



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

Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Autorización electrónica de trabajo de
graduación
Fecha: 19/08/2024 11:50:38
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

**REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Dany William Mérida Contreras

Asesorado por Ing. Juan Carlos Linares Cruz

Guatemala, agosto de 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

DANY WILLIAM MÉRIDA CONTRERAS

ASESORADO POR ING. JUAN CARLOS LINARES CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2024

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Ing. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Ing. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Ing. Omar Enrique Medrano Méndez
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 3 de noviembre de 2021.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and strokes, positioned above the printed name.

Dany William Mérida Contreras



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

Guatemala, 21 de febrero de 2024
EIC-JP-001-1S-2024/jcl

Ingeniero
Francisco Javier Quiñonez de la Cruz
Coordinador de la Unidad de Investigación
Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

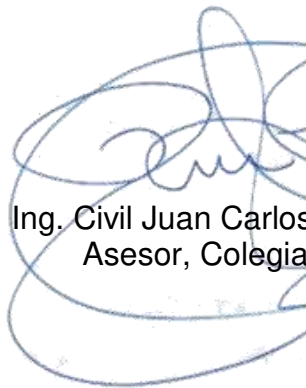
Ingeniero Quiñonez:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Dany William Mérida Contreras, quien contó con la asesoría del Ingeniero Juan Carlos Linares Cruz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la Ingeniería nacional 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


Juan Carlos Linares Cruz
Ingeniero Civil
MSc. Ingeniería Sanitaria
MSc. En formulación y Evaluación de Proyectos
Colegiado 4,056
Ing. Civil Juan Carlos Linares Cruz
Asesor, Colegiado 4,056

Cc: Estudiante Dany William Mérida Contreras
Archivo





ESCUELA DE
INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERÍA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

Guatemala, 22 de mayo de 2024

Ingeniero
Armando Fuentes Roca
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor director:

Tengo el agrado de informar a usted que he revisado el trabajo de graduación REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Dany William Mérida Contreras, quien contó con la asesoría del Ingeniero Juan Carlos Linares Cruz.

Considero que el trabajo desarrollado por el estudiante Mérida Contreras satisface los requerimientos mínimos y habiendo cumplido con los objetivos planteados en el protocolo aprobado, recomiendo su aprobación al mismo, solicitando el trámite respectivo.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Francisco Javier Quiñónes de la Cruz
Jefe Unidad de Investigación
Escuela de Ingeniería Civil

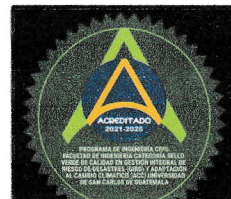


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERÍA

Cc archivo



Más de 140 años de Trabajo y Mejora Continua
<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>





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

SIST.LNG.DIRECTOR.22.EIC.2024

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el visto bueno del Coordinador de Área, al trabajo de graduación titulado: **REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: **Dany William Merida Contreras**, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ingeniero Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, junio de 2024





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

Decanato
Facultad e Ingeniería

24189101- 24189102

LNG.DECANATO.OIE.433.2024

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: **REESTRUCTURACIÓN DEL EJE DE INVESTIGACIÓN EN INFRAESTRUCTURA PARA LA ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por: **Dany William Merida Contreras** después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Firmado electrónicamente por: José Francisco
Gómez Rivera
Motivo: Informe final TESIS
Fecha: 19/08/2024 11:46:22
Lugar: Facultad de Ingeniería, USAC.

Ing. José Francisco Gómez Rivera
Decano a.i.



Guatemala, agosto de 2024

Para verificar validez de documento ingrese a <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/firma-electronica/consultar-documento>

Tipo de documento: Correlativo para orden de impresión Año: 2024 Correlativo: 433 CUI: 2433409230101

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, - Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). Postgrado Maestría en Sistemas Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas. Licenciatura en Matemática. Licenciatura en Física. Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría y energía cada día para lograr este título.
Mi papá	William Mérida. Su ejemplo y sabiduría me ayuda a seguir adelante.
Mi mamá	Eva Contreras. Su amor y apoyo me inspira siempre.
Mi hermano	Fernando Mérida. Su fortaleza y cariño cuida de mí.
Mi sobrino	Javier Mérida. Por darme alegría cuando más la necesito.
Ing. Monzón	Rodolfo Monzón. Por ser una importante influencia en mi trabajo.
Ing. Linares	Juan Carlos Linares. Por ser guía y asesor de mi trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS A:

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser una importante influencia en mi carrera y profesión.

Facultad de Ingeniería

Por ser parte fundamental en mi desarrollo académico.

**Mis amigos de la
Facultad**

Ángel Marroquín, Alejandro Acosta, Luis Talé y Edwin Samayoa, a quienes agradezco su compañerismo.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
HIPÓTESIS.....	XXVII
INTRODUCCIÓN	XXIX
1. LINEAS DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Investigación y educación.....	1
1.2. Tecnología Educativa	1
1.3. Línea de investigación	2
1.4. Investigación universitaria	3
1.5. Desarticulación de la investigación.....	3
1.6. Beneficios institucionales.....	6
2. INFRAESTRUCTURA	9
2.1. Infraestructura económica	10
2.1.1. Transporte	10
2.1.1.1. Carreteras.....	11
2.1.1.1.1. Carreteras por nivel transitable.....	12
2.1.1.1.2. Carreteras por función..	15
2.1.1.1.3. Carreteras por diseño...	16

	2.1.1.1.4.	Carreteras por administración	17
2.1.1.2.	Puentes		20
	2.1.1.2.1.	Puente Viga.....	21
	2.1.1.2.2.	Puente Celosía.....	23
	2.1.1.2.3.	Puente Arco	24
	2.1.1.2.4.	Puente Ménsula	25
	2.1.1.2.5.	Puente Atirantado	27
	2.1.1.2.6.	Puente Colgante	28
2.1.1.3.	Vías Férreas.....		30
	2.1.1.3.1.	Durmientes.....	30
	2.1.1.3.2.	Balasto	31
	2.1.1.3.3.	Plataforma.....	33
	2.1.1.3.4.	Riel.....	33
	2.1.1.3.5.	Fijaciones	34
	2.1.1.3.6.	Juntas de Riel	35
	2.1.1.3.7.	Aparatos de vía	36
	2.1.1.3.8.	Estaciones.....	37
2.1.1.4.	Terminales.....		38
2.1.1.5.	Aeropuertos.....		40
	2.1.1.5.1.	Terminal Aeroportuaria	40
	2.1.1.5.2.	Pista de Aterrizaje (<i>Runways</i>).....	42
	2.1.1.5.3.	Calles de Rodaje (<i>Taxilane y Taxiways</i>) ...	44
	2.1.1.5.4.	Torre de Control Aéreo (Air Traffic Control Tower – ATCT).....	45

	2.1.1.5.5.	Plataforma (<i>Apron</i>)	46
	2.1.1.5.6.	Hangares	46
2.1.1.6.		Puertos	47
	2.1.1.6.1.	Diques	50
	2.1.1.6.2.	Rompeolas	51
	2.1.1.6.3.	Espigones.....	52
	2.1.1.6.4.	Muros Costeros	53
	2.1.1.6.5.	Terminales de Amarre ..	53
	2.1.1.6.6.	Rampas	53
	2.1.1.6.7.	Pontones	54
2.1.1.7.		Túneles.....	54
2.1.1.8.		Muros de Contención.....	56
2.1.2.		Energía y minas.....	61
	2.1.2.1.	Centrales Hidroeléctricas.....	61
	2.1.2.1.1.	Centrales de pasada o de filo de agua	64
	2.1.2.1.2.	Centrales de embalse...	64
	2.1.2.1.3.	Centrales de regulación.....	65
2.2.		Centrales de almacenamiento por bombeo	65
	2.2.1.1.	Centrales eólicas	65
	2.2.1.2.	Líneas de Transmisión	68
	2.2.1.2.1.	Postes	70
	2.2.1.2.2.	Torres	70
	2.2.1.3.	Pozos de extracción	73
	2.2.1.3.1.	Pozos de agua.....	74
	2.2.1.3.2.	Pozos petrolíferos.....	75
	2.2.1.3.3.	Plataformas petrolíferas.....	80

	2.2.1.4.	Minas.....	82
	2.2.1.4.1.	Minas superficiales.....	84
	2.2.1.4.2.	Minas subterráneas.....	86
2.2.2.		Industria y comercio	88
	2.2.2.1.	Complejos industriales	90
	2.2.2.2.	Naves Industriales.....	91
	2.2.2.3.	Bodegas	95
	2.2.2.4.	Torres Comerciales	97
	2.2.2.5.	Centros comerciales.....	102
2.3.		Infraestructura social	105
2.3.1.		Sanitaria	106
	2.3.1.1.	Alcantarillas	106
	2.3.1.2.	Colectores	109
	2.3.1.3.	Plantas de tratamiento de aguas residuales.....	110
	2.3.1.4.	Fosas sépticas	113
	2.3.1.5.	Pozos y zanjas de absorción.....	114
	2.3.1.6.	Letrinas.....	115
	2.3.1.7.	Tanques <i>Imhoff</i>	117
	2.3.1.8.	Sistema de agua potable.....	118
	2.3.1.9.	Canales	120
	2.3.1.10.	Plantas de tratamiento de agua potable.....	122
2.3.2.		Urbana.....	124
	2.3.2.1.	Torres residenciales	125
	2.3.2.2.	Conjuntos residenciales	128
	2.3.2.3.	Hospitales.....	130
	2.3.2.4.	Centros educativos.....	133
	2.3.2.5.	Auditorios, iglesias, teatros y cines	137

	2.3.2.6.	Estadios deportivos	139
	2.3.2.7.	Pasarelas.....	143
2.4.		Infraestructura medio ambiental	147
	2.4.1.	Parques ecológicos	147
	2.4.2.	Reservas ecológicas.....	149
	2.4.3.	Paredes verdes.....	150
CONCLUSIONES			152
RECOMENDACIONES.....			154
REFERENCIAS			157
APÉNDICES			166
ANEXOS.....			173

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

Figura 1.	Sección transversal de carretera	11
Figura 2.	Mejoramiento de carretera de terracería, Jerez, Jutiapa	13
Figura 3.	Mejoramiento de carretera de terracería, Jerez, Jutiapa	14
Figura 4.	Pavimentación de carretera Yupiltepeque	14
Figura 5.	Libramiento de Chimaltenango, CA-1 Occidente.....	15
Figura 6.	Red vial primaria.....	18
Figura 7.	Red vial secundaria	19
Figura 8.	Ampliación puente viga.....	22
Figura 9.	Puente vía alterna hacia el sur, salida Amatitlán	22
Figura 10.	Puente de Oneida, Morales, Izabal	23
Figura 11.	Puente de la penitenciaría, zona 1 y 4	25
Figura 12.	Puente de Río Dulce, Livingston, Izabal	26
Figura 13.	Puente Chetumal ruta CA-9 Norte, El Progreso	27
Figura 14.	Reemplazo de durmientes.....	31
Figura 15.	Estructura vías férreas.....	32
Figura 16.	Carga de eje de tren	32
Figura 17.	Partes riel de fondo	34
Figura 18.	Pernos y clips de fijación	35
Figura 19.	Barra de unión convencional	36
Figura 20.	Esquema del funcionamiento de un desvío	37
Figura 21.	Terminal portuaria Santo Tomas de Castilla.....	39
Figura 22.	Diseño tipos de terminales de pasajeros	40
Figura 23.	Planta de la terminal de aeropuerto.....	41

Figura 24.	Rehabilitación de la pista de aterrizaje	44
Figura 25.	Torre de control del aeropuerto internacional La Aurora	45
Figura 26.	Sección transversal de un dique	50
Figura 27.	Sección dique principal tipo convencional.....	51
Figura 28.	Espigones en ambos sentidos de costa	52
Figura 29.	Sección transversal de túnel de carretera	55
Figura 30.	Túnel de Santa María de Jesús Quetzaltenango	56
Figura 31.	Tipos de muro de contención	58
Figura 32.	Detalle de anclaje del Soil Nailing	59
Figura 33.	Paso a desnivel Las Flores Cayalá	60
Figura 34.	Presa Pueblo Viejo hidroeléctrica Chixoy.....	63
Figura 35.	Esquema de una turbina eólica	67
Figura 36.	Construcción aerogeneradores 3.3 MW.....	68
Figura 37.	Elementos de una torre de transmisión eléctrica	71
Figura 38.	Torre de tensión en anillo pacifico sur Escuintla	73
Figura 39.	Elementos de un pozo perforado	75
Figura 40.	Mecanismos geológicos de captura de petróleo	76
Figura 41.	Componentes principales de una torre de perforación.....	799
Figura 42.	Torre de perforación.....	80
Figura 43.	Sistemas de perforación en aguas profundas	811
Figura 44.	Espeleología de subniveles para una minería.....	833
Figura 45.	Mina subterránea de voladura.....	88
Figura 46.	Vista área del Complejo Industrial Mixco Norte.....	90
Figura 47.	Plano isométrico de una nave industrial.....	94
Figura 48.	Construcción de bodega en Valle del Sol.....	966
Figura 49.	Esfuerzos debido a cargas laterales	98
Figura 50.	Sistema de interacción muro de corte y marco rígido	98
Figura 51.	Estructuras interiores en edificios de altura.....	100
Figura 52.	Estructuras exteriores en edificios de altura.....	101

Figura 53.	Uso de acero en edificios altos.....	102
Figura 54.	Clasificación por patrones de centros comerciales.....	105
Figura 55.	Planta hidráulica, acotada y sección transversal de PTAR..	1122
Figura 56.	Sección transversal de fosa séptica	1133
Figura 57.	Detalles de zanjas de absorción.....	1155
Figura 58.	Detalles de letrina abonera seca familiar.....	1177
Figura 59.	Sección transversal de un tanque Imhoff.....	1188
Figura 60.	Planta conjunto del sistema de agua potable en viviendas ...	120
Figura 61.	Secciones transversales y relaciones geométricas	1211
Figura 62.	Planta de potabilización de agua Lo de Coy.....	123
Figura 63.	Plano de ubicación e hidráulico de una PTAP	124
Figura 64.	Construcción de torre residencial	127
Figura 65.	Plano Master Plan de tercer clúster.....	1288
Figura 66.	Formas constructivas de un edificio hospitalario	131
Figura 67.	Valores directrices de la superficie necesaria en hospitales	1322
Figura 68.	Hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo IGSS.....	133
Figura 69.	Edificio de aulas y áreas de recreación de centro educativo	1377
Figura 70.	Construcción del teatro nacional Miguel Ángel Asturias	139
Figura 71.	Estructura del modelo paramétrico	141
Figura 72.	Detalle de cobertura en estructura metálica de estadio.....	142
Figura 73.	Elevación frontal de una pasarela de metal.....	144
Figura 74.	Elevación frontal de una pasarela ciclopeatonal.....	145
Figura 75.	Sección de viga de pasarelas.....	146
Figura 76.	Parque nacional Naciones Unidas.....	148
Figura 77.	Parques nacionales de Guatemala.....	1499
Figura 78.	Características del sistema de paredes verdes	151

TABLAS

Tabla 1.	Clasificación por función de carreteras	15
Tabla 2.	Nivel de servicio de carreteras	177
Tabla 3.	Tamaño mínimo de la posición de estacionamiento	47
Tabla 4.	Clasificación de torres eléctricas	72
Tabla 5.	Clasificación de los métodos de minería de superficie.....	855
Tabla 6.	Clasificación de los métodos de minería subterránea	866
Tabla 7.	Aspectos para la clasificación de naves industriales.....	92
Tabla 8.	Criterios de diseño de alcantarillados de bajo costo	107
Tabla 9.	Valores directrices superficie en centros educativos.....	1355

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
d	Día
dB	Decibeles
g (°)	Grado
gal	Galón
h	Hora
ha	Hectárea
hab	Habitante
kg	Kilogramo
kgf	Kilogramo fuerza
km	Kilometro
kV	Kilovoltio
l	Litro
lb	Libra
psi	Libra sobre pulgada cuadrada
psf	Libra sobre pie cuadrado
m	Metro
MW	Mega <i>watt</i>
mm	Milímetro
nm	Nanómetro
NC	<i>Noise Criterion</i>
ft (')	Pie
sf	Pie cuadrado

pH	Porcentaje de hidrogeno
pulg (")	Pulgada
s	Segundo
ton	Toneladas

GLOSARIO

Afluente	Arroyo o río secundario que lleva sus aguas a otro mayor o principal.
Andén	Plataforma elevada de cemento, hormigón o, en algunos casos de madera, a los lados de la vía del ferrocarril o del metro, dispuesta para facilitar el acceso y salida de los pasajeros.
Año Hidrológico	Periodo de 12 meses a lo largo del cual se miden las precipitaciones sobre una determinada cuenca hidrográfica.
Área Rural	Conjunto de centros poblados con menos de 2,500 habitantes definido en cualquier nivel de la División Político-Territorial de un país.
Área Urbana	Denota un área de 2,500 o más habitantes.
Arriostramiento	Técnica utilizada en la construcción de edificios y otras estructuras para reforzar y estabilizar la estructura mediante la adición de elementos estructurales que conectan diferentes partes de la estructura y ayuden a distribuir la carga de forma más equilibrada.

Azud	Barrera hecha en los ríos con el fin de facilitar el desvío de parte del caudal para riego u otros usos.
Base	Componentes de un pavimento flexible y rígido que deben cumplir especificaciones técnicas establecidas para un determinado proyecto vial.
Berma	Espacio de separación, zanja o pared baja con que se separan los dos sentidos de la circulación en una autopista o carretera para impedir el paso de los vehículos al carril contrario.
Bitumen	Mezcla de sustancias orgánicas, altamente viscosa, negra, de alta densidad, dicho de los hidrocarburos tales como el asfalto y la cera mineral.
Brocal	Elemento constructivo que se coloca alrededor de la boca de los pozos para proteger del riesgo de caer.
Cabrestante	Torno de eje vertical que se emplea para mover grandes pesos por medio de una maroma o cable que se va arrollando en él a medida que gira.
Celosía	Enrejado de listoncillos de madera o de hierro, que se pone en las ventanas de los edificios y otros vanos, para brindar rigidez o reducir la visibilidad en una estructura.

<i>Cleats</i>	Perfiles sujetos al ángulo de anclaje y colocados para distribuir los esfuerzos a la cimentación.
Coloidal	Sustancia que se dispersa lentamente en un líquido.
Comercio	Compraventa o intercambio de bienes o servicios.
Concreto Presforzado o Pretensado	Concreto en el cual han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes de las cargas externas dadas se equilibran hasta un grado deseado.
Concreto Postensado	Método de presfuerzo en el cual, utilizando cables de acero que se colocan entre un ducto para evitar su adherencia con el concreto, se somete a fuerzas opuestas a las producidas por las cargas de trabajo, logrando aumentar así su capacidad de carga.
Concreto Ciclópeo	Concreto compuesto por piedras grandes utilizado mayormente en cimentaciones superficiales, sobrecimientos o elementos estructurales que su resistencia no es tan considerable.
Conurbación	Región que comprende una serie de ciudades, pueblos grandes y otras áreas urbanas que, a través del crecimiento poblacional y su crecimiento físico, se fusionan.

Derecho de Vía	Derecho que tiene el Estado o Municipalidad sobre la faja de terreno en que se construyen los caminos, en ella se comprenderán dos paredes o cercas, dos banquetas, dos cunetas y un pavimento que es la carretera propiamente dicha.
Distancia de servidumbre	Prohibición legal de construir o edificar por razón de las distancias que hay que guardar entre determinadas zonas.
Económico	Perteneciente o relativo a la economía.
Edificio	Construcción estable, hecha con materiales resistentes, para ser habitada o para otros usos.
Efluente	Curso de agua distributivo que desde el sitio de confluencia se desprende a un lago o río como una derivación menor.
Entibado	Tipo de estructura de contención provisional, creada mediante tablonos de madera o elementos metálicos y placas cuadradas.
Escollera	Conjunto de bloques de cemento que se depositan en el fondo del mar para proteger un dique o espigón de la acción del oleaje o como fundamento para la construcción de un muelle.

Estructura Reticulada	Estructura formada por un conjunto de barras interconectadas y entrecruzadas unidas por medio de nudos articulados o rígidos formando triángulos.
Estructura Funicular	Estructura constituidas por sogas, cuerdas o cables que debido a su naturaleza no poseen rigidez, por lo que únicamente pueden absorber esfuerzos de tracción.
Estructura Antifunicular	Estructura compuesta por elementos exclusivamente resistentes a la compresión, capaces de soportar cargas impuestas.
Espeleología	Ciencia que estudia la naturaleza, el origen y formación de las cavernas, y su fauna y flora.
Espigón	Muro grueso construido para proteger las aguas de un puerto o encauzar el curso de un río que avanza sobre el mar o perpendicular a la orilla del río.
Excreta	Conjunto de productos de desecho que son eliminados por el cuerpo.
<i>Flap</i>	Aleta o solapa cuya función es modificar la forma aerodinámica del ala de un avión para aumentar su sustentación cuando el avión vuela a baja velocidad y a baja altura.

Freático	Superficie donde la presión del agua y la presión atmosférica son iguales, dicho del agua acumulada en el subsuelo y puede aprovecharse por medio de pozos.
Galibo	Dimensión máxima que sirve para determinar si se puede pasar por un túnel, por debajo de un puente o paso elevado.
Infraestructura	Obra subterránea o estructura que sirve de base de sustentación a otra.
Insumo	Conjunto de elementos que toman parte en la producción de otros bienes.
Intersticial	Hendidura o espacio, por lo común pequeño, que media entre dos cuerpos o entre dos partes de un mismo cuerpo.
Isostática	Estructura que sus reacciones pueden ser calculadas mediante ecuaciones de la estática.
Litología	Parte de la geología que trata de las rocas.
Medio Ambiental	Perteneciente o relativo al medio ambiente.
Ménsula	Elemento estructural en voladizo.

Neopreno	Material que presenta una gran capacidad de amortiguamiento y tolerancia a los esfuerzos cortantes, de tensión y compresión.
Pavimento	Estructura heterogénea de suelos y rocas naturales, que el ingeniero toma, procesa y transforma, para formar capas resistentes que, en su conjunto, soporten cargas que le transmitirán los vehículos.
<i>Penstock</i>	Compuerta o esclusa utilizada para controlar el flujo de agua, que suministra agua a una central hidroeléctrica.
Pilote	Pieza larga a modo de estaca, de madera, hierro u hormigón armado, que se hince en el terreno para consolidar los cimientos de una construcción.
Proyecto	Conjunto de escritos, cálculos y dibujos que se hacen para dar idea de cómo ha de ser y lo que ha de costar una obra de arquitectura o de ingeniería.
Recinto	Espacio comprendido dentro de ciertos límites (muros, vallas, entre otros) que se utiliza con un fin determinado; generalmente está ocupado por instalaciones o construcciones.
Reología	Rama de la física de medios continuos que se dedica al estudio de la deformación y el fluir de la materia tanto en estado sólido como líquido.

Represa	Barrera construida sobre un río o arroyo, cuya finalidad es embalsar el agua en el cauce fluvial.
Social	Perteneciente o relativo a la sociedad.
Stub	Ángulo de anclaje diseñado según especificaciones técnicas debido a que estará obligado a resistir tensión y compresión, y transmitirlas adecuadamente a la cimentación.
Subbase	Capa de material agregado colocada sobre la subrasante, sobre la cual se ubica la capa base.
Subrasante	Terreno natural en la cual se apoya toda la estructura del pavimento, es decir que no forma parte de la estructura en sí.
Tajo	Corte profundo y vertical formado en el terreno por la erosión de un río o por otro accidente del terreno.
Taxilane	Caminos definidos en la superficie del aeropuerto que se establecen para el rodaje de aeronaves, destinados a proporcionar un enlace entre dos calles de rodaje paralelas o brindar acceso entre las calles de rodaje y los puestos de estacionamiento de las aeronaves.
Terraplén	Macizo de tierra con que se rellena un hueco, o que se levanta para hacer una defensa, un camino u otra obra semejante.

Tráfico Promedio Diario	Caracterización de tránsito vehicular en los puntos de ingreso y salida de un tramo carretero, insumo que servirá para el desarrollo de diferentes proyectos de infraestructura en la zona de influencia.
Transeúnte	Que transita o pasa por un lugar.
Velocidad de Diseño	Máxima velocidad que puede ser mantenida, con absoluta seguridad, sobre un determinado tramo de carretera con bajo volumen de tránsito y buenas condiciones climáticas.
Voladura	Acción de fracturar o fragmentar la roca, el suelo duro, el hormigón o de desprender algún elemento metálico, mediante el empleo de explosivos.

RESUMEN

Las líneas de investigación son objeto de estudio desde hace varios años. Morles, Rojas y Vivas (1991) consideran una línea de investigación como un cuerpo de problemas que se ubican en torno a un eje temático común y que demandan respuestas obtenidas mediante la investigación. Y con el fin de integrar el conocimiento proveído por los diferentes trabajos de investigación en la Escuela de Ingeniería Civil hacemos uso del siguiente concepto: los trabajos individuales comparten una sola área de conocimiento académico, mientras que la cohesión por temas académicos y por objetivos programáticos impulsa el avance de todo programa a corto, mediano y largo plazo (Padrón-Guillen, 1999).

El trabajo con líneas de investigación y la conformación de grupos de investigación son elementos que podrían aportar a la democracia de la actividad de investigación y el desarrollo de una actitud de diálogo entre las distintas áreas de acción, así contribuyendo a promover el crecimiento de la propia institución universitaria y a la generación de nuevo pensamiento (Rodríguez, 2011). A nivel internacional, hay preocupación y ocupación con relación a elevación de la pertinencia de las universidades a los problemas de desarrollo que afectan a los países donde las mismas se encuentran (González, 2020).

Ahora bien, si la línea de investigación de la infraestructura se le dirige al tema de desarrollo, Rozas y Sánchez (2004) nos indican que los efectos ejercidos por la infraestructura y sus servicios sobre la economía y la sociedad son sustantivos y repercuten en la calidad de la vida diaria de sus habitantes. Por lo que es necesaria la clasificación infraestructural, Perrotti y Sánchez (2011) las clasifican de la siguiente manera: infraestructura económica (transporte, energía

y telecomunicaciones); infraestructura social (presas y canales de irrigación, sistemas de agua potable y alcantarillado, educación y salud); infraestructura de medio ambiente, recreación y esparcimiento. La infraestructura es sinónimo de capacidad, desarrollo, impulso económico e incorporación social, que propicia a la calidad de vida, democracia, igualdad e inclusión.

OBJETIVOS

General

Proponer una reestructuración del eje de investigación en infraestructura para la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Específicos

1. Definir el concepto y los aspectos compositivos de una línea de investigación.
2. Comprender el uso de una línea de investigación para el desarrollo de conocimiento teórico y práctico en la escuela de ingeniería civil.
3. Identificar las brechas de la infraestructura según el ámbito de desarrollo civil al que estas se dediquen.
4. Registrar edificaciones pertenecientes a las distintas clases de infraestructura.
5. Crear un instrumento de potencial científico en función del desarrollo de obras de infraestructura civil en el país.

HIPÓTESIS

Podemos comenzar reconociendo en nuestra universidad hay abundante investigación y gran parte de ella es de excelente calidad, no es un problema ni la cantidad ni la calidad. El problema radica en otro aspecto, en la falta de un lenguaje común para referirnos a los ámbitos y componentes de la investigación. La selección de un tema, la formulación del estudio, su plan de trabajo, la ejecución y los resultados son un mérito individual del investigador y no favorece a la institución educativa en los procesos de acreditación y la competitividad con otros sistemas de universitarios. La desarticulación de la investigación universitaria dificulta el definir algún parentesco con otras investigaciones, con la universidad y con la demanda social de conocimientos y tecnología.

