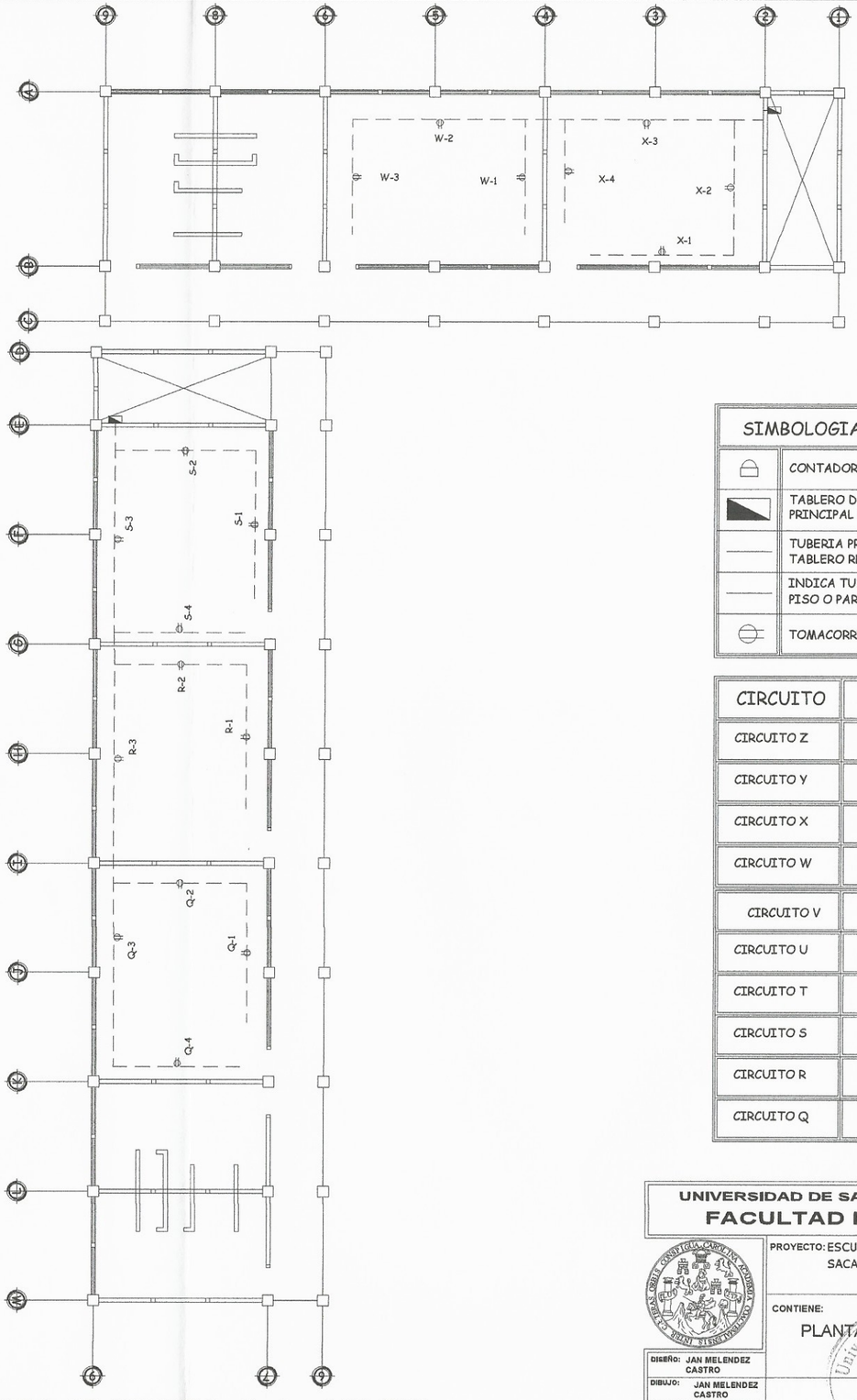
DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA: INDICADA
FECHA: JULIO 2016

ASESORA Y SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



PLANTA FUERZA 1ER NIVEL

ESCALA 1:125



PLANTA FUERZA 2do NIVEL

ESCALA 1:125

SIMBOLOGIA DE FUERZA	
	CONTADOR
	TABLERO DE DISTRIBUCION PRINCIPAL DE CIRCUITOS
	TUBERIA PRINCIPAL PARA TABLERO RH
	INDICA TUBERIA EN CIELO PISO O PARED
	TOMACORRIENTE DOBLE

CIRCUITO	UNIDAD	FLIPON
CIRCUITO Z	4	1X20 AMP.
CIRCUITO Y	3	1X20 AMP.
CIRCUITO X	4	1X20 AMP.
CIRCUITO W	3	1X20 AMP.
CIRCUITO V	4	1X20 AMP.
CIRCUITO U	3	1X20 AMP.
CIRCUITO T	4	1X20 AMP.
CIRCUITO S	4	1X20 AMP.
CIRCUITO R	3	1X20 AMP.
CIRCUITO Q	4	1X20 AMP.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: PLANTA DE FUERZA

TIPO: A

HOJA: 12/15

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

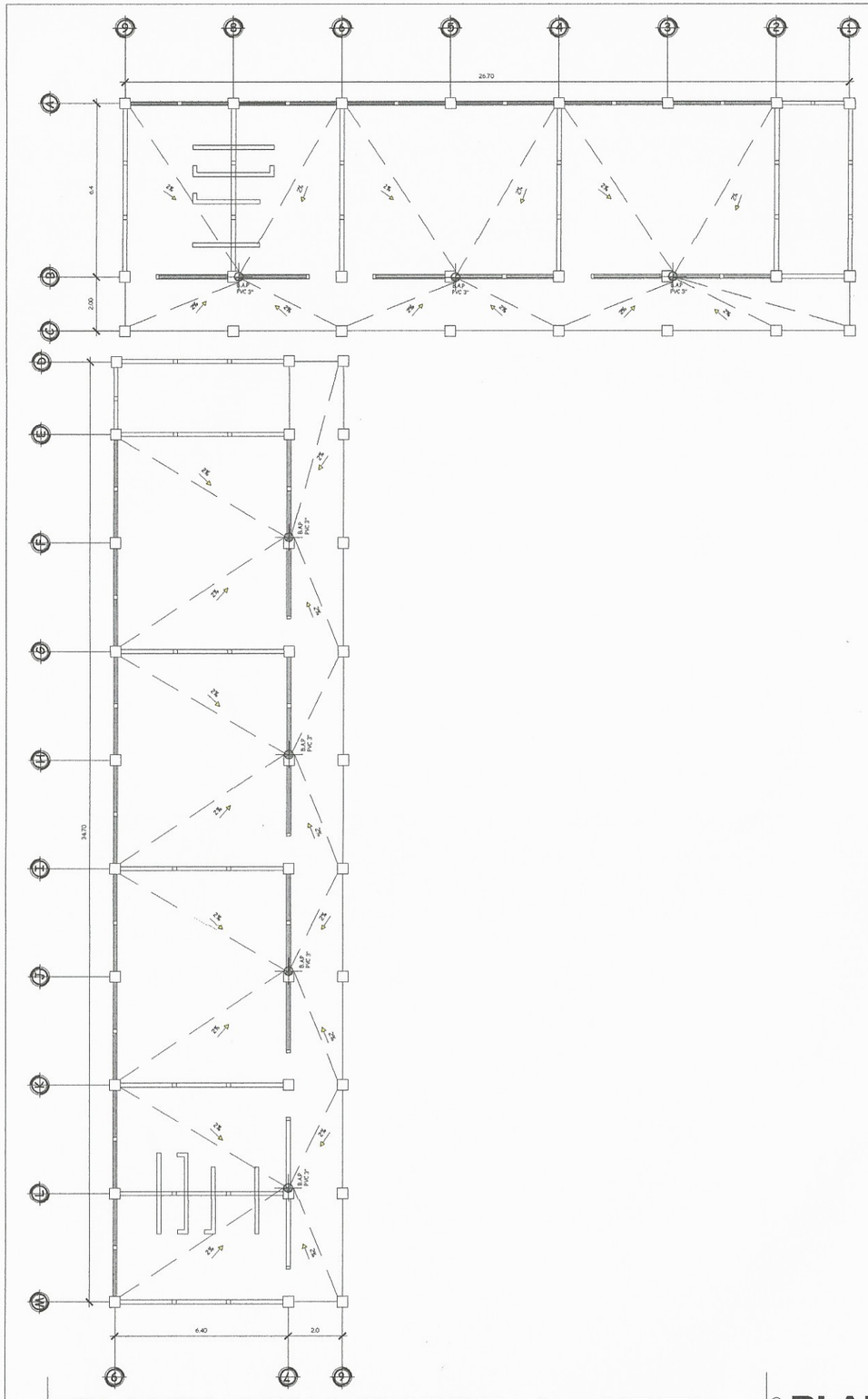
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

ESCALA: INDICADA

FECHA: JULIO 2016

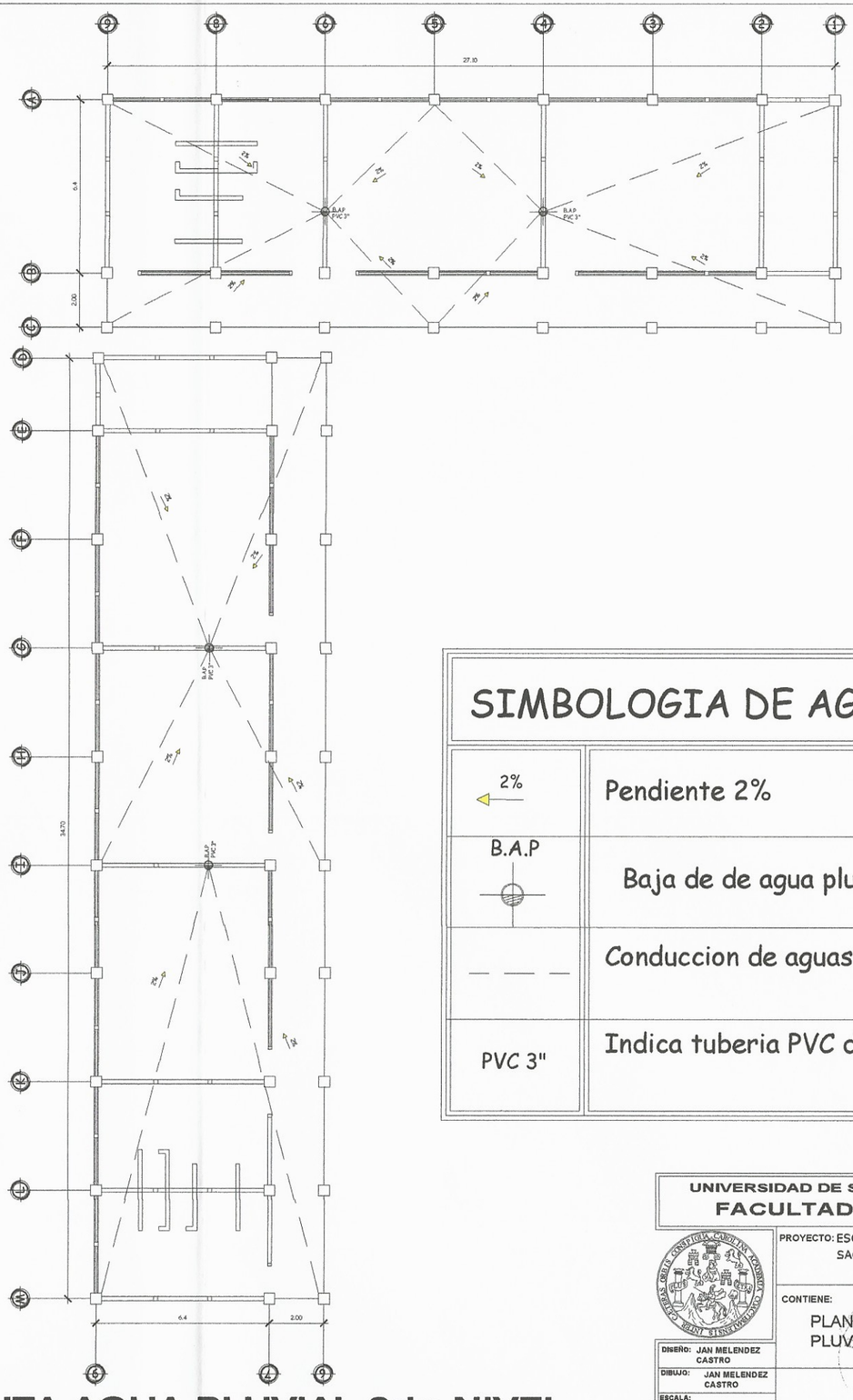
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



PLANTA AGUA PLUVIAL 1er NIVEL

ESCALA 1:125



PLANTA AGUA PLUVIAL 2do NIVEL

ESCALA 1:125

SIMBOLOGIA DE AGUA PLUVIAL

2%	Pendiente 2%
B.A.P	Baja de de agua pluvial
	Conduccion de aguas pluviales
PVC 3"	Indica tuberia PVC de 3"

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: PLANTA DE AGUAS PLUVIALES

TIPO: A

HOJA: 13/15

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

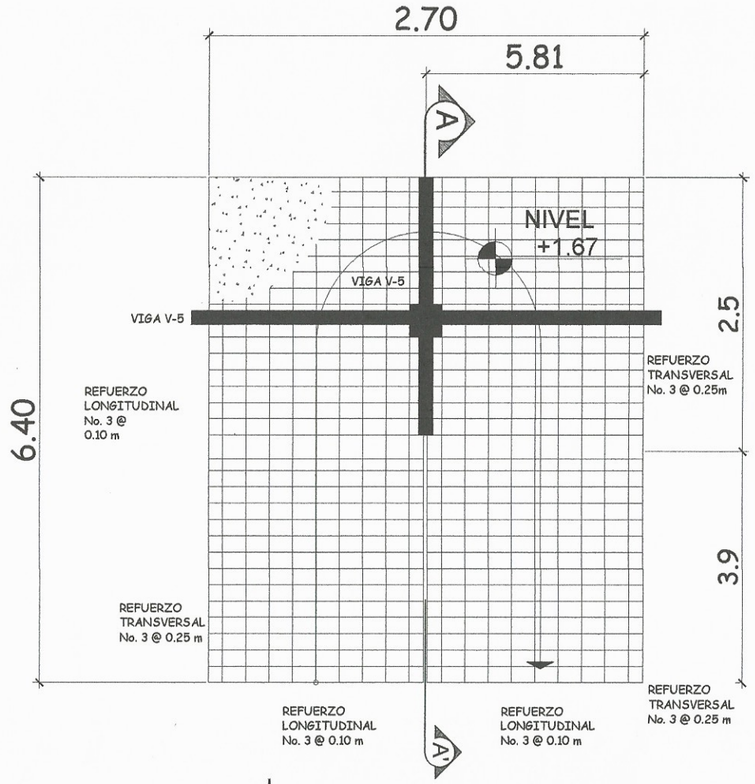
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

