UNIVERSIDAD AUTÓNOMA "JUAN MISAEL SARACHO"

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

TOMO I

"ANÁLISIS, CÁLCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA UNIDAD EDUCATIVA 12 DE AGOSTO EN LA COMUNIDAD DE CAMPO PAJOSO, MUNICIPIO DE YACUIBA, PROVINCIA GRAN CHACO, DEPARTAMENTO DE TARIJA"

POR:

JUAN EMANUEL LÓPEZ ALARCÓN

SEMESTRE I - 2026

TARIJA-BOLIVIA

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mis padres y hermanos, con todo mi cariño, por su incondicional apoyo, comprensión y paciencia, que han sido fundamentales para alcanzar cada una de mis metas a lo largo de esta etapa de mi vida.

ÍNDICE

CAPÍTULO I

1 ANTECEDENTES 1

1.1 EL PROBLEMA 1

1.1.1 Planteamiento 1

1.1.2 Formulación 2

1.2 OBJETIVO 2

1.2.1 General 2

1.2.2 Específicos 2

1.3 JUSTIFICACIÓN 3

1.3.1 Académica 3

1.3.2 Técnica 3

1.3.3 Social 3

1.4 ALCANCE DEL PROYECTO 4

1.5 LOCALIZACIÓN 4

1.5.1 Información socioeconómica 6

1.5.2 Servicios básicos existentes 7

2 MARCO TEÓRICO 8

2.1 GENERALIDADES 8

2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 8

2.3 ESTUDIO DE SUELOS. 9

2.3.1 Granulometría 9

2.3.2 Límites de Atterberg 9

2.3.3 Contenido de Humedad 10

2.3.4 Clasificación del suelo 10

2.3.5 Ensayo de penetración estándar SPT 11

2.4 DISEÑO ARQUITECTÓNICO 12

2.5 IDEALIZACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS 13

2.5.1 Sustentación de cubierta 13

2.5.2 Sustentación de la edificación 13

2.5.3 Estructura complementaria 15
2.5.4 Fundaciones 15
2.6 HORMIGÓN ARMADO 16
2.6.1 Peso específico del hormigón armado 17
2.6.2 Hormigón 17
2.6.3 Acero en barras 19
2.6.4 Límites de deformación 22
2.6.5 Factores de reducción de la capacidad 23
2.6.6 Adherencia entre el hormigón y el Acero 23
2.7 DISEÑO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN 24
2.7.1 Ecuación básica para el diseño por resistencia 24
2.7.2 Análisis de Cargas 24
2.7.3 Combinaciones de carga 32
2.8 DISEÑO DE LA CUBIERTA METÁLICA 33
2.8.1 Método de análisis y diseño estructural 33
2.8.2 Deformación máxima admisible 33
2.8.3 Diseño de correas 33
2.8.4 Diseño de elementos sometidos a tracción 35
2.8.5 Diseño de elementos sometidos a compresión 36
2.9 DISEÑO DE ELEMENTOS DE HORMIGÓN ARMADO 38
2.9.1 Método de análisis y diseño estructural 38
2.9.2 Diseño de la losa reticular casetonada 38
2.9.3 Diseño de Viga 43
2.9.4 Diseño de Columnas 53
2.9.5 Columnas en pórticos intermedios resistentes a momento (Armado sismorresistente) 58
2.9.6 Diseño de Fundaciones 59
2.9.7 Estructuras complementarias (Escalera) 64
2.10 ESTRATEGIA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO. 67
2.10.1 Especificaciones Técnicas 67
2.10.2 Cómputos Métricos 67