Las líneas de Investigación surgen como la solución a este problema y se plantean cuando un investigador o grupo de investigadores seleccionan una temática, en cualquier disciplina y la desarrolla, siguiendo como es obvio las pautas metodológicas adecuadas, y alrededor de esa temática se continuarán desarrollando otros proyectos. La investigación sobre las aplicaciones de las tecnologías de la información a la enseñanza origina el potencial de favorecer el adiestramiento y la capacitación, y es predecible que tenga usos en otros contextos, particularmente en el campo educativo. Por esta razón, se hace necesario que la universidad ofrezca al estudiante, las líneas de investigación que le permitan realizar estudios en total correspondencia con los problemas específicos en los diferentes campos de acción. La universidad como fuente productora de conocimientos, debe brindar al estudiante no solo la posibilidad de adquirir experiencias incorporadas al saber científico contemporáneo, sino

también la oportunidad de adquirir conocimientos a través de las investigaciones, que realicen durante el proceso de formación.

Por otro lado, la adecuada disponibilidad de obras de infraestructura contribuye a que un país o región pueda desarrollar ventajas competitivas y alcanzar un mayor grado de especialización productiva, integrar redes viales, infraestructura portuaria, servicio de transporte de carga, el abastecimiento de agua potable y saneamiento, entre otros, contribuyen a que un país o región desarrolle ventajas comparativas y aumente su sostenibilidad en el mercado económico. Las obras de infraestructura facilitan la reducción de los costos asociados al consumo de los servicios, mejorar el acceso a los mercados de bienes e insumos, e incrementar la cobertura y calidad de los servicios provistos a la población.

INTRODUCCIÓN

Las líneas de investigación propuestas por la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Civil son subsistemas estratégicos organizativos donde se vinculan los intereses y las necesidades de los investigadores bajo el contexto social donde se generan las necesidades de conocimiento que contribuyan a la toma de decisiones y a la búsqueda de solución de problemas.

Esta investigación se corresponde con el trabajo que se está efectuando cuando se pretende señalar la utilidad e importancia de definir líneas a investigar como estrategias para la acción, lo cual debe ser un reto para la escuela, ya que no se concibe una alta docencia sin una investigación científica en todas y cada una de las áreas que conforman la escuela, de manera tal que se fortalezca la relación directa del potencial científico y tecnológico de la escuela con algunos de los sectores básicos involucrados en los diferentes planes de desarrollo tanto de la región como del país.

Las líneas de investigación sirven para orientar la investigación que se desarrolla en la Unidad de Investigación de la Escuela de Ingeniería Civil, y en base a ellas se determina la aprobación y confinamiento de los proyectos presentados por los centros e institutos de investigación de las unidades académicas. El referido estudio se relaciona con el trabajo que se está realizando, cuyo propósito es el de orientar el desarrollo de la investigación, donde se pretende diseñar las líneas de investigación tomando en cuenta: la temática, el nivel de prioridad de acuerdo a la realidad social, y la vinculación de la docencia con la investigación.

Se puede observar que el estudio referido presenta relación con la infraestructura como el sustento del buen funcionamiento de un país, de una ciudad o de una organización, y persigue el mismo fin de estructurar la temática en diferentes áreas y ejes permitiendo llegar hacia lo que se quiere con una indagación sistemática, planificada y con profunda vocación crítica. En la República de Guatemala no se posee el suficiente conjunto de elementos, dotaciones y servicios necesarios para el sustento del país. A través del análisis de la infraestructura existente y en desarrollo se obtiene una mejor y más amplia vista del tipo de estructuras existentes ausentes y necesarias para el desarrollo económico y sostenible en el país.

1. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En esta investigación se presentan las líneas de investigación que contribuyen a recabar información.

1.1. Investigación y educación

La acción de encontrar respuestas a las preguntas, trabajar con el fin de saber, es lo que conocemos como investigación. Y aquella actividad se desarrolla con mayor interés viendo la necesidad de producir conocimiento que responda a la demanda de soluciones de la gran cantidad de problemas que afectan a la comunidad. Por lo tanto, fomentar y promover el desarrollo de la actividad científica aplicada al campo de la educación es una realidad dominante.

La investigación es una actividad académica de proceso intelectual y experimental utilizando métodos aplicados de manera ordenada, con el sentido de desarrollar tecnología y enseñar en forma metódica, organizada y compleja, susceptible de enriquecer el conocimiento del estudiante, así como del docente (Puertas de García, 1996). La investigación, requerida por la necesidad social, genera las líneas a investigar cuya incidencia puede contribuir al bienestar de la sociedad.

1.2. Tecnología Educativa

Es el desarrollo de propuestas de acción basadas en disciplinas científicas referidas a las prácticas de enseñanza, incorporando todos los medios a su alcance, tomando en cuenta los fines de la educación en los contextos

sociohistóricos y, de esa manera, otorgando significación (Litwin, 1994). Asimismo, su definición puede ser otra, un proceso complejo e integrado de involucrar personas, procedimientos, ideas, dispositivos y organización para analizar problemas, e idear, implementar, evaluar y gestionar soluciones a estos problemas (Mehlinger y Power, 2000).

La tecnología educativa se inscribe en el espacio intelectual, con el objetivo de estudiar los medios y las tecnologías de la información y la comunicación, de forma representativa, expansiva y accesible al conocimiento y la cultura, en los distintos niveles de la educación. Puede desarrollarse para lograr la formación y fluidez de la tecnología en los estudiantes, ya sea en ámbitos presenciales con equipos tecnológicos, semipresenciales, o en línea, cuando se utilizan tecnologías móviles, entre otros.

1.3. Línea de investigación

Una línea de investigación provee una estructura ordenada para realizar la investigación, esta se toma de base para racionalizar, integrar y continuar el estudio de interés por una o varias personas, los grupos o equipos e instituciones involucradas en desarrollar mayor conocimiento de alguna instrucción en específico. Por otro lado, se le puede considerar línea de investigación a aquel nivel de concentración y especificidad capaces de ubicar problemas teóricos y prácticos con la necesidad de resolver problemas evidentes de carácter social, educativo o científico (Padrón-Guillen, 1999).

Las líneas de investigación constituyen un punto de referencia obligado y básico del modelo investigativo y dichas líneas se construyen y reconstruyen con continuidad. De ellas nace el planteamiento de demandas y necesidades de contexto social y su meta es desarrollar e implementar proyectos que dan

respuesta a problemas y originan nuevos problemas. Por lo que a su vez son sistemas estratégicos organizacionales encontrados dentro de cierta área de la investigación, así como lo es la ingeniería civil.

1.4. Investigación universitaria

Una línea de investigación es la resultante de la consolidación de grupos y proyectos de investigación de su institucionalización y del reconocimiento por parte de los pares organizacionales e instancias especializadas de orden nacional e internacional (Agudelo, 2004). Los procesos organizados de la universidad aportan mayores soluciones a los problemas de desarrollo y la investigación bien gestionada impulsa la ciencia y la tecnología. Poner el potencial científico de la universidad en función del desarrollo del país y el territorio es uno de los principales retos, supone no solo alinear toda la actividad científica y tecnológica con las prioridades de solución de problemas actuales, sino también tener la capacidad de auto transformarse en el proceso, alinear actividades y recursos en una misma dirección, aún más si se trata de instituciones públicas (González, 2020). De ella surgen nuevo conocimiento, una meta colectiva para la institución, competencia con otras instituciones de la región, oferta de servicios técnicos a entidades ajenas a la facultad e ingreso económico para el crecimiento de su misma infraestructura.

1.5. Desarticulación de la investigación

Actualmente, describir la investigación como un hecho individual del investigador en seleccionar un tema particular, formular su propio problema de estudio, elaborar un plan de trabajo, canalizar mecanismos administrativos, ejecutarlo y registrar los resultados; esto sirve únicamente para acumular méritos académicos individuales a favor de quien las realiza. Genera la falta de un mínimo

lenguaje común para referirnos a ciertos aspectos y componentes en la investigación, además, no ayuda a la universidad porque no brinda continuidad hacia las metas en la agenda de nuestra institución educativa.

La institución y el entorno social carecen de la más mínima idea acerca de las investigaciones que están realizando, la universidad no sabe lo que cada quien ha hecho. Por ese motivo, la desarticulación de la investigación se presenta en los siguientes tres niveles: desarticulación con las demás investigaciones, desarticulación con la universidad y desarticulación con las áreas de demanda social (Padrón-Guillen, 2001).

- Desarticulación con las demás investigaciones: si en la universidad, alguno de sus docentes, investigadores o alumnos se hallaran frente a un inventario de investigaciones, les sería imposible definir algún parentesco programático entre los trabajos de graduación, los documentos no presentan una sintonía de esfuerzos parciales alrededor de algún programa colectivo. Una tesis puede convertirse apenas en una simple tarea de revisión y sin trascendencia, el trabajo no se vincula a los demás trabajos locales, suelen entenderse como agrupaciones temáticas, mas no programáticas, aun cuando se adjudican a un mismo inventario por temas. A pesar de las diferencias de lugar o tiempo en la que se encuentren los investigadores, se conozcan o no, cuando ambas partes comparten una misma agenda, esta contribuye mejor al desarrollo institucional y social.
- Desarticulación con la universidad: la universidad no define propias preferencias investigativas, temáticas o áreas problemáticas de interés, carece de la necesidad de producción de conocimientos y tecnologías, por lo cual los investigadores se ven obligados a hacerlo de modo individual. Nuestra universidad no investiga sobre áreas específicas, sino que es su

personal académico quien lo hace y siempre por iniciativa propia, la explicación a esto es la tradición arraigada de la docencia hacia la transmisión y escolaridad, sin lograr fusionar la docencia con la investigación, la investigación y la docencia no deben interrumpirse como un obstáculo entre ellas.

- El ejemplo más claro son los trabajos de grado, controlados por un departamento y las cátedras metodológicas, sin que las líneas de investigación ingieran, los estudiantes aprenden de clases metodológicas y no al lado de investigadores veteranos. Al igual que en el acto de defensa del trabajo de grado, el jurado actúa como si no espera nada nuevo del trabajo, el prejuicio se encuentra en creer hasta qué punto el tesista domina el tema y el conocimiento previsto en el contenido curricular, olvidando las tesis podrían ser auténticas investigaciones, el jurado usualmente prefiere la actitud de docente que evalúa el aprendizaje. El hecho aquí no es más que poner a la vista todo el desperdicio del potencial humano para cumplir con los compromisos de las agendas de la investigación universitaria, el esfuerzo de formular un problema relevante, hacer un plan de trabajo y ejecutarlo es desaprovechado, los estudiantes andan de un lado a otro, de catedrático en catedrático, tras alguna información que les permita identificar un problema de tesis, y sin olvidar tras la ayuda de algún asesor que les ayude.
- Desarticulación con las áreas de demanda social: puede obtenerse al preguntarse a donde van a parar los productos de las investigaciones. El mejor destino es en revistas indexadas y ligadas a comunidades científicas, pero no al entorno universitario y menos con la sociedad. La necesidad de los núcleos por tomar decisiones en la sociedad rara vez requiere de investigación universitaria, excepto cuando la investigación es

en ciencias materiales, entonces los gerentes toman decisiones mediante la consulta de productos de la investigación y profesionales del área, el apoyar los procesos de adiestramiento empresarial, consultaría y asesoría gerencial, la comunicación social acudiendo a la investigación y está planteando nuevas ofertas; cabe mencionar, por lo tanto, el escritor-investigador no tiene a quien dirigirse o escribir. El investigador podrá verificar la pertinencia y relevancia de su tema, sin conjeturas fundadas, en la mayoría de los casos, pero el mecanismo institucional es el encargado de analizar la demanda y consumo del conocimiento científico y tecnológico en las áreas de entorno social prioritarias.

En conclusión, la desarticulación de las áreas de demanda con los conocimientos y tecnologías ubicadas en la sociedad se deduce de la individualidad del investigador, la falta de interés de la universidad en definir intereses propios, socialmente descuidada y no organizada.

1.6. Beneficios institucionales

La línea de investigación provee un orden y enfoque, una estructura holística y programática, y brinda a la institución beneficios de desarrollo hacia nuevas tecnologías aplicables en el país, no siempre por ser orden internacional la investigación es aplicable en todos lugares, el caso de una gran cantidad de trabajos en la universidad. A continuación, se enlista cada uno de los principales beneficios de las líneas de investigación de manera más explícita (González, 2020).

- Articular proyectos de investigación encontrados dispersamente en una misma área de conocimiento y administración dentro de la institución.

- Propiciar el trabajo coordinado y cooperativo entre los investigadores y estudiantes pertenecientes a las distintas áreas de la escuela, estimulando el fortalecimiento de los mismos y de los resultados obtenidos.
- Identificar de forma esclarecida el trayecto y la productividad de los investigadores, los proyectos de investigación y centros de estudio.
- Permitir la asignación y uso racional de los recursos financieros y humanos destinados a la investigación en la facultad.
- Plantear, planear y orientar el trabajo de investigación dentro de una visión más amplia y precisa.
- Garantizar la contribución directa en la solución de problemas de relevancia social, territorial y nacional, resueltas con el debido aporte de la comunidad.
- La formación basada en el desempeño del método científico, orientando a los estudiantes en prácticas laborales investigativas hacia la búsqueda de soluciones, construcción de conocimiento y perfeccionismo de las líneas de investigación.
- Evaluar a la escuela en conjunto a partir de los resultados alcanzados en cada línea de investigación al final de los periodos de planificación.

2. INFRAESTRUCTURA

La infraestructura se define como la suma de materiales, instalaciones institucionales y personales, y datos, que están a disposición de los agentes económicos y que aportan para lograr la igualación de la remuneración de insumos comparables en el caso de una adecuada asignación de recursos, es decir, completa integración y máximo nivel de actividades económicas (Jochimsen, 1966). A su vez, en la actualidad, la Real Academia Española (RAE) describe la infraestructura como el conjunto de elementos, dotaciones o servicios necesarios para el buen funcionamiento de un país, de una ciudad o de una organización cualquiera. En el ámbito de la ingeniería civil se puede decir la infraestructura es el conjunto de edificaciones presentes para el sostenimiento y desarrollo de las funciones principales del ser humano y la naturaleza.

La ausencia de una infraestructura adecuada y la provisión ineficiente de servicios de infraestructura son obstáculos para la implementación eficaz del desarrollo. La apropiada disponibilidad de obras de infraestructura y sus servicios permiten a un país suplir el déficit de dotación de recursos, la modernización y ampliación de sistemas y aumentar sostenidamente la participación en el mercado de la población de un país (Rozas y Sánchez, 2004).

Por ende, la infraestructura debe poseer clasificación Perrotti y Sánchez (2011) la divide de la siguiente manera: infraestructura económica (transporte, energía y telecomunicaciones); infraestructura social (presas y canales de irrigación, sistemas de agua potable y alcantarillado, educación y salud); e infraestructura de medio ambiente, recreación y esparcimiento. La infraestructura

es sinónimo de capacidad, desarrollo, impulso económico e incorporación social, que propicia a la calidad de vida, democracia, igualdad e inclusión.

2.1. Infraestructura económica

La infraestructura económica es un insumo de capital fundamental para la producción y generación de riqueza, además de ser un elemento necesario en todas las etapas de desarrollo de las economías. Su impacto puede ser transformador, favoreciendo la productividad y la competitividad en los mercados internacionales, y con ello, el crecimiento y el desarrollo económico y social (Lardé y Sánchez, 2014). Por ejemplo, las vías de transporte terrestre, fluvial o marítimo que hacen factible la actividad económica, mediante el tránsito en ellas se permite el movimiento de mercancías, importaciones, exportaciones, entre otros. También, las telecomunicaciones, la energía, los sistemas de riego y los centros de acopio son elementos de la infraestructura económica.

2.1.1. Transporte

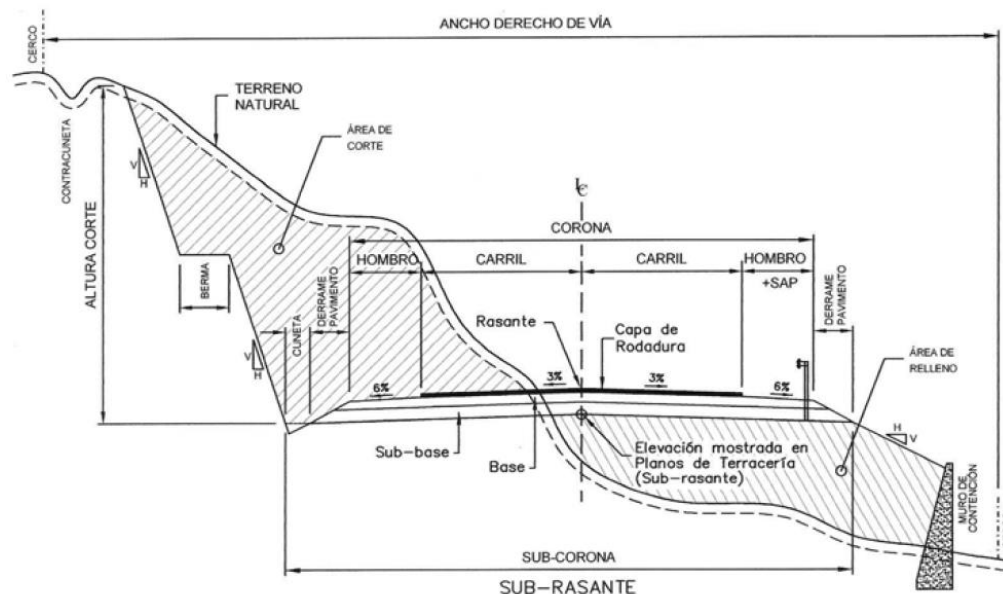
También conocida como infraestructura vial. Se describe como un conjunto de procesos con la finalidad de comunicar y transportar bienes o personas de una localidad a otra, implicando servicios de recepción, entrega y manipulación de tales bienes o personas. Dichos procesos emplean diferentes modos de transporte, tales como aviones, automóviles, camiones, barcos, entre otros. Que circulan por determinados medios, así como carreteras, puentes, vías férreas, aeropuertos, puertos, entre otros.

2.1.1.1. Carreteras

Aplican a los caminos de características destinadas al movimiento de un gran número de vehículos. Se puede definir como la adaptación de una banda o franja sobre la superficie que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada (Villalaz, 2004). Originalmente trazadas para comunicar y unir ciudades, la construcción contemporánea se realiza para aproximar con mayor rapidez los centros de producción y consumo, con una importante circulación de transporte de pasajeros, las carreteras o caminos modifican positivamente las regiones por las que atraviesan, afectando notablemente la producción, población y comercio en ellas. Estas vías de comunicación aportan a la integración física y regional y al mismo tiempo a la expansión del comercio.

Figura 1.

Sección transversal de carretera



Nota: Sección transversal en tangente en carretera Centroamérica en dos direcciones. Obtenido de AECID (2011). *Manual Centroamericano de Normas para el Diseño Geométrico de Carreteras*, pág.138.

Las vías carreteras primordialmente están compuestas por subrasante, subbase, base y pavimento. Algunas de las especificaciones generales de estas mismas son: subrasante: espesor no mayor a 200 mm, eliminando rocas mayores de 100 mm y menos a un 3 % de hinchamiento, compactada a 95 % de la densidad máxima dentro de ± 3 % de humedad optima y material estabilizante no mayor de 70 mm (cal hidratada, cal viva, granza de cal o lechada de cal); subbase: espesor no menor de 100 mm ni mayor de 700 mm, no más del 50 % pasa el tamiz 0.425 mm, ni más del 25 % el tamiz 0.075 mm, tamaño máximo de piedras de 70 mm, índice de plasticidad menor a 6 y limite liquido menor a 25, en capas no mayores de 300 mm ni menor de 100 mm y CBR mínimo de 40; base granular: grava sin triturar o trituración parcial con arena y material de relleno, hinchamiento máximo 0.5 % y CBR mínimo de 70; base estabilizada: con cal, índice plástico hasta de 30, con cemento, índice plástico hasta de 15 y 70 % que pase el tamiz #200; y pavimentos, concreto asfáltico en caliente, guiado del sistema tradicional nacional, conocido como el método Marshall o el sistema SUPERPAVE (*Superior Performing Asphalt Pavement*), y el concreto de cemento hidráulico, de concreto simple o continuamente reforzados, con o sin barras de transferencia, de losas entre los 3 a 6 m, resistencia 4000 psi o mayor. (Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes. 2001)

2.1.1.1.1. Carreteras por nivel transitable

La Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo describe el nivel de servicio como la infraestructura vial que asegura el estado de la misma y permite cierto flujo vehicular regular durante un determinado periodo.

- Terracerías: se ha construido hasta el nivel de la subrasante de la sección del proyecto, generada a base del desmonte o tránsito continuo, generalmente, es transitable la circulación de vehículos en la temporada seca del año.

Figura 2.

Mejoramiento de carretera de terracería, Jerez, Jutiapa



Nota. Mejoramiento de carretera de terracería en Jerez, departamento de Jutiapa. Obtenido de la Oficina de Planificación de la Municipalidad de Jerez (2023).

- Revestidas: sobre la subrasante se ha colocado una o varias capas de material granular, o bien, dichas de manera técnica en la ingeniería civil, la base y sub base. Las capas pueden ser empedramientos y por lo general cuenta con terraplén y obras de drenaje elementales, es transitable en todo tiempo, incluyendo el año hidrológico.

Figura 3.

Mejoramiento de carretera de terracería, Jerez, Jutiapa



Nota. Mejoramiento de carretera de terracería en Jerez, departamento de Jutiapa. Obtenido de la Oficina de Planificación de la Municipalidad de Jerez (2023).

- Pavimentadas: sobre la subbase y base se ha construido totalmente el pavimento, la carpeta de rodadura suele ser de concreto o asfalto y su funcionamiento es en cualquier época del año.

Figura 4.

Pavimentación de carretera Yupiltepeque



Nota. Pavimentación de carretera en Yupiltepeque, departamento de Jutiapa. Obtenido de la Oficina de Planificación de la Municipalidad Yupiltepeque (2023).

Figura 5.

Libramiento de Chimaltenango, CA-1 Occidente



Nota. Libramiento de Chimaltenango, CA-1 Occidente en Chimaltenango. Obtenido de la Oficina de Planificación de la Municipalidad de Chimaltenango (2023).

2.1.1.1.2. Carreteras por función

Acorde a la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, se reconoce los caminos y calles no sirven de forma independiente, categorizadas la mayoría de viajes, es decir, los movimientos a través de las redes de caminos, en forma lógica y eficiente; la clasificación funcional de caminos y calles consiste en ordenar el recorrido.

Tabla 1.

Clasificación por función de carreteras

Clasificación funcional	Servicio
Arteria	Nivel de servicio mayor, velocidades mayores con desplazamiento ininterrumpido y control de acceso
Colector	Nivel de servicio menor, velocidades menores con distancias cortas y recolección de caminos locales y conecta a las arterias.
Local	Toda carretera no definida en la clasificación anterior, proveen acceso a lugares y desplaza el transito sobre distancias relativamente cortas.

Nota. Clasificación por función de carreteras centroamericanas. Obtenido de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID, 2011).

Las carreteras dentro de estos sistemas funcionales difieren dependiendo a el área que pertenecen, ya sea urbana y rural. El orden jerárquico según el sistema funcional comprende: para las áreas rurales; autopista, arteria rural principal, arteria rural menor, colector rural, caminos locales rurales; y para áreas urbanas; arteria urbano principal, arteria urbano menor, urbano de calles colectoras y urbano de calles locales.

2.1.1.1.3. Carreteras por diseño

Bajo un sistema de clasificación funcional, las normas y los niveles de servicio varían en función de la obra vial, los volúmenes de tránsito sirven para un mayor refinamiento de las normas de cada clase de ruta. Se espera las arterias provean un alto grado de movilidad, por lo cual deben permitirse velocidades de operación y nivel de servicio altos. Los colectores sirven la función de acomodar viajes más cortos y alimentar arterias, por lo cual deben proveer algún grado de movilidad, velocidades de diseño y niveles de servicio intermedios. Los caminos y calles locales, las cuales dan acceso a las propiedades, poseen longitudes de viaje muy cortas, por lo cual sus factores fundamentales de movilidad y velocidad son menos altas todavía.

Tabla 2.

Nivel de servicio de carreteras

Nivel de servicio	Descripción
A	Flujo libre de vehículos, bajo volumen de tránsito y relativamente altas velocidades (90km/h o mayor).
B	Flujo libre razonable, la velocidad empieza a ser restringida por el tránsito (80 km/h).
C	Zona estable, restricción de la libertad de la propia velocidad (70 km/h).
D	Transición al flujo inestable, poca libertad de maniobrar, velocidad baja (60 km/h)
E	Flujo inestable, pequeños embotellamientos, velocidad lenta (40 km/h)
F	Flujo forzado, detención y movimiento, congestión de tránsito.

Nota. Nivel de servicio de carreteras centroamericanas. Obtenido de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID, 2011).

2.1.1.1.4. Carreteras por administración

En Guatemala, el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (CIV) señala las carreteras según la siguiente nomenclatura:

- Red Vial Primaria: facilita y fortalece la comunicación directa a nivel macro regional, entre las regiones políticas continuas, e internacional al comunicar de y hacia los principales puertos marítimos y puertos fronterizos con los países vecinos, constituyendo la red básica de carreteras troncales o colaterales. Se conforma primordialmente de las siguientes carreteras:
 - Carreteras Centroamericanas (CA): unen la capital con fronteras, puertos o desde otra ruta centroamericana, atraviesan

- Franja Transversal del Norte (FTN): carretera con una longitud de 362 km, entre la localidad de Modesto Méndez, Livingston, Izabal hasta la finca La Trinidad, Nenton, Huehuetenango. Derecho de vía: 25 m (12.50 m de cada lado de la línea central).

- Red Vial Secundaria: complementa la red vial primaria, facilita la comunicación regional, provee comunicación directa entre las cabeceras de departamentos contiguos y comunica hacia y desde los mayores centros de población y producción. La constituyen:

- Rutas Nacionales (RN): unen cabeceras departamentales, carreteras centroamericanas con cabeceras departamentales, con otras carreteras centroamericanas y con puertos de importancia comercial. Derecho de vía: 25 m (12.50 m de cada lado de la línea central).

Figura 7.

Red vial secundaria



Nota. Red Vial Secundaria de Guatemala. Obtenido de la Oficina de Tránsito de la Dirección General de Caminos (DGC, 2023).

- Red Vial Terciaria: complementa la red vial primaria y secundaria, comunica entre cabeceras, municipios y aldeas, permite el ingreso y egreso de insumos y servicios desde y hacia los centros de consumo y

producción, en su mayor parte caminos de terracería, balasto y caminos rurales.

- Rutas Departamentales (RD): interconectan cabeceras departamentales, cabeceras municipales con rutas centroamericanas o rutas nacionales; une rutas nacionales y centroamericanas con litorales, longitud mayor a 20 km y TPD de 200 vehículos. Derecho de vía: 20 m (10 m de cada lado de la línea central).
- Caminos Rurales (CR): interconectan comunidades rurales del correspondiente municipio en que se ubica.

2.1.1.2. Puentes

El termino puente se utiliza para describir la estructura vial que permite dar continuidad al trazado de la carretera o vía ferroviaria venciendo obstáculos tales como ríos, canales, quebradas, entre otros. Cualquier otro obstáculo físico como caminos u otras carreteras o vías férreas. Se encargan de garantizar la circulación fluida y continua de peatones, vehículos, agua o ductos de servicio. Es toda aquella estructura que conecta dos sitios separados por un obstáculo.

Los diseños de puentes pueden ser numerosos debido a la conexión directa estos poseen con el ingeniero estructural a cargo de él, el proyecto de un puente se ve altamente influenciado por los materiales disponibles para la elaboración, las técnicas desarrolladas para la construcción y las condiciones económicas de la inversión. Los puentes constan principalmente de dos partes: la superestructura, el conjunto de tramos, tableros o losas de rodadura y vigas longitudinales o transversales, situados entre los soportes; y la subestructura, es

decir, los apoyos y soportes, formada por pilas, estructuras verticales de soporte y sustento intermedio entre los apoyos, los estribos o bastiones, losas de aproximación (acceso) y muros de contención situados a los extremos, y los cimientos, encargados de transmitir los esfuerzos al terreno, pilotes y zapatas. Según el Villalaz (2004), existen cinco tipos principales de puentes: puentes viga, en ménsula, en arco, colgantes, atirantados y armadura, el resto son derivados de estos. A continuación, se describe cada tipo de puente descrito:

2.1.1.2.1. Puente Viga

Una viga es un elemento lineal idealmente recto, apoyada en dos puntos, capaz de resistir las cargas que actúan sobre ella y funcionando fundamentalmente a flexión. Un puente viga es aquel cuyos elementos estructurales se componen de vigas. La estructura presenta una sección transversal e inercia de crecimiento proporcional con el valor en distancia de la luz entre los apoyos. La magnitud de momentos flectores solicitados en una viga se encuentra en función de las cargas actuantes y la distancia entre los apoyos, por lo que, de igual manera, las cargas y la luz son factores decisivos en su diseño. Se acostumbra a construir de acero o concreto armado, pretensado o postensado y ser acompañados de muros de contención cuando atraviesan desniveles.