ESCALA: INDICADA

FECHA: JULIO 2016

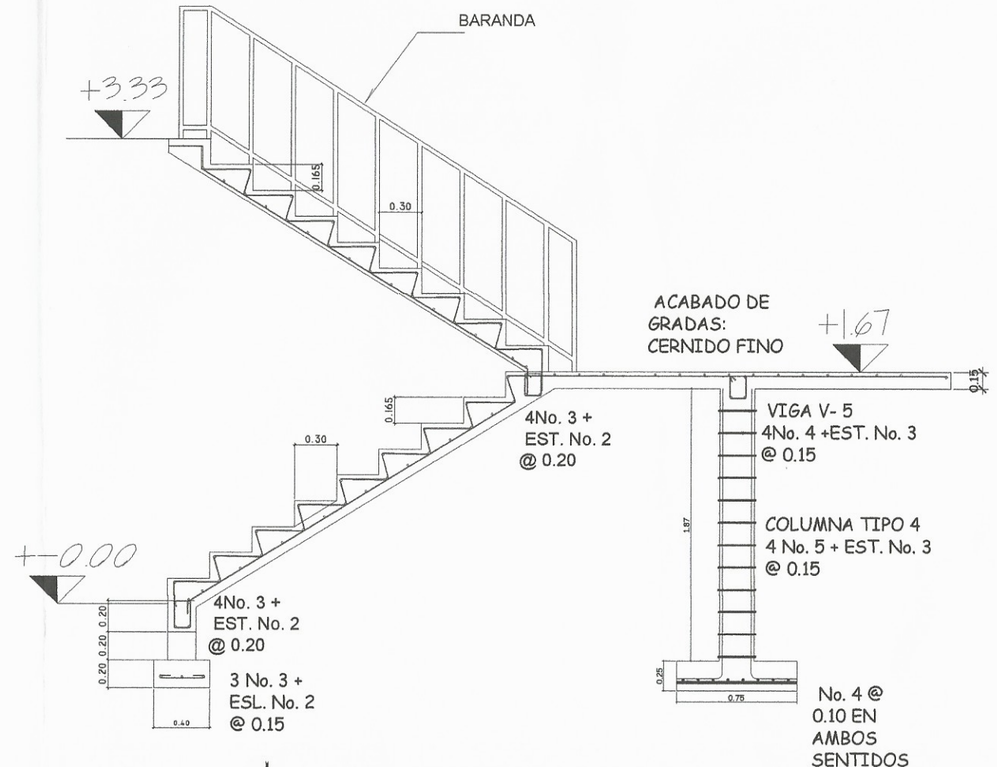
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ingeniera Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



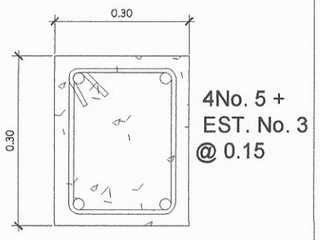
PLANTA DE GRADAS

ESCALA : 1 / 25



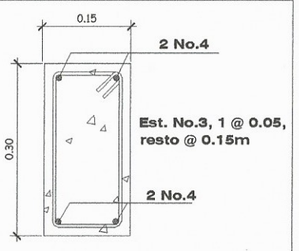
SECCION A-A'

ESCALA : 1 / 25



4No. 5 +
EST. No. 3
@ 0.15

COLUMNA C4
DETALLE PLANTA ESC:1/10



VIGA V-5
DETALLE PLANTA ESC:1/10

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

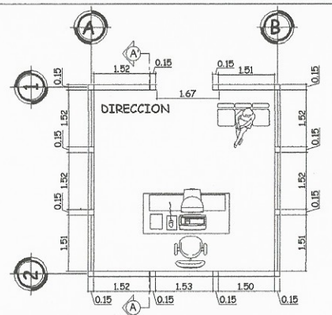
CONTIENE: PLANTA DE GRADAS

TIPO	HOJA
A	14/15

DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	JULIO 2016

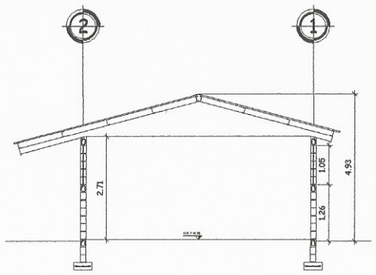
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



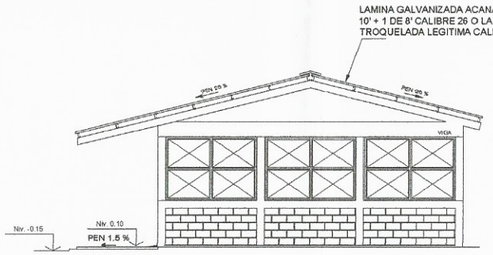
PLANTA ACOTADA

ESCALA 1:75



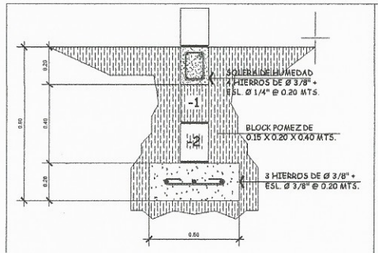
SECCION A-A'

ESCALA 1:75



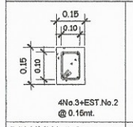
SECCIÓN A-A´

ESCALA 1:100

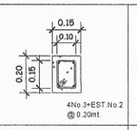


DETALLE CC-1

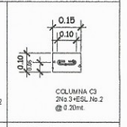
CIMIENTO CORRIDO TIPO CC-1 ESC:1/10



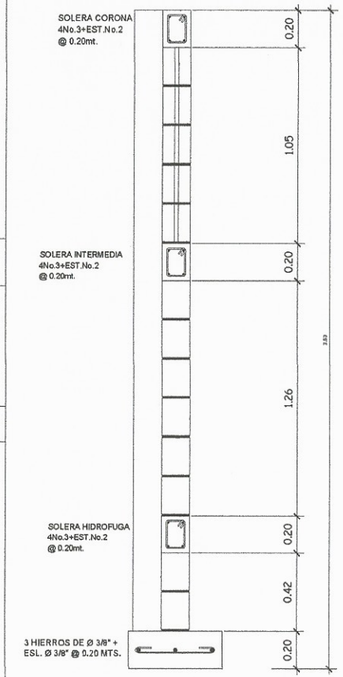
COLUMNA C-2
DETALLE SECCION ESC:1/10



SOLERAS
DETALLE SECCION ESC:1/10

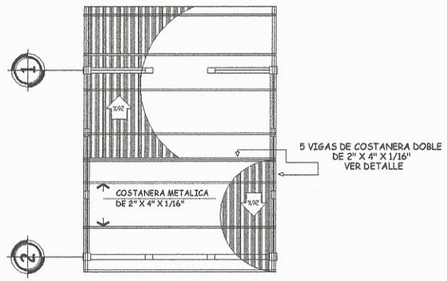


COLUMNA C3
DETALLE PLANTA ESC:1/10



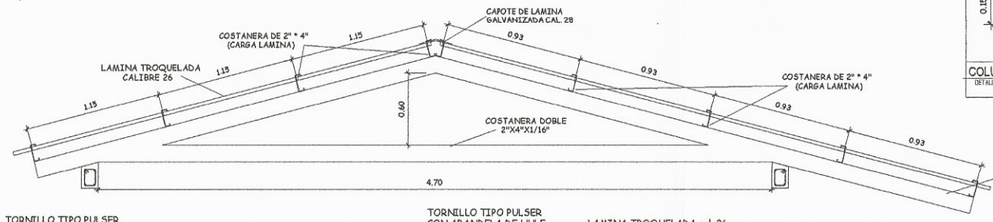
CORTE DE MURO

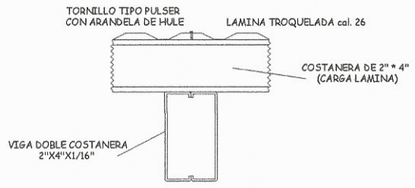
CORTE TIPICO DE MURO ESC:1/10

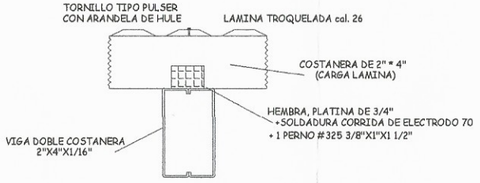


PLANTA DE TECHOS

ESCALA 1:75

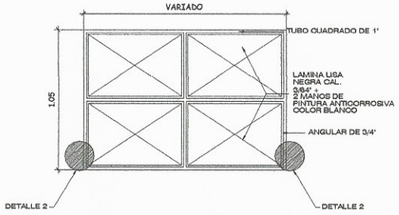


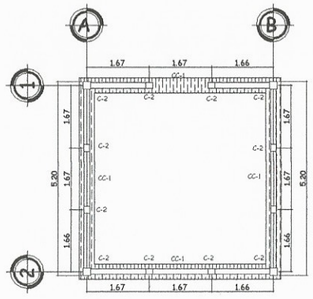




DETALLE DE VIGA DE COSTANERA

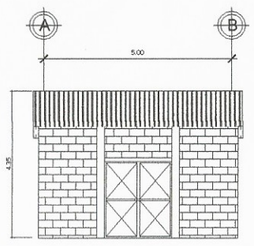
ESCALA 1:75





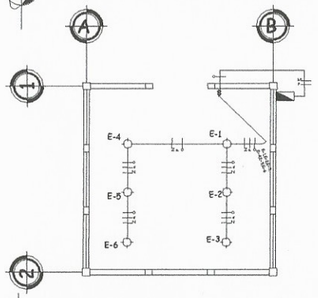
PLANTA DE CIMENTACION

ESCALA 1:75



ELEVACION FRONTAL

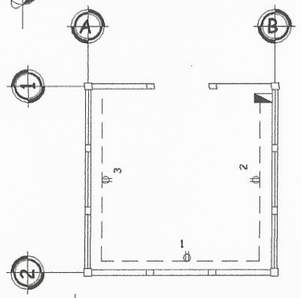
ESCALA 1:75



SIMBOLOGIA DE ILUMINACION	
	CONTADOR
	TABLERO DE DISTRIBUCION DE CIRCUITOS
	TUBERIA PRINCIPAL PARA TABLERO RH
	PLAFONERA + LAMPARA FLUORESCENTE EN CIELO (BOMBILLO AHORRADOR)
	DUCTO ELECTRICO Ø 3/4"
$	INTERRUPTOR SIMPLE
$	INTERRUPTOR DOBLE

PLANTA ILUMINACION

ESCALA 1:75



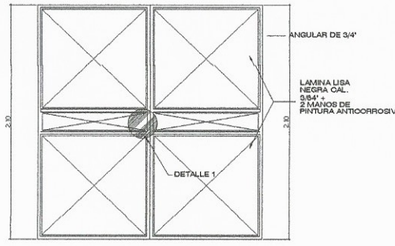
SIMBOLOGIA DE FUERZA	
	CONTADOR
	TABLERO DE DISTRIBUCION PRINCIPAL DE CIRCUITOS
	TUBERIA PRINCIPAL PARA TABLERO RH
	INDICA TUBERIA EN CIELO PISO O PARED
	TOMACORRIENTE DOBLE

PLANTA FUERZA

ESCALA 1:75

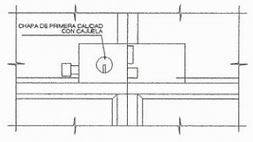
ELEVACIÓN DE VENTANA

ESCALA 1:25

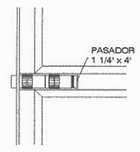


ELEVACIÓN DE PUERTA

PUERTA TIPO-1 ESCALA 1:25



DETALLE 1



DETALLE 2

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: ESCUELA PIXCAYA, ALDEA MONTUFAR, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ.