2.10.3 Precios unitarios 68
2.10.4 Presupuesto 69
2.10.5 Planeamiento y cronograma 69
3 INGENIERÍA DEL PROYECTO. 70
3.1 ANÁLISIS DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 70
3.2 ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE SUELOS 72
3.3 ANÁLISIS DEL DISEÑO ARQUITECTÓNICO 73
3.3.1 Características generales 73
3.3.2 Distribución de ambientes 73
3.3.3 Composición arquitectónica 74
3.4 ANÁLISIS, CÁLCULO Y DISEÑO ESTRUCTURAL 76
3.4.1 Estructura de sustentación de la cubierta 76
3.4.2 Estructura de sustentación de la edificación 109
3.4.3 Diseño Losa Reticular 110
3.4.4 Vigas de hormigón armado 116
3.4.5 Columnas de hormigón armado 132
3.4.6 Fundaciones 147
3.4.7 Estructuras complementarias 163
3.5 DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA PARA LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO. 173
3.5.1 Especificaciones Técnicas. 173
3.5.2 Precios unitarios. 173
3.5.3 Cómputos Métricos. 174
3.5.4 Presupuesto 174
3.5.5 Planeamiento y cronograma. 174
4 APORTE ACADÉMICO 175
4.1 MARCO TEÓRICO O ALCANCE DEL APORTE 175
4.1.1 Introducción 175
4.1.2 Mapa probabilístico de amenaza sísmica para Bolivia 175
4.1.3 Clasificación de edificios y estructuras 176
4.1.4 Clasificación de suelos de fundación 177

4.1.5 Categorías de diseño sísmico 179
4.1.6 Espectro elástico 179
4.1.7 Espectro de diseño 180
4.1.8 Sistemas estructurales 181
4.1.9 Coeficiente de reducción R, amplificación Cd y deriva Δ 181
4.1.10 Modelado estructural 182
4.1.11 Factores de Irregularidad (FIT) 184
4.1.12 Análisis Estático 185
4.1.13 Análisis Modal Espectral 186
4.2 PRODUCTO – APORTE 187
4.2.1 Determinación del Espectro Elástico y de diseño 188
4.2.2 Esquema de la estructura 193
4.2.3 Asignación del Espectro de diseño 193
4.2.4 Asignación de masas 194
4.2.5 Verificación de Participación de masas 194
4.2.6 Escalado de fuerzas 194
4.2.7 Comprobación de Irregularidad 195
4.2.8 Desplazamiento Lateral o Control de Derivas 198
4.2.9 Verificación del primer y segundo modo de vibración sean traslacional 200
4.2.10 Verificación de relación Cortante − Peso Sísmico 200
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 201
5.1 CONCLUSIONES 201
5.2 RECOMENDACIONES 203
BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

Anexo I Análisis y estudio de suelos

Anexo II Estimación de Cargas

Anexo III Especificaciones Técnicas

Anexo IV Cómputos Métricos

Anexo V Análisis de Precios Unitarios

Anexo VI Presupuesto General

Anexo VII Cronograma de Ejecución

Anexo VIII Análisis Sismorresistente de Bloques A, B, C

Anexo IX Memoria de Cálculo del Tinglado Metálico

PLANOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Lugar de emplazamiento del proyecto 6

Tabla 1.2 Población censo 6

Tabla 2.1 Serie de tamices A.S.T.M. 9

Tabla 2.2 Sistema de clasificación SUCS 11

Tabla 2.3 Límites mínimos para f'c 18

Tabla 2.4 Límites de resistencia a fluencia del acero 20

Tabla 2.5 Recubrimiento mínimo para elementos de hormigón construidos en sitio 21