A pesar de que el puente viga parece ser la solución más simple de atravesar un vano, su mecanismo resistente es altamente complejo y difícil de calcular, el esfuerzo axial de tracción o compresión puede predominar sobre otras tipologías estructurales vista en otras clases de puentes, consecuentemente afectando el costo e inversión para su construcción. Se recomienda hacer uso de este tipo de estructuras si las luces entre apoyos se encuentran entre los 15 y 30 metros para vigas de concreto reforzado, isostáticas y continuas, entre los 20 y

50 metros para vigas presforzadas de sección doble T y entre 50 metros y 200 metros para vigas cajón presforzadas, de inercia constante o inercia variable.

Figura 8.

Ampliación puente viga



Nota. Ampliación puente calzada Roosevelt sobre anillo periférico. Obtenido de la Oficina de Planificación de Municipalidad de Guatemala (2023).

Figura 9.

Puente vía alterna hacia el sur, salida Amatitlán



Nota. Construcción de puente tipo viga en Zona 10 de Villa Nueva. Elaboración propia.

2.1.1.2.2. Puente Celosía

Es un puente cuya superestructura portante está compuesta por una armadura o celosía. Esta armadura es una estructura de elementos conectados que forman unidades triangulares. Los elementos conectados, típicamente rectos y de acero, pueden someterse a tensión, compresión o ambas dependiendo de las cargas dinámicas de su diseño. Los puentes de celosía son uno de los tipos más antiguos de puentes modernos y algunos ejemplos de más conocidos de uso de celosía son: Allan, Bailey, Baltimore, K, Pensilvania, Pratt, Thatcher, en arco y en ménsula o cantiléver. En la Figura 10, el sistema de celosía utilizado es tipo Pensilvania.

Este tipo de puente permite el análisis de la estructura usando unas pocas suposiciones y la aplicación de las leyes del movimiento y física, en otras palabras, la estática. Un puente de celosía es económico de construir debido al uso eficiente de los materiales y se extienden entre los 20 y 200 m de distancia entre apoyos.

Figura 10.

Puente de Oneida, Morales, Izabal



Nota. Construcción del Puente celosía en aldea Oneida, departamento de Izabal. Elaboración propia.

2.1.1.2.3. Puente Arco

El arco es una estructura cuya forma ideal de trabajo es la compresión, lo que lleva que su forma geométrica sea antifunicular a las cargas a las que está sometido. En el caso del arco de medio punto, el antifunicular de carga radial es repartido por la unidad de longitud de arco. Sin embargo, para otro tipo de cargas repartidas o puntuales el arco de medio punto deja de ser el antifunicular.

En los puentes arco, el terreno de cimentación debe ser bueno ya que el arco ejerce empujes horizontales en los estribos que deben ser aguantados por el terreno de cimentación, lo que siempre ha condicionado el emplazamiento del arco.

En el caso de los puentes de varios arcos el problema es la compensación de los empujes horizontales que se produce en las pilas, por ello se plantea la construcción de todos los arcos de forma simultánea, con lo que los empujes de las pilas estaban equilibrados, por tanto las pilas solo resistían compresiones verticales y la anchura de ellas se podía reducir de manera importante siempre que el descimbramiento se realizara de forma simultánea, lo que se denomina compensación de empujes de vanos adyacentes.

El vano dispuesto a cubrir por este tipo de puente se encuentra entre los 180 y 700 metros.

Figura 11.

Puente de la penitenciaría, zona 1 y 4



Nota. Mejoramiento de puente de la penitenciaría zona 1 y 4, ciudad de Guatemala. Obtenido de la Oficina de Planificación de la Municipalidad de Guatemala (2023).

2.1.1.2.4. Puente Ménsula

También conocido como cantiléver o en voladizo, es un puente con una o más vigas principales trabajando como ménsula o voladizo, comúnmente contruidos de armaduras de acero o concreto presforzado o postensado. Este tipo de puentes se construye por la técnica de volados sucesivos o ménsulas consecutivas que se proyectan en el espacio a partir de una ménsula previamente construida. Los puentes pueden construirse de estructuras reticuladas de acero o vigas tipo cajón de concreto postensado, o estructuras colgadas.

La estructura en voladizo responde a varias restricciones que pueden presentarse en la construcción de un puente, algunos de ellos son: la imposibilidad de cimbrar andamios apoyados sobre el suelo durante la construcción, mitigando el riesgo de hundimiento o inundación; limitar su

deformación por tramos asegurando la entrega de fuerzas longitudinales y transversales; y el aseguramiento de la resistencia de la estructura completa en caso de asentamiento en alguno de los apoyos. Un puente en ménsula es construido para evitar una compleja cimbra de andamios o el difícil acceso a una zona de cimentación. El uso del sistema multi tramo presenta las ventajas de sistema estáticamente determinado y capaz de responder al asentamiento diferencial de las cimentaciones.

La longitud extendida entre apoyos de un puente en ménsula se encuentra entre 20 m y 500 m.

Figura 12.

Puente de Río Dulce, Livingston, Izabal



Nota. Puente en voladizo en Río Dulce, departamento de Izabal. Obtenido de la Dirección General de Protección y Seguridad Vial (PROVIAL, 2023).

En la Figura 12, se puede observar el puente en ménsula más largo de Guatemala, el Puente de Río Dulce, con una longitud de 830 metros, ancho de 15 m (4 m de ancho cada carril), longitud de vanos de 300 metros y 275 metros

y gálibo de 45 metros. Ubicado sobre el río dulce en la localidad de Izabal, Carretera CA13 (Puente de Río Dulce, 2022).

2.1.1.2.5. Puente Atirantado

Es aquel que posee una o más torres o pilones desde los cuales se sostiene el tablero del puente, mediante el uso de tirantes, es decir, cables que trabajan a tracción. Dichos tirantes pueden presentar un esquema mono tirante, en arpa, en abanico o en estrella; dependiendo de la necesidad de la distribución de cargas en cada uno de los pilones de la estructura. Existen variantes de estos puentes en que los tirantes van desde el tablero al pilar situado a un lado y de ahí al suelo, o bien, están unidos a un único pilar.

Figura 13.

Puente Chetumal ruta CA-9 Norte, El Progreso



Nota. Construcción de puente Chetumal en KM 84.4 al Atlántico, departamento de El Progreso. Obtenido del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda (CIV, 2023).

El puente atirantado es óptimo para luces más largas que los puentes en voladizo y más cortas que los puentes colgantes. Este es el rango en el que los

puentes en voladizo se volverían rápidamente más pesados si se alargara el tramo, y el cableado de los puentes colgantes no sería más económico si se acortara el tramo. La luz entre apoyos cubierta por un puente atirantado oscila entre los 500 y 1000 metros.

En el puente Chetumal (Figura 13), el sistema de cables atirantados se aplicó como un trabajo de renovación y aplicación, la obra consistió en reforzar y ampliar la estructura original que data desde 1957. El puente tiene una longitud de 145 metros, con dos carriles hacia la ciudad de Guatemala y dos carriles hacia el norte del país.

2.1.1.2.6. Puente Colgante

Las estructuras de cables son idóneas para las grandes luces por las siguientes razones:

- El cable es un elemento que trabaja exclusivamente a tracción, que es la forma ideal de resistir, pues en compresión aparece el fenómeno indeseable del pandeo y en flexión, dentro de la teoría elástica, el material de la sección se desaprovecha.
- El cable se compone de elementos delgados que confieren flexibilidad, permitiendo que se deforme transversalmente sin que aparezcan esfuerzos de flexión. Además, con tratamientos especiales se consiguen resistencias cada vez mayores para elementos delgados.
- Al estar formado por hilos delgados que se montan uno a uno, permite hacer cables de gran diámetro para los puentes de grandes luces.

En los puentes de luces pequeñas o medias, el tablero no necesita aportar rigidez, para puentes colgantes de gran luz, en cambio, si es necesario para conferirle al puente estabilidad aerolástica. El puente es una estructura de poca rigidez que necesita medidas especiales para proporcionarle resistencia suficiente a las cargas que más le afectan: el viento transversal y el ferrocarril. Para ello el cable debe ser reforzado con grandes vigas metálicas en celosía o en sección cajón aerodinámicas. Estas soluciones metálicas proporcionan al tablero la máxima rigidez con el mínimo peso

La longitud aproximada entre apoyos de un puente colgante está entre 800 y 2200 metros. Actualmente, en ninguna nación de Centroamérica se puede encontrar este sistema de puente al momento. Las dimensiones del puente de Manhattan, ubicado en Nueva York, Estados Unidos de América, son: longitud de 2089 metros (6855 pies), ancho de 37 metros (120 pies), vano más largo de 451 metros (1480 pies), torres de 102 metros (336 pies), cables de 983 metros de longitud (3224 pies), 7 carriles de carretera y 4 vías de trenes.

2.1.1.3. Vías Férreas

El transporte ferroviario consiste en el traslado de pasajeros y mercancías por vehículos de ruedas especialmente diseñados para circular por vías férreas. Este tipo de transporte es parte de la cadena logística de suministro, lo que principalmente facilita el comercio internacional y el crecimiento económico en la mayoría de países.

Una vía férrea o ferroviaria típica consta de dos rieles paralelos, normalmente de acero, asegurados a vigas transversales, denominadas durmientes. Las durmientes mantienen una distancia constante entre los dos carriles o rieles; una medida conocida como el ancho de vía de la pista. Para

mantener la alineación de la vía, se coloca sobre un lecho de balasto o bien se asegura a una base sólida de hormigón, y el conjunto se denomina vía permanente (Seliyan, 2015).

Al igual que en el diseño de carreteras, las vías férreas se trazan en función de su alineación horizontal y vertical, grado de curvatura, velocidad de tránsito y peralte. En base a *la American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association* (AREMA, 2009), los elementos principales que componen una vía férrea son:

2.1.1.3.1. Durmientes

Son elementos de madera, concreto y/o metal, situados transversalmente al eje de la vía. Sirven para mantener unido y uniforme el entreancho de los carriles, así como el balasto por donde se transita debido a que se encuentran incrustados en él. Estos elementos transmiten el peso del material rodante y son capaces de transferir fuerzas de tensión de los rieles a la caja del balasto, las tensiones que ocurren en ellas deben ser compatibles con su capacidad resistente y deformación. El ancho de vía estándar de un ferrocarril es de 1,435 mm a 1460 mm.

Figura 14.

Reemplazo de durmientes



Nota. Reemplazo de durmientes de madera de ferrovía en ciudad de Guatemala. Obtenido de la Oficina de Información Pública de Ferrocarriles de Guatemala (FEGUA, 2023).

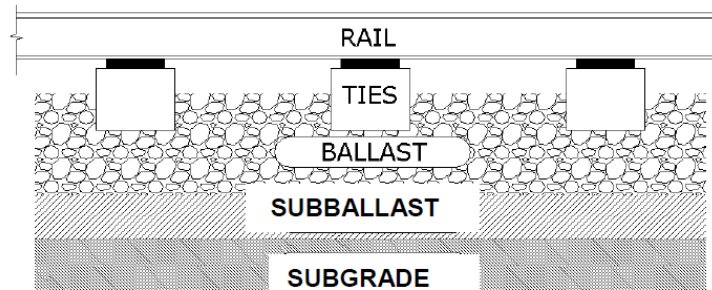
Las dimensiones nominales de la sección transversal son 7" x 9", aunque algunos ferrocarriles especifican traviesas, o más bien conocidas como durmientes, de mayor tamaño, y con un rango de longitud de 9' a 12' de longitud, generalmente se proporciona en incrementos de 6" o 12".

2.1.1.3.2. Balasto

El balasto consiste en piedra triturada, por ejemplo, granito o piedra caliza, y se utiliza como base para las durmientes. La función principal del balasto es distribuir las cargas, también absorbe las vibraciones, proporciona drenaje a la vía e impide el movimiento de las traviesas. Se coloca a una profundidad de entre 225 mm y 300 mm, según la carga de tráfico. El balasto se llena hasta la parte superior de las traviesas y más allá del final de la traviesa hasta una distancia de entre 250 mm y 500 mm, formando este último un arcén hasta el borde exterior de la vía para restringir el movimiento lateral. No debe tener limos, arcillas, ni materia orgánica para obtener una buena capacidad de soporte y posee una granulometría entre el tamiz 4" y #200 para el subbalasto y 2-1/2" y 1/2" para balasto triturado.

Figura 15.

Estructura vías férreas

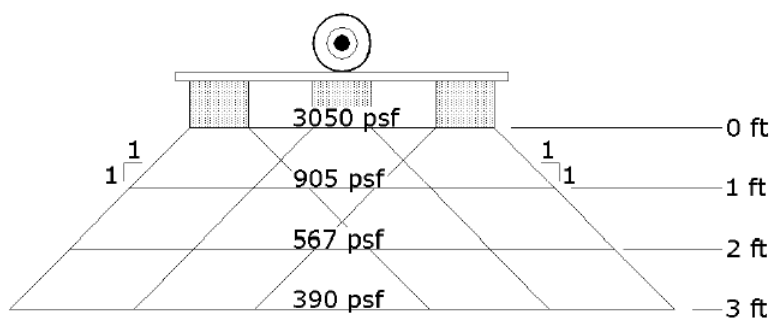


Nota. Estructura de vías férreas. Manual for Railway Engineering. Obtenido de la *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association* (AREMA, 2013), p. 155.

En la Figura 15, se observa la estructura de la vía se compone de subrasante, subbalasto, balasto, durmientes y carril. Cada uno de estos contribuye a la función principal de la estructura de la vía, que es conducir las cargas aplicadas del tráfico de trenes a través de la subrasante de manera segura. Las magnitudes de los esfuerzos típicos bajo una carga por eje de 50 000 lb se muestran en la siguiente figura.

Figura 16.

Carga de eje de tren



Nota. Esfuerzos por la carga de eje de tren. Manual for Railway Engineering. Obtenido de la *American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association* (AREMA, 2013), p. 155.

2.1.1.3.3. Plataforma

Es la superficie de terreno que se ofrece para que sobre ella se coloque la superestructura. Su anchura depende, debido a ser natural, de que se establezca una o más vías y del ancho de estas. Ahora hay una gama de formas de plataformas modernas que utilizan una base de concreto. Por lo general, se utilizan en ubicaciones especiales, como túneles o puentes, donde se requiere una base rígida para garantizar la estabilidad de la vía en relación con las estructuras circundantes. Este tipo de vía, normalmente se denomina vía en placa o vía sin balasto.

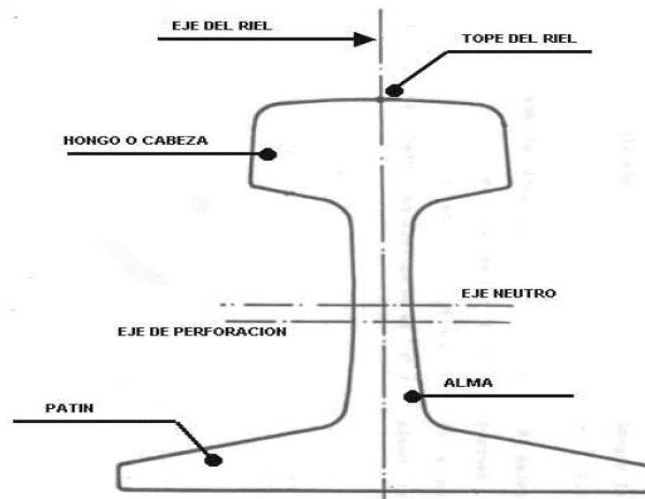
Y en algunos casos es necesaria una estera de tierra, es decir, una pantalla de malla de acero que se proporciona en los ferrocarriles electrificados para tratar de evitar que las corrientes de retorno perdidas se conecten a las tuberías de los servicios públicos y las estructuras de acero cercanas.

2.1.1.3.4. Riel

El riel es el material más caro de la vía. El riel es acero que ha sido forjado en forma de T invertida. El propósito del riel es: transferir el peso de un tren a las traviesas, proporcionar una superficie de rodadura suave y guiar las bridas de las ruedas. Dependiendo del tipo de riel y ferrocarril, así se definen las dimensiones de cada una de las partes de un riel, los rieles más comunes son de fondo plano y cabeza de toro o *bullhead* en inglés.

Figura 17.

Partes riel de fondo



Nota. Partes de riel tipo fondo plano. Obtenido de Ramírez, P. (2001). Vías Férreas, pág. 30.

2.1.1.3.5. Fijaciones

El elemento más importante de la relación entre el riel y la durmiente, su función es mantener el riel perfectamente adherido a la durmiente y asegurar su estabilidad sobre él. Cuando el aislamiento es necesario para fines de circuitos de vía, se coloca un aislante de neopreno u otro material similar entre las fijaciones y el borde de la base del riel. Habitualmente fabricados de metal, las fijaciones suelen ser pernos o *clips*.

Figura 18.

Pernos y clips de fijación



Nota. Anclaje con pernos y clips de fijación. Manual for Railway Engineering. Obtenido de la American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA, 2013), p. 239.

2.1.1.3.6. Juntas de Riel

Los propósitos de la junta del riel son sostener los extremos del riel en su lugar y actuar como puente o viga entre ellos. Las barras de unión evitan el movimiento lateral o vertical de los extremos de los rieles y permiten el movimiento longitudinal de los rieles para expandirse o contraerse.

La junta se considera la parte más débil de la estructura de la vía y debe eliminarse siempre que sea posible. Cada sección de riel tiene un patrón de perforación designado que debe coincidir con las barras de unión, es esencial que se utilicen las barras correctas para que coincidan con los ángulos y radios de instalación. De lo contrario, se producirán separaciones de la cabeza y el alma y roturas en los orificios de los pernos. Hay tres tipos básicos de juntas de rieles: estándar, de compromiso y aisladas.

Figura 19.

Barra de unión convencional



Nota. Barra de unión convencional. Manual for Railway Engineering. Obtenido de la American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association (AREMA, 2013), pag. 315.

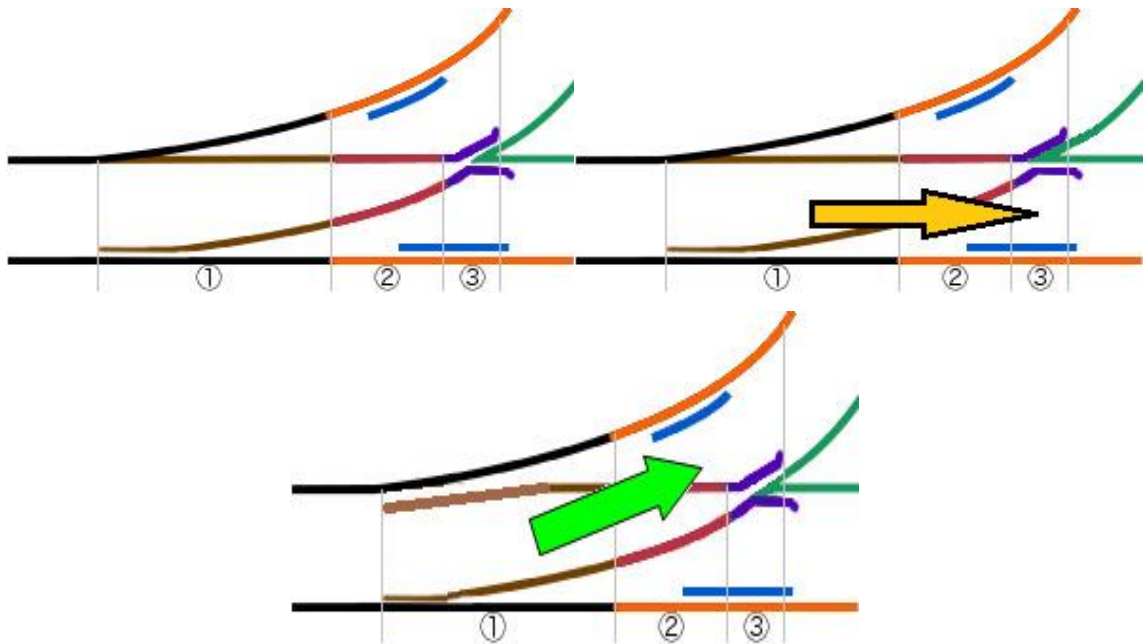
2.1.1.3.7. Aparatos de vía

Tienen como objetivo realizar el desdoblamiento o cruce de vías, ya sean desvíos que permiten el paso de circulaciones de una vía a otra, la ramificación de una vía en dos o tres, o entrevías que permiten realizar el cruzamiento de una vía sobre otra. A continuación, en la Figura 20, se observa el esquema de funcionamiento de un desvío dividido en las siguientes secciones.

- Cambio de agujas
- Carriles de unión
- Cruzamiento

Figura 20.

Esquema del funcionamiento de un desvío



Nota. Esquemas de funcionamiento de desvío ferroviario. *Sucursal 38*, (<https://ameblo.jp/tomo-chacharinmaru/entry-11892729173.html>). Consultado el 14 de abril de 2023. Dominio público.

En verde, el corazón, en azul, los contracarriles y marrón, lugar donde la vía se mueve a izquierda y derecha para controlar la dirección de desplazamiento del tren. Por otro lado, dado que las dos vías están separadas una al lado de la otra, las vías inevitablemente se superponen entre sí en algún lugar, sin embargo, debido a que las ruedas del vagón de ferrocarril sobresalen en el interior evitan el descarrilamiento.

2.1.1.3.8. Estaciones

Es una instalación de vías y agujas, con aparatos de vía, protegidas por señales, donde se pueden coordinar procesos de circulación limitados por

señales de entrada y/o salida de ambos extremos. Las estaciones pueden ser terminales, intermedias, de paso, parada, apeadero o de mercancías.

2.1.1.4. Terminales

Actualmente, Soler (2023) describe, la dificultad para el establecimiento de pautas de dimensionamiento de terminales, también conocidas como puertos terrestres o secos, plataformas logísticas o zonas de actividades logísticas, recae en la semejanza en el desarrollo de nodos de transporte en el área. Bajo la denominación genérica de plataformas logísticas han surgido una multitud de iniciativas respondiendo a diferentes motivos de implantación de un nodo de intercambio modal, y se ha producido la aparición de diferentes tipos de terminales con diversos objetivos que implican unidades funcionales específicas, con necesidades de localización, instalación y superficie necesaria deferentes.

Este sector logístico tan importante, se encuentra sin metodologías, herramientas o programas que permitan establecer los parámetros de planificación y explotación óptimos para las diferentes zonas de actividades logísticas. Se han desarrollado tecnologías de trazabilidad de la carga y elementos basadas en la planificación logística, con el objetivo de determinar los parámetros óptimos de explotación y planificación portuaria, a través de la clasificación de las zonas de actividades logísticas y añadiendo la aplicación de escenarios virtuales. Como resultado principal se destaca el empleo de herramientas de inteligencia artificial, modelos gráficos probabilísticos.

Mediante el uso de las redes bayesianas, se han definido las principales variables de planificación de las zonas de actividades logísticas y con ellas poder planificar zonas de actividades logísticas, seleccionando las variables conocidas y obteniendo las variables a predecir.

Figura 21.

Terminal portuaria Santo Tomas de Castilla



Nota. Terminal portuaria de Santo Tomas de Castilla en Puerto Barrios, departamento de Izabal. Obtenido de la Empresa Portuaria Nacional Santo Tomás de Castilla (EMPORNAC, 2023)

2.1.1.5. Aeropuertos

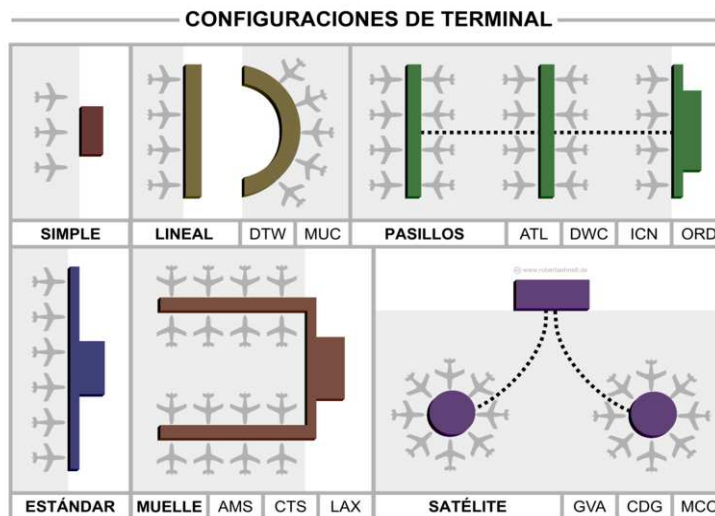
Un aeropuerto se define como un aeródromo con instalaciones ampliadas, primordialmente para el transporte aéreo comercial. Por lo común, los aeropuertos consisten de áreas de aterrizaje, que comprenden un espacio abierto accesible desde el aire que incluye al menos una superficie operativamente activa, tal como una pista para que una aeronave despegue o aterrice.

Dentro del punto de vista ingenieril, la ingeniería aeroportuaria consiste en la planificación, el diseño, la construcción y el mantenimiento de instalaciones aeroportuarias y la seguridad de las personas. Acorde con la *Federal Aviation Administration* (FAA), la entidad gubernamental responsable de la regulación de todos los aspectos de la aviación civil en los Estados Unidos, las principales áreas

de preocupación para el diseño de un aeropuerto incluyen: configuraciones de terminales y puertas, geometría de pistas y calles de rodaje, pavimentos, sistemas de manejo de equipaje, vehículos de servicio, estacionamiento, caminos y modos de acceso al aeropuerto, y el costo de actualizar estas instalaciones.

Figura 22.

Diseño tipos de terminales de pasajeros



Nota. Configuraciones típicas de terminales de pasajeros. Adaptado de Wikipedia (2024). *Terminal Aeroportuaria.* (https://es.wikipedia.org/wiki/Terminal_aeroportuaria), consultado el 23 de junio de 2022. Dominio público.

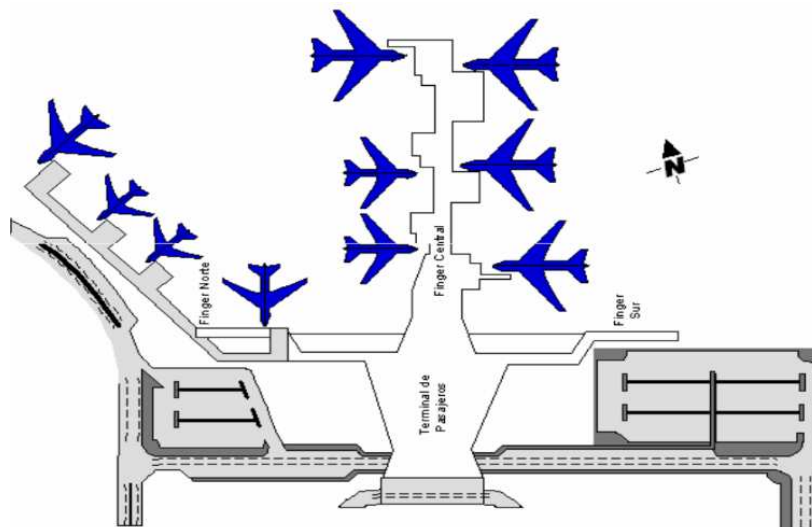
2.1.1.5.1. Terminal Aeroportuaria

Son las edificaciones dentro de un aeropuerto donde los pasajeros pasan del transporte terrestre a las instalaciones para embarcar y desembarcar los aviones. Dentro las terminales de aeropuertos, los pasajeros adquieren boletos, facturan equipaje y pasan controles de seguridad y aduana (Castañeda, 2011).