CONTIENE: MODULO III DIRECCION

TIPO: A

HOJA: 15/15

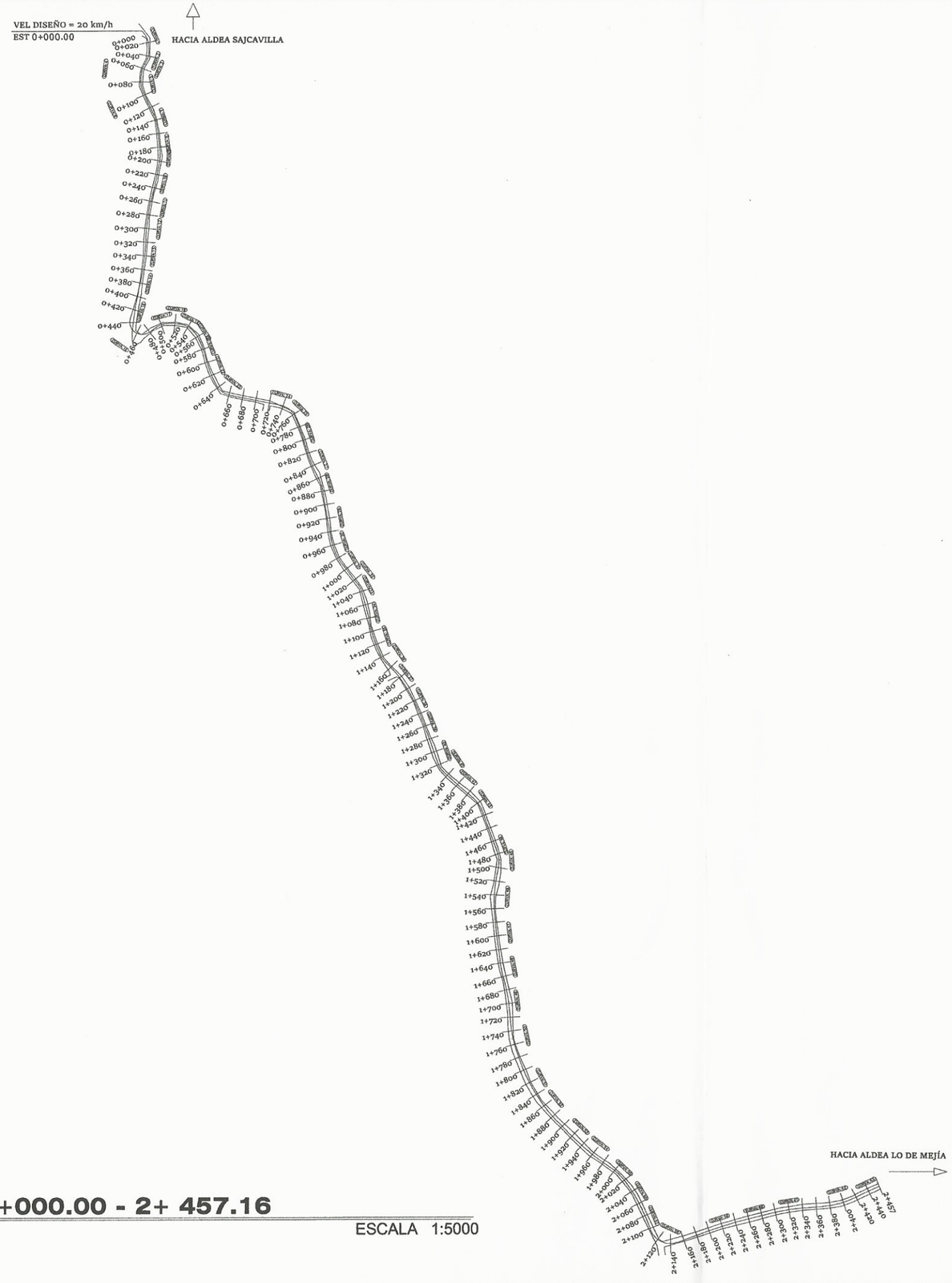
DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA: INDICADA
FECHA: JULIO 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

Anexo 2. **Planos constructivos, carretera que conduce de aldea Lo de Mejía hacia aldea Sajcavillá.**

Fuente: Municipalidad de San Juan Sacatepéquez.



PLANTA 0+000.00 - 2+ 457.16
CARRETERA

ESCALA 1:5000

NOTA: Los elementos geométricos de cada curva se encuentran en el plano No.7

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPÉQUEZ

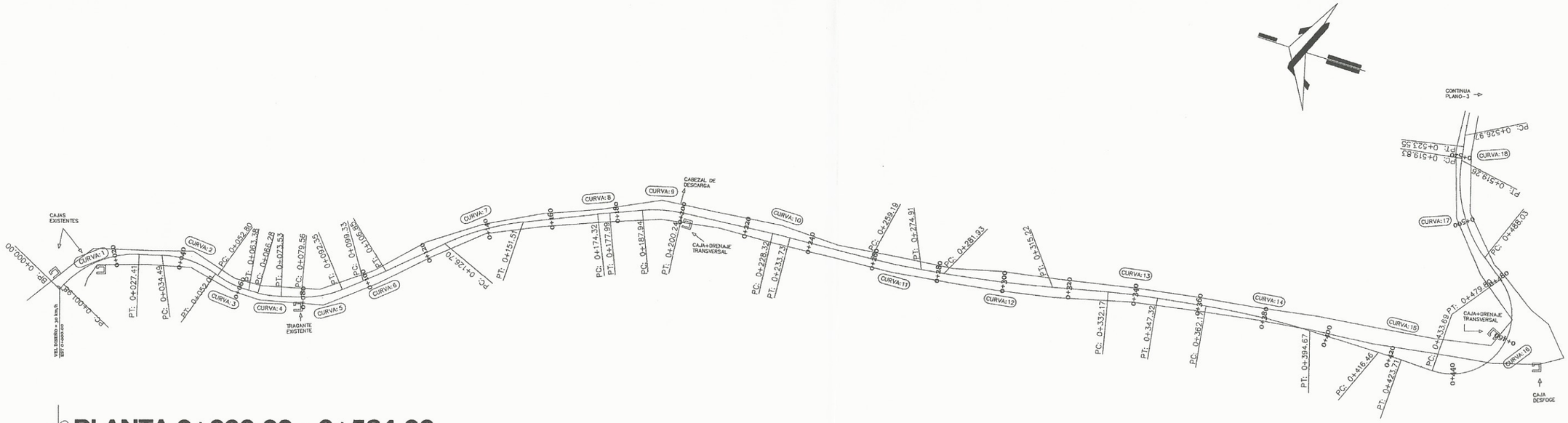
CONTIENE: PLANTA GENERAL DE LA CARRETERA

TIPO	HOJA
A	1/12

DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE 2016

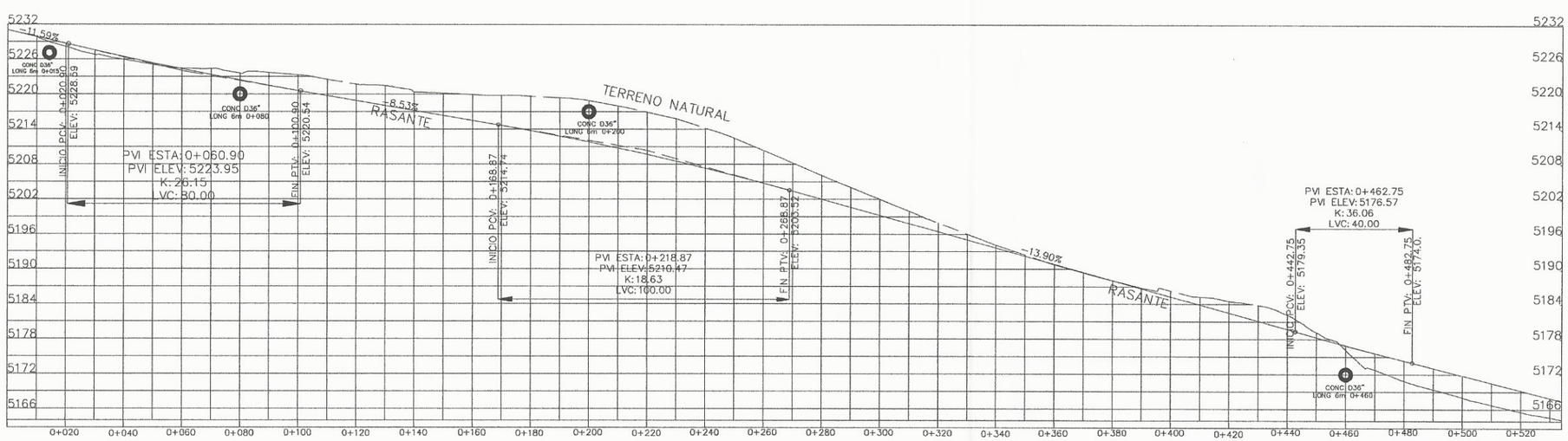
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



PLANTA 0+000.00 - 0+534.00

CARRETERA ESCALA 1:1000



SIMBOLOGIA DE CARRETERA	
	CAJA-DRENAJE TRANSVERSAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA
	CALLE EXISTENTE
	ALINEAMIENTO HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENCIA
MID = PI	PUNTO DE INTERSECCION
CURVA#	NUMERO DE CURVA
	TUBERIA DE CONCRETO DE 36"PLG

NOTA: Los elementos geométricos de cada curva se encuentran en el plano No.7

PERFIL 0+000.00 - 0+534.00

CARRETERA ESCALA V: 1:1500 - H: 500

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: PLANTA + PERFIL CAMINAMIENTO 0+000.00 - 0+534.00

TIPO: A

HOJA: 2 / 12

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

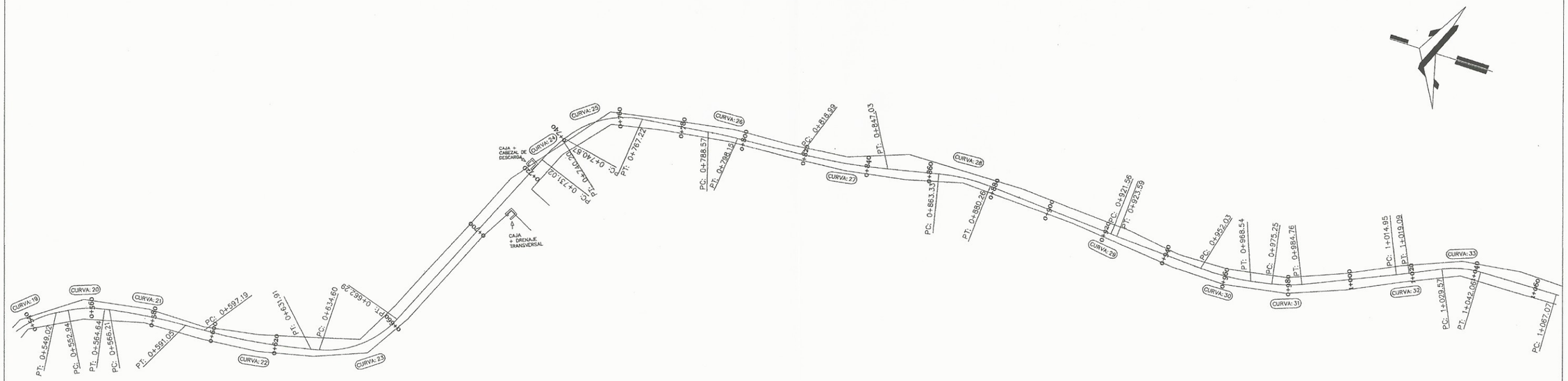
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

ESCALA: INDICADA

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

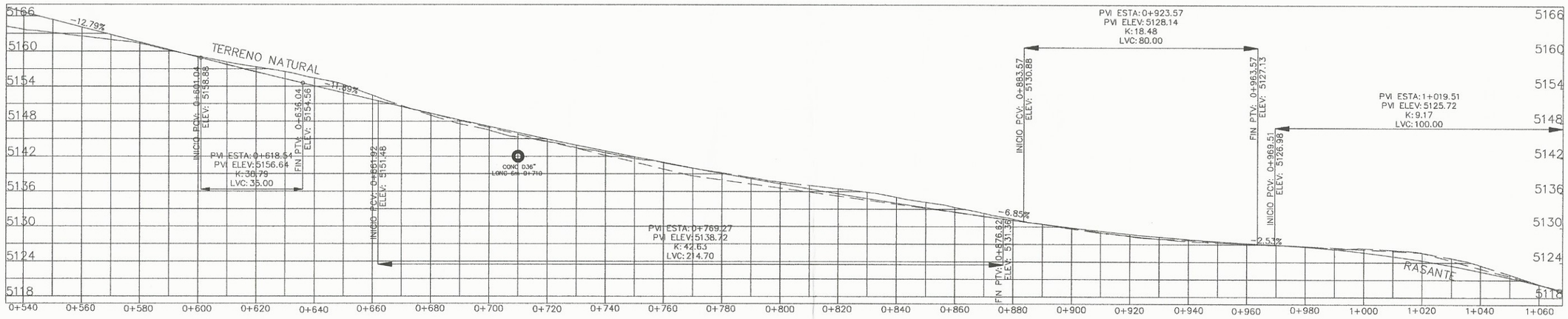
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de EPS de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



PLANTA 0+534.00 - 1+068.00

CARRETERA ESCALA 1:1000



PERFIL 0+534.00 - 1+068.00

CARRETERA ESCALA V: 1:1500 - H: 500

NOTA: Los elementos geométricos de cada curva se encuentran en el plano No.7

SIMBOLOGIA DE CARRETERA	
	CAJA-DRENAJE TRANSVERSAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA
----	CALLE EXISTENTE
	ALINEAMIENTO HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENCIA
MID = PI	PUNTO DE INTERSECCION
CURVA#	NUMERO DE CURVA
	TUBERIA DE CONCRETO DE 36"PLG

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: PLANTA + PERFIL CAMINAMIENTO 0+534.00 - 1+068.00

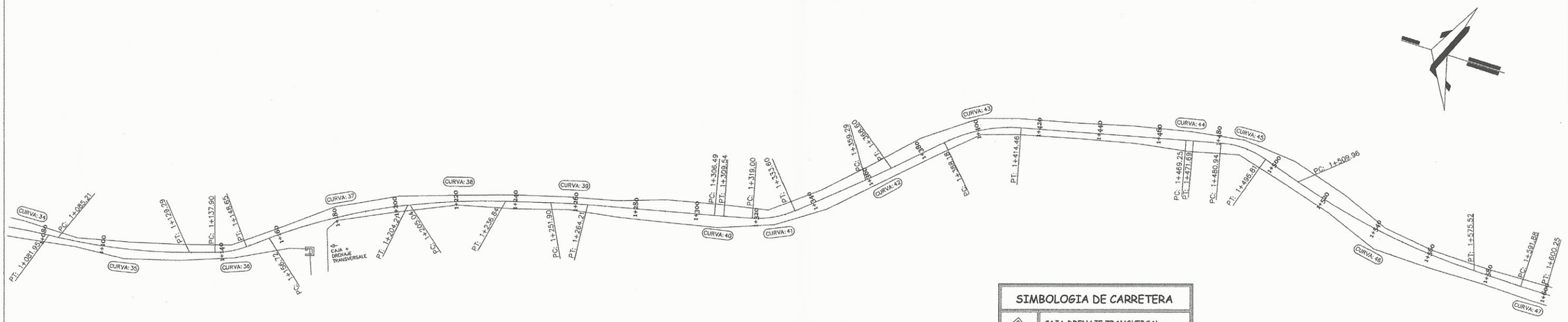
TIPO: A

HOJA: 3/12

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA: INDICADA
FECHA: SEPTIEMBRE 2016