Tabla 2.6 Deflexión máxima admisible 22

Tabla 2.7 Factor dependiente del tiempo 23

Tabla 2.8 Factor de reducción de la capacidad 23

Tabla 2.9 Sobrecarga de servicio, L 26

Tabla 2.10 Factor de direccionalidad del viento Kd 29

Tabla 2.11 Factor de importancia i 29

Tabla 2.12 Coeficiente de presión Cp para paredes 30

Tabla 2.13 Coeficiente de presión Cp cubiertas 31

Tabla 2.14 Altura mínima de vigas no pretensadas 47

Tabla 3.1 Resultado ensayo spt fosa 1 72

Tabla 3.2 Resultado ensayo spt fosa 2 72

Tabla 3.3 Propiedades mecánicas del acero A36 76

Tabla 3.4 Peso de la cercha tipo 78

Tabla 3.5 Resumen de carga por área y lineal 82

Tabla 3.6 Carga ultima de diseño en los ejes 83

Tabla 3.7 Propiedades del perfil 100x50x15x3 84

Tabla 3.8 Esfuerzos de la cercha tipo I..... 86
Tabla 3.9 Propiedades del perfil costanera 80x40x15x3..... 87
Tabla 3.10 Propiedades del perfil costanera 80x40x15x2..... 92
Tabla 3.11 Longitud de anclaje..... 100
Tabla 3.12 Cargas actuantes en la estructura..... 109
Tabla 3.13 Características de los elementos que concurren en la columna..... 134
Tabla 3.14 Diagrama de interacción columna B2..... 141
Tabla 3.15 Carga axial de las columnas en estudio..... 148
Tabla 3.16 Presión admisible bajo las columnas..... 152
Tabla 3.17 Resumen de cargas de escalera..... 165
Tabla 4.1 Factor de importancia de estructura..... 177
Tabla 4.2 Tipos de suelos..... 177
Tabla 4.3 Parámetros de determinación del suelo..... 178
Tabla 4.4 Coeficiente de sitio de periodo corto Fa..... 178
Tabla 4.5 Coeficiente de sitio de periodo largo Fv..... 178
Tabla 4.6 Categoría de diseño sísmico en función de Fa, S0 y tipo de estructura..... 179
Tabla 4.7 Categoría de diseño sísmico en función de Fv, S0 y tipo de estructura..... 179
Tabla 4.8 Periodos límite inicial, corto y largo..... 180
Tabla 4.9 Coeficiente de R, Cd y Deriva..... 181
Tabla 4.10 % de participación de la carga viva durante un evento sísmico..... 182
Tabla 4.11 Irregularidad en altura..... 184
Tabla 4.12 Irregularidad en planta..... 185
Tabla 4.13 Aceleración del terreno PGA..... 188
Tabla 4.14 Puntos del espectro elástico y de diseño..... 192

Tabla 4.15 Participaciones de masa 194
Tabla 4.16 Comprobación de irregularidad de rigidez – piso blando 196
Tabla 4.17 Comprobación de irregularidad torsional en planta 197
Tabla 5.1 Comparación de volúmenes de hormigón 202
Tabla 5.2 Comparación de cuantías de acero 202
Tabla 5.3 Comparación de costos 202

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación general del proyecto 5
Figura 1.2 Imagen satelital del lugar de emplazamiento del proyecto 5
Figura 2.1 Límites de atterberg 10
Figura 2.2 Esquema del ensayo Spt 12
Figura 2.3 Sistema estructural porticado 14
Figura 2.4 Sistema estructural de muros estructurales. 14
Figura 2.5 Sistema estructural dual 15
Figura 2.6 Curva tensión-deformación del acero 21
Figura 2.7 Clasificación de acciones de carga 25
Figura 2.8 Factor de corrección en cubierta. 27
Figura 2.9 Cubiertas a dos aguas y cuatro aguas 31
Figura 2. 10 Esquema de correa 34
Figura 2.11 Detalle losa reticular casetonada 38
Figura 2.12 Límites dimensionales de losas reticular casetonada 39
Figura 2.13 Diagrama de esfuerzos equivalentes 41
Figura 2.14 Par de fuerzas de compresión y tensión del momento nominal 44
Figura 2.15 Condición de deformación balanceada en flexión 46
Figura 2.16 Vigas en pórticos intermedio resistente a momentos 48
Figura 2.17 Cortante en pórticos intermedios resistente a momentos 50
Figura 2.18 Excentricidad equivalente para la carga de una columna 55
Figura 2.19 Columna sometida a compresión excéntrica 56
Figura 2.20 Diagrama de interacción de columna 57
Figura 2.21 Tipos de losas de fundación 59