Al igual que cualquier otro tipo de terminal, el diseño de una terminal aeroportuaria recae en la semejanza en el desarrollo de nodos. A medida que aumenta el flujo de pasajeros en los aeropuertos, la terminal de pasajeros se convierte en un elemento más importante del aeropuerto, alcanzando un estatus dominante en las instalaciones más grandes. La terminal de pasajeros puede representar menos del 10 % de la inversión total en un aeropuerto pequeño, pero en los aeropuertos grandes, las terminales a menudo representan más del 70 % de la inversión en infraestructura. El diseño que finalmente se adopte depende principalmente de los volúmenes de pasajeros a atender y del tipo de pasajero involucrado. Los pasajeros son frecuentemente clasificados como de negocio u ocio, primera clase o regulares, y con origen o destino, variable altamente significativa en el diseño de las áreas logísticas de las terminales en cada aeropuerto.

Figura 23.

Planta de la terminal de aeropuerto



Nota. Diseño de una Familia de Estructuras para Señalización para la Terminal del Aeropuerto Internacional la Aurora. Obtenido de Castañeda, R. (2011), p. 7.

Los siguientes criterios deben tenerse en cuenta al planificar y diseñar una terminal (Villalaz, 2024):

- Flujo de pasajeros y picos de tráfico.
- Distancia mínima a pie.
- Nivel de servicio para pasajeros y sofisticación.
- Estándares de desempeño.
- Zona de Detallistas: tiendas libres de impuestos, locales de comida y spas.
- Área para puntos de instalaciones como baños, cajeros automáticos y quioscos.
- Fácil acceso al área comercial y puntos de instalación.
- Compatibilidad de las instalaciones con las características de las aeronaves.
- Habilidad para manejar cambios en tecnología y automatización.
- Capacidad de expansión para el crecimiento futuro.
- Área y tiempo de procesamiento para el *check-in*, inmigración y despacho de aduanas, control de seguridad de equipaje y entrega de equipaje.

El tráfico de pasajeros anual y actual en el Aeropuerto Internacional La Aurora es de 2,127,335, de los que 2,089,415 son pasajeros comerciales y 37,920 privados. Tomando en consideración el estudio realizado por Castañeda (2011), los elementos estructurales primordiales un aeropuerto son:

2.1.1.5.2. Pista de Aterrizaje (*Runways*)

Varios factores rigen las longitudes de pista disponibles, en particular la elevación del aeropuerto sobre el nivel medio del mar, temperatura, velocidad del viento, pesos operativos del avión, configuración de los *flaps* de despegue y aterrizaje, superficie de la pista condición (seca o mojada), pendiente efectiva de

la pista, presencia de obstrucciones en las inmediaciones del aeropuerto y restricciones de reducción de ruido impuestas localmente u otras prohibiciones. De estos factores se rige el impacto operacional de una pista dada, la longitud útil puesta a disposición por el aeropuerto puede no ser del todo adecuado para todos los tipos de operaciones de aviones. Afortunadamente, las autoridades aeroportuarias, los diseñadores y planificadores aeroportuarios, pueden mitigar algunos de estos factores. Independientemente, las autoridades aeroportuarias trabajando con sus legisladores locales pueden establecer leyes de zonificación para prohibir la introducción obstrucciones estructurales que penetren las superficies de aproximación y salida de la pista existentes o previstas. Autoridades aeroportuarias trabajando con los diseñadores y planificadores del aeropuerto deben validar la futura demanda de pistas identificando los aviones de diseño críticos. En particular, se recomienda que el proceso de evaluación evalúe y verifique el plan de desarrollo final del aeropuerto, para realizar cambios realistas que podrían resultar en futuras limitaciones operativas para los clientes. En resumen, el objetivo es construir una longitud de pista disponible para pistas nuevas o extensiones de pistas existentes que sea adecuada para el avión de diseño crítico pronosticado (FAA, 2005). Mediante la matriz de estándares de diseño de pistas, de la Administración Federal de Aviación de los Estados Unidos, se puede obtener las dimensiones estándar de una pista de aterrizaje y despegue según el avión de diseño crítico seleccionado.

Una pista de al menos 6000 pies de largo suele ser adecuada para aeronaves con un peso inferior a aproximadamente 200,000 libras. Las aeronaves más grandes, incluidas las de fuselaje ancho, generalmente requerirán al menos 8000 pies al nivel del mar y algo más en los aeropuertos de mayor altitud.

Figura 24.

Rehabilitación de la pista de aterrizaje



Nota. Rehabilitación de carpeta de rodadura de la pista de aterrizaje y rodaje del aeropuerto La Aurora. Obtenido de Pavimento de Guatemala S. A. (PADEGUA,2023).

2.1.1.5.3. Calles de Rodaje (*Taxilane* y *Taxiways*)

Las calles de rodaje son diseñadas para la dirección de la cabina sobre la línea central, permitiendo un movimiento rápido del tráfico con un riesgo mínimo de que las aeronaves se salgan de la superficie del pavimento. El sobreviraje, la técnica en la que el piloto dirige intencionalmente la cabina fuera de la línea central marcada en los giros, introduce el riesgo de excursión en una maniobra de giro. Es recomendable diseñar un margen de seguridad a los bordes de la calle de rodaje, de ese modo, se proporciona un margen para el desvío marginal de una aeronave desde la línea central.

2.1.1.5.4. Torre de Control Aéreo (Air Traffic Control Tower – ATCT)

Conforme a la Dirección General de Aeronáutica Civil (2015), el centro de control es donde se realiza el control de tráfico aéreo en la zona de un aeropuerto y sus inmediaciones, el control del rodaje, el despegue, la aproximación y el aterrizaje de los aviones. Una torre de control es un edificio en forma de torre, en cuya cima se sitúa una sala de control, desde la que se dirige y controla el tráfico de un puerto. La ubicación y altura de dicho centro de control son esenciales para ver toda la zona que se debe controlar. Su diseño estructural es igual al de cualquier otro edificio de concreto armado, mediante la construcción de marcos rígidos.

Figura 25.

Torre de control del aeropuerto internacional La Aurora



Nota. Mantenimiento de torre de control del aeropuerto La Aurora. Adaptado de Pavimento de Guatemala S. A. (PADEGUA,2023). Torre de Control Aeropuerto Intl. La Aurora MGGT.

2.1.1.5.5. Plataforma (*Apron*)

Dando seguimiento al estudio de Castañeda (2011), las plataformas están presentes en todos los aeropuertos de servicio comercial y público de aviación general. El tamaño y el tipo de un aeropuerto son factores de control para determinar las necesidades operativas y los requisitos de capacidad que se aplican al diseño de la plataforma. El diseño de una plataforma tiene un efecto significativo en los operadores y arrendatarios de aeropuertos en lo que respecta a la eficiencia, la seguridad, la capacidad y los costos operativos.

Los elementos de la plataforma varían según el tamaño y el tipo de aeropuerto. Los elementos comunes incluyen:

- Superficie estabilizada
- Taxilanes
- Posiciones de estacionamiento
- Amarres
- Zonas de carga y descarga de pasajeros
- Áreas de Equipos de Servicio Terrestre
- Carreteras de servicio de vehículos
- Sistema de drenaje de aguas pluviales
- Áreas de servicios (abastecimiento de combustible, iluminación, energía, entre otros).

2.1.1.5.6. Hangares

Según la *Federal Aviation Administration* (2022), debe tener en cuenta las siguientes pautas básicas de diseño cuando planifique y diseñe instalaciones de aviación general:

- Mantener la seguridad de las aeronaves en rodaje y estacionadas.
- Desarrollar instalaciones de manera que no afecte negativamente las superficies de las pistas, superficies imaginarias para la navegación aérea.
- Diseñar instalaciones para optimizar las rutas de movimiento de aeronaves entre posiciones de estacionamiento, hangares e instalaciones de apoyo y cualquier instalación.
- Proporcione planificación y diseño para adaptarse a los diferentes tipos y tamaños de aeronaves que se anticipa que utilizarán el aeropuerto.
- Desarrollar instalaciones de manera que minimice o impida la reconstrucción o reubicación de la infraestructura para acomodar el crecimiento futuro.

Tabla 3.

Tamaño mínimo de la posición de estacionamiento

Tamaño	Longitud	Área
49 ft (14.9 m)	< 30 ft (9.1 m)	2,065 sf (192 m ²)
49 ft (14.9 m)	30 to 45 ft (9.1 m to 13.7 m)	2,950 sf (274 m ²)
79 ft (24.1 m)	45 to 60 ft (13.7 m to 18.3 m)	5,785 sf (537 m ²)
79 ft (24.1 m)	60 to 75 ft (18.3 m to 22.9 m)	7,120 sf (661 m ²)
79 ft (24.1 m)	75 to 90 ft (22.9 m to 27.4 m)	8,455 sf (786 m ²)

Nota. Tamaño mínimo de la posición de estacionamiento de aeronaves. Adaptado de la *Federal Aviation Administration (FAA, 2023). Runway Length Requirements for Airport Design.*

2.1.1.6. Puertos

Los puertos o embarcaderos son lugares a la orilla del mar, de un río o de un lago, donde las embarcaciones pueden detenerse y permanecer seguras, de igual manera, son áreas acondicionadas y utilizadas para el embarque y desembarque de personas y mercancías y dispone de instalaciones para hacer

reparaciones o realizar operaciones de carga y descarga (Rúa, 2006). Principalmente, los puertos se localizan en un pueblo o ciudad donde se encuentran estacionados los funcionarios de aduanas.

La ingeniería portuaria trabaja en los aspectos técnicos operativos y constructivos de la infraestructura en un puerto. Supervisa el mantenimiento y la reparación de los barcos, y sus deberes incluyen garantizar el cumplimiento de los estándares de seguridad y reglamentaciones marítimas. Las responsabilidades de muchos ingenieros portuarios incluyen administrar un presupuesto de mantenimiento y encontrar formas de reducir los costos y aumentar la eficiencia de las operaciones portuarias.

Los puertos, ya sean naturales o artificiales, marítimos, fluviales o lacustres, o inclusive comerciales, industriales o militares, poseen varios elementos fundamentales para la protección de las instalaciones ante el clima extremo y continua operatividad de la su zona logística. Ahora, dentro de la clasificación internacional, podemos encontrar conceptos comúnmente relacionados con los puertos: se denomina *hinterland* a la región nacional o internacional de origen de las mercancías embarcadas; *foreland* a la región nacional o internacional de las mercancías desembarcadas; *hub* o puerto de trasbordo, concentración y distribución; y *48 ateway*, aquellos puertos que tienen importantes volúmenes de trasbordo pero disponen de embarcamiento económicamente potente (*hinterland* de alto volumen) (Rúa, 2006).

Basándose en la *National Institute for Land and Infrastructure Management* (2009), se deben considerar obras exteriores necesarias para proporcionar una superficie abrigada de aguas en las que puedan permanecer los buques. Su importancia depende del tipo de puerto y puede ser prácticamente nula en puertos con las condiciones naturales adecuadas o tener una gran

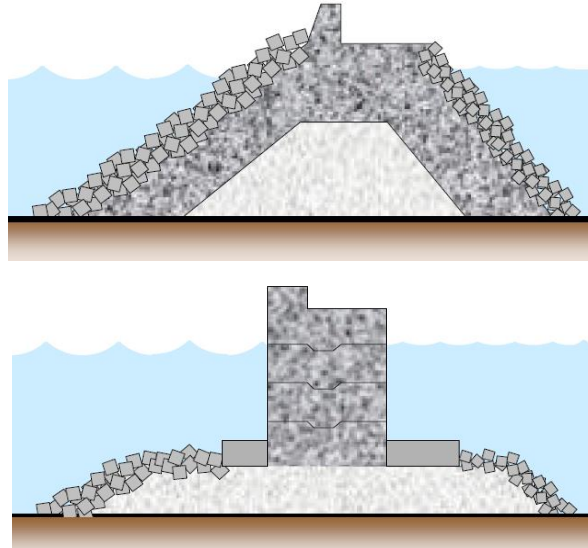
importancia en aquellos casos en que los puertos se han ganado a aguas abiertas, dichas obras a considerar pueden llegar a ser:

2.1.1.6.1. Diques

En términos generales, puede hablarse de dos grandes tipos constructivos de diques de abrigo: 1. Diques verticales constituidos por una pared vertical formada por cajones, bloques o pantallas, apoyados sobre una banqueta de apoyo; 2. Diques en talud constituidos por uno o varios mantos de escollera de tamaños crecientes cuya función es evitar la dispersión del núcleo, frecuentemente, formado por rocas o elementos prefabricados en el último manto exterior; y 3. Diques mixtos, compuestos de muralla vertical colocada sobre el fondo del mar o sobre un macizo de escollera coronado hasta el nivel de bajamar. Ambos tipos constructivos se diseñan según los periodos de oleaje e impacto de ola.

Figura 26.

Sección transversal de un dique

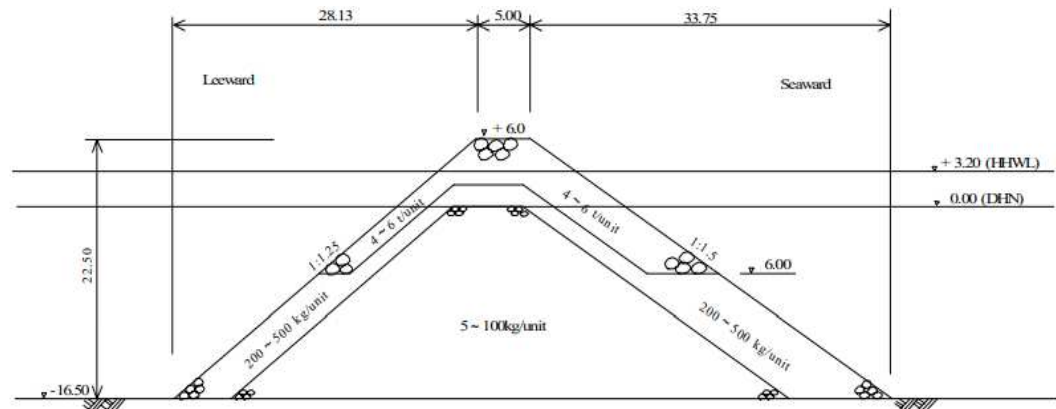


Nota. Sección transversal de un dique en escollera y vertical sobre escollera en puertos marítimos. Los puertos en el transporte marítimo. Obtenido de Rúa, C (2006), pág.9.

De acuerdo con el Manual de Diseño Japonés (*Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan*, 2009), la altura de un dique principal convencional es de 22.5 m, un ancho de berma de 5 m y con un gradiente de 1:1.25 en el lado del rompeolas que da al mar. Ubicados entre 30 a 90 m de la costa.

Figura 27.

Sección dique principal tipo convencional



Nota. Sección de dique principal típico tipo convencional. *Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan.* Obtenido de National Institute for Land and Infrastructure Management (MLIT, 2009), pág.51.

2.1.1.6.2. Rompeolas

Similar a un dique, los rompeolas son obstáculos o barreras disipadores de energía para el oleaje que se amarran al fondo del mar, orientados paralelos a la costa, y en algunos casos, encadenados entre ellos, o utilizados como trampa de sedimentos. Pueden estar formados de cajones huecos de concreto celular, de fibra de vidrio, o neumáticos, en el caso de encontrarse a nivel del mar, y de rocas, grava o arena, o cuñas de madera, de estar sumergidos. La variable más importante para el diseño de los rompeolas es la dimensión horizontal y la labor de filtración del material.

2.1.1.6.3. Espigones

Estructura de protección de costas para atrapar la deriva longitudinal y construir una playa de protección, retardando la erosión de una playa existente, es decir, un puerto, muelle o entrada de carga y/o descarga. Comúnmente descritos como elementos angostos de diferentes longitudes y alturas, contruidos perpendiculares a la costa. Para estructuras de madera y acero el ancho se estima entre 2 y 3 m, y de concreto de 3 a 6 m con 30 a 40 cm de espesor, con pilotes de 60 a 80 cm de diámetro, espaciados entre 3 y 6 m. Generalmente, mediante criterios como la condición y altura de ola, el diseño estimado de ondas, la carga sísmica y las condiciones del subsuelo, las dimensiones pueden llegar a varias directamente en relación a la ubicación del puerto.

Figura 28.

Espigones en ambos sentidos de costa



Nota. Espigones en ambos sentidos en costa de Puerto Quetzal, departamento de Izabal. Obtenido de la Empresa Portuaria Quetzal (2023).

2.1.1.6.4. Muros Costeros

Estructuras en forma paralela a la línea de costa, sirven para separar el área marítima del área terrestre. El muro costero retiene el suelo, evita desplazamiento de suelo y protege de la erosión de las olas, suelen ser utilizados como punto de amarre para embarcaciones. Estos muros están diseñados como secciones de muro de contención por gravedad (Srinivasan, 1958).

2.1.1.6.5. Terminales de Amarre

También conocidos como muelles, duques al alba o postes de amarre. Son construcciones fabricadas en el agua, sujetas por medio de bases que los afianzan firmemente a la costa, y permiten a las embarcaciones atracar para la carga y descarga de pasajeros y mercancías. En los puertos acostumbran existir los siguientes modelos: muelles de penetración, tipo espigón, orientados perpendicularmente o con cierto ángulo de la línea de costa (véase Figura 28, construcción al frente de la imagen, en donde se localizan las grúas); muelles marginales, también denominados malecones, orientados paralelo a la costa (véase Figura 28, construcción paralela al atracado de las embarcaciones); terminales de bolla, estructuras ancladas al lecho marítimo, permiten el amarre y, en algunos casos, la descarga de combustible; y duques al alba, estructuras exentas de la costa utilizadas para el amarre y ayuda de maniobras de atraque.

2.1.1.6.6. Rampas

Obra de atraque para embarcaciones de descarga de mercancía mediante rodadura. El propósito de una rampa marítima es permitir el traspaso seguro entra la costa y la embarcación considerando el tipo de embarcación y el nivel de mar debido a su inclinación sobre el gradiente de la costa. El ancho de carril estándar

(simple y multicarril) es de 4 m y pendiente máxima de 1:8 y mínima de 1:10 (de 12 a 15 %), el pie a una profundidad de 1.2 m por debajo de las aguas bajas y por lo menos 0.5 m por encima del nivel del agua (*Design Criteria for Boat Ramps*, 2015)

2.1.1.6.7. Pontones

Estructuras suspendidas sobre el nivel del agua de posición variable, ancladas al fondo de mar o alguna estructura fija, de utilidad a embarcaciones menores o auxiliar en procedimientos de sobrecarga de baja magnitud. Se considera el uso de pontones cuando se está sujeto a variaciones de marea o no sea económico realizar sistemas estáticos de gran altura.

2.1.1.7. Túneles

Son pasajes subterráneos completamente cerrados, a excepción de las aberturas de salida o entrada en cada extremo de ellos, y son utilizados para tráfico peatonal o vehicular, para tráfico ferroviario o de un canal. Algunos túneles se le conocen como acueductos cuando se usan para el abastecimiento de agua para el consumo o para centrales hidroeléctricas o alcantarillas.

Existen tres formas principales de túneles: circulares, rectangulares y de herradura o curvilíneas. Por lo general, la forma del túnel depende del método utilizado para construir el túnel y de las condiciones del suelo. Los túneles rectangulares a menudo se construyen mediante el método de cortar y cubrir, el método sumergido o cajas reforzadas. Los túneles circulares se construyen utilizando una Máquina Perforadora de Túneles (TBM) o mediante la perforación y voladura en rocas. Los túneles con configuración de herradura o curvilínea se construyen utilizando perforación y/o voladura en rocas, por el Método de Excavación Secuencial (SEM) o el Nuevo Método Austriaco de Construcción de

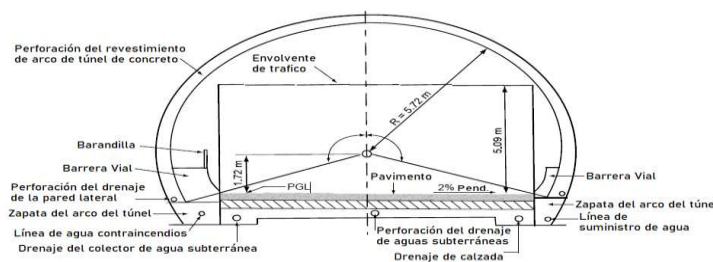
Túneles NATM) (*Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels*, 2010). Revisar investigaciones requeridas para cada tipo de método de tunelización en Anexos.

Esta definición aplica a todos los tipos de estructuras de túneles y métodos de excavación de túneles: túneles de corte y cubierta, túneles excavados y perforados en roca, suelo blando y suelo difícil; túneles sumergidos y túneles de caja reforzada.

La sección transversal de un túnel de carretera debe poder acomodar los espacios libres de tráfico horizontal y vertical, así como otros elementos necesarios. Los elementos típicos de la sección transversal incluyen: carriles de circulación, hombros, aceras y/o bordillos, drenaje, ventilación, iluminación, servicios públicos y energía, tuberías de suministro de agua para extinción de incendios, armarios para enrolladores y extintores, señales y letreros sobre los carriles de la calzada, cámaras de vigilancia, teléfonos de emergencia, antenas y equipos de comunicación, equipos de monitorización de emisiones nocivas y visibilidad, y señales luminosas de salida de emergencia a bajo nivel (en caso de incendio o humo).

Figura 29.

Sección transversal de túnel de carretera

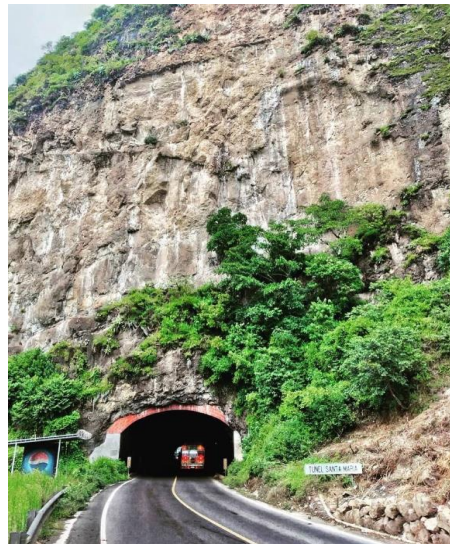


Nota. Sección transversal típica de un túnel de dos carriles. *Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels*, Obtenido de la *American Association of State Highway and Transportation Officials* (AASHTO, 2010), p.65.

Generalmente, los carriles de circulación miden 3.65 m, los hombros 0.6 a 1 m, las aceras y/o bordillos 0.75 m y las pasarelas de salida emergencia 1.10 m. El túnel más largo de Guatemala, el túnel de Santa María de Jesús, ubicado en Quetzaltenango, cuenta con un ancho de 10 m, alto de 6 m y longitud de 227 m, con un volumen de excavación de 0.5 millones de m³.

Figura 30.

Túnel de Santa María de Jesús Quetzaltenango



Nota. Túnel de Santa María de Jesús, departamento de Quetzaltenango. Obtenido de la Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad Zunil (2023).

2.1.1.8. Muros de Contención

Son elementos diseñados para la contención de materiales, o agua, que sin la existencia del muro tomaría una distinta forma a la fijada por el contorno delimitado por su contención, así encontrando su equilibrio. Cualquier material, aunque comúnmente en la mayoría de los casos es la arena, al apilarse forma un ángulo determinado con la horizontal y a este ángulo se le conoce ángulo de

reposo, o por contexto ingenieril, ángulo de fricción interna, en base a este valor y al análisis de la presión que deberá resistir la edificación se calcula un muro de contención. El principal factor que del diseño de un muro de contención es el empuje del relleno, la teoría frecuentemente usada es la de *Coulomb* y *Rankine*, las cuales pueden sintetizarse diciendo que el empuje activo es la fricción del empuje hidrostático debido a la misma altura del material y la cuantía de fricción dependiente del ángulo formado por la tierra del relleno con la horizontal trazada del extremo superior del muro y el ángulo de fricción interna de material. El diseño de un muro de contención se lleva a cabo analizando la estabilidad del muro, la verificación posible de vuelco, deslizamiento, fallas en la capacidad soporte del suelo, y determinación de la resistencia de la estructura y el acero de refuerzo (*Lechman*, 2021).

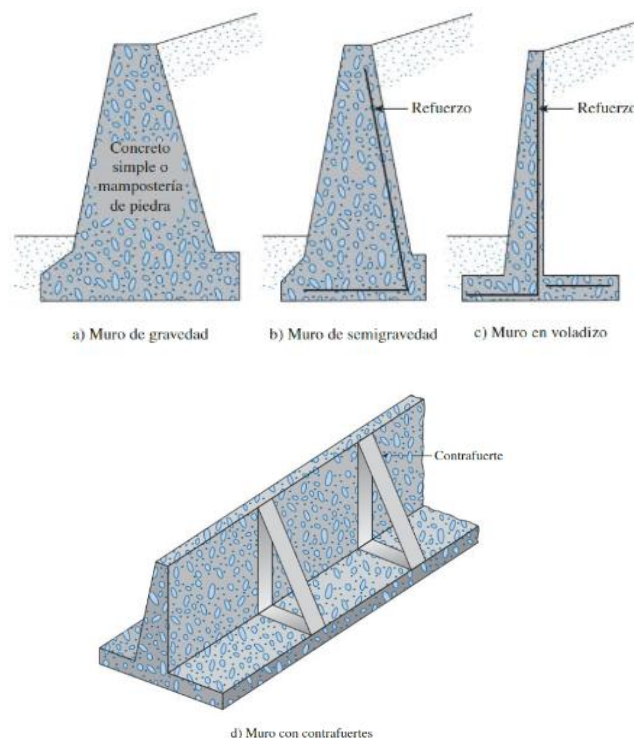
Los muros de contención pueden construirse mediante el corte del talud o el colocado de una estructura de concreto armado o ciclópeo, que en algunos casos se encuentra compuesto de bloques de concreto, gaviones, o pantallas pilotes, tablestacas y anclados. Los principales elementos de un muro de contención son punta, espolón y talón. Los muros de contención se utilizan comúnmente en los proyectos de construcción como carreteras en media ladera, estribos de puente, edificios con sótanos, tanques para agua, entre otros, y suelen agruparse en los siguientes tipos:

- Muros de gravedad: son los que tiene en general un perfil trapezoidal y dependen primordialmente de su peso propio. Se construyen de concreto ciclópeo o de piedras y no llevan refuerzo. No deben resistir esfuerzo de tracción en ninguna sección y se utilizan para alturas bajas de 3 a 3.5 m.
- Muros de semi gravedad: son más esbeltos porque toleran esfuerzos de tensión menores, por ende, la cuantía de acero y su costo es menor. Son utilizados para alturas de hasta 4 m.

- Muros de voladizo y ménsula: son muros de concreto armado cuyo perfil común es en L o T y se utilizan por tener un menor peso debido al poco relleno que poseen. Resulta ser una opción económica hasta alturas de 6 m. En caso se trabajará el muro tipo ménsula, puede pensarse como solución hasta alturas de 10 y 12 m.
- Muro de contrafuertes: son contruidos por placas verticales que se apoyan sobre voladizos espaciados, el tipo de contrafuerte puede ser tras dos, dentro del relleno del talud o intradós, por fuera del talud. A partir de alturas de 10 y 12 m es una solución que debe considerarse (Ordoñez, 2017).

Figura 31.

Tipos de muro de contención

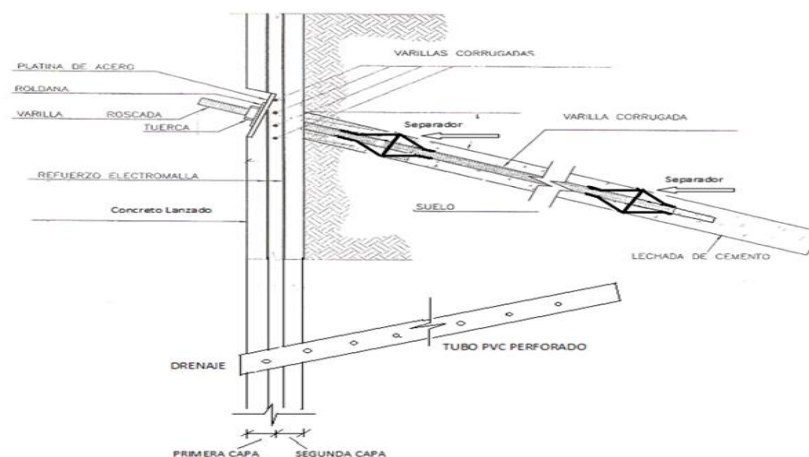


Nota. Tipología de muros de retención de suelos. Fundamentos de la ingeniería de cimentaciones. Obtenido de Braja D. (2012), p.376.

- Muro *Soil Nailing*: es el reforzamiento del terreno mediante la instalación de anclajes, permitiendo amarrar las zonas deslizantes con el fin de evitar derrumbes. Se recomienda utilizar en proyectos donde el asentamiento no afecte las áreas de colindancia, debido a que este sistema trabaja con la deformación del suelo. La perforación para la instalación de los pernos de anclaje, compuestos de varillas de acero según diseño y lechada 3500 psi, suele ser por rotación, rotopercusión y helicoidal con entubado, de 10 cm de diámetro y a un ángulo de 15°. A partir de la instalación de pernos y luego de la colocación de platinas, comúnmente de 20 x 20 cm x 1/2" con tuercas para sujetarlas, se coloca malla electrosoldada de 6 x 6 pulg y calibre 4 y concreto lanzado de 3000 a 4000 psi hasta lograr un espesor aproximado de 5 a 15 cm de espesor, con drenajes de PVC perforado de 1 1/2 a 2 pulg de diámetro. Este tipo de retención de suelo es comúnmente utilizado en muros de gran altura y sótanos de edificios (Veliz, 2009).

Figura 32.

Detalle de anclaje del Soil Nailing



Nota. Detalle de anclaje de Soil Nailing. Estabilización de taludes con pantallas de concreto lanzado. Obtenido de Veliz, C. (2009) p. 47.

La selección del tipo de estructura a utilizar es criterio del equipo de diseño, la interacción entre la geología, geotecnia, diseño estructural y construcción es fundamental para tomar la decisión que mejor se adecua a la necesidad puntal del proyecto. Es recomendado evaluar varios diseños y predimensionamientos para estimar costos rápidos, obtener valores geotécnicos mediante ensayos en la ubicación del proyecto ayudaran a un mejor evalúo de las opciones de retención a considerar.

En Guatemala, la construcción de muros de retención o contención se realiza comúnmente mediante el corte de taludes, la colocación y anclaje de bloques de concreto, el refuerzo mediante mallas geotextiles y los muros de anclaje. En el área rural del país se acostumbra utilizar el corte de taludes y mallas geotextiles para dar paso a las vías de comunicación y en el área urbana comúnmente se utiliza muros de contención de bloques prefabricados y/o anclados para dar estabilidad cortes de gran profundidad (Veliz, 2009).

Figura 33.

Paso a desnivel Las Flores Cayalá



Nota. Construcción de paso a desnivel Las Flores en Cayalá, ciudad de Guatemala. Obtenido de Prensa Libre (2020). Paso a desnivel Las Flores Cayalá (<https://www.prensalibre.com/guatemala/comunitario/construccion-de-nuevo-paso-a-desnivel-entre-zonas-15-y-16-afectara-a-transporte-pesado/>), consultado 24 de enero del 2024.

2.1.2. Energía y minas

Dentro de la ingeniería, son aquellas actividades de producción, distribución y comercialización de la energía, hidrocarburos y explotación de los recursos mineros que aseguran se genere el máximo aporte posible al desarrollo sostenible de un país. Esta área abarca la promoción de energías renovables, el consumo sustentable de la energía y minerales y la adopción de medidas de conservación.

La energía es un sector fundamental de la economía de un país. El contexto energético de cada país es único y requiere enfoques específicos para un desarrollo económico efectivo. El sector minero extractivo guatemalteco se caracteriza por la producción minera especialmente de oro, plata, plomo, Zinc, óxidos de hierro, níquel, jade; mármol y materiales de construcción (Ministerio de Energía y Minas, 2019).

2.1.2.1. Centrales Hidroeléctricas

Obras civiles encargadas del aprovechamiento de la energía potencial que tiene una corriente de agua por la diferencia de alturas entre terrenos, que, debido a la gravedad, de esta forma se transforma en mecánica por medio de una turbina, y al conectar a un generador produce energía eléctrica. Las instalaciones para aprovechar este potencial hídrico se denominan centrales hidroeléctricas. El rendimiento global de todo el proceso hidroeléctrico es entre el 90 y el 95 % (Diez y Ornedá, 2008). Las pérdidas de rendimiento se deben a pérdidas de carga en el circuito hidráulico, a rozamientos en la rotación del grupo hidroeléctrico y a pérdidas en los equipos eléctricos. Según Mallitásig (2018), los siguientes componentes son los que se encuentran primordialmente en una central hidroeléctrica:

- Zona de captación: toda área detrás de la represa que desemboca en un arroyo o río, a través del cual se ha construido la presa en un lugar adecuado, se denomina área de captación.
- Embalse: también conocido como reservorio, es el área donde se almacena el agua y se utiliza para la generación de energía. Un embalse puede ser natural, como un lago ubicado en la altitud de una montaña, o artificial, erigiendo una presa en un río.
- Presa: barrera construida a través del río para almacenar el agua para la generación de energía. Se construyen con mampostería de concreto o piedra, tierra o escollera. La presa almacena el agua por un lado y por el otro lado tiene una casa de máquinas y/o de poder para generar la energía.
- Vertederos: válvulas de seguridad para una presa que proporciona descargar del exceso de agua en una presa para proteger la misma contra inundaciones.
- Línea de aducción o *Penstock*: son tuberías o canales largos que transportan agua desde el embalse o tanque de compensación hasta las turbinas dentro de la central hidroeléctrica real.
- Tanque de compensación: es un pequeño depósito que se emplea entre la presa y la central eléctrica para reducir las oscilaciones de presión, también conocido como golpe de ariete, en la tubería. Fundamentalmente, permite que el exceso de agua entre en el tanque durante los períodos de baja carga y el agua almacenada puede suministrarse a la tubería durante períodos de alta carga.
- Motores primarios: estas son las turbinas que se utilizan para convertir la energía potencial y/o cinética del agua en energía mecánica para producir energía eléctrica.
- Casa de máquinas y/o poder: constituida de dos partes principales, una subestructura para soportar los equipos hidráulicos y eléctricos, tales

como turbinas, generadores, válvulas, bombas y gobernadores, y una superestructura para proteger este tipo de equipos.

Figura 34.

Presa Pueblo Viejo hidroeléctrica Chixoy



Nota. Presa Pueblo Viejo en hidroeléctrica Chixoy en San Cristóbal Verapaz, departamento de Alta Verapaz. Obtenido de la Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad San Cristóbal Verapaz (2023).

En la Figura 34, se observa la presa Chixoy, una central hidroeléctrica de tipo embalse, considerada la construcción de obra civil más grande en la historia de Guatemala, el cual cuenta con un embalse, de regulación anual, de 500 millones de m³ y superficie de 5,600 km²; una presa de 105 m de altura, hecha de arcilla, tipo enrocamiento, un vertedero de 3 tres compuertas de 3 m; un túnel de aducción de 26 km de longitud, 4.93 m de diámetro y caída de 512 m, capaz

de conducir 75 m³/s de agua; y una casa de máquinas con 5 turbinas tipo Pelton vertical, con una potencia de 60 MW cada una.

El estudio hidrológico que se efectúa antes del diseño y construcción de una central hidroeléctrica considera el cálculo de la curva de caudales, la curva de duración de caudales y curva de frecuencia, el caudal de diseño y el volumen de sedimentos, según el resultado de estudio, características físicas, geográficas y equipo hidráulico para la generación de energía hidroeléctrica, Mallitásig define los tipos de centrales generadoras de la siguiente manera:

2.1.2.1.1. Centrales de pasada o de filo de agua

También nombradas centrales de agua fluyente. Este tipo de centrales aprovecha el flujo del río mediante una toma, una derivación del cauce, o azud, y mediante canales o conducciones se lleva hacia la casa de máquinas, donde se turbinan verticalmente u horizontalmente dependiendo de la pendiente. Una vez obtenida la energía, el agua es devuelta nuevamente al cauce del río.

2.1.2.1.2. Centrales de embalse

Son centrales hidroeléctricas capaces del aprovechamiento energético mediante la construcción de una presa en el cauce del río. Su característica principal es la capacidad de regular el caudal de salida del agua para ser turbinada según la demanda de energía eléctrica en la casa de máquinas. La ventaja de una central de embalse es que puede producir energía durante todo el año, aunque, desde luego, la acumulación de agua de precipitación durante el año hidrológico deberá ser la suficiente. Debido a la sedimentación acumulada

por el pasar del tiempo, se debe considerar acciones pertinentes ante el degrado durante su construcción.

2.1.2.1.3. Centrales de regulación

Almacenan volúmenes de agua que representan periodos prolongados de caudales medios anuales. Favorecen el funcionamiento en situaciones de bajo caudal debido a que almacenan continuamente y de este modo regulan la producción. Idóneo para cubrir horas punta de consumo.

2.2. Centrales de almacenamiento por bombeo

Consiste en el bombeo de agua con la potencia eléctrica excedente en periodos de poco consumo, el bombeo se realiza de un embalse en la parte inferior de la central hidroeléctrica a un embalse central en un nivel superior. Al terminar el excedente, se invierte el proceso y función al igual que un central de embalse común.

2.2.1.1. Centrales eólicas

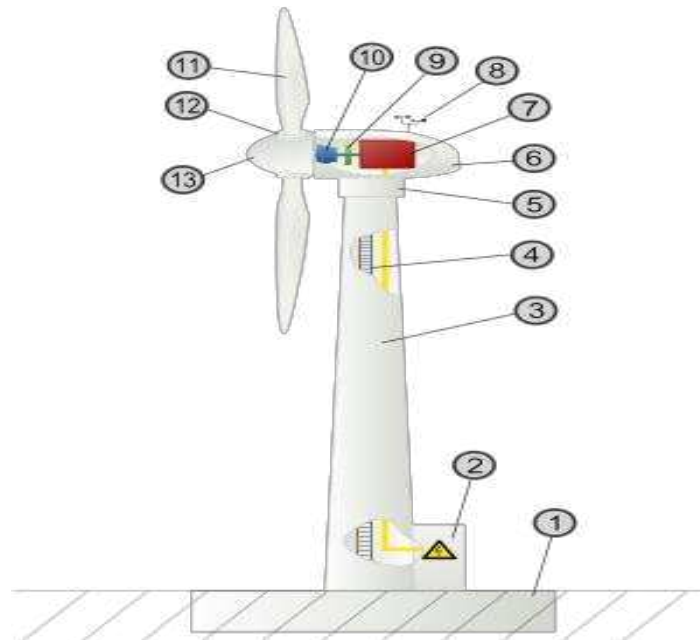
Acorde a la compañía Vestas, empresa dedicada a la fabricación, venta e instalación de aerogeneradores, las centrales eólicas se le conocen como sistemas de generación eléctrica aislados o agrupados, en parques eólicos o plantas de generación eólica, capaces de generar energía mediante el uso aerogeneradores, o bien, en términos ingenieriles, generadores eléctricos que convierte la energía cinética del viento en energía mecánica y a su vez en energía eléctrica mediante el uso de una hélice y alternador. Dicho esto, claramente podemos decir que la ingeniería mecánica es la principal disciplina encargada del diseño de una turbina eólica y dentro del área de la ingeniería civil los únicos

elementos que se pueden diseñar son la estructura, o torre que lo soportará, y la cimentación, compuestas por losa de cimentación y pilotes, elementos encargados de transmitir el peso de toda la estructura hacia el suelo. Para llevar un concreto análisis estructural de la torre y la cimentación, además, de la integración de cargas muertas y vivas habituales, es necesario conocer las cargas generadas por: el peso del sistema eólico, el área en contacto con el viento y las ondas mecánicas del aerogenerador. Ahora, para ubicar la localización idónea de este tipo de proyectos, se realiza una evaluación de potencial eólico, es decir, un análisis meteorológico de la intensidad, la dirección, la densidad y temperatura del viento.

En la Figura 35, cada uno de sus elementos que compone una turbina eólica son los siguientes: 1. cimentación, 2. conexión a la red eléctrica (celda de Media Tensión (MT)), 3. estructura o torre. 4. escalera de acceso, 5. sistema de orientación (Sistema *Yaw*), 6. góndola (*nacelle*), 7. generador, 8. anemómetro y veleta, 9. acoplamiento flexible, 10. tren de potencia, 11. palas (hélices), 12. buje (Sistema *Pitch*), y 13 cono.

Figura 35.

Esquema de una turbina eólica



Nota. Esquema de turbina eólica. Adaptado de Wikipedia. (2020). *Aerogenerador* (<https://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador>). Consultado el 4 de noviembre de 2022.

Los tipos de estructura y materiales de construcción comúnmente utilizados para el soporte de turbinas eólicas son torres de concreto armado, pre o post tensado de sección hueca, o armaduras de celosía en acero; y para las cimentaciones, estructuras concreto reforzado, usualmente fundido *in situ*. La cimentación para generadores de 3.3 MW oscila entre los 35 m de diámetro, 3 a 5 m de profundidad y 16 pilotes de 30 m. (Viento Blanco, 2015). Aunque pueden llegar a extenderse a dimensiones más grandes en caso de ser turbinas eólicas de mayor producción. La altura promedio de una torre eólica con la capacidad de generar de 2 a 2.5 MW es de 80 a 137 m, para rotores de diámetro entre 90 y 120 m; de 3.5 a 4.5 MW, de 82 a 166 m, para rotores de diámetro entre 105 y 163 m; y de 6 a 7 MW, de 105 a 175 m, para rotores de diámetro entre 150 y 172

m. Además, es importante mencionar que la construcción de las torres se realiza por segmentos de aproximadamente 40 a 50 m de alto (Vestas, 2022).

En Guatemala, actualmente se cuenta con tres plantas de energía eólica: parque eólico Viento Blanco, ubicado en el área del volcán de Pacaya, Escuintla, y produce 22 MW; las Cumbres en Agua Blanca, Jutiapa, con capacidad de producir 30 MW; y el parque eólico San Antonio El Sitio, ubicado en Villa Canales, con capacidad de producir 55.2 MW.

Figura 36.

Construcción aerogeneradores 3.3 MW



Nota. Construcción de aerogeneradores 3.3 MW en parque eólico Viento Blanco en San Vicente de Pacaya, departamento de Escuintla. Obtenido de Planta de Energía Eólica Viento Blanco (2023).

2.2.1.2. Líneas de Transmisión

Son infraestructura que funciona como vía para el transporte de energía y se componen de dos sistemas, el sistema de soporte estructural y el sistema de cables. El sistema de soporte estructural, que comprende torres, postes y

cimientos, tiene la tarea principal de soportar la carga del cable, los aisladores, el hardware y los accesorios del cable. Aunque el sistema de soporte estructural es ciertamente un elemento esencial de una línea, gran parte del comportamiento inusual y la mayoría de los problemas de una línea comienzan o son generados por el sistema de cables. El sistema de cables consta de los conductores y los cables de tierra e incluye todos los componentes, como los aisladores sin salida y el hardware en serie de los cables (ASCE, 2010). Debido al enfoque estructural que posee la ingeniería civil, se desarrollarán exclusivamente los sistemas de soporte de las líneas de transmisión, es decir, torres y postes. El diseño de los sistemas de cables es un tema propio de la ingeniería eléctrica.

2.2.1.2.1. Postes

Un poste es un soporte vertical, una columna, que funciona de apoyo para la conducción de líneas de distribución y/o subtransmisión, en otras palabras, líneas de transmisión de subestación a subestación. Generalmente, un poste se construye de madera, para líneas de tensión eléctrica de 2.3 a 46 kV, de concreto, para líneas de 70 a 115 kV, o de acero, para líneas entre los rangos anteriores o arriba de 161 kV (DOI, 1980). Los postes aparte de utilizarse para soportar líneas eléctricas aéreas, de igual manera, transportan otros servicios públicos, tales como cables eléctricos, cables de fibra óptica y equipos relacionados, como transformadores y alumbrado público; por este motivo también se les puede denominar poste de transmisión, poste telefónico, poste de telecomunicaciones, poste de energía, poste hidroeléctrico, o poste telegráfico.

Las líneas de distribución transportan energía desde las subestaciones locales hasta los clientes. Por lo general, transportan voltajes de 4,6 a 33 kilovoltios (kV) para distancias de hasta 48 kilómetros e incluyen transformadores para reducir el voltaje del voltaje primario al voltaje secundario más bajo que usa

el cliente. Una caída de servicio lleva este voltaje más bajo a las instalaciones del cliente. Las líneas de subtransmisión transportan energía de mayor voltaje desde las subestaciones regionales a las subestaciones locales. Por lo general, transportan 46 kV, 69 kV o 115 kV para distancias de hasta 95 kilómetros. Las líneas de 230 kV a menudo se apoyan en torres (*Grigsby, 2001*).

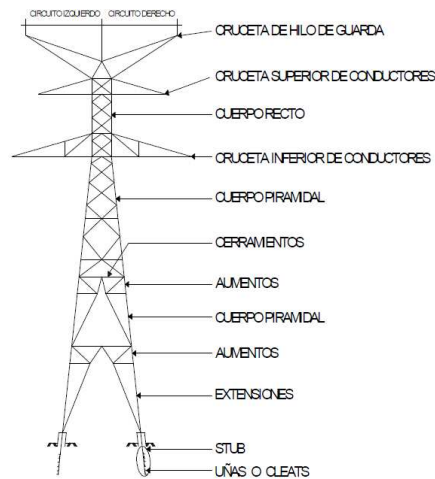
La altura estándar de un poste para líneas de distribución es de 8 a 10 m, alrededor de 20 cm de diámetro y está enterrado alrededor de 2 m en el suelo, para elementos de concreto armado y para líneas de subtransmisión puede llegar a medir hasta 37 m en acero. Los postes están separados aproximadamente 38 m en áreas urbanas, y 91 m en áreas rurales, pero las distancias realmente varían según la topografía del terreno.

2.2.1.2.2. Torres

Las torres son sistemas estructurales formados por perfiles, placas de unión y pernos de acero, de celosía, mediante crucetas, y para su diseño estructural se les considera como un conjunto de barras unidas mediante nodos; los principales parámetros de análisis son número conductores, carga por tensión, carga de viento, tensión eléctrica y estudio de suelos. Generalmente, se utilizan para transportar líneas de transmisión de alto voltaje que transportan energía eléctrica desde las centrales hidroeléctricas, estaciones generadoras o subestaciones eléctricas hasta las subestaciones eléctricas regionales o locales. Son construidas para soportar cables de conducción y de guarda, que sirven para proteger los conductores contra sobre cargas por rayos (*Hernández, 2005*). En la actualidad las torres también se utilizan para la transmisión de datos por medio de fibra óptica.

Figura 37.

Elementos de una torre de transmisión eléctrica



Nota. Elementos básicos de una torre de transmisión eléctrica. Diseño de Torres de Transmisión Eléctrica. Obtenido de 42. Hernández, A. y Morales, F. (005), p. 27.

En la Figura 37, el *stub* o ángulo de anclaje se diseña según especificaciones del A.S.C.E., debido a que el anclaje estará obligado a resistir las fuerzas de tensión y compresión y transmitirlas adecuadamente a la cimentación. En otras palabras, el *stub* es el perfil de acero que llega a la cimentación, y los *cleats* o uñas son los perfiles sujetos al ángulo de anclaje y colocados para distribuir los esfuerzos a la cimentación.

Existen diversos tipos de torres de acuerdo a la función que desempeñan en la línea de transmisión y, a continuación, se clasificaran por su función y geometría. Las torres con línea transmisión de 230 kV (de 2 circuitos, 3 fases por circuito, 2 cables por fase y 2 guardas) suelen poseer una altura de 40 a 60 m, una distancia de servidumbre, es decir, la distancia mínima entre torres de distintos circuitos, de 40 a 60 m, una altura mínima de los cables respecto del suelo de 9.2 m, un ancho de la base de 8 a 14 m y de 10 a 17 incluyendo las zapatas, y con zapatas de 1.5 a 3 m de diámetro y pilotes de 4.5 a 25 m de

profundidad; y las torres con líneas de transmisión de 500kV (de 2 circuitos, 3 fases por circuito, 4 cables por fase y 2 guardas), una altura de 60 a 80 m, una distancia de servidumbre de 70 a 100 m, una altura mínima de los cables respecto del suelo de 15 m, un ancho de la base de 10 a 17 m y de 12 a 20 incluyendo las zapatas, y con zapatas de 1.5 a 3 m de diámetro y pilotes de 4.5 a 25 m de profundidad. El intervalo entre las torres de transmisión de un mismo circuito suele encontrarse dentro de 450 a 550 m. (*Western Renewables Link*, 2022). En el Anexo 5 encontraran las secciones típicas de las torres eléctricas clasificadas por su función y geometría.

Tabla 4.

Clasificación de torres eléctricas

Clasificación Por Función	Servicio
Suspensión	Son torres de transmisión en línea recta o con un máximo de desviación de 10 grados. Los cables y aisladores están tendidos verticalmente sobre las crucetas, sostienen mas no jalan la línea transmisión. Son torres livianas y pequeñas.
Deflexión Tensión	o Son torres donde la línea de transmisión cambia de dirección más allá de los 10 grados. Las torres tiran de los cables y se diseñan para soportar estrés por tensión. Los cables tienden horizontalmente en la crucetas y aisladores colgantes. Poseen bases grandes y pesadas.
Remate Terminal	o Se colocan al inicio o final de la línea de transmisión. Soportan las tensiones producidas por la línea de transmisión, son el punto de anclaje de mayor resistencia.

Nota. Clasificación de torres eléctricas por su función. *Transmission Towers and Conductors*. Obtenido de Western Renewable Link, AusNet Services (2022), pág.11.

Figura 38.

Torre de tensión en anillo pacifico sur Escuintla



Nota. Torre de tensión en anillo pacifico sur en Escuintla, departamento de Escuintla. Obtenido de Transportadora de Energía de Centroamérica S.A. (TRESCA, 2023).

2.2.1.3. Pozos de extracción

Son excavaciones verticales con un grado de profundidad suficiente para alcanzar la extracción de lo que se busca, comúnmente el agua de un acuífero o el petróleo de alguna reserva. Los pozos se suelen construir de forma cilíndrica y se aseguran mediante ladrillo, piedra, cemento o madera en sus paredes, de esta manera se evita el deterioro o taponamiento del mismo.

Para un adecuado diseño de pozos se deben realizar los siguientes estudios y estimaciones de parámetros: evaluación de recursos subterráneos y su racional explotación, longitud y diámetro de la tubería de revestimiento y aberturas de rejillas, materiales a utilizar, estabilizador de la formación o empaques de grava, labores de terminación, y diseño y colocación de la bomba (Ballesteros, 2004).

Los pozos pueden ser perforados mediante varios métodos: barrena o broca manual, para una profundidad de 15 a 25 m; percusión manual, para profundidades alrededor de los 25 m; eliminación de lodos e inyección de agua, para profundidades alrededor de los 35 m (*van der Wal*, 2010); y perforación mecánica, regularmente de una profundidad de 60 m y hasta 200 m con el uso de maquinaria sofisticada (*Wurzel*, 2001). Los diámetros de los pozos perforados suelen ser mucho menores, el diámetro de un pozo llega a ser de 300 mm, en un contexto rural, mientras que los grandes complejos urbanos de extracción requieren agujeros de hasta 500 mm de diámetro (*Danert*, 2009 y *Smet y Wijk*, 2002).

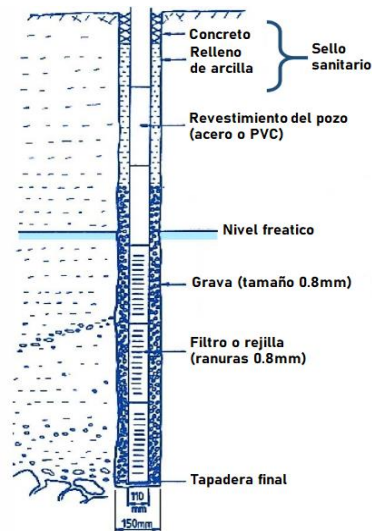
2.2.1.3.1. Pozos de agua

Los pozos de agua pueden servir como suministro para hogares individuales, para pequeñas comunidades rurales y áreas más urbanas, dependiendo del tamaño del pozo (profundidad y diámetro) y las condiciones hidrológicas de su localización. La perforación manual es una solución práctica y de bajo costo para pozos de menos de 40 metros de profundidad en suelos aluviales o formaciones rocosas blandas (UNICEF, 2010).

En la selección de las especificaciones de los elementos constructivos del pozo y su determinación para una buena producción se deben analizar la localización, el uso del agua del pozo y el caudal que se requiere extraer, las características de las formaciones a perforar, las características de los acuíferos, los métodos de construcción y los métodos de limpieza a desarrollo del pozo.

Figura 39.

Elementos de un pozo perforado



Nota. Elementos de un pozo mecánico de agua potable. *WaterAid, Technology Notes. Tubewells and Boreholes* (s.f.), p.15.

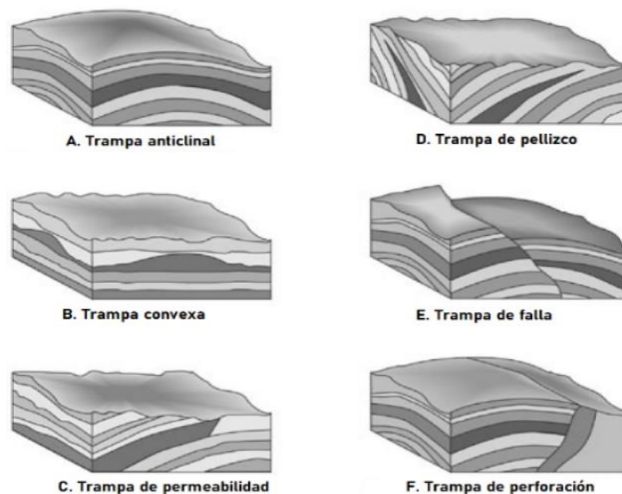
2.2.1.3.2. Pozos petrolíferos

El petróleo es una mezcla de hidrocarburos constituido aproximadamente 11 a 13 %, en peso, de hidrógeno y 84 a 87 % de carbono, aunque, químicamente, el petróleo crudo puede incluir varios cientos de compuestos. Los estándares de petróleo de ASTM son fundamentales en la evaluación de las propiedades físicas, mecánicas, reológicas, térmicas y químicas del petróleo crudo. El petróleo se encuentra principalmente en cuencas sedimentarias y tiene su origen orgánico en una roca fuente. Los yacimientos de petróleo pueden ocurrir a unas pocas decenas de metros de distancia, hasta más de 9 km de profundidad, en trampas naturales, que son formaciones geológicas singulares, o más bien, una capa impermeable superpuesta que permiten la acumulación de los hidrocarburos migratorios. En todas las acumulaciones de petróleo natural, el

agua siempre está presente, ya sea como intersticial, cohabitando con los hidrocarburos, o subyacente, en forma de acuíferos.

Figura 40.

Mecanismos geológicos de captura de petróleo



Nota. Mecanismos y estratigrafía geológica de captura de petróleo. Adaptado de *Halliburton Energy Services* (1998). (<https://www.slideshare.net/slideshow/estructuras-geologicas-67222436/67222436>) *Petroleum Well Construction*, consultado 15 de diciembre de 2023.

Las trampas naturales convexas, cubiertas por una capa impermeable, son las más fáciles de alcanzar y cruzar a la hora de una perforación. Una trampa de permeabilidad y una trampa de pellizco, descritas gráficamente en la Figura 40, indican que la roca permeable se desvanece lateralmente y hacia arriba. El movimiento hacia arriba o hacia debajo de las capas en un lado de una falla tectónica puede traer una capa impermeable contra una permeable, y esta interfaz puede formar una trampa petrolífera muy efectiva también. Finalmente, las trampas de perforación, formadas por la intrusión de un material de diferente composición litológica, pueden formar un sello efectivo para una trampa de petróleo (Wiley, 1998).

Ahora, dejando de ver este tema desde el aspecto geológico y enfocándose en la ingeniería, la perforación de un pozo de petróleo es similar a la de un pozo de agua, los métodos de perforación de pozos de petróleo más comunes son los siguientes:

- Perforación vertical: considerado el método más simple y tradicional, pero capaz de ofrecer ahorro de costo inicial, debido al menor uso de equipo y mano de obra. Se pueden realizar mediante: percusión o rotación manual; con herramientas de cable, con una balancín con una viga motorizada montada en una torre de perforación; circulación inversa de doble pared; es decir, dos tubos de perforación concéntricos capaces de bombear lodos al fondo de la broca y luego rebotar hacia arriba dentro de la tubería principal con la ayuda de su superficie giratoria; y electro perforación, mesas giratorias y cabrestantes accionados por motores eléctricos controlados a una amplia gama de velocidad de rotación y exigidos por el uso de lodos pesados. Actualmente, se utiliza para evaluar el potencial de nuevas zonas de petróleo y gas.
- Perforación horizontal o direccional: es un método de perforación más preciso realizado mediante el uso de equipos de perforación direccional y orientable. La perforación direccional se usa cuando un pozo se desvía intencionalmente para alcanzar una ubicación de fondo de pozo, *Bottomhole Location* (BHL), y se realiza por las siguientes razones: la ubicación de fondo de pozo puede estar debajo de una obstrucción, es necesario perforar varios pozos desde un lugar fijo y a diferentes ubicaciones de fondo de pozo (*Boomer*, 2008). Un sistema de perforación direccional, asistido de un equipo moderno de medición durante la perforación, *Measurement While Drilling* (MWD), y una descripción del yacimiento adecuada, puede mantener una trayectoria de pozo dentro de ± 60 cm del objetivo (*Bernt*, 2010). La perforación horizontal facilita un

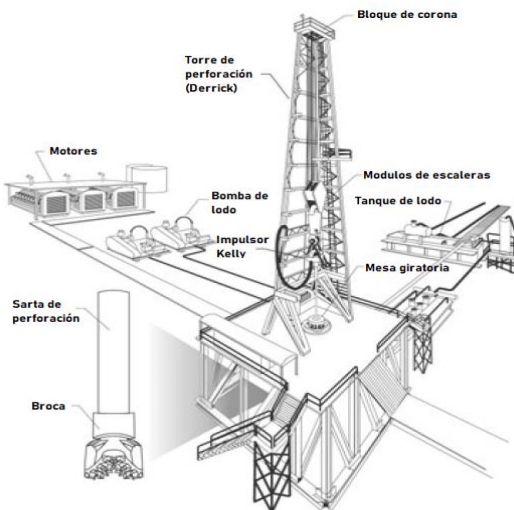
aumento de los volúmenes de producción de un solo pozo al acceder a un área de superficie más grande de una zona de petróleo y gas.

Las especificaciones dentro en el proyecto hidráulico y la elección del peso del lodo para una perforación se obtienen a partir de un principio simple llamado principio de línea mediana. Al mantener la densidad del lodo cerca de la tensión virgen *in situ*, se ha demostrado que se han minimizado los problemas de estabilidad del pozo. La intención principal del diseño hidráulico es proporcionar un caudal suficiente para obtener una buena limpieza del pozo (*Bernt*, 2010).

En la Figura 41, se muestran algunos de los componentes principales de una torre de petróleo. Una torre y/o plataforma de petróleo debe soportar habitualmente 3000 m, y en algunos casos, hasta 9000 m de tubería de perforación y equipo.

Figura 41.

Componentes principales de una torre de perforación



Nota. Componentes principales de una torre de perforación rotatoria de petróleo. Obtenido de Halliburton Energy Services (1998). (<https://www.slideshare.net/slideshow/estructuras-geologicas-67222436/67222436>) *Petroleum Well Construction*, consultado 15 de diciembre de 2023.

El orificio de perforación de un pozo de petróleo suele tener: 1) un diámetro de 35 cm en la perforación superficial de hasta 1500 m de profundidad, perforado con un peso de lodo de 9.2 lb/galón, muro estructural de 40 cm, revestimiento de 28 cm, acero grado K-55 y conexión BTC; 2) un diámetro de 25 cm en la perforación intermedia de hasta 3000 m de profundidad, perforado con un peso de lodo de 12.8 lb/galón, revestimiento de 20 cm, acero grado P-110 y conexión LTC, cementada; y 3) un diámetro de 30 cm en la perforación de producción de hasta 3250 m de profundidad, perforado con un peso de lodo de 16.3 lb/galón, revestimiento de 13 cm, acero grado P-110 y conexión LTC, cementada. (Bommer, 2008)

Figura 42.

Torre de perforación



Nota. Torre de perforación de pozo petrolífero en área protegida del río Sarstún en Livingston, departamento de Izabal. Obtenido de la Compañía Petrolera del Atlántico (CPA, 2023).

En algunos casos las perforaciones de petróleo se realizan en el mar, de manera que se debe montar sobre barcasas con patas o buques con control activo de posición respecto del fondo del mar, y se denominan plataformas petrolíferas.

2.2.1.3.3. Plataformas petrolíferas

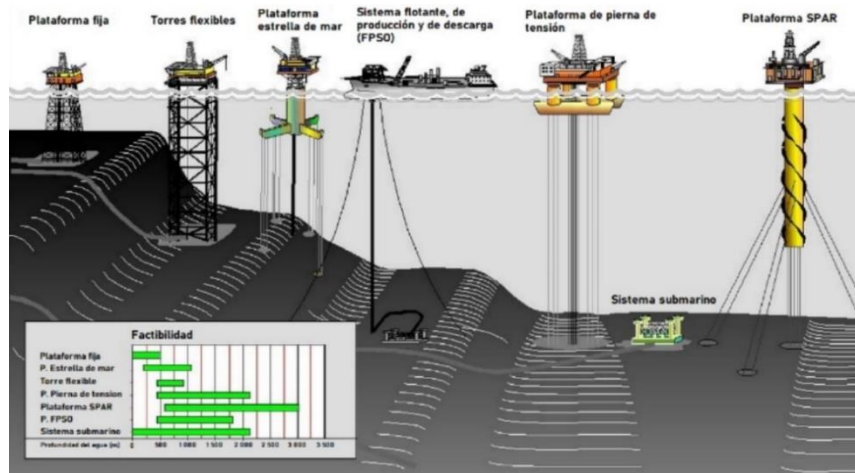
Las plataformas petrolíferas marinas son grandes estructuras que cuentan con estructuras de perforación para la exploración, extracción, almacenamiento y procesamiento de petróleo crudo y gas natural del lecho marino. Las plataformas de petróleo o gas no solo pueden perforar y extraer el producto de

los pozos, sino pueden proporcionar instalaciones para almacenar el petróleo o el gas antes de transportarlos a las refinerías.

Como las plataformas enfrentan varias fuerzas fuertes de las corrientes de agua y viento, los materiales utilizados para estas estructuras son principalmente acero u hormigón. Estas plataformas se clasifican en diferentes tipos, según la profundidad del agua y sus aplicaciones. El modelo de demanda sísmica probabilística óptima, la optimización multiobjetivo, la evaluación de la respuesta dinámica, el control robusto tolerante a fallas son algunos de los más significativos métodos de diseño y monitoreo de las plataformas petrolíferas (Amiri, 2021).

Figura 43.

Sistemas de perforación en aguas profundas



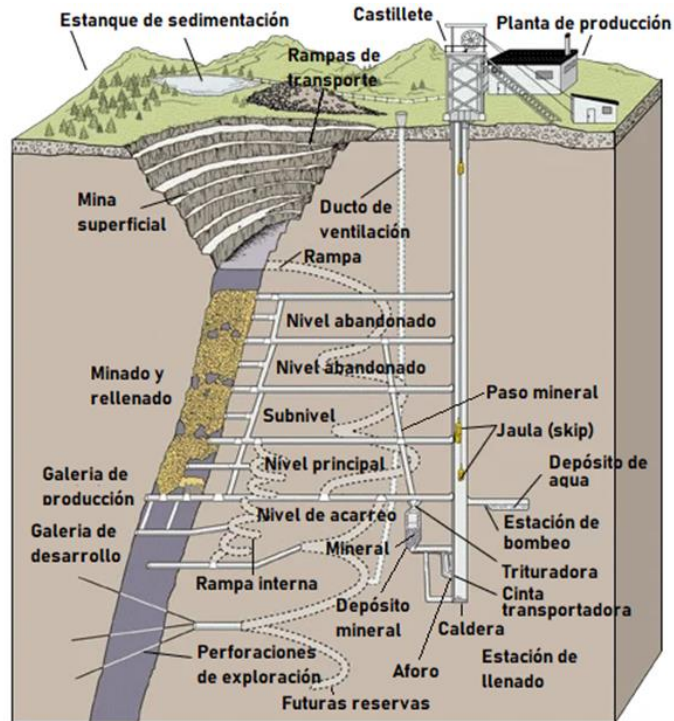
Nota. Sistemas de perforación de pozo petrolífero en aguas profundas. Adaptado de Departamento del Interior de los Estados Unidos (2023). *Deepwater drilling systems* (https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Deepwater_drilling_systems.png), consultado 5 de febrero del 2024.

2.2.1.4. Minas

La minería es la explotación de minerales u otros materiales geológicos ubicados en yacimientos de la tierra. Las minas también se les denomina explotaciones o explotaciones mineras son aquellos lugares en donde se realiza las operaciones de extracción de minerales. La explotación de yacimientos minerales se basa en la viabilidad de invertir en equipo, mano de obra y energía para extraer, refinar y transportar los materiales encontrados en una mina a los fabricantes que utilizaran el material. Los minerales explotados en minas incluyen: metales, carbón, piedras preciosas, piedra caliza, piedras de dimensión, esquisto bituminoso, creta, halita, potasa, grava y arcilla (*Darling, 2011*).

Figura 44.

Espeleología de subniveles para una minería



Nota. Espeleología de subniveles para una minería subterránea para la explotación oro. *Product Development of a Rock Reinforcing Bolt for Underground Hard Rock Mining.* Obtenido de Tshitema, N. y Kallon, D. (2021), p. 5.

Existen varios métodos de extracción de minerales y la elección del método depende de factores como la topografía, la forma del relleno de minerales en la corteza, denominado filón, la geología y mecánica de las rocas de las capas superiores y los requisitos o limitaciones ambientales. Un factor fundamental es la relación de extracción, es decir, la cantidad de capa de cobertura que hay que eliminar con respecto a la cantidad de minera que se puede extraer. (Hermann, 2012). Las dos categorías de minería moderna son: minas superficiales o a cielo abierto, y minas subterráneas. En la minería de superficie, se explota el suelo para que los minerales cerca de la superficie de la Tierra puedan extraerse y

transportarse a las refinerías para extraer los minerales. La minería a cielo abierto puede ser destructiva para el paisaje circundante, dejando enormes pozos abiertos. En la minería subterránea, los minerales se extraen de las profundidades de la tierra. Los mineros abren túneles en la roca para llegar a los depósitos de mineral. Este proceso puede provocar accidentes que atrapen a los mineros bajo tierra (*Brown, 2022*).

2.2.1.4.1. Minas superficiales

La explotación de las minas a cielo abierto puede realizarse con diferentes técnicas según la topografía, el área de extracción y los factores ambientales. Todos los métodos incluyen la eliminación de la capa de cobertura para poder extraer el mineral. Las operaciones a cielo abierto, aunque suelen ser más seguras que las de minas subterráneas, presentan algunos riesgos específicos: la exposición a gases, ruidos y accidentes por el uso de equipos pesados, lluvias torrenciales, escasa visibilidad, el calor o frío excesivos (*Hermann, 2012*). Además, si utilizan barrenos, equipos pesados, o explosivos, se debe tomar especial precaución durante su almacenamiento y manejo.

En la minería superficial, los depósitos minerales se extraen desde la superficie hacia abajo y a medida que se formen taludes. Los taludes deben ser inclinados en algún ángulo para evitar la falla del macizo rocoso, dicho ángulo deberá cumplir con las condiciones geomecánicas de la mina, el límite superior de la pendiente general, la presencia de caminos de acarreo, o rampas, el posible daño por voladura y los grados de concentración del mineral (*Prakash, 2009*).

Los métodos utilizados para la excavación de minas superficiales son: hidrolavado, dragado, lixiviación, talud (a cielo abierto), barrena, cantera y agujero de gloria.

Tabla 5.

Clasificación de los métodos de minería de superficie

Excavación					
Forma	Características del depósito	Relación de extracción	Manejo de residuos	Excavación	Método de minería
Plana	Cerca de la superficie	Bajo	En el sitio	Hidráulica, cucharón, excavación	Tamizado - Hidrolavado, dragado, En solución (lixiviación) - A profundidad
	Poco profundo	Moderado	Arrojar	Cucharón, excavación, explosión ligera	A cielo abierto - Área, contorno, cima
Inclinada	Moderado	Moderado (Remover pared colgante)	Tajo alto necesario	Taladro	Barrena
			Acarreo (a botadero)	Explosión	A cielo abierto
	Profundo	Alto (Remover tajo colgante y tajo pendiente)	Acarreo (a botadero)	Sierra, perforación de chorro (uniones)	Cantera
Masiwa	Rango completo	Depende de la profundidad	Acarreo (a botadero)	-	A cielo abierto, agujero de gloria

Nota. Clasificación de los métodos de minería de superficie para la explotación de metales. Adaptado de Darling, P. (2011). *Mining Engineering Handbook*, p. 378.

2.2.1.4.2. Minas subterráneas

Es una fábrica situada en el interior de la tierra en la que trabajan los mineros para extraer minerales ocultos en los estratos rocosos. La roca se pica, arranca y barrena para poder acceder y extraer el mineral, es decir, una mezcla de minerales de los cuales mínimo uno es procesable y convertible en producto de comercio. En este tipo de minería también se puede aplicar diferentes métodos, aunque el más común es la perforación de galerías que van desde la superficie al filón de mineral, el uso de máquinas y explosivos son un denominador constante incluso (*Hermann, 2012*). La alta tasa de accidentes en las operaciones de las minas subterráneas sucede por hundimientos por un entarimado deficiente de las galerías y las explosiones e incendios debidos a la acumulación de metano y de niveles inflamables de polvo presentes en el aire.

Tabla 6.

Clasificación de los métodos de minería subterránea

Forma de depósito	Grado de soporte		
	Sin apoyo (rebajes abiertos)	Apoyado	Excavado
Plano (manejo a granel móvil)	Cuartos y pilares, rebajes (galerías) y pilares	Cierto grado de apoyo artificial para cuarto y pilar, y rebaje y pilar	Tajo largo (tajo corto); pilares (especialmente cuarto y pillar)
Inclinado (manejo a granel mixto)	Arriba con raspadores Sección grande de túnel	Arriba con raspadores Sección grande de túnel con apoyo artificial	Tajo largo (difícil)

Continuación de la Tabla 6.

Empinado (manejo granel gravedad)	a por	Hidráulica de carbón	Rebaje por contracción; rebaje de corte y relleno	Excavación de subnivel Rebanado superior (control de dilución y recuperación)
		Rebaje de subnivel	Rebaje enmaderado (series cuadradas, soportes o marcos, gravedad)	
		Retiro de cráter vertical	Relleno según sea necesario	
		Rebaje por contracción	Relleno por gravedad según sea necesario	
Masivo	Inmediatamente encima de minas en cortes verticales		Inmediatamente arriba en elevadores horizontales Hundimiento de bloques (minería a granel)	
	Relleno: colocación por gravedad			
	Para eliminar pilares, puede minar y luego llenar elevadores horizontales			

Nota. Clasificación de los métodos de minería de subterránea basados en la geometría y soporte del depósito de minerales. *Mining Engineering Handbook*. Obtenido de Darling, P. (2011), p. 409.

Al elegir entre métodos de superficie y subterráneos, algunos de los factores que se deben considerar incluyen lo siguiente Darling (2011):

- Tamaño, forma y profundidad del depósito.
- Estructura geológica y condiciones geomecánicas.
- Productividades y capacidades de maquinaria.
- Disponibilidad de mano de obra experimentada.
- Requerimientos de capital y costos operativos.
- Recuperaciones de mineral e ingresos.
- Seguridad y lesiones.
- Impactos ambientales, durante y después de la minería.
- Requisitos y costos de recuperación y restauración.

- Expectativas sociales y culturales.

Figura 45.

Mina subterránea de voladura



Nota. Mina subterránea de voladura y acarreo en Escobal, departamento de Santa Rosa. Adaptado de *Pan American Silver Guatemala* (2023). Consultas indígenas sobre mina de Pan American en Guatemala podrían iniciarse en 2 meses (<https://www.bnamericas.com/es/noticias/consultas-indigenas-sobre-mina-de-pan-american-en-guatemala-podrian-iniciarse-en-2-meses>), consultado 22 de noviembre del 2024.

2.2.2. Industria y comercio

Se le denomina infraestructura industrial a un edificio, o conjunto de edificaciones, dedicado al funcionamiento efectivo de una organización o actividad económica, un espacio diseñado para la elaboración o producción de algún objeto material y el albergue del transporte, maquinaria, equipo y

herramienta que interviene en su proceso. El inmueble a construir puede nombrársele parte de la infraestructura comercial cuando el lugar sirve de simple intermediación para el tráfico o la venta de los bienes (Perrotti y Sánchez, 2011).

2.2.2.1. Complejos industriales

Es una instalación intrincada, constituida por diferentes sectores físicamente separados en áreas, recintos o edificios, en donde se integra no solo las funciones de producción, sino toda actividad auxiliar de la misma, tales como la transformación de energía, el tratamiento de aguas, las redes de transporte y comunicaciones, y los almacenes, entre otros (Casanova, 2008). La ubicación de los complejos industriales, también conocidos como parques industriales, dependiendo si se encuentran fuera o no de las ciudades, suelen localizarse cerca de vías de comunicación como carreteras, puertos secos o marítimos y aeropuertos. En los complejos o parques industriales, empresas de iguales o distintos rubros pueden establecerse. La diferencia entre un parque y complejo industrial radica en su localidad, dentro de las ciudades, en el caso de un complejo, y fuera de las ciudades para un parque; y otra diferencia sería el espacio disponible en su área, que suele ser menor para un complejo respecto al de un parque, por ello los complejos suelen contar con bodegas de crecimiento en altura (Osoy, 2021).

Figura 46.

Vista área del Complejo Industrial Mixco Norte



Nota. Vista área del complejo industrial Mixco Norte. Adaptado de Google Maps. Complejo Industrial Mixco Norte (<https://goo.gl/maps/eZ8p3dbad1MeUEUc6>). Consultado el 23 de octubre de 2020.

La interrelación entre la arquitectura, la construcción y la industria decidirá la tendencia del diseño y los materiales disponibles en la edificación del complejo. Establecer una tipología de complejo industrial es una tarea complicada debido que cada tipo de proceso posee una forma concreta y puede constar de varios subprocesos que por seguridad industrial se deben distanciar reglamentariamente. Asimismo, todo complejo debe cumplir con los requerimientos mínimos de seguridad, protección contra incendios y urbanismo que influyen en la implementación de cualquier complejo industrial. Según Casanova (2008) los principales factores a tomarse en cuenta en el planeamiento de un complejo industrial son: directos: materiales disponibles, distribución en

planta, proceso industrial, limitaciones del terreno, consideraciones estéticas, consideraciones económicas y legislación; indirectos: economía, posibilidad de ampliación, flexibilidad, estandarización, funcionalidad y versatilidad.

2.2.2.2. Naves Industriales

Son el espacio de uso industrial que resguarda la producción y los bienes de una empresa, incluyendo a los trabajadores, el transporte interno y la salida y entrada de mercancías. Cualquier edificio utilizado para almacenar materias primas o para fabricar productos de la industria se conoce como edificio industrial. El área de una nave industrial debe proporcionar suficiente flexibilidad y facilidad para cambios posteriores en el diseño de producción sin alteraciones importantes en el edificio. Los edificios industriales están contruidos con suficiente espacio libre para el uso de una grúa puente.

De acuerdo con la *Commercial Real Estate Development Association* NAIOP (2022), en función de los requerimientos de la industria, existen tres tipos de naves industriales. Las naves industriales de clase A son aquellas que presentan altos estándares de evaluación, representan más del 50 % de las construcciones del mercado inmobiliario industrial y albergan compañías trasnacionales de alto volumen de almacenamiento, manufactura y cadenas de suministro. La calidad de estructura de una nave industrial clase B es menor, representa un 40 % del mercado industrial y asienta compañías nacionales. Por último, la clase C de edificios industriales no presenta estándares de construcción específicos, la falta de acabados es notoria y se usan para procesos de manufactura pesada, procesos contaminantes y no especializados. Algunos de los aspectos técnicos mínimos de cada clase se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla 7.

Aspectos para la clasificación de naves industriales

	Clase A	Clase B	Clase C
Edad	Construcción reciente, menores a 12 años o mayores a 12 años con mantenimiento visible.	Mayores a 12 años con falta de mantenimiento	Mayores a 30 años, sin mantenimiento
Construcción	Mayores a los 2 500 m ²	Menores a 2 500 m ² y mayores a 1 500 m ²	Menores a 1 500 m ² y mayores a 500 m ²
Muros	Tilt-up o prefabricado	Prefabricado o block con lamina de metal o panel en por lo menos 40%	Lamina, ladrillo y con muros expuestos (sin aplanado)
Altura libre	Mínimo de 7.31 o 7.92 m en la parte más baja	Mínimo de 5.80 o 7.00 m en la parte más baja	A partir de 5.50 m
Pisos	6 pulgadas mínimo, 4000 psi	5 pulgadas mínimo, 3500 psi	5 pulgadas y sin refuerzo generalmente
Techos	KR-18 o TPO	KR-18	Lamina metálica sin colconeta termoacústica
Espacio entre columnas	Mínimo 15.20 x 15.20 m	Mínimo 12.20 x 18.00 m	Mínimo 10.50 x 12.20 m
Iluminación	LED, T8, T5	Aditivo metálico o T5	Aditivo metálico
Oficinas	Mínimo 5%	Menos a 5%, generalmente 3%	Sin proporción y generalmente no se cuentan con espacio para las mismas
Ventilación	HVAC o 5 cambios por hora	3 cambios por hora o inexistentes	No existe

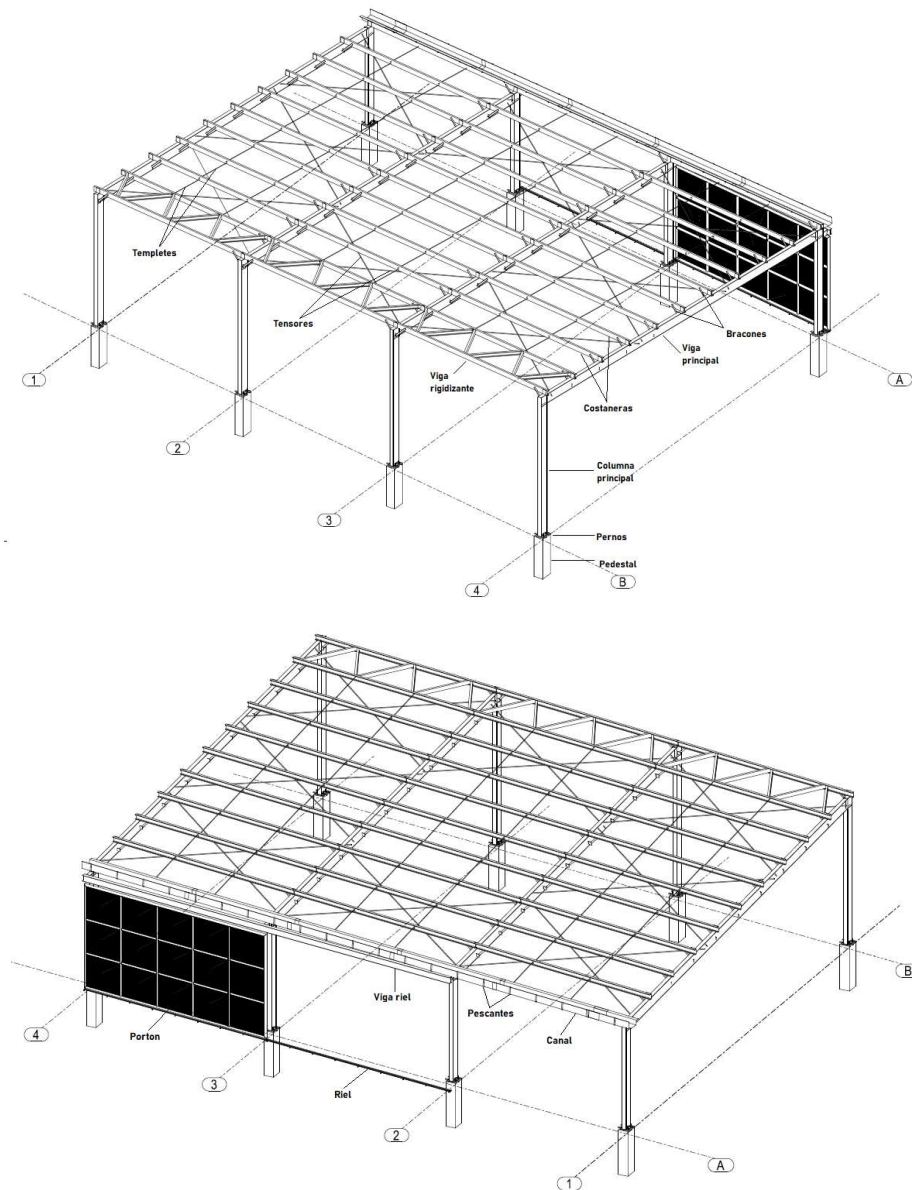
Continuación de la Tabla 7.

Ubicación	Parque industrial o zona industrial con infraestructura adecuada	Zona industrial con infraestructura existente, pero con ciertas limitantes en suministro de agua, energía eléctrica o mano de obra	Zona industrial con poca infraestructura o dentro de zonas conurbadas a áreas habitacionales
Andenes	Rampas niveladoras de mínimo 30 000 lbs y con mínimo 30 m lineales para maniobras	Rampas niveladoras de mínimo 25 000 lbs y con mínimo 20 m lineales para maniobras de por lo menos camiones de 3 1/2 ton	A nivel de piso, sin rampa niveladora en algunos casos solo el edificio cuenta con una rampa de concreto
Estacionamiento	1 espacio por cada 4 000 m2 de almacén 1 espacio por cada 250 m2 de producción 1 espacio por cada 40 m2 de oficina	1 espacio por cada 6 000 m2 de almacén 1 espacio por cada 500 m2 de producción 1 espacio por cada 80 m2 de oficina	Desde 1 espacio por la totalidad del edificio pudiendo ser a nivel de calle, terracería o dentro del edificio

Nota. Aspectos mínimos para la clasificación de naves industriales de estructura metálica. Obtenido de Commercial Real Estate Development Association (NAIOP, 2023).

Figura 47.

Plano isométrico de una nave industrial



Nota. Plano isométrico de una nave industrial fabricada de estructura metálica. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

A partir de 20 m de luz entran en competencia los sistemas de construcción prefabricada de hormigón y de acero, para valores de 30 m en adelante. La dimensión transversal es determinante para elegir el tipo de estructura. En naves a base de pórticos a dos aguas, en términos generales, puede afirmarse que 30 o 40 m de luz son valores frecuentes, incluso se ha llegado a superar 100 m. Según la *American Institute of Steel and Concrete* (AISC), las filosofías de diseño frecuentemente utilizadas para estructuras metálicas son: *Load and Resistance Factor Design (LRFD)* o *Allowable Strength Design (ASD)*; aunque en la actualidad predomina el diseño LRFD porque permite una mejor y más económica utilización de los materiales. Tanto en el diseño de estructuras de concreto armado o acero, las cargas combinadas a considerar son: carga muerta, carga viva, carga sísmica, carga por presión de líquidos, carga por presión lateral del suelo, carga de techo, carga de lluvia y carga de viento.

En cuanto al montaje de estructuras metálicas el proceso constructivo es recomendado iniciar por marcos de rigidez longitudinales y transversales, junto con costaneras o correas, luego vigas y columnas secundarias, breizas y templetes, tensiones, o también conocidos como accesorios, y, por último, los canales y pescastes, y laminación.

2.2.2.3. Bodegas

Similar a las naves industriales, pero de menor tamaño, una bodega o almacén industrial es un edificio dedicado al almacenamiento, es decir, un área de guardado, categorización, protección y control de bienes, y, generalmente, se caracteriza por tener estructuras de acero de una sola planta sin entresijos. Los cerramientos de estas estructuras pueden ser de mampostería de ladrillo, muros de hormigón o revestimientos de chapa, estructuralmente no portantes, pero sí lo suficientemente fuertes para soportar las fuerzas laterales causadas por el

viento o un terremoto. En este tipo de lugares no hay procesos productivos, las bodegas no son consideradas parte de una cadena de abastecimiento o aprovisionamiento, su función primordial es proteger y guardar productos que se destinen a ellas (Leal, 2018).

El diseño de una bodega incluye el diseño de los elementos estructurales, incluidos la armadura del techo, las columnas y pedestales, las costaneras o las correas, los templetes o las varillas de pandeo, las tensiones o tirantes, las vigas de grúa, las *breizas* o arriostramientos, entre otros. Una combinación de secciones estándar, laminadas en caliente, conformadas en frío, chapas perfiladas y varillas de acero se utilizan para la construcción de estructuras metálicas en bodegas (Meera, 2013).

Figura 48.

Construcción de bodega en Valle del Sol



Nota. Construcción de bodega de estructura metálica combinada con tabiques de muro de bloque en zona 4 de Mixco. Elaboración propia.

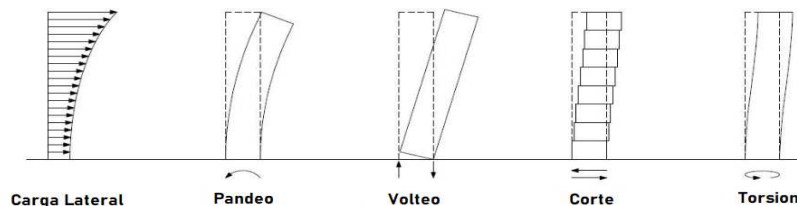
2.2.2.4. Torres Comerciales

Una torre o edificio comercial o, algunos casos también llamado torre de oficinas, es un tipo de edificación que se utiliza como centro de negocios, que contiene muchos espacios denominados oficinas. Las torres de oficinas en particular requieren de una gran variedad de tipos de instalaciones que incluyen: espacios de recepción, salas de trabajo, salas de reunión, salas de almacenamiento, salas de equipos de comunicación, salas de conferencias, unidades sanitarias, pasillos, entradas, estacionamientos, cafetería, escaleras y espacios para equipos especiales, e inclusive combinación con viviendas. El espacio de una oficina depende del uso que se les brinde, en los espacios de oficina existe lo que llamamos estación de trabajo, es decir, una unidad de mobiliario utilizada para laborar; el mobiliario, los equipos, las áreas de movimiento y las personas controlarán las áreas del espacio es sus estaciones de trabajo (Haj Hussein, 2013).

Los sistemas estructurales utilizados comúnmente para la construcción de torres son los marcos de concreto reforzado o acero, los muros o armaduras de acero de corte, las armaduras estabilizadoras horizontales, las breizas o tubos rígidos arriostrados y los sistemas de voladizos, o la combinación entre ellos. El principal problema para la estabilidad de una edificación de altura se ha determinado es el viento y los terremotos. Los efectos de la carga lateral en la estructura del edificio se magnifican drásticamente para edificios de más de 60 niveles. Los edificios de hasta 10 pisos diseñados para carga por gravedad generalmente pueden soportar la carga del viento sin ningún aumento en las tensiones de diseño (Khajehpour, 2001).

Figura 49.

Esfuerzos debido a cargas laterales

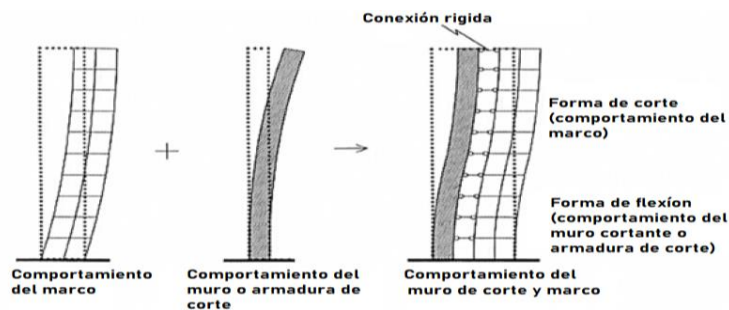


Nota. Esfuerzos producidos por cargas laterales aplicadas a edificios altos. Adaptado de Poon, D. (2004). *Structural Systems for Tall Concrete Tower*, pág. 7.

A través del tiempo y a nivel mundial, el desarrollo del acero condujo a su uso como el material preferido para estructuras de gran altura y en respuesta a la problemática de los efectos de resistir cargas laterales, la ingeniería civil ha encontrado que la combinación de los muros de corte y marcos rígidos han sido el principal sistema estructural utilizado en edificios de gran altura. Cabe mencionar, los muros de corte no solo cargan el corte lateral, sino las cargas gravitacionales impuestas en ellos y habitualmente se ubican alrededor de los núcleos de servicios y ascensores y huecos de escaleras (Erbe, 2021).

Figura 50.

Sistema de interacción muro de corte y marco rígido



Nota. Esfuerzos producidos por cargas laterales aplicadas a edificios altos. Adaptado de Poon, D. (2004). *Structural Systems for Tall Concrete Tower*, p.12.

En términos generales, los edificios con sistemas de armadura de acero de marco rígido pueden ser más económicos para edificios medianos de hasta 20 niveles; con armadura de acero de corte vertical en el núcleo central del edificio puede ser económica para edificios de hasta 40 pisos; y una combinación de armaduras de corte verticales centrales con armaduras estabilizadoras horizontales es más adecuada para hasta 60 pisos, siendo esta la forma más común de estructura de edificio alto. Para edificios aún más altos, se vuelve esencial transferir todas las cargas de gravedad al marco exterior para evitar efectos de vuelco. Se han desarrollado tubos rígidos, tubos arriostrados y estructuras de tubos agrupados para alcanzar más de 100 pisos (Ali y Al-Kodmany, 2022). Los sistemas de cimentación en edificios, al igual que para muchas de las estructuras anteriormente vistas, son la combinación de zapatas combinadas y pilotes.

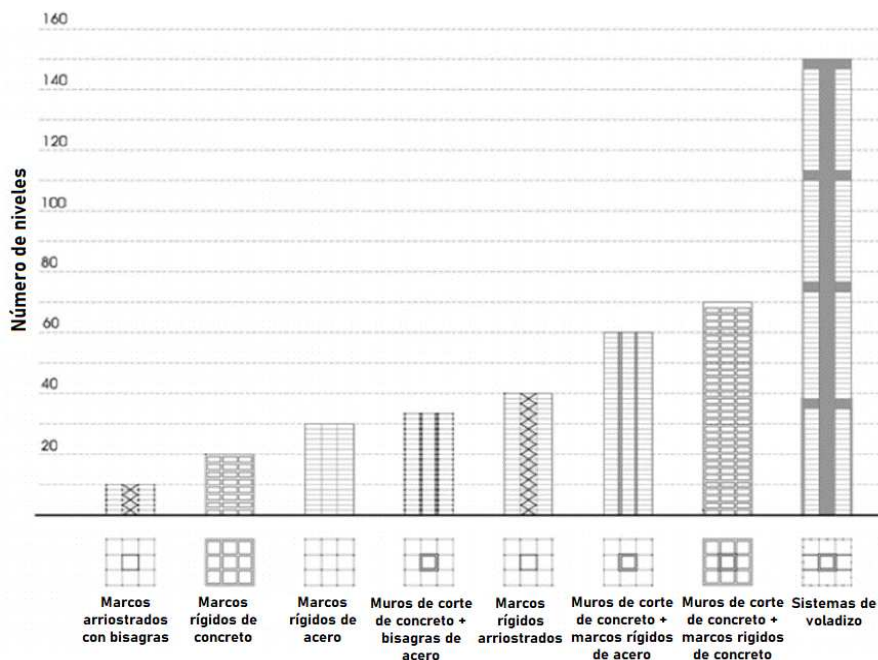
Asimismo, en complementación a los sistemas estructurales esenciales, existen subsistemas con el propósito de ayudar a la disipación del esfuerzo creado por cargas laterales, entre algunos de ellos podemos mencionar: sistemas resistentes a cargas verticales, sistemas de piso o columnas, sistemas resistentes a la carga horizontal, juntas estructurales y sistemas de disipación de energía o amortiguadores.

Según Haj Hussein (2013), el sistema estructural aplicado a un edificio se puede dividir en dos categorías principales: estructuras exteriores y estructuras interiores. Esta categorización se basa en la distribución de cargas laterales sobre el edificio a través los componentes del sistema resistente. Un sistema se denomina estructura interior si la mayor parte del sistema resistente a la carga lateral se encuentra dentro del interior del edificio y si la mayor parte del sistema resistente a la carga lateral se encuentra en el perímetro del edificio, se denomina estructura exterior. Los dos tipos básicos de sistemas resistentes a cargas

laterales en la categoría de estructuras interiores son los marcos resistentes a momentos y las armaduras o muros de corte, además, otro sistema muy importante en esta categoría es la estructura en voladizo soportada por un núcleo, que se usa mucho para edificios súper altos. El sistema de voladizos es una modificación de los sistemas de corte y marco con núcleo, en este sistema algunas columnas perimetrales están conectadas al núcleo por medio de un voladizo o conexión rígida. Para generar suficiente rigidez, los voladizos tienen al menos un piso de altura y forman una viga en I con las losas adyacentes. En los edificios altos, es mejor concentrar la mayor cantidad de componentes del sistema resistentes a cargas laterales en el perímetro de los edificios.

Figura 51.

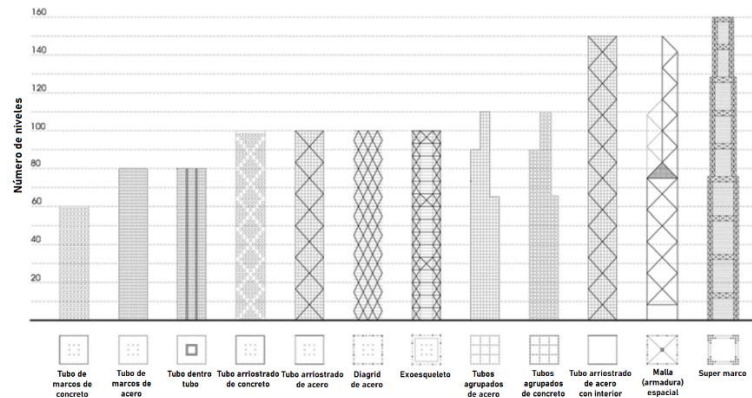
Estructuras interiores en edificios de altura



Nota. Configuración estructural interior en edificios de altura. Adaptado de Haj Hussein, M. (2013). *Office Building Project*, p. 34.

Figura 52.

Estructuras exteriores en edificios de altura

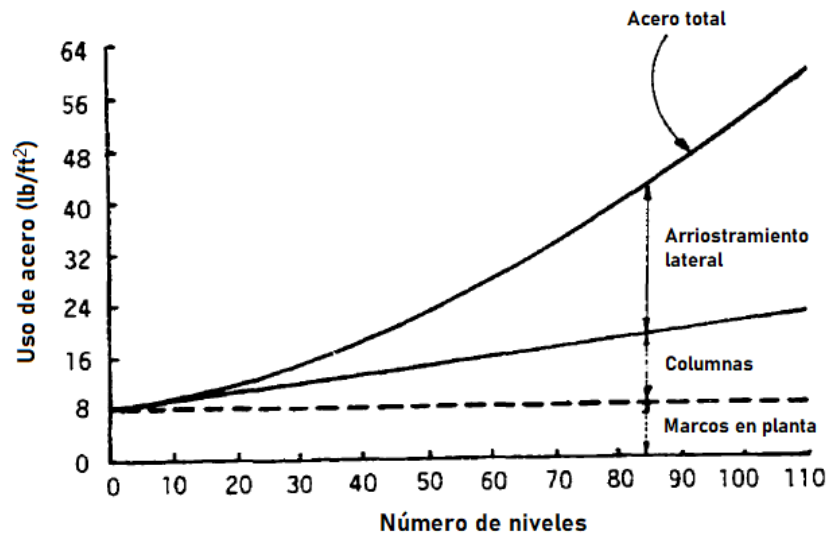


Nota. Configuración estructural interior en edificios de altura. Adaptado de Haj Hussein, M. (2013). *Office Building Project*, p. 35.

A medida que aumenta la altura de una torre de oficinas, el diseño de su sistema estructural se vuelve cada vez más especializado y complejo. Se debe considerar una variedad de factores en el proceso de selección del sistema estructural más adecuado para un edificio de gran altura. Los edificios de hasta 10 niveles, diseñados para carga por gravedad generalmente, pueden soportar la carga del viento sin ningún aumento en las tensiones de diseño para la carga combinada. Para edificios de más de 10 niveles, el material adicional requerido para la resistencia a la carga lateral aumenta de forma no lineal con la altura, de modo que para edificios de 50 niveles y más, la selección de una forma estructural adecuada puede ser crítica para la economía y la viabilidad de la construcción. La eficiencia entre diferentes estructuras se puede comparar aproximadamente por su peso por unidad de área de piso. El peso de la estructura del piso está influenciado principalmente por la luz del nivel y es independiente de la altura del edificio, mientras que el peso de las columnas, considerando solo la carga de gravedad, es aproximadamente proporcional a la altura del edificio (Khajehpour, 2001).

Figura 53.

Uso de acero en edificios altos



Nota. Relación uso de acero vs. número de niveles de edificios de altura. Adaptado de Khajepour, S. (2001). *Optimal Conceptual Design of High-Rise Office Buildings*, pág.45.

2.2.2.5. Centros comerciales

Se denomina edificación comercial a aquella destinada a desarrollar actividades cuya finalidad es la comercialización de bienes o servicios. Un centro comercial es una edificación que agrupan un conjunto de locales comerciales, tiendas por departamentos u oficinas con la finalidad de ofrecer la compra y venta de bienes, productos y/o servicios. Se caracterizan por ubicarse en un edificio grande y de arquitectura refinada que no está conectado con otros edificios y que tiene buena conexión vial, grandes parqueaderos y generalmente dos o tres pisos comerciales (BAMBÚ, 2023). Su clasificación es en dos categorías: centros comerciales cerrados, malls, y centros comerciales abiertos, *strip mall*, o bien, plazas comerciales; y a su vez sub dividirse en centro vecinal, comunal o región,

según su función. Un centro comercial necesitará un gran muelle de carga y descarga para los envíos de productos, equipos y alimentos en los camiones, y puede que incluso necesite más de uno, según la distribución de su centro comercial.

Los siguientes criterios deben tenerse en cuenta al planificar y diseñar un centro comercial:

- Análisis geográfico y climático
- Descripción socio-económica de la ciudad
- Análisis vial regional
- Tipología de techos
- Distribución del centro comercial
- Zona de muelles de carga
- Aparcamiento
- Tecnología constructiva
- Estructura verde

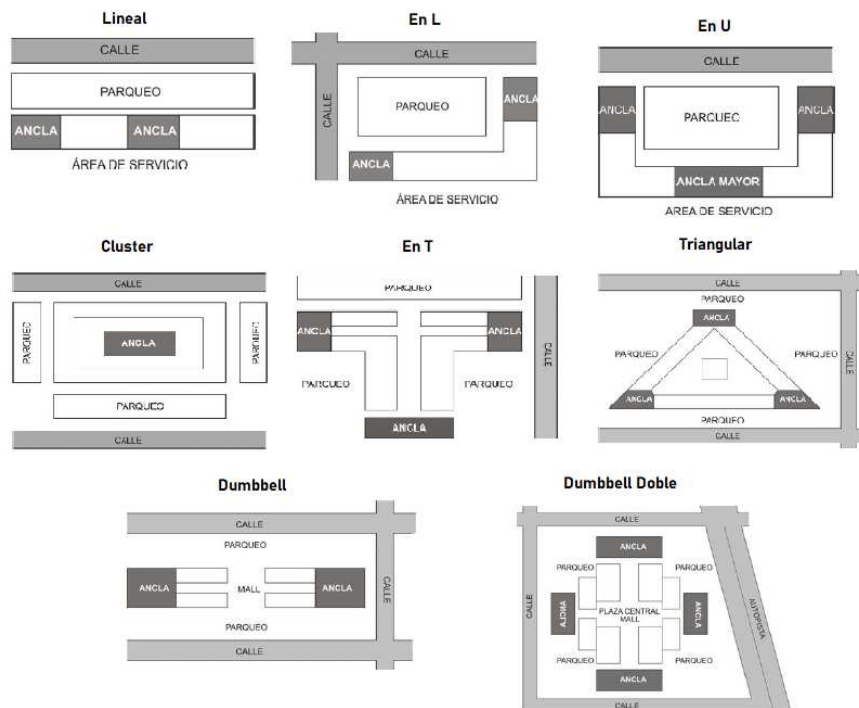
Acorde a Bautista (2006), la clasificación por patrón de los centros comerciales en Guatemala es la siguiente:

- Lineal: cuando se realiza en línea recta los comercios con áreas de parqueo por el frente y una calle de servicios por atrás.
- En L: es con una franja de tiendas situadas perpendicularmente, e parqueo se sitúa al frente y el área de servicio en la parte posterior, las anclas, o comercios de mayor afluencia comercial, se encuentran a los extremos.
- En U: es un centro lineal con dos franjas situadas a los extremos, parqueo en la parte interior central, servicios en el exterior y anclas al centro y extremos.

- *Cluster*: los comercios forman un rectángulo alrededor del núcleo, el parqueo se sitúa al exterior, en sus lados, y los servicios por medio de bahías o túneles. El ancla se encuentra en el núcleo.
- En T: diseñado para acomodar tres anclas en cada extremo, los parqueos se ubican en sus alrededores, los servicios función en bahías o túneles, puede ser abierto o cerrado y de más de un nivel.
- Triangular: cuenta con tres anclas, aplicable a terrenos no rectangulares, el parqueo se localiza en los alrededores y puede contar con más de un nivel.
- *Dumbbell*: compuesto por franjas de tiendas situadas una frente a otra, con dos anclas a los extremos. Es dos centros en forma de U uno frente del otro. Pueden ser de más de un nivel y sus parqueos son ubicados a sus alrededores. Es un centro tipo *mall* abierto o cerrado.
- *Dumbbell* doble: está formado por dos centros tipo *Dumbbell*, cruzando el uno con el otro. Acomoda cuatro anclas, los estacionamientos se encuentran alrededor y los servicios son en bahías y túneles.

Figura 54.

Clasificación por patrones de centros comerciales



Nota. Clasificación por patrones de centros y plazas comerciales. Adaptado de Bautista, G. (2006). Centro Comercial Municipal, p.17-18.

La tecnología constructiva de estas edificaciones, iniciando desde los cimientos, suele apoyarse sobre zapatas simples o combinas y, en el caso de encontrarse suelos sin cohesión, pilotes de apoyo; el sistema constructivo comúnmente utilizado son marcos rígidos de concreto con armaduras de acero en el techo.

2.3. Infraestructura social

La infraestructura social se brinda en respuesta a las necesidades de las comunidades. Mejoran la calidad de vida, la equidad, la ley y el orden, la

estabilidad. y bienestar social a través del apoyo comunitario; seguridad y protección; deportes; recreación y cultura; justicia; alojamiento; salud y educación (Nesbitt, 2001). La infraestructura social se puede clasificar en términos generales como: salud, apoyo individual, familiar y comunitario, educación; arte y cultura; información; deporte y recreación; alojamiento; desarrollo comunitario; empleo y formación; seguridad pública y legal; servicios de emergencia; y transporte público y comunitario (Casey, 2005).

Dentro del ámbito de la ingeniería civil los aspectos que se pueden evaluar de la infraestructura social son: la gestión de aguas residuales, el abastecimiento de agua potable y la edificación de viviendas, centros educativos, hospitales y áreas recreativas.

2.3.1. Sanitaria

El Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (2009), describe la infraestructura sanitaria es la protección del medio ambiente empleado medidas conforme a las posibilidades brindadas por la economía, la sociedad y la política. Proporciona una perspectiva inicial sobre las normas básicas para el diseño de proyectos de abastecimiento de agua y alcantarillado, y tratamiento de agua residual, contemplando aspectos relativos al origen, recolección, conducción y bombeo de cuerpos de agua.

2.3.1.1. Alcantarillas

Son el medio por donde se evacua, transporta y, en algunos casos, se tratan los desechos líquidos y sólidos, excretas y otras sustancias de una población o industria desde su punto de emisión hasta un colector o un sistema de tratamiento efectivo. Los sistemas de drenaje urbanos están diseñados

principalmente para que los conductos sean subterráneos y no se vean afectados por los flujos de transporte en la superficie, por lo que se usan tuberías de materiales como el concreto, acero, el policloruro de vinilo (PVC), el material más frecuentemente utilizado, y el polietileno de alta densidad, para tubería corrugada. Los parámetros considerados en el diseño de sistemas de drenaje son: población, dotación, caudal sanitario, factor de retorno y velocidad de arrastre. El diámetro de las tuberías para sistemas de alcantarillado de flujo sanitario suele ser de 6" en PVC, hasta 8" o 10" en tubería de concreto, y cuando el sistema conduce aguas de lluvia, es decir, sistemas pluviales, comúnmente se utiliza 8" en PVC y 10" en tubería de concreto (Melini, 2015).

Tabla 8.

Criterios de diseño de alcantarillados de bajo costo

Tipo de alcantarillado	Criterio	Diámetro	Pendiente	Velocidad	Densidad Poblacional	Dotación
Simple	Población de bajos ingresos, $0.20D < h/d < 0.80D$	0.1524 m (6")	0.007 m/m		150 hab/ha	$\leq 60 \text{ l/hab/d}$
		0.1016 m (4")	0.0045 m/m			
Diámetro pequeño	Tanque interceptor con periodo de retención de 12 a 24 horas	0.1016 m (4")			10 a 100 casas	$\leq 30 \text{ l/hab/d}$
		0.0762 m (3")				
Condominal	$0.20D < h/d < 0.80D$	$\leq 0.1524 \text{ m (6")}$		0.45 m/s	<1ha	$\leq 60 \text{ l/hab/d}$
				0.5 m/s		

Nota. Criterios de diseño de alcantarillados de bajo costo. Guía de Normas para la Disposición Final de Excretas y Aguas Residuales en Zonas Rurales de Guatemala. Obtenido de Instituto de Fomento Municipal (INFOM, 2011), p.48.

De acuerdo con el Instituto de Fomento Municipal (2011), dentro del sistema de alcantarillado existen obras complementarias que se debe considerar para el funcionamiento correcto de mismo. A continuación, se encuentran algunas de las obras básicas en sistemas de alcantarillado, junto con algunas de sus especificaciones técnicas:

- Conexiones domiciliarias: se componen de dos elementos, candelas y acometidas. Una candela es aquella estructura que recibe las aguas de un predio de casas, suelen tener un diámetro de 16" y profundidad mínima de 1 m, y la acometida es la conexión hacia el colector, a 45° de la horizontal, con una pendiente de 2 % y diámetro de 4" o 6".
- Tragantes: son las estructuras de concreto o de mampostería que se encuentran situadas en las calles con el propósito de captar el agua de lluvia y conducirlo a las alcantarillas pluviales y se localizan en las partes bajas de un sistema de alcantarilla o tramo de tubería. Suelen ubicarse a 3 m de la orilla de la acera de esquina y se construyen cuando el tirante de agua alcanza 0.10 m. Los tragantes de acera se localizan por lo menos 100 m bajo una calle impermeabilizada. Para su diseño se debe considerar el coeficiente de escorrentía, la intensidad de lluvia y el área tributaria.
- Tanques de lavado: son tanques situados en las aceras que captan agua y la incorporan hacia conductos, sirven para descargar mayor caudal e incrementar la velocidad en tramos con velocidades menores a 0.6 m/s. De igual manera se utilizan en colectores.
- Cajas: tal como su nombre lo indican con estructuras cuadradas o rectangulares que sirven para hacer un cambio de dirección en la corriente de las tuberías, la unión de tuberías o hacer limpieza. Frecuentemente, las dimensiones de una caja se encuentran entre 0.25 y 0.60 m con una profundidad de hasta 1.20 m.

- Tubos de ventilación: extraen gases del sistema y oxigenan el agua que corre en sus conductos. En casa unifamiliares no son necesarias, pero en edificios de varios niveles sí es requerido debido a que usan pendientes muy bajas, generalmente, se ocupa tubería de 3" para estas tuberías.

2.3.1.2. Colectores

Son tuberías por las que se conduce el flujo de un sistema de alcantarillado, ya sea sanitario o pluvial, y se dirigen hacia un sistema de tratamiento de aguas que se encuentre alejado del punto de emisión. Funcionan como canales abiertos en los cuales la sección del conducto nunca trabaja completamente llena. La velocidad promedio de diseño de colectores se encuentra en 0.60 y 3.00 m/s y para sistema de diámetros pequeños de PVC entre 0.40 y 4.00 m/s (Melini, 2015).

Al igual que en los sistemas de alcantarillado, en los colectores existen obras complementarias que se deben contemplar para su adecuada funcionalidad. Algunas de las estructuras son:

- Pozos de visita: se utilizan para verificar el buen funcionamiento, realizar limpieza y dar mantenimiento a los colectores. Suelen construirse de concreto o mampostería, poseen una sección circular de 1.20 m, en forma de cono truncado con tapadera de 0.60 m, se colocan cada 100 m de tubería y se ubican en cualquier cruce entre dos o más tuberías, algún cambio de pendiente y/o cambio de tubería.
- Derivadores de caudal: sirven para separar el caudal en forma controlada y evitar daños a los pozos, puede utilizarse para separar caudales combinados, drenaje sanitario y pluvial, y volverlos separativos, sanitario o pluvial.

- Disipadores de energía: se utilizan para eliminar la energía cinética y potencial en el agua para evitar daños a los pozos y tuberías. El disipador se puede ubicar dentro de un pozo en forma de cortinas, utilizando bandejas sobrepuestas que obligan al flujo a descender en forma de zigzag, o con baffles, en forma de espiral con una base ancha y punta angosta, similar a una turbina. En sistemas pluviales, en algunos casos, se usan escaleras como disipadores de energía, gradas con una huella de 0.90 m y contrahuella entre 0.07 y 0.30 m.

2.3.1.3. Plantas de tratamiento de aguas residuales

Es aquella estructura sanitaria que realiza la limpieza de las aguas residuales antes de que sean devueltas al medio ambiente. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se encargan de la eliminación de sólidos, desde materiales plásticos u orgánicos hasta las arenas, y las partículas químicas más pequeñas que se encuentran en las aguas residuales (Ávila, 2022).

El sistema de tratamiento de aguas dentro de una planta consiste en la secuencia de procesos que dependen de las características del agua residual a tratar y del grado de purificación requerido según los niveles de contaminación permitidos por la legislación, lo que depende fuertemente del lugar y el cuerpo receptor donde se descargara el efluente.

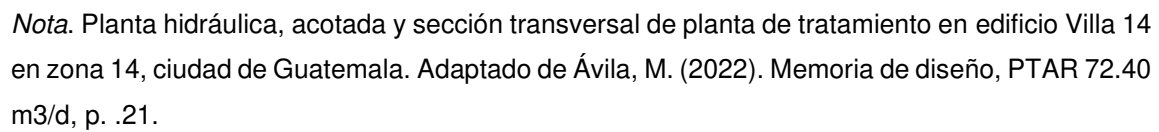
La secuencia de los procesos en una planta consiste en una serie de tratamientos a las aguas residuales. Los tratamientos previos y primario acondicionan el afluente, eliminando por métodos físicos a los elementos que causen daño al equipo o proceso subsiguiente, dentro de estos procesos se puede mencionar la estabilización del caudal, el ajuste del pH, coagulación y floculación. Los tratamientos secundarios incluyen procesos biológicos y

químicos, tratamientos por barro activado, anaeróbicos, de percolación con filtros biológicos, sistemas de lecho fluidizado, lagunas aireadas, humedales, entre otros; este tratamiento comúnmente se realiza en un reactor tubular o una serie de reactores de mezcla completa en los que el efluente del tratamiento primario entra en contacto con el líquido que contiene los microorganismos del proceso elegido. Por último, los tratamientos terciarios y cuaternarios son procesos de refinamiento y se utilizan solo en caso de necesidad, algunos de tratamiento utilizados en estos procesos son la filtración, lagunaje, la desinfección con cloro u ozono y la precipitación química de fósforo con sales de hierro (Alasino, 2009).

Para el diseño adecuado de una planta de tratamiento de aguas residuales, es necesario analizar algunos de los siguientes parámetros: origen y características de las aguas residuales, carga contaminante y habitantes equivalentes, esquema de depuración y cálculos hidráulicos; el diseño abarcará el dimensionamiento de canales de entrada, pozos, desbastes, desarenador, desengrasador o tanques Imhoff, para tratamientos primarios, tamices, decantadores, modelos de reactores anaerobios y lodos primarios, para tratamientos secundarios, y equipos aireadores y filtros percoladores, para tratamientos terciarios (Lozano, 2012).

En la Figura 55, se puede observar el proceso hidráulico de una planta de tratamiento aeróbico de aguas residuales por medio de lodos activados, ubicada en el edificio de apartamentos Villa 14 en Ciudad de Guatemala, de 72.40 m³/d con una Demanda Bioquímica de Oxígeno por día de 21.75 kg. Cumpliendo con el Acuerdo Gubernativo 236-2006 de Guatemala, que contienen los límites de Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO₅, y de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

Planta hidráulica, acotada y sección transversal de PTAR

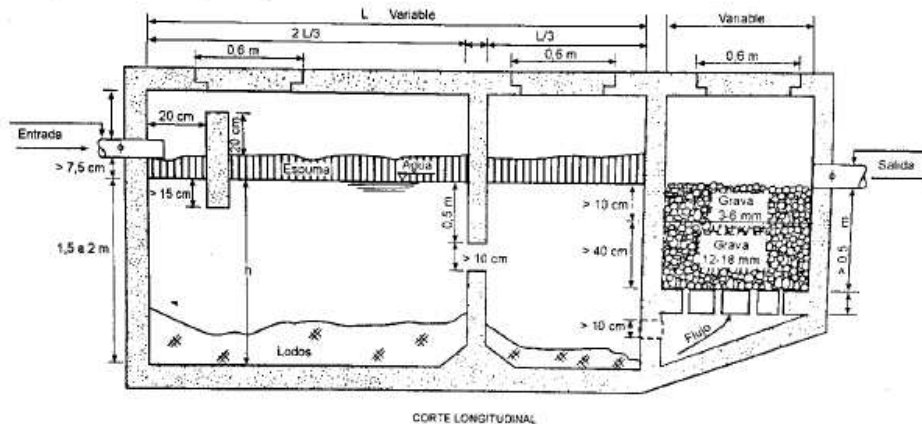


2.3.1.4. Fosas sépticas

Acorde al Instituto de Fomento Municipal (2011), este tipo de estructura sanitaria no se usa para grandes poblaciones, debido a ser un tratamiento primario únicamente. Su función es sedimentar los sólidos y deberá contar con un sistema de filtración por medio de pozos y zanjas para completar el tratamiento. Cuando el caudal de aguas residuales oscile entre 1900 y 5700 l/d y la capacidad deberá mínimo ser igual a la afluencia de un día y medio. Cuando el caudal oscile entre 5700 y 37850 l/d, la capacidad útil mínima deberá ser de 4260 l, más el 75% de la afluencia diaria. Si el caudal supera los 37850 l/d, es preferible utilizar tanques *Imhoff*.

Figura 56.

Sección transversal de fosa séptica



Nota. Sección transversal de fosa séptica de dos compartimientos. Adaptado de Lozano, W. (2012). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales, pág.170.

Algunos de los criterios para diseñar una fosa séptica son: la relación entre el largo y el ancho comprende entre 2:1 y 5:1, el ancho no debe ser menor a 0.60 m y la profundidad neta no menor a 0.75 m, el diámetro mínimo de entrada es de

4" y el de salida de 3", el nivel de la tubería de salida deberá estar al menos a 0.05 m por debajo de la tubería de entrada y no mayor a 1 m, los dispositivos de entrada y salida serán tees, el fondo de las fosas sépticas tendrá pendiente de 2 % orientada hacia el punto de ingreso del líquido, el techo deberán ser losas removibles de 0.60 x 0.60 m, y, cuando sea de dos o más cámaras, el volumen deberá ser entre 50 y 60 % de sedimentación (Melini, 2015).

2.3.1.5. Pozos y zanjas de absorción

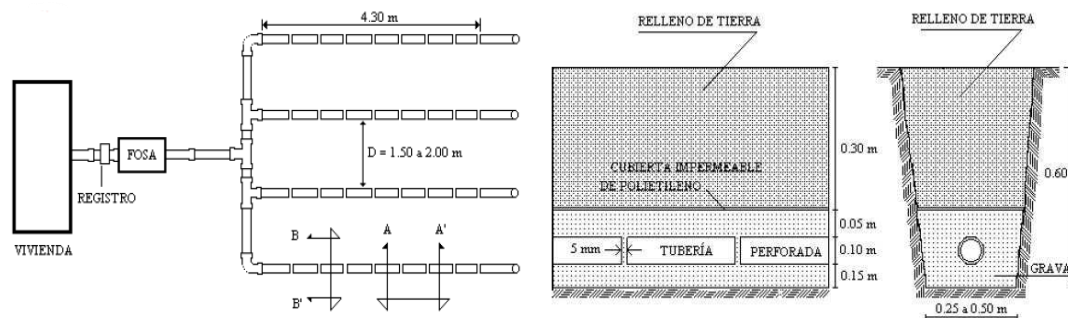
Son considerados un tratamiento secundario. Dichos sistemas proporcionan al agua un tratamiento físico y biológico a través de la infiltración en un medio poroso.

Los pozos de absorción son estructuras revestidas con grava por el que penetra el agua y se filtra en el suelo del área donde se ubique. Son sistemas verticales de infiltración al subsuelo provenientes de una fosa séptica. Las dimensiones y número de pozos necesarios dependerán de la permeabilidad del terreno y se diseñarán de acuerdo con la experiencia que se tenga en la región. Debe mantenerse una distancia mínima de 1.50 m entre el nivel freático y el desplante de la capa de grava del fondo del pozo. Un pozo suele tener entre 4 a 6 m de profundidad, aproximadamente 1 m de diámetro y a una distancia segura de 30 m de las fuentes de agua y una distancia entre pozo y pozo del diámetro del pozo. La capa de relleno alrededor del pozo debe tener un espesor mínimo de 15 cm (INFOM, 2011).

Por otro lado, las zanjas de absorción son un método ideal para casas pequeñas y consiste en disipar las aguas negras en la superficie del terreno utilizando juntas abiertas enterradas de 5 mm dentro del conducto, de este modo el efluente se depura naturalmente.

Figura 57.

Detalles de zanjas de absorción



Nota. Detalle de zanjas de absorción y drenaje francés. Guía de Normas para la Disposición Final de Excretas y Aguas Residuales en Zonas Rurales de Guatemala. Obtenido de Instituto de Fomento Municipal (INFOM, 2011), p. 71.

2.3.1.6. Letrinas

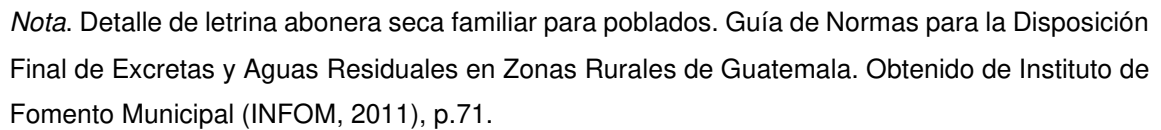
Es un elemento destinado a la disposición de excretas con la finalidad de proteger la salud y evitar la contaminación ambiental. Los siguientes tipos de letrinas se consideran las tecnologías más comunes y presentes hoy en día (INFOM, 2011).

- Letrina foso seco: es el tipo más sencillo y consiste en un hoyo en el cual se coloca una taza y una caseta de privacidad. Se recomienda en lugares de poca densidad poblacional, áreas sin riesgo de inundación, nivel freático profundo o alejado de fuentes de agua y terrenos arenosos. Poseen una vida útil de 5 años, ocupan hasta un volumen de lodos de 60l/hab/año, poseen un rango de profundidad de 2 a 4.50 m y broca de altura mínima de 0.25 m.
- Letrina abonera seca familiar: se construye cuando el tipo de suelo es difícil de excavar, el manto freático es superficial o cuando el terreno es

muy impermeable. Este tipo de estructura cuenta con una recámara instalada sobre nivel del suelo que consta de dos compartimientos con el objetivo de sellar cuando este se llene, luego de 6 meses estas heces pueden ser utilizadas como abono. El volumen de lodos para este tipo de letrinas es de 75l/hab/año. En la Figura 58, se puede observar su detalle.

- Letrina con colector solar: es una modificación a la letrina abonera, solo que presenta una sola cámara prolongada 60 cm fuera de la caseta con tapadera de lámina de metal o de fibra de vidrio negro, para generar aceleración en el secado de las heces. Cada 15 días se aconseja limpiar la cámara. Son utilizadas en áreas de nivel freático muy bajo y terrenos impermeables.
- Letrina con arrastre hidráulico: se recomienda para lugares con disponibilidad de agua, nivel freático profundo y de permeabilidad media. Cuenta con una cámara séptica dividida en dos partes: una fosa impermeable para retener los sólidos y una fosa permeable para filtrar los líquidos, actuando similar una fosa séptica, pero a pequeña escala.

Detalles de letrina abonera seca familiar



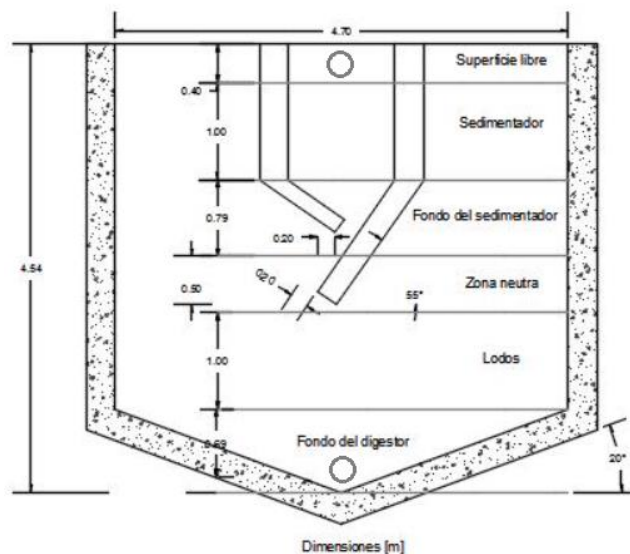
Es un tipo de tanque de doble función, la recepción y el procesamiento para aguas residuales. Se presentan de distinta forma, aunque usualmente se diseñan rectangulares o circulares. Disponen de una cámara interna y superior por las que pasan las aguas negras en su periodo de sedimentación, para luego recibir la materia por gravedad en la cámara inferior donde permanece asentada para su digestión anaeróbica (Donoso, 2017).

117

donde permanecen 30 días aproximadamente y luego son retirados mediante una tubería de extracción de lodos hacia el siguiente tratamiento. Los gases provenientes de la digestión suben y son liberados mediante ventosas de gas (Melini, 2015).

Figura 59.

Sección transversal de un tanque Imhoff



Nota. Sección transversal de un tanque Imhoff de tratamiento primario. Obtenido de Donoso, G. (2017). Diseño tanque *Imhoff*, p.156.

2.3.1.8. Sistema de agua potable

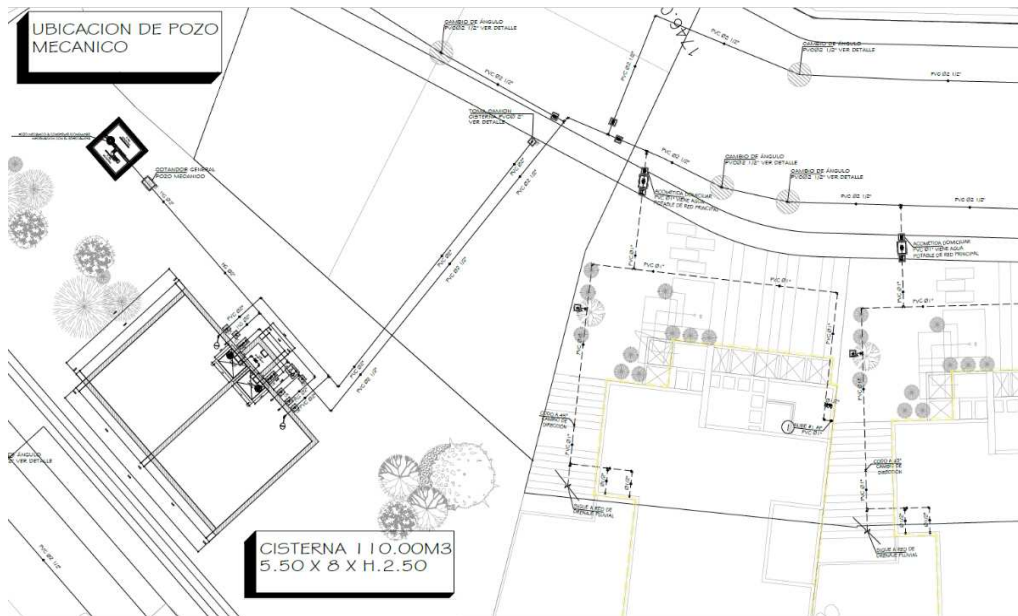
Se conforman por dispositivos encargados de transportar el agua desde el punto de captación hacia el almacenamiento o distribución. Las tuberías de conducción de agua potable trabajan a presión utilizando gravedad o una bomba. Los sistemas de agua potable pueden contar con más de una línea de distribución hacia las comunidades.

El proceso de un sistema de agua potable inicia con la captación del agua de la fuente a utilizar, es decir, un río, lago, manantial o pozo, luego el agua es transportada mediante líneas de conducción hacia el punto de purificación, donde el agua se conviene en apta para el consumo humano, tratamiento basado en el Acuerdo Gubernativo 178-2009. Después de ser purificada el agua se conduce a tanques de distribución que son depósitos diseñados para suplir la demanda en horas de máximo consumo, ya sean tanques elevados o cisternas, y mediante las tuberías de distribución llevar el agua al consumidor. En el proceso de conducción puede existir obras auxiliares como pasos aéreos, zanjones y cajas rompe presión.

Para el diseño de sistemas de agua potable, las principales variables que se analizan son: población actual y futura, dotación, calidad de agua, topografía, periodo de diseño, caudales de diseño, caudal medio diario, máximo diario, caudal máximo horario, de uso simultáneo, y pérdidas por fricción. Los materiales comúnmente utilizados para la construcción de sistemas de agua potable son el concreto armado, hierro galvanizado (HG) y PVC, en diámetros de 2" a $\frac{3}{4}$ ".

Figura 60.

Planta conjunta del sistema de agua potable en viviendas



Nota. Planta de conjunto del sistema de abastecimiento de agua potable de viviendas. Elaboración propia, realizado con AutoCAD.

2.3.1.9. Canales

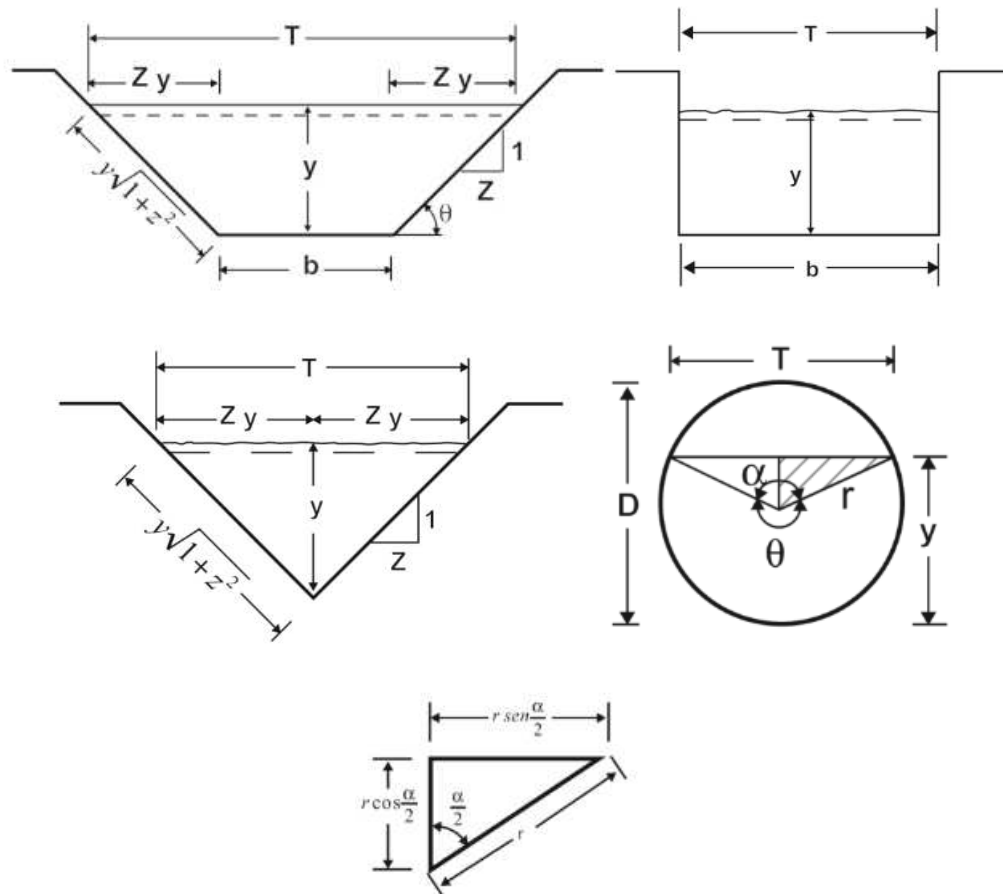
Son conductos en los que el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, dado que la superficie libre del líquido está en contacto con la atmosfera. Pueden ser naturales, como ríos o arroyos, o artificiales, los conductos cerrados parcialmente llenos, como las alcantarillas o tuberías, se incluyen en la definición de un canal.

Las secciones abiertas más comunes en canales son trapezoidal, rectangular, triangular y parabólica. Las secciones cerradas pueden ser

circulares o de herradura. A continuación, se encuentran las secciones transversales y las relaciones geométricas más frecuentes en canales. En la Figura 56, y es el tirante de agua, b es el ancho de la base del canal, T es el ancho de la superficie de agua, Z es el valor de la proyección horizontal del talud, θ es el ángulo de inclinación de las paredes laterales y α es el ángulo complementario en la sección circular (Villón, 2008).

Figura 61.

Secciones transversales y relaciones geométricas



Nota. Secciones transversales típicas y relaciones geométricas de canales. Obtenido de Villón, M. (2008). Hidráulica de canales, p.11-13.

Los canales pueden utilizarse para conducir el agua pluvial en techos o vías carreteras, el agua negra en alcantarillas y agua en proceso de purificación dentro de una planta de tratamiento. Las dimensiones varían ampliamente dependiendo del uso que se le brinde al canal debido a su relación directa con el caudal que manejará. Comúnmente los canales se construyen de concreto armado o PVC.

2.3.1.10. Plantas de tratamiento de agua potable

Son estructuras encargadas de someter el agua superficial o subterránea de un embalse a varios procesos de purificación con la finalidad de que sea apta para el consumo y el uso en actividades diarias de una población. El agua de las fuentes que no cumpla con los requisitos establecidos en las normas COGUANOR NGO 29001, deberán ser tratados con procedimientos adecuados para restablecer su potabilidad.

Las fases del proceso de potabilización que se realizan en una planta potabilizadora de agua (PTAP) son: la remoción de sólidos, el intercambio de gases y la desinfección. El proceso de remoción de sólidos consiste en la extracción de todas aquellas sustancias sólidas que interfieren con otros procesos y métodos de purificación, los métodos aplicables para el proceso de remoción de sólidos son cribado, desarenador, flotación, coagulación y floculación, sedimentación y filtración. El proceso de intercambio de gases consiste en la extracción o adición de gases al agua sometida a tratamiento, el método de aeración se establece como el método para este proceso. El proceso de desinfección es obligatorio para todo sistema de abastecimiento de agua para el consumo humano, los métodos para este proceso son aplicación de cloro, ozono o radiación ultravioleta (MSPAS, 2009).

Las potabilizadoras convencionales utilizan generalmente sales de aluminio o de hierro en su proceso de coagulación y floculación, y en algunos casos particulares polielectrolitos como coagulantes para desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua cruda, son muy pocas las plantas potabilizadoras que operan con coagulantes naturales en sus procesos y operaciones unitarias, debido a que existe un desconocimiento de las ventajas y cualidades de productos naturales para desestabilizar las partículas coloidales en el agua.

Los materiales utilizados con frecuencia en las plantas potabilizadoras son el concreto armado, el hierro galvanizado y la tubería PVC. En Guatemala existen 30 plantas de tratamiento de agua potable, de las cuales 5 están en la ciudad capital.

Figura 62.

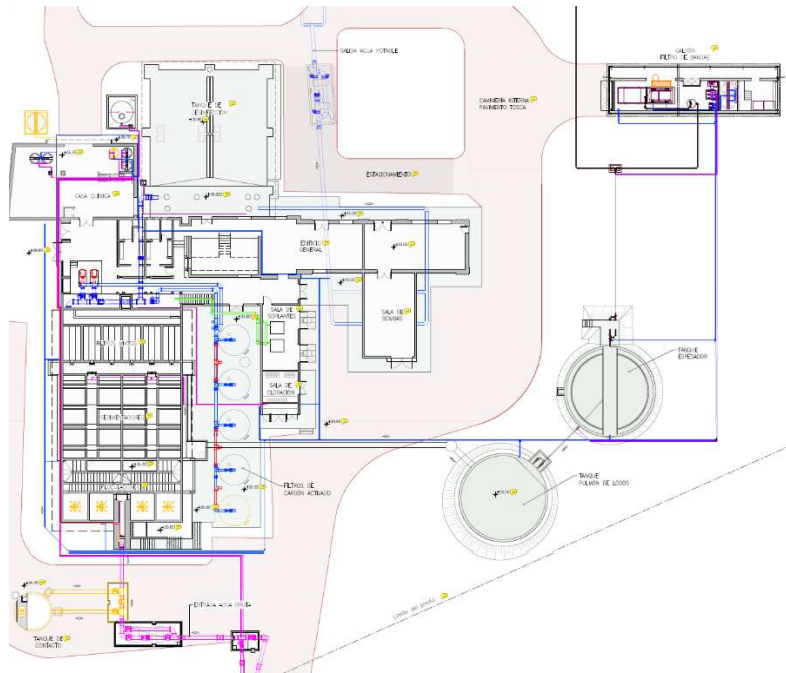
Planta de potabilización de agua Lo de Coy



Nota. Planta de potabilización de agua Lo de Coy. Obtenido de la Dirección Municipal de Planificación, Municipalidad de Guatemala (2023).

Figura 63.

Plano de ubicación e hidráulico de una PTAP



Nota. Plano conjunto de planta de potabilización. Obtenido de Bambu Development Inc (2024).

2.3.2. Urbana

Se le conoce como el conjunto de elementos necesarios para la creación y el funcionamiento de la vida colectiva y comprende por lo tanto diferentes sectores, se involucra directamente con el uso que de acuerdo al planeamiento se le asigna al suelo, ya sea que este se destine a actividades como la educación, salud, vivienda o recreación. Además, las obras de construcción urbano deben brindar seguridad y atender los estándares precisos de calidad de vida de todos los ciudadanos, así como también proteger el medio ambiente natural. Desde esta perspectiva, el espacio que ocupa la infraestructura urbana se puede

concebir como una red estructuradora del equilibrio ambiental y como ámbito de integración social y de construcción de la ciudadanía (Perrotti y Sánchez, 2011).

2.3.2.1. Torres residenciales

También conocidas como torres de apartamentos o torres de vivienda, son estructuras verticales que constan de varios niveles sobre un terreno de dimensiones regulares. A diferencia de otros edificios que se extienden a lo largo de la superficie, las torres se desarrollan a lo alto. Las torres de apartamentos en particular requieren de una gran variedad de tipos de instalaciones que incluyen: espacios de recepción, áreas deportivas, salones sociales, solarios, áreas de estudio y coworking, gimnasios, áreas de parqueo, lavanderías, pozo de extracción de agua potable, plantas de tratamiento de aguas residuales y áreas comerciales (Poon, 2004).

Los sistemas estructurales utilizados comúnmente para la construcción de torres son los marcos de concreto reforzado o acero, los muros o armaduras de acero de corte, las armaduras estabilizadoras horizontales, las breizas o tubos rígidos arriostrados y los sistemas de voladizos, o la combinación entre ellos. El principal problema para la estabilidad de una edificación de altura se ha determinado es el viento y los terremotos. Los edificios de hasta 10 pisos diseñados para carga por gravedad generalmente pueden soportar la carga del viento sin ningún aumento en las tensiones de diseño (Khajehpour, 2001). Los edificios de torre residencial presentan normalmente una altura de 8 a 15 niveles. Dependiendo de las dimensiones del terreno, las torres de apartamentos suelen contar desde 4 a 6 viviendas por nivel, de esta manera asegurando una buena relación entre la habitabilidad y la rentabilidad del proyecto. Las viviendas tienen pocas habitaciones, de dos a tres habitaciones, pasillos o áreas de circulación,

comedor, sala y cocina, estudio, baños y área de servicio, con luz y ventilación natural.

Los sistemas estructurales utilizados comúnmente para la construcción de torres son los marcos de concreto reforzado o acero, los muros o armaduras de acero de corte, las armaduras estabilizadoras horizontales, las breizas o tubos rígidos arriostrados y los sistemas de voladizos, o la combinación entre ellos. El sistema estructural más utilizado en la actualidad en torres residenciales es el sistema marcos o pórticos de concreto reforzado en combinación con muros corte de concreto, al igual que en las torres comerciales anteriormente descritas en el tema de infraestructura económica industrial y comercial.

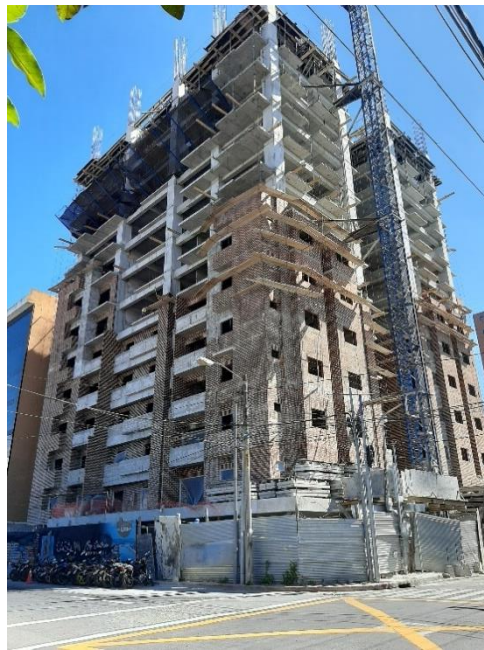
En este tipo de sistema, el dimensionamiento de las columnas tiende a ser desde 50 cm x 50 cm hasta 70 x 70 cm con luces máximas de 8 m y vigas