Vo.Bo. Ing. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

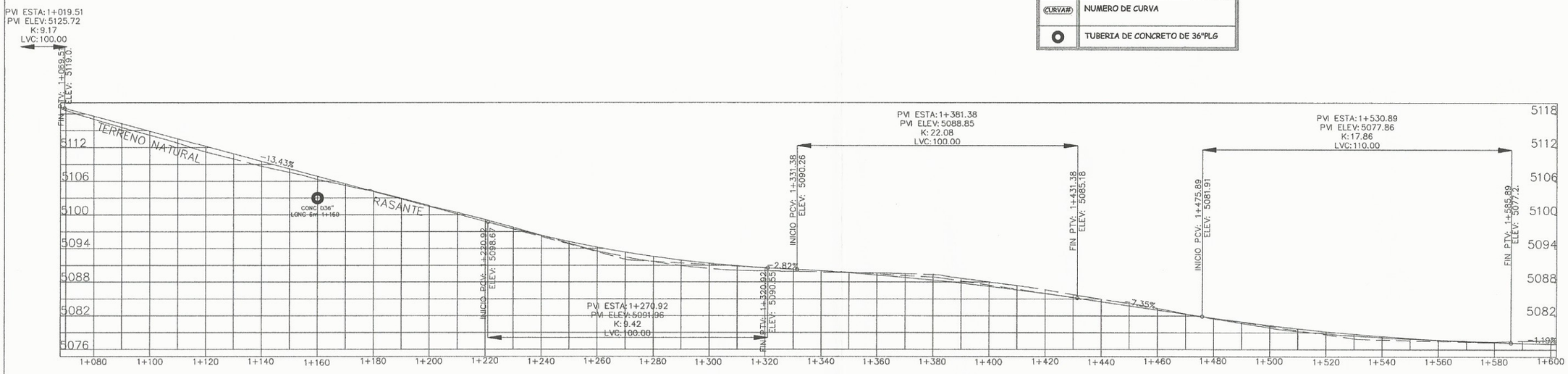
ING. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



PLANTA 1+068.00 - 1+602.00

CARRETERA ESCALA 1:1000

SIMBOLOGIA DE CARRETERA	
	CAJA-DRENAJE TRANSVERSAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA
----	CALLE EXISTENTE
⌒	ALINEAMIENTO HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENCIA
MID = PI	PUNTO DE INTERSECCION
CURVA##	NUMERO DE CURVA
	TUBERIA DE CONCRETO DE 36"PLG



PERFIL 1+068.00 - 1+602.00

CARRETERA ESCALA V: 1:1500 - H: 500

NOTA: Los elementos geométricos de cada curva se encuentran en el plano No.7

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: PLANTA + PERFIL CAMINAMIENTO 1+068.00 - 1+602.00

TIPO: A

HOJA: 4 / 15

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

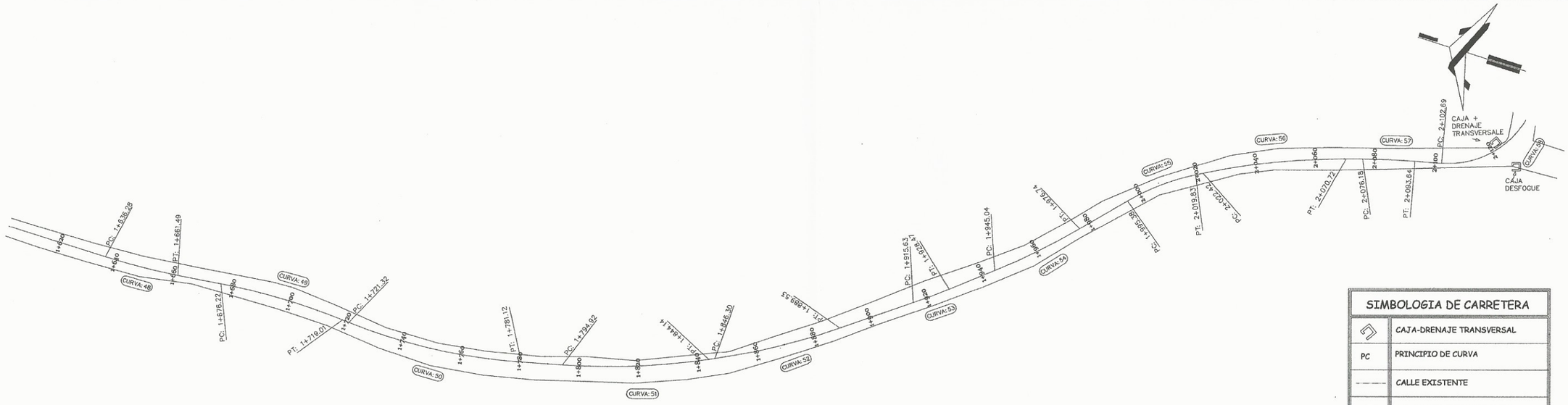
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

ESCALA: INDICADA

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca Carrila Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

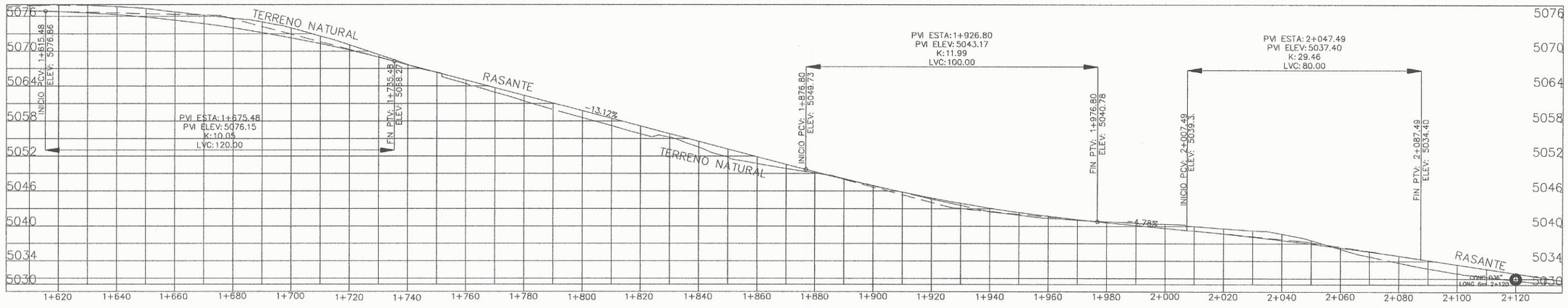


PLANTA 1+602.00 - 2 +136.00

CARRETERA ESCALA 1:1000

SIMBOLOGIA DE CARRETERA	
	CAJA-DRENAJE TRANSVERSAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA
	CALLE EXISTENTE
	ALINEAMIENTO HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENCIA
MID = PI	PUNTO DE INTERSECCION
CURVA#	NUMERO DE CURVA
	TUBERIA DE CONCRETO DE 36"PLG

NOTA: Los elementos geométricos de cada curva se encuentran en el plano No.7



PERFIL 1+602.00 - 2+136.00

CARRETERA ESCALA V: 1:1500 - H: 500

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

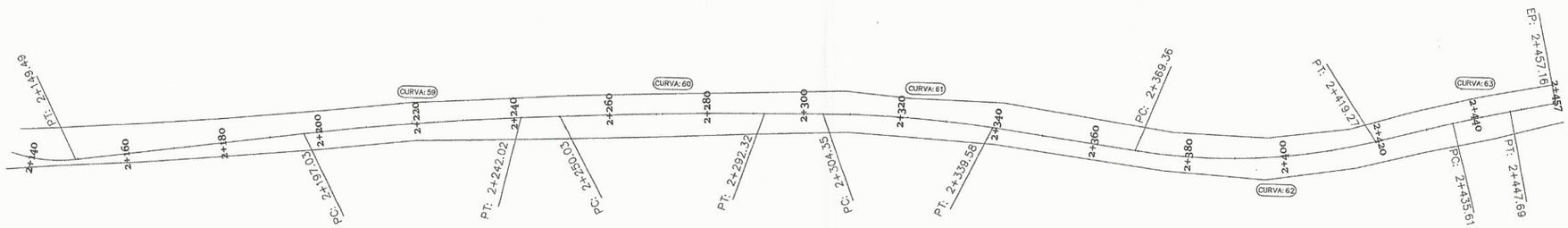
CONTIENE: PLANTA + PERFIL CAMINAMIENTO 1+602.00 - 2+136.00

TIPO	HOJA
A	5 / 15

DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE 2016

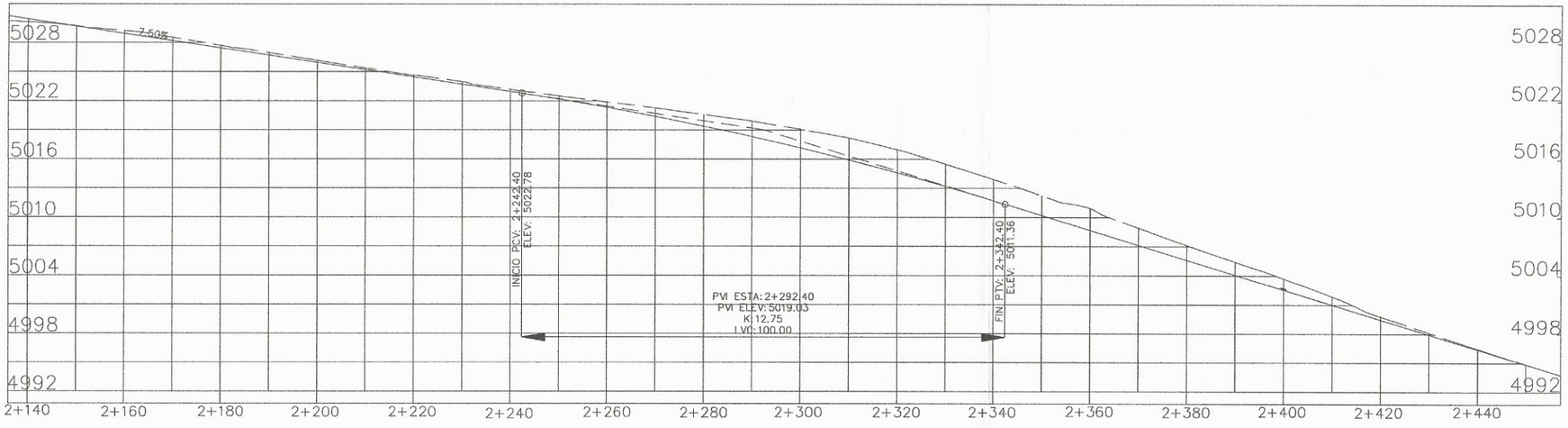
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



PLANTA 2+136.00 - 2+ 457.16

CARRETERA ESCALA 1:1000



PERFIL 2 +136.00 + 2 +457.16

CARRETERA ESCALA V: 1:1500 - H: 500

SIMBOLOGIA DE CARRETERA	
	CAJA-DRENAJE TRANSVERSAL
PC	PRINCIPIO DE CURVA
	CALLE EXISTENTE
	ALINEAMIENTO HORIZONTAL
PT	PRINCIPIO DE TANGENCIA
MID = PI	PUNTO DE INTERSECCION
CURVA#	NUMERO DE CURVA
	TUBERIA DE CONCRETO DE 36"PLG

NOTA: Los elementos geométricos de cada curva se encuentran en el plano No.7

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: PLANTA + PERFIL CAMINAMIENTO 2+136.00 - 2+457.16

TIPO: A

HOJA: 6 / 12

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA: INDICADA
FECHA: SEPTIEMBRE 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

TABLA DE ELEMENTOS DE CURVA													
No. Curva	Direccion	Delta	Radio	SubTangente	L	LC	E	M	PI	PC	PT	PINORTE	PIESTE
CURVA: 1	S22° 48' 24"E	48°19'34"	30.16	13.53	25.43	24.69	2.90	2.64	0+015.51	0+001.98	0+027.41	6689.99	3969.60
CURVA: 2	S18° 00' 01"W	33°17'16"	30.16	9.01	17.52	17.27	1.32	1.26	0+043.50	0+034.49	0+052.01	6660.38	3968.90
CURVA: 3	S24° 35' 48"W	20°05'42"	30.16	5.34	10.58	10.52	0.47	0.46	0+058.14	0+052.80	0+063.38	6647.91	3960.28
CURVA: 4	S7° 39' 47"W	13°46'20"	30.16	3.64	7.25	7.23	0.22	0.22	0+069.93	0+066.28	0+073.53	6636.40	3957.30
CURVA: 5	S11° 22' 17"E	24°17'47"	30.16	6.49	12.79	12.69	0.69	0.68	0+086.05	0+079.56	0+092.35	6620.24	3957.08
CURVA: 6	S24° 38' 51"E	2°15'21"	190.99	3.76	7.52	7.52	0.04	0.04	0+103.09	0+099.33	0+106.85	6604.44	3963.95
CURVA: 7	S16° 28' 13"E	18°36'38"	76.39	12.52	24.81	24.71	1.02	1.01	0+139.22	0+126.70	0+151.51	6571.91	3979.66
CURVA: 8	S6° 36' 49"E	1°06'10"	190.99	1.84	3.68	3.68	0.01	0.01	0+176.16	0+174.32	0+177.99	6535.04	3984.30
CURVA: 9	S2° 51' 13"W	17°49'54"	39.51	6.20	12.30	12.25	0.48	0.48	0+194.14	0+187.94	0+200.24	6517.16	3986.20
CURVA: 10	S12° 34' 56"W	1°37'31"	190.99	2.71	5.42	5.42	0.02	0.02	0+231.03	0+228.32	0+233.73	6480.95	3978.65
CURVA: 11	S11° 02' 10"W	4°43'02"	190.99	7.87	15.72	15.72	0.16	0.16	0+267.06	0+259.19	0+274.91	6445.90	3970.31
CURVA: 12	S6° 10' 51"W	4°59'36"	381.97	16.65	33.29	33.28	0.36	0.36	0+298.59	0+281.93	0+315.22	6414.72	3965.55
CURVA: 13	S5° 57' 27"W	4°32'48"	190.99	7.58	15.16	15.15	0.15	0.15	0+339.75	0+332.17	0+347.32	6373.62	3962.90
CURVA: 14	S12° 17' 34"W	8°07'27"	229.18	16.28	32.50	32.47	0.58	0.58	0+378.45	0+362.17	0+394.67	6335.31	3957.36
CURVA: 15	S17° 15' 43"W	1°48'51"	229.18	3.63	7.26	7.26	0.03	0.03	0+420.08	0+416.46	0+423.71	6295.31	3945.62
CURVA: 16	S54° 27' 00"E	145°14'17"	18.19	58.11	46.11	34.72	42.70	12.76	0+491.80	0+433.69	0+479.80	6227.16	3923.26
CURVA: 17	N75° 34' 25"E	45°17'06"	39.51	16.48	31.23	30.42	3.30	3.05	0+504.51	0+488.03	0+519.26	6277.09	3989.34
CURVA: 18	S83° 10' 40"E	2°47'15"	76.39	1.86	3.72	3.72	0.02	0.02	0+521.69	0+519.83	0+523.55	6274.39	4008.06
CURVA: 19	S63° 37' 31"E	41°53'33"	30.16	11.54	22.05	21.56	2.13	1.99	0+538.52	0+526.97	0+549.02	6272.79	4024.81
CURVA: 20	S33° 01' 51"E	19°17'46"	34.72	5.90	11.69	11.64	0.50	0.49	0+558.85	0+552.94	0+564.64	6257.09	4039.29
CURVA: 21	S19° 39' 22"E	7°27'12"	190.99	12.44	24.84	24.83	0.40	0.40	0+578.65	0+566.21	0+591.05	6238.81	4047.20
CURVA: 22	S21° 08' 18"E	10°25'03"	190.99	17.41	34.72	34.68	0.79	0.79	0+614.60	0+597.19	0+631.91	6204.21	4057.07
CURVA: 23	S52° 39' 01"E	52°36'24"	30.16	14.91	27.69	26.73	3.48	3.12	0+649.50	0+634.60	0+662.29	6172.84	4072.61
CURVA: 24	S74° 35' 45"E	8°42'56"	60.31	4.60	9.17	9.17	0.17	0.17	0+735.62	0+731.02	0+740.20	6155.93	4159.21
CURVA: 25	S45° 12' 07"E	50°04'20"	30.16	14.09	26.35	25.52	3.13	2.83	0+754.96	0+740.87	0+767.22	6149.39	4177.43
CURVA: 26	S18° 43' 42"E	2°52'30"	190.99	4.79	9.58	9.58	0.06	0.06	0+793.36	0+788.57	0+798.15	6111.63	4191.29
CURVA: 27	S21° 29' 48"E	8°24'43"	190.99	14.05	28.04	28.01	0.52	0.51	0+833.03	0+818.99	0+847.03	6073.75	4203.08
CURVA: 28	S17° 39' 41"E	16°04'58"	60.31	8.52	16.93	16.87	0.60	0.59	0+871.85	0+863.33	0+880.26	6038.72	4219.94
CURVA: 29	S9° 55' 26"E	0°36'29"	190.99	1.01	2.03	2.03	0.00	0.00	0+922.58	0+921.56	0+923.59	5988.60	4228.44
CURVA: 30	S16° 49' 52"E	13°12'24"	71.62	8.29	16.51	16.47	0.48	0.48	0+960.32	0+952.03	0+968.54	5951.46	4235.14
CURVA: 31	S30° 19' 46"E	13°47'24"	39.51	4.78	9.51	9.49	0.29	0.29	0+980.03	0+975.25	0+984.76	5933.31	4243.01
CURVA: 32	S37° 50' 46"E	1°14'36"	190.99	2.07	4.14	4.14	0.01	0.01	1+017.02	1+014.95	1+019.09	5903.82	4265.41

TABLA DE ELEMENTOS DE CURVA													
No. Curva	Direccion	Delta	Radio	SubTangente	L	LC	E	M	PI	PC	PT	PINORTE	PIESTE
CURVA: 33	S26° 36' 20"E	23°43'28"	30.16	6.33	12.49	12.40	0.66	0.64	1+035.91	1+029.57	1+042.06	5889.03	4277.16
CURVA: 34	S12° 52' 58"E	3°43'15"	229.18	7.44	14.88	14.88	0.12	0.12	1+074.51	1+067.07	1+081.95	5851.52	4287.03
CURVA: 35	S17° 38' 04"E	13°13'27"	190.99	22.14	44.08	43.98	1.28	1.27	1+107.35	1+085.21	1+129.29	5819.29	4293.31
CURVA: 36	S34° 27' 25"E	20°25'15"	30.16	5.43	10.75	10.69	0.49	0.48	1+143.33	1+137.90	1+148.65	5786.30	4308.17
CURVA: 37	S37° 32' 38"E	14°14'48"	190.99	23.87	47.49	47.37	1.49	1.47	1+180.59	1+156.72	1+204.21	5759.72	4334.45
CURVA: 38	S26° 26' 44"E	7°57'01"	229.18	15.93	31.80	31.78	0.55	0.55	1+220.96	1+205.04	1+236.84	5724.69	4355.01
CURVA: 39	S20° 55' 51"E	3°04'44"	229.18	6.16	12.32	12.31	0.08	0.08	1+258.06	1+251.90	1+264.21	5690.36	4369.21
CURVA: 40	S19° 46' 19"E	0°45'40"	229.18	1.52	3.04	3.04	0.01	0.01	1+308.02	1+306.49	1+309.54	5643.24	4385.80
CURVA: 41	S34° 01' 12"E	27°44'07"	30.16	7.44	14.60	14.46	0.91	0.88	1+326.44	1+319.00	1+333.60	5625.94	4392.15
CURVA: 42	S49° 03' 07"E	2°19'43"	229.18	4.66	9.31	9.31	0.05	0.05	1+363.94	1+359.29	1+368.60	5600.59	4420.18
CURVA: 43	S35° 06' 33"E	30°12'51"	49.82	13.45	26.27	25.97	1.78	1.72	1+401.63	1+388.18	1+414.46	5576.48	4449.15
CURVA: 44	S19° 41' 51"E	0°36'33"	229.18	1.22	2.44	2.44	0.00	0.00	1+470.47	1+469.25	1+471.69	5511.20	4472.91
CURVA: 45	S4° 18' 48"E	30°09'32"	30.16	8.13	15.87	15.69	1.08	1.04	1+489.07	1+480.94	1+496.81	5493.66	4479.08
CURVA: 46	S2° 34' 19"W	16°23'17"	229.18	33.00	65.55	65.33	2.36	2.34	1+542.97	1+509.96	1+575.52	5440.34	4468.94
CURVA: 47	S6° 40' 07"E	2°05'35"	229.18	4.19	8.37	8.37	0.04	0.04	1+596.06	1+591.88	1+600.25	5387.05	4474.19
CURVA: 48	S10° 51' 55"E	6°18'02"	229.18	12.61	25.20	25.19	0.35	0.35	1+648.90	1+636.28	1+661.49	5334.69	4481.28
CURVA: 49	S8° 40' 00"E	10°41'53"	229.18	21.46	42.79	42.73	1.00	1.00	1+697.68	1+676.22	1+719.01	5287.34	4493.10
CURVA: 50	S12° 17' 15"E	17°56'22"	190.99	30.15	59.80	59.55	2.36	2.34	1+751.47	1+721.32	1+781.12	5233.52	4496.22
CURVA: 51	S27° 24' 34"E	12°18'17"	229.18	24.70	49.22	49.12	1.33	1.32	1+819.62	1+794.92	1+844.14	5169.54	4521.11
CURVA: 52	S38° 57' 54"E	10°48'23"	229.18	21.68	43.23	43.16	1.02	1.02	1+867.98	1+846.30	1+889.53	5129.09	4547.95
CURVA: 53	S45° 58' 22"E	3°12'33"	229.18	6.42	12.84	12.84	0.09	0.09	1+922.05	1+915.63	1+928.47	5090.34	4585.85
CURVA: 54	S51° 32' 22"E	7°55'27"	229.18	15.87	31.70	31.67	0.55	0.55	1+960.91	1+945.04	1+976.74	5064.12	4614.54
CURVA: 55	S46° 19' 55"E	18°20'21"	76.39	12.33	24.45	24.35	0.99	0.98	2+007.71	1+995.38	2+019.83	5037.59	4653.15
CURVA: 56	S31° 07' 33"E	12°04'24"	229.18	24.24	48.29	48.20	1.28	1.27	2+046.66	2+022.42	2+070.72	5006.38	4676.80
CURVA: 57	S22° 54' 25"E	4°21'50"	229.18	8.73	17.46	17.45	0.17	0.17	2+084.91	2+076.18	2+093.64	4971.57	4693.10
CURVA: 58	S65° 11' 25"E	88°55'49"	30.16	29.60	46.81	42.25	12.10	8.63	2+132.28	2+102.69	2+149.49	4927.26	4709.87
CURVA: 59	N72° 35' 39"E	4°29'57"	572.96	22.51	44.99	44.98	0.44	0.44	2+219.54	2+197.03	2+242.02	4960.78	4803.71
CURVA: 60	N75° 54' 04"E	2°06'52"	1145.92	21.15	42.29	42.29	0.20	0.20	2+271.17	2+250.03	2+292.32	4974.28	4853.57
CURVA: 61	N81° 21' 44"E	8°48'29"	229.18	17.65	35.23	35.20	0.68	0.68	2+322.00	2+304.35	2+339.58	4985.75	4903.08
CURVA: 62	N74° 32' 05"E	22°27'48"	127.32	25.28	49.92	49.60	2.49	2.44	2+394.64	2+369.36	2+419.27	4991.12	4975.60
CURVA: 63	N64° 48' 44"E	3°01'06"	229.18	6.04	12.07	12.07	0.08	0.08	2+441.65	2+435.61	2+447.69	5012.53	5018.18

TABLA DE ELEMENTOS DE CURVA

CARRETERA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: TABLAS DE ELEMENTOS DE CURVAS

TIPO: A

HOJA: 7/12

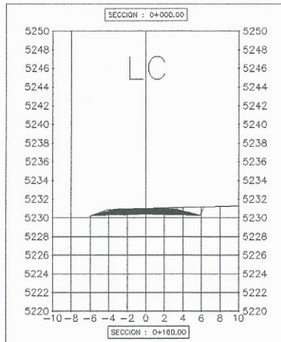
DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

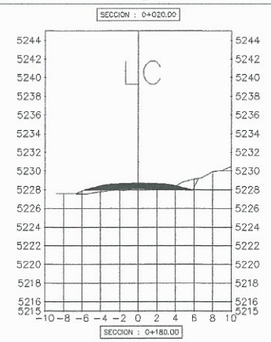
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

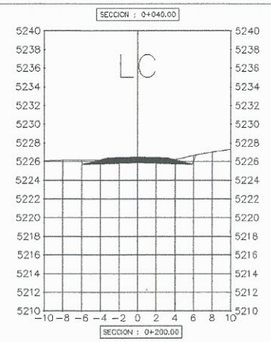
ESCALA: INDICADA

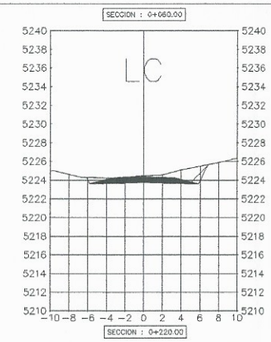
FECHA: SEPTIEMBRE 2016

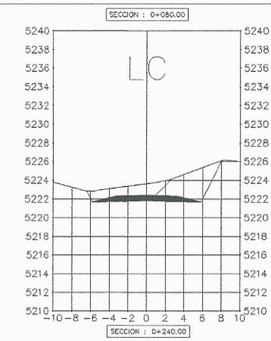
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca Carías Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA
Facultad de Ingeniería

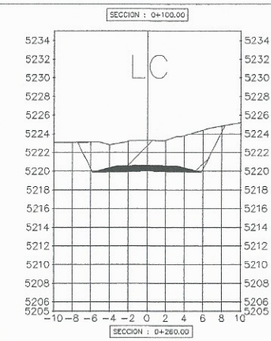


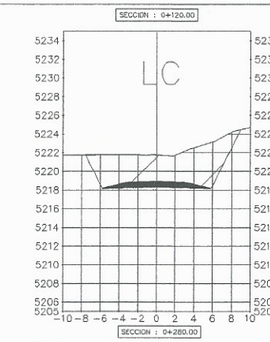


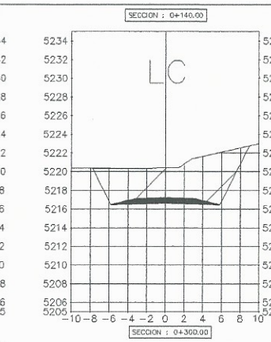


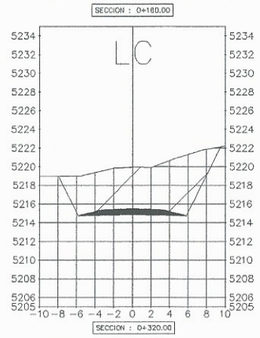


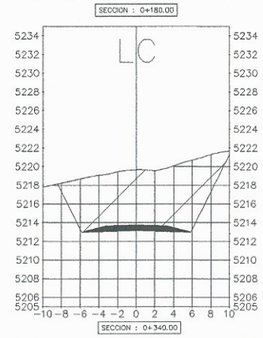


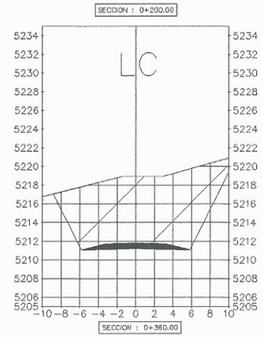


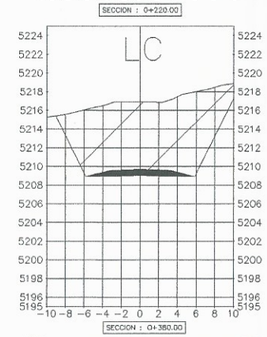


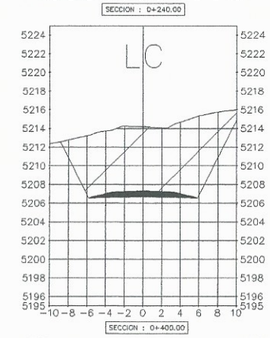


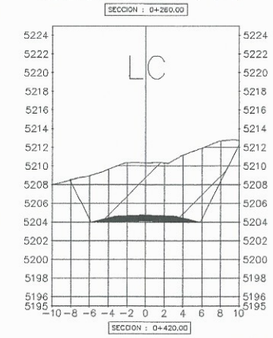


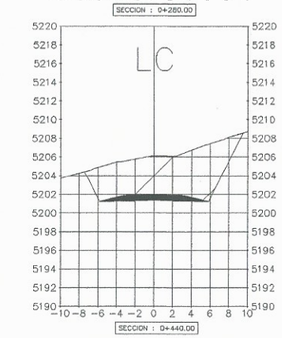


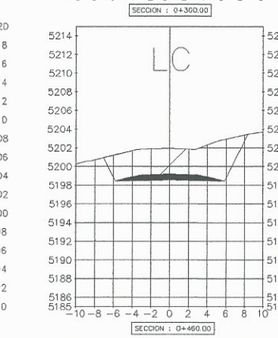


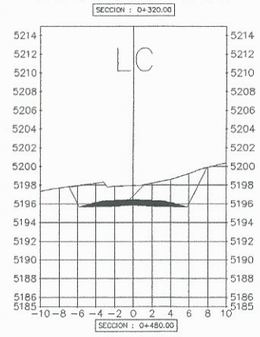


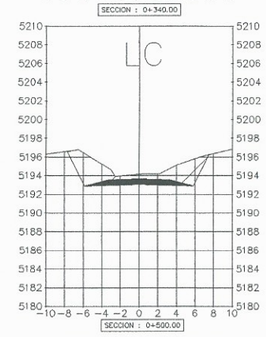


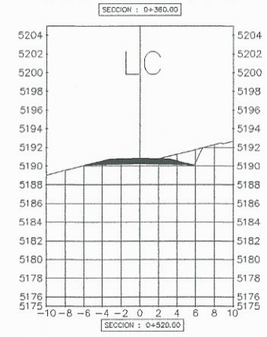


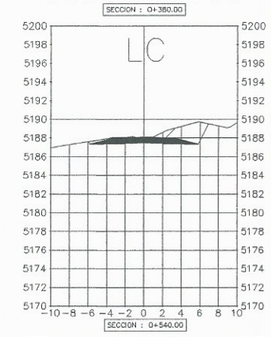


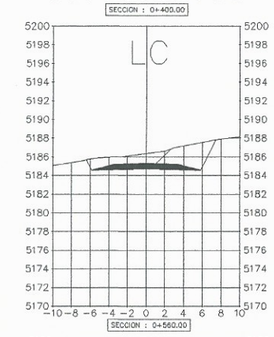


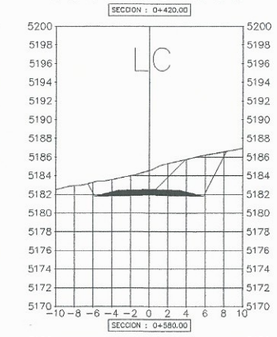


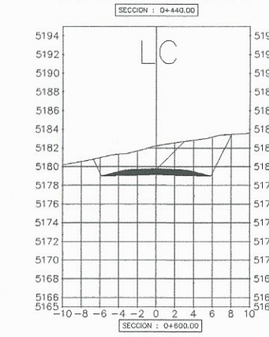


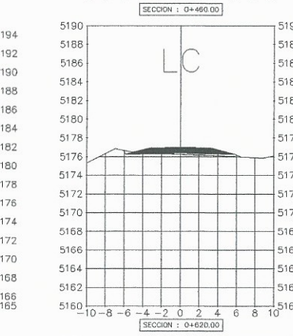


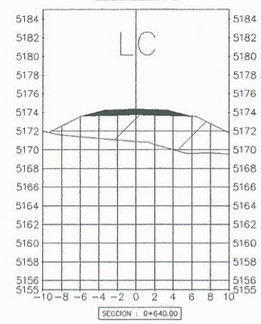


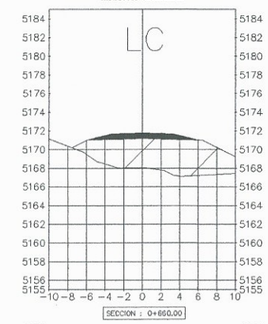


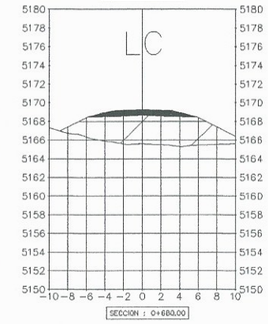


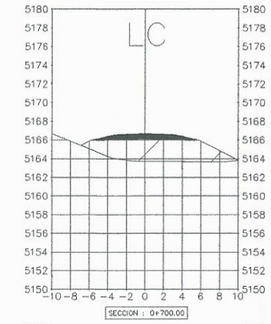


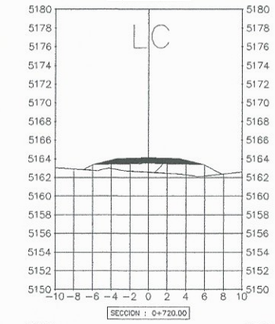


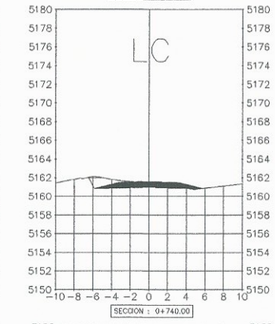


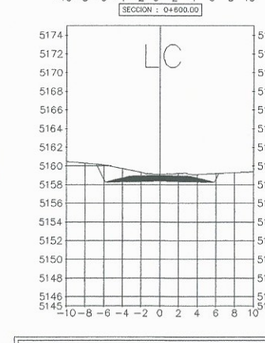


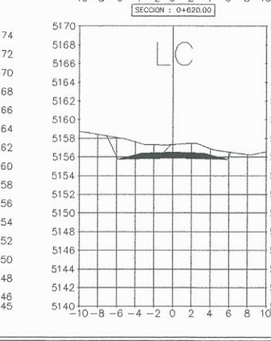


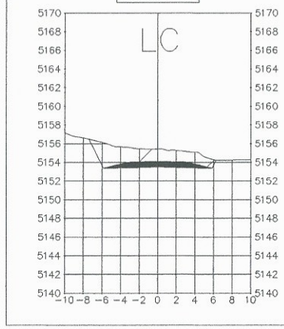


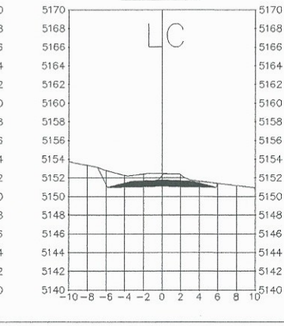


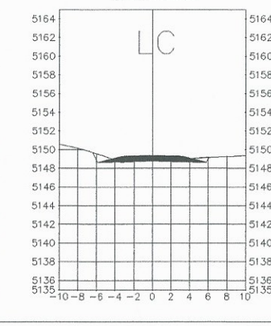


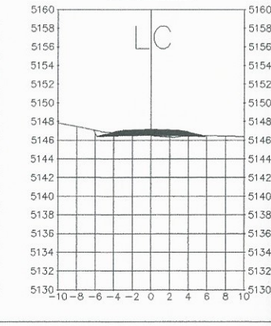


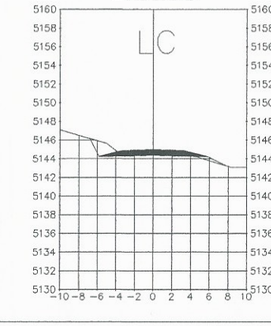


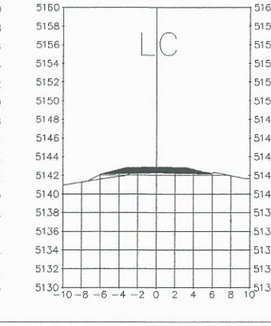












UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

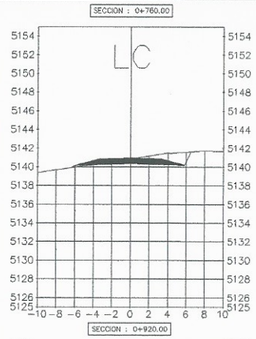
PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

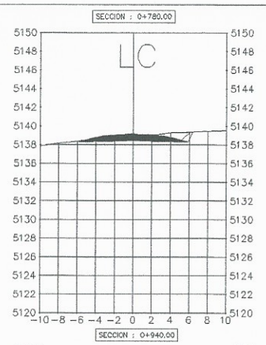
CONTIENE: SECCIONES TRANSVERSALES

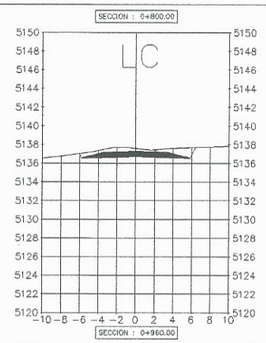
TIPO	HOJA
A	8 / 12

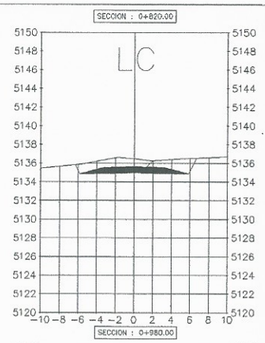
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE 2016

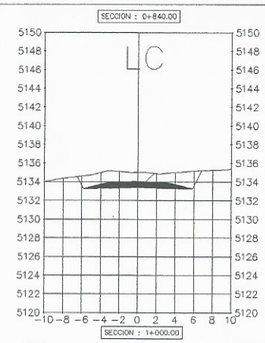
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

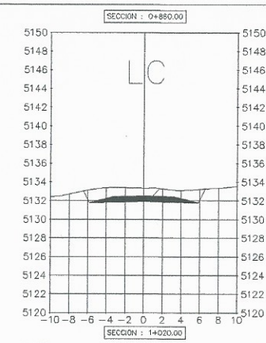


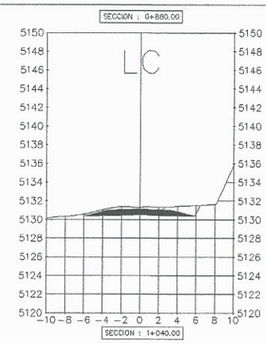


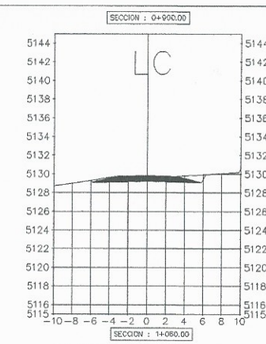


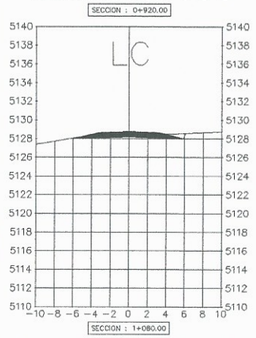


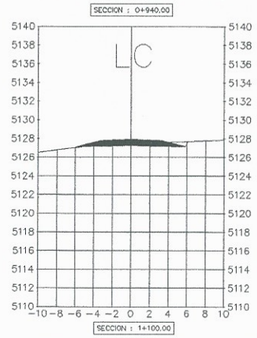


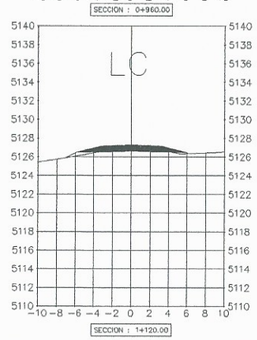


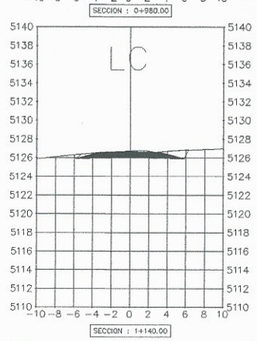


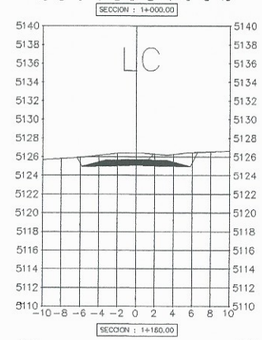


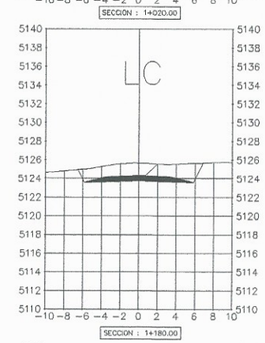


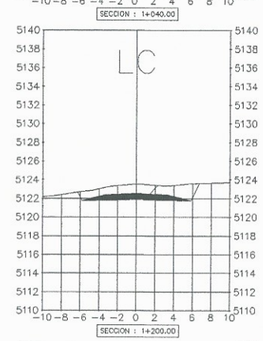


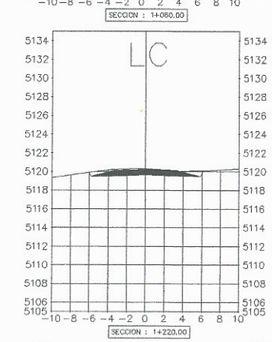


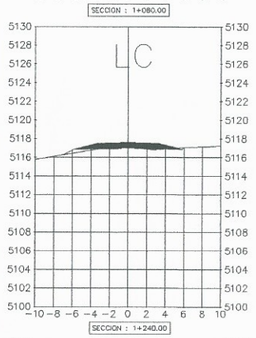


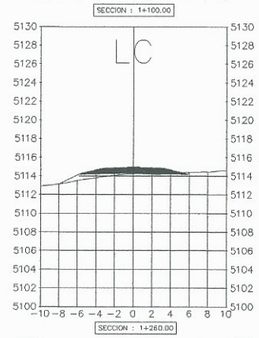


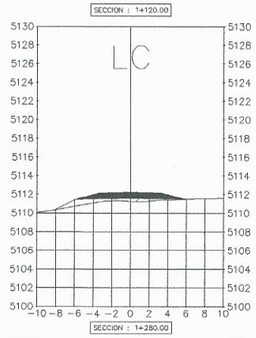


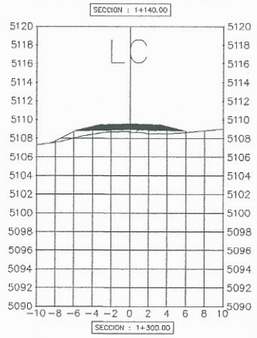


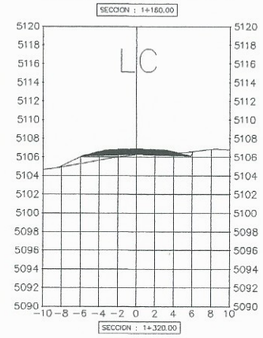


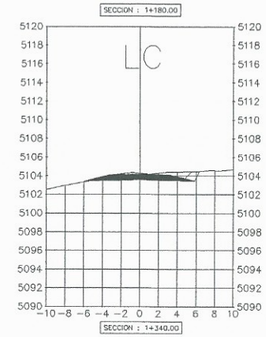


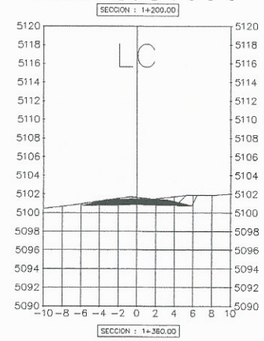


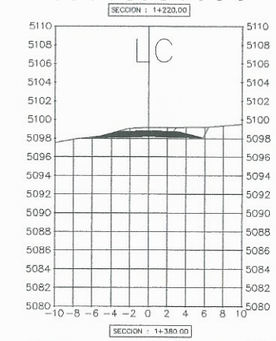


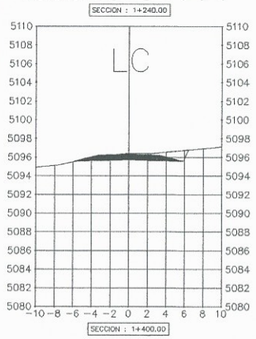


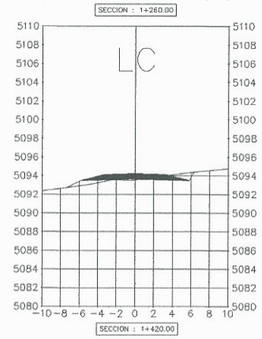


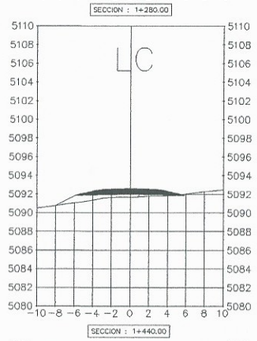


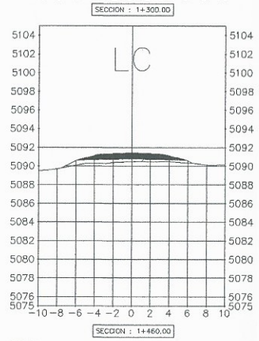


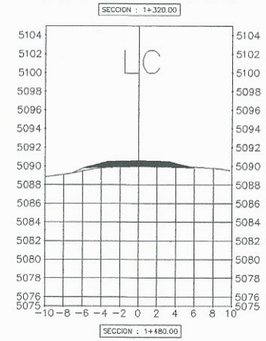


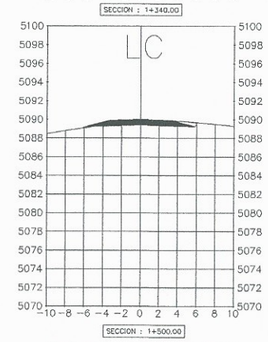


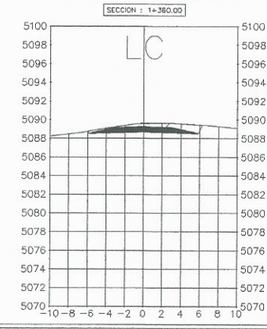


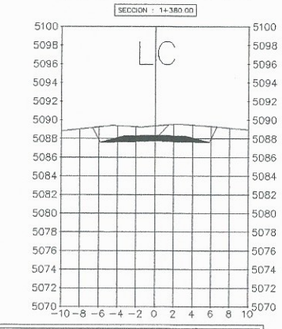


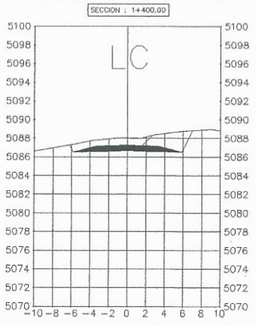


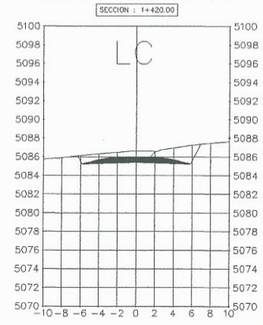


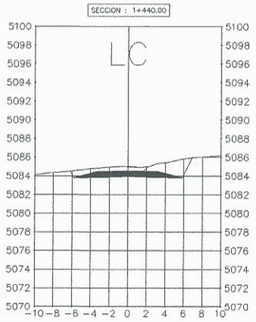


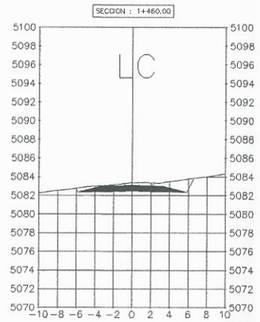


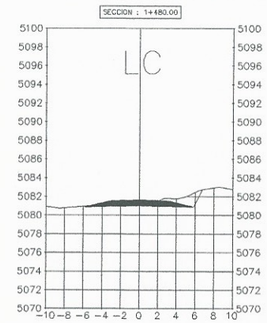


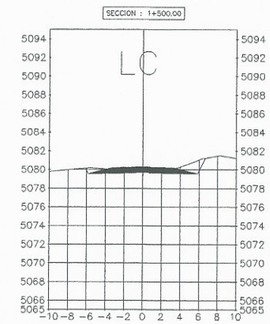












UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: SECCIONES TRANSVERSALES

TIPO: A

HOJA: 9 / 12

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

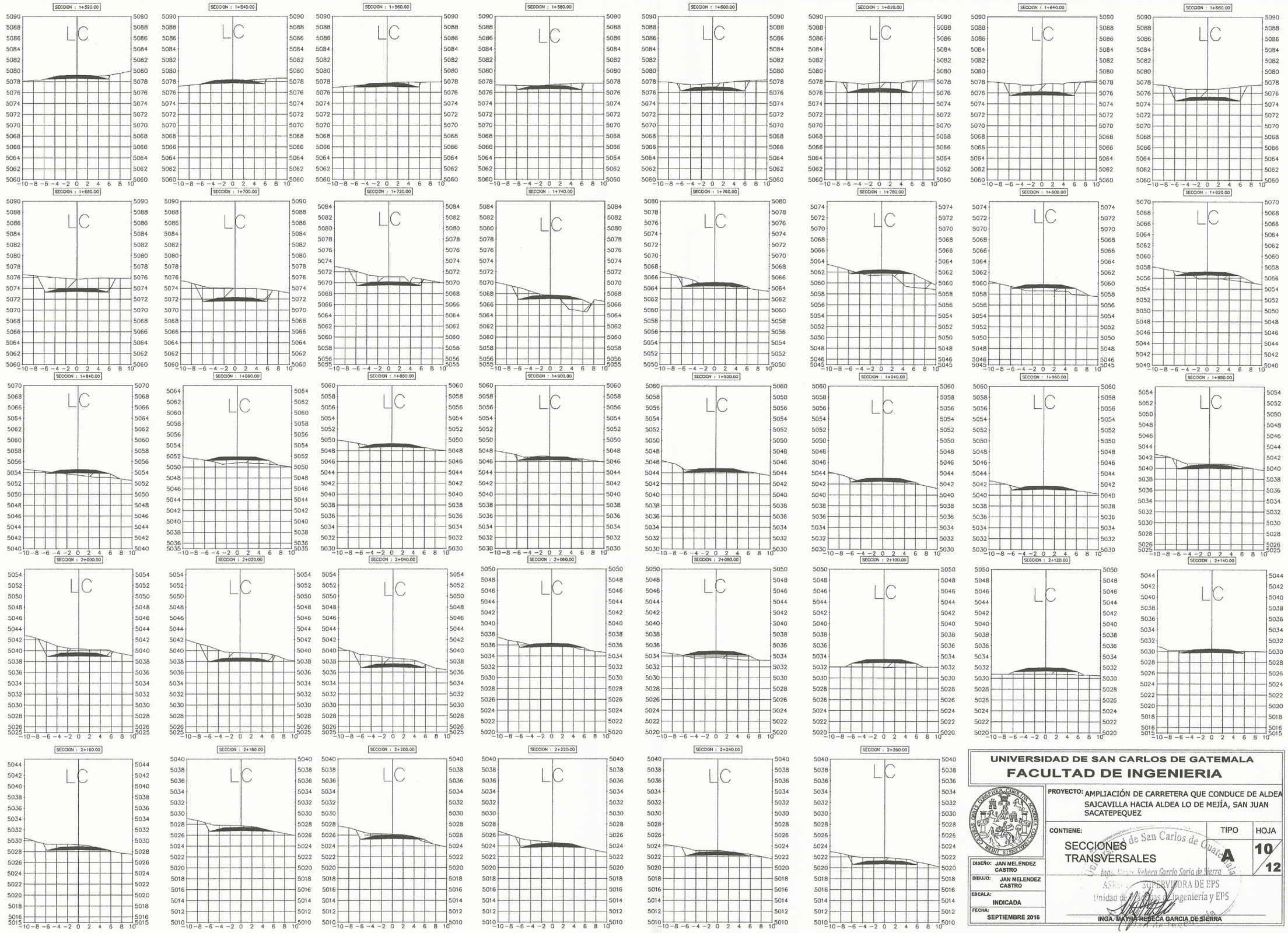
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

ESCALA: INDICADA

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. María Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS
Facultad de Ingeniería

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

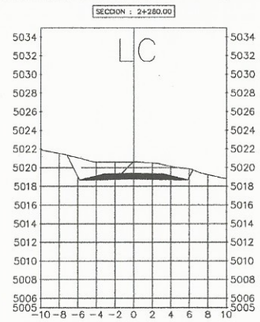
CONTIENE: SECCIONES TRANSVERSALES

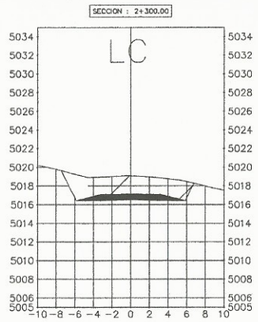
TIPO	HOJA
A	10 / 12

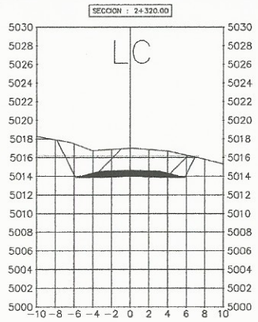
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE 2016

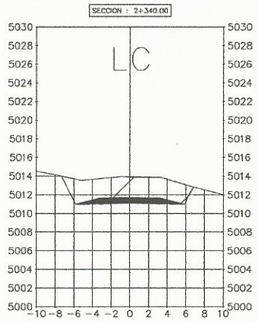
Universidad de San Carlos de Guatemala
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

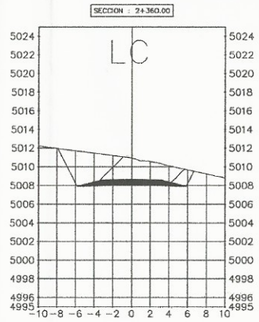
INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA

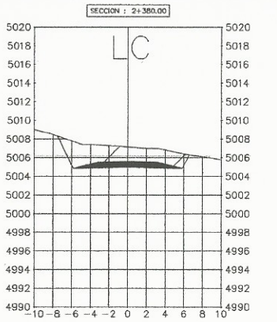


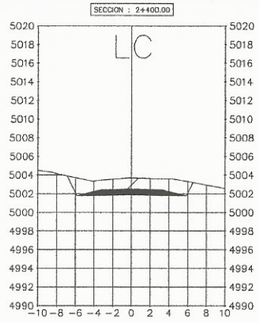


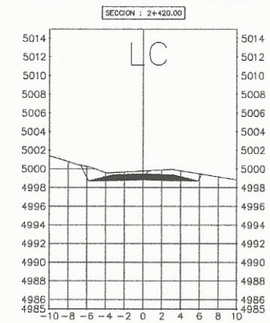


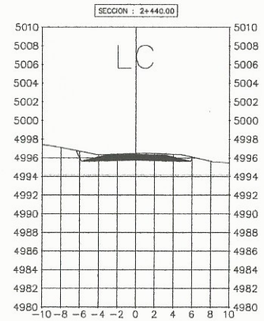












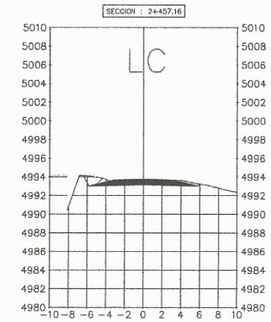


Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
0+000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0+020.00	5.99	1.52	61.99	12.75	61.99	12.75
0+040.00	2.39	1.50	85.21	27.83	147.20	40.58
0+060.00	0.04	6.27	24.29	76.08	171.48	116.66
0+080.00	0.00	22.83	0.37	303.51	171.85	420.17
0+100.00	0.00	42.88	0.00	674.56	171.85	1094.73
0+120.00	0.00	49.41	0.00	924.27	171.85	2019.01
0+140.00	0.00	56.70	0.00	1052.13	171.85	3071.14
0+160.00	0.00	71.59	0.00	1272.78	171.85	4343.92
0+180.00	0.00	94.85	0.00	1662.81	171.85	6006.73
0+200.00	0.00	115.68	0.00	2075.32	171.85	8082.06
0+220.00	0.00	121.37	0.00	2370.57	171.85	10452.62
0+240.00	0.00	113.53	0.00	2346.19	171.85	12798.81
0+260.00	0.00	92.27	0.00	2058.01	171.85	14856.83
0+280.00	0.00	64.10	0.00	1571.68	171.85	16428.51
0+300.00	0.00	42.27	0.00	1066.63	171.85	17495.14
0+320.00	0.00	28.52	0.00	709.16	171.85	18204.31
0+340.00	0.00	21.24	0.00	497.19	171.85	18701.50
0+360.00	0.52	3.41	5.18	246.36	177.04	18947.86
0+380.00	0.00	7.68	5.20	109.11	182.24	19056.97

Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
0+400.00	0.00	18.88	0.00	263.61	182.24	19320.58
0+420.00	0.00	33.15	0.00	520.35	182.24	19840.93
0+440.00	0.00	35.68	0.00	707.82	182.24	20548.75
0+460.00	6.59	0.18	69.10	385.61	251.34	20934.36
0+480.00	57.65	0.00	697.38	1.25	948.71	20935.61
0+500.00	56.00	0.00	1106.17	0.00	2054.89	20935.61
0+520.00	51.01	0.00	1033.49	0.00	3088.37	20935.61
0+540.00	35.48	0.00	847.53	0.00	3935.91	20935.61
0+560.00	17.30	0.00	513.02	0.00	4448.92	20935.61
0+580.00	2.11	2.59	192.14	27.17	4641.06	20962.78
0+600.00	0.00	7.58	21.03	102.27	4662.09	21065.05
0+620.00	0.00	13.67	0.00	210.76	4662.09	21275.81
0+640.00	0.00	19.30	0.00	324.26	4662.09	21600.07
0+660.00	0.00	8.95	0.00	268.34	4662.09	21868.41
0+680.00	3.03	1.42	30.21	102.98	4692.31	21971.40
0+700.00	4.55	0.61	75.78	20.29	4768.09	21991.69
0+720.00	4.23	2.72	87.77	33.23	4855.86	22024.92
0+740.00	4.30	0.03	85.73	28.54	4941.59	22053.47
0+760.00	1.84	3.62	66.80	31.29	5008.39	22084.76
0+780.00	0.39	2.44	23.17	57.49	5031.56	22142.25

Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
0+800.00	0.00	5.49	3.92	78.99	5035.49	22221.24
0+820.00	0.00	12.08	0.00	175.77	5035.49	22397.01
0+840.00	0.00	15.21	0.00	273.50	5035.49	22670.51
0+860.00	0.00	12.45	0.00	276.66	5035.49	22947.17
0+880.00	0.00	4.71	0.00	170.57	5035.49	23117.74
0+900.00	0.56	1.70	5.55	64.10	5041.04	23181.84
0+920.00	2.08	0.61	26.36	23.13	5067.40	23204.97
0+940.00	2.60	0.56	46.78	11.70	5114.17	23216.67
0+960.00	4.31	0.00	68.78	5.77	5182.95	23222.44
0+980.00	0.00	2.48	42.66	25.41	5225.61	23247.85
1+000.00	0.00	9.97	0.03	125.10	5225.65	23372.96
1+020.00	0.00	17.56	0.00	275.50	5225.65	23648.45
1+040.00	0.00	12.97	0.00	302.08	5225.65	23950.53
1+060.00	0.18	1.94	1.78	148.75	5227.42	24099.28
1+080.00	5.96	0.07	61.49	20.08	5288.91	24119.37
1+100.00	7.98	0.08	138.77	1.49	5427.68	24120.85
1+120.00	9.99	0.00	178.39	0.79	5606.07	24121.64
1+140.00	10.33	0.00	201.95	0.00	5808.02	24121.64
1+160.00	7.08	0.35	170.35	3.79	5978.37	24125.43
1+180.00	0.38	2.79	75.76	30.83	6054.13	24156.27

Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
1+200.00	0.00	3.42	3.96	61.11	6058.09	24217.38
1+220.00	0.00	4.61	0.02	79.36	6058.11	24296.74
1+240.00	0.46	2.69	4.66	72.10	6062.77	24368.84
1+260.00	6.07	1.12	65.52	37.81	6128.29	24406.65
1+280.00	9.63	0.02	157.20	11.42	6285.49	24418.07
1+300.00	9.61	0.00	192.43	0.24	6477.92	24418.31
1+320.00	5.38	0.02	149.68	0.24	6627.60	24418.55
1+340.00	2.23	0.58	73.67	6.76	6701.27	24425.31
1+360.00	0.00	4.54	22.28	51.24	6723.55	24476.55
1+380.00	0.00	15.94	0.00	204.99	6723.55	24681.54
1+400.00	0.00	13.32	0.00	289.76	6723.55	24971.30
1+420.00	0.00	11.17	0.00	239.56	6723.55	25210.86
1+440.00	0.00	9.39	0.00	205.60	6723.55	25416.46
1+460.00	0.00	5.21	0.00	146.03	6723.55	25562.48
1+480.00	1.11	2.92	11.09	81.28	6734.64	25643.76
1+500.00	2.04	2.93	32.11	52.60	6766.75	25696.37
1+520.00	2.56	0.89	45.92	38.43	6812.67	25734.80
1+540.00	2.03	1.41	45.55	23.50	6858.22	25758.29
1+560.00	0.25	2.54	22.51	40.18	6880.73	25798.47
1+580.00	0.02	4.42	2.72	70.18	6883.45	25868.65

Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
1+600.00	0.00	11.76	0.25	162.16	6883.70	26030.81
1+620.00	0.00	16.46	0.00	282.18	6883.70	26312.99
1+640.00	0.00	21.44	0.00	378.99	6883.70	26691.98
1+660.00	0.00	23.38	0.00	448.62	6883.70	27140.60
1+680.00	0.00	27.91	0.00	512.91	6883.70	27653.51
1+700.00	0.00	25.61	0.00	535.91	6883.70	28189.42
1+720.00	0.00	15.96	0.00	417.16	6883.70	28606.58
1+740.00	10.81	6.10	110.52	218.04	6994.21	28824.63
1+760.00	4.67	3.47	157.78	93.25	7151.99	28917.88
1+780.00	20.12	0.47	252.51	38.33	7404.50	28956.20
1+800.00	13.00	0.12	332.67	5.86	7737.17	28962.07
1+820.00	12.18	1.09	253.84	11.82	7991.01	28973.89
1+840.00	10.28	0.21	226.52	12.73	8217.53	28986.62
1+860.00	12.16	0.00	225.44	2.11	8442.98	28988.73
1+880.00	2.06	0.68	142.58	6.71	8585.55	28995.43
1+900.00	0.49	2.00	25.50	26.64	8611.06	29022.07
1+920.00	1.61	0.62	21.03	26.13	8632.09	29048.21
1+940.00	5.60	0.53	72.25	11.44	8704.34	29059.65
1+960.00	2.95	0.72	85.71	12.35	8790.05	29072.00
1+980.00	0.00	5.18	29.53	58.46	8819.58	29130.46

Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
2+000.00	0.00	14.50	0.00	197.83	8819.58	29328.29
2+020.00	0.00	17.71	0.00	328.56	8819.58	29656.85
2+040.00	0.00	16.72	0.00	346.36	8819.58	30003.21
2+060.00	3.28	1.15	32.50	180.27	8852.09	30183.49
2+080.00	14.14	0.00	173.58	11.74	9025.67	30195.22
2+100.00	15.40	0.00	294.99	0.00	9320.65	30195.22
2+120.00	12.50	0.00	279.57	0.00	9600.22	30195.22
2+140.00	1.98	0.73	145.51	6.80	9745.73	30202.03
2+160.00	0.44	4.54	24.59	50.27	9770.33	30252.30
2+180.00	0.00	4.57	4.35	91.17	9774.68	30343.46
2+200.00	0.82	4.43	8.16	90.02	9782.84	30433.49
2+220.00	0.02	5.27	8.30	97.59	9791.14	30531.07
2+240.00	0.11	3.93	1.29	92.50	9792.43	30623.57
2+260.00	0.00	8.53	1.07	124.58	9793.50	30748.15
2+280.00	0.00	16.89	0.00	254.17	9793.50	31002.32
2+300.00	0.00	26.44	0.00	433.27	9793.50	31435.60
2+320.00	0.00	33.54	0.00	600.93	9793.50	32036.52
2+340.00	0.00	28.90	0.00	625.62	9793.50	32662.14
2+360.00	0.00	32.25	0.00	611.49	9793.50	33273.63
2+380.00	0.00	23.29	0.00	552.60	9793.50	33826.24

Tabla de volumenes

Estacion	AREA DE RELLENO	AREA DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO	VOLUMEN DE CORTE	VOLUMEN DE RELLENO ACUMULADO	VOLUMEN DE CORTE ACUMULADO
2+400.00	0.00	16.34	0.00	394.24	9793.50	34220.48
2+420.00	0.00	7.12	0.00	234.12	9793.50	34454.61
2+440.00	0.00	3.19	0.00	103.10	9793.50	34557.71
2+457.16	0.25	2.11	2.19	45.60	9795.69	34603.31

VOLUMENES DE CORTE Y DE RELLENO

CARRETERA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO: AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ

CONTIENE: SECCIONES + TABLAS DE VOLUMENES DE CORTE Y DE RELLENO

TIPO: A

HOJA: 11/12

DISEÑO: JAN MELENDEZ CASTRO

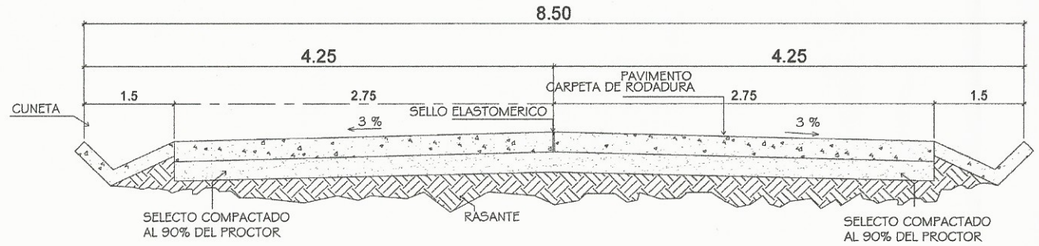
DIBUJO: JAN MELENDEZ CASTRO

ESCALA: INDICADA

FECHA: SEPTIEMBRE 2016

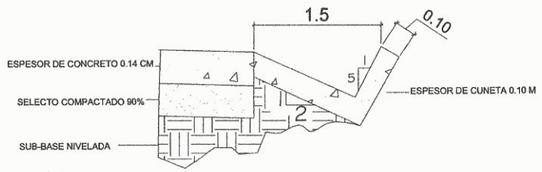
Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA



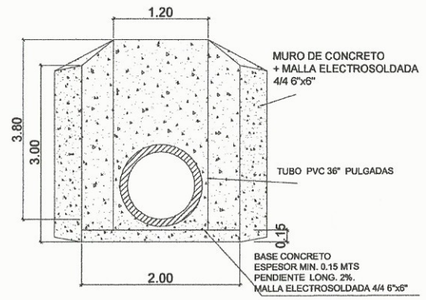
DETALLE DE GABARITO

ESCALA 1:125



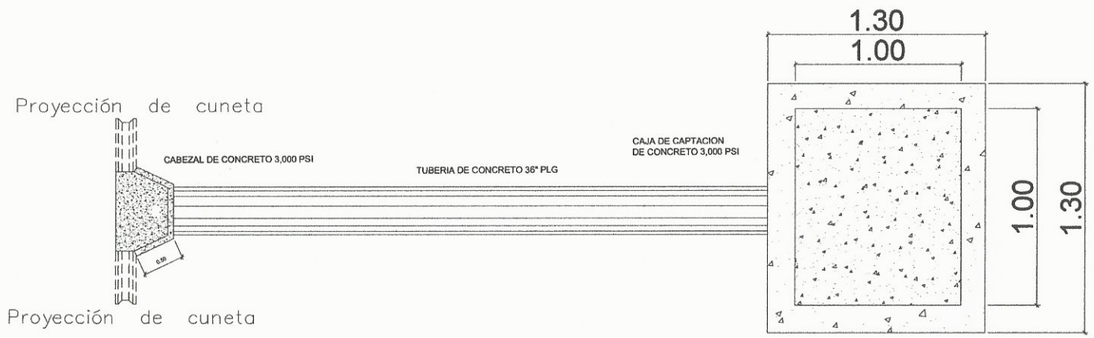
DETALLE DE CUNETA

ESCALA 1:125



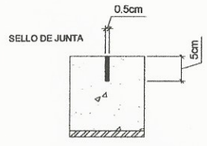
ELEVACION DE CABEZAL DE DESFOGUE

ESCALA 1:125



DETALLE DRENAJE TRANSVERSAL

ESCALA 1:125



DETALLE DE JUNTA LONGITUDINAL

ESCALA 1:125

ESPECIFICASIONES TECNICAS PARA EL PAVIMENTO DE CONCRETO

SUB-RASANTE:

- El terreno es apto para utilizarse como una sub base, respaldandonos en los estudios de suelo realizados.

BASE:

- El espesor de la base debe de ser de 10 cm.
- El material selecto deberá tener un C.B.R. de 90% como mínimo de compactación, dicho material deberá ser distribuido y compactado manteniendo el espesor descrito anteriormente, también dicho material deberá estar libre de toda materia orgánica, basura u otro material perjudicial para la carretera.

CONCRETO PARA LA LOSAS:

- El concreto utilizado debe tener una resistencia mínima a la compresión de f´c = 281 kg/cm2 (4,000 PSI) a los 28 días después de su fundición, un módulo de ruptura Mr = 42 kg/cm2 y una proporción de 1 : 2 : 2.5 lo que corresponde a 9 sacos de cemento, 0.55 m3 de arena y 0.67 m3 de piedrín ¾" y 48 galones de agua para un metro cubico de concreto.
- El cemento utilizado debe ser del tipo I o II según AASHTO M85-63
- Los agregados utilizados deben ser de calidad y libres de toda materia orgánica o basuras que puedan dañar el concreto
- Queda a criterio del contratista aplicar los aditivos que considere necesarios para el concreto.

LOSAS DE CONCRETO:

- El espesor de la losa de concreto debe de ser de 14 cm
- Luego de colocado el concreto debe de ser compactado con vibradores
- Las losas deberán llevar texturizado y la forma de realizarlo quedara a criterio del contratista.
- Las losas deben ser curadas como mínimo durante los 7 días siguientes de su fundición

JUNTAS:

- Las juntas transversales tendrán un espaciamiento de 3.33 m
- Al centro de la sección se colocara la junta longitudinal la cual dividirá en dos los carriles el ancho de la via
- Todas las juntas deberán realizarse en un tiempo considerale luego de fundida la losa.
- Antes de sellar las juntas estas deberán de estar limpias y secas con aire
- El material utilizado para el sellado de las juntas será no absorbente ni reactivo

NOTAS:

- El espesor de las cunetas será de 10 cm pudiendo variar a conveniencia del constructor.
- El bombeo de la calzada debe de ser de 3%

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA

PROYECTO:	AMPLIACIÓN DE CARRETERA QUE CONDUCE DE ALDEA SAJCAVILLA HACIA ALDEA LO DE MEJÍA, SAN JUAN SACATEPEQUEZ
CONTIENE:	DETALLES DE CARRETERA + ESPECIFICASIONES
TIPO	A
HOJA	12/12
DISEÑO:	JAN MELENDEZ CASTRO
DIBUJO:	JAN MELENDEZ CASTRO
ESCALA:	INDICADA
FECHA:	SEPTIEMBRE 2016

Inga. Mayra Rebeca García Soria de Sierra
ASESORA - SUPERVISORA DE EPS
Unidad de Prácticas de Ingeniería y EPS

INGA. MAYRA REBECA GARCIA DE SIERRA