Figura 2.22 Perímetro crítico de la sección de una columna 61
Figura 2.23 Asentamientos permisibles 64
Figura 2.24 Escalera de dos tramos vista en planta. 65
Figura 3.1 Plano de ubicación y topográfico 71
Figura 3.2 Fachada arquitectónica 75
Figura 3.3 Corte transversal A-A 75
Figura 3.4 Corte transversal B-B 75
Figura 3.5 Vista en planta de geometría de cubierta 77
Figura 3.6 Vista en corte de la geometría de la cubierta 77
Figura 3.7 Longitudes de los elementos de cercha 78
Figura 3.8 Esquema de cargas permanentes en cercha tipo I 80
Figura 3.9 Esquema de cargas vivas en cercha tipo I 80
Figura 3.10 Esquema de cargas de granizo en cercha tipo I. 81
Figura 3.11 Esquema de cargas de viento en cercha tipo I. 82
Figura 3.12 Descomposición de fuerzas en eje x y y de la correa 82
Figura 3.13 Nomenclatura de la cercha tipo I 85
Figura 3.14 Esfuerzo máximo a compresión 87
Figura 3.15 Esfuerzo máximo a tensión 92
Figura 3.16 Configuración geométrica y ejes principales del perfil 80x40x15x2 94
Figura 3.17 Vista 3d del arriostre en la cercha 94
Figura 3.18 Esquema de la placa de anclaje fijo 98
Figura 3.22 Verificación de secciones en cercha tipo I 105
Figura 3.23 Estructuración de la edificación 109
Figura 3.24 Flecha máxima instantánea 110

Figura 3.25 Sección de análisis de losa reticular 111
Figura 3.26 Momento máximo a flexión positivo Mu +=16,00 kN · m/m 111
Figura 3.27 Momento máximo a flexión negativo Mu-=20,90 kN · m/m 113
Figura 3.28 Cortante máxima de la estructura 115
Figura 3.29 Diagrama de momentos en viga 117
Figura 3.30 Sección transversal de la viga 118
Figura 3.31 Sección transversal de la viga en estudio 122
Figura 3.32 Diagrama de cortantes últimas en viga sin sismo 1,2d+1,6l 122
Figura 3.33 Situación sísmica 1 de izquierda a derecha 123
Figura 3.34 Situación sísmica 2 de derecha a izquierda 124
Figura 3.35 Diagrama de cortantes últimas de diseño en viga con sismo 125
Figura 3.36 Deformación instantánea 130
Figura 3.37 Despiece de la viga eje B (1-2) 131
Figura 3.38 Dolumna b2 verificada manualmente (35x40) 132
Figura 3.39 Esfuerzo de la columna B2 133
Figura 3.40 Representación gráfica de los elementos que concurren en la columna. 133
Figura 3.41 Factor de longitud efectiva para la columna 135
Figura 3.42 Disposición de armado de la columna b2 138
Figura 3.43 Diagrama de interacción columna B2 (manual) 141
Figura 3.44 Diagrama de interacción columna B2 (etabs) 142
Figura 3.45 Despiece de columna C40x35 146
Figura 3.46 Geometría de losa de fundación bloque A 147
Figura 3.47 Perímetro crítico para columna esquinera 153
Figura 3.48 Perímetro crítico para columna de borde 154

Figura 3.49 Perímetro crítico para columna central 155
Figura 3.50 Diagrama de momentos en x en losa de fundación 157
Figura 3.51 Diagrama de momentos en y en losa de fundación 159
Figura 3.52 Esquema de fundación 161
Figura 3.53 Asentamientos instantáneos en losa de fundación 162
Figura 3.54 Asentamientos diferenciales totales tolerables 163
Figura 3.55 Escalera vista en planta 164
Figura 3.56 Momento flector en viga simplemente apoyada 167
Figura 3.57 Momento flector en viga empotrada 168
Figura 3.58 Sección transversal de la escalera (armadura) 172
Figura 3.59 Despiece de armadura de escalera 173
Figura 4.1 Mapa probabilístico de amenaza sísmica para 475 años 176
Figura 4.2 Espectro elástico de pseudoaceleracion 180
Figura 4.3 Espectro elástico del proyecto 189
Figura 4.4 Espectro de diseño del proyecto 191
Figura 4.5 Esquema de la estructura bloque a 193
Figura 4.6 Asignación del espectro al etabs 193
Figura 4.7 Irregularidad en altura bloque a, en el eje x-x 195
Figura 4.8 Desplazamiento en la planta nivel 1 197
Figura 4.9 Desplazamiento en eje x 198
Figura 4.10 Deriva sismo dirección x 198
Figura 4.11 Desplazamiento en el eje y 199
Figura 4.12 Deriva sismo dirección y 199
Figura 4.13 Verificación de primer y segundo modo de vibración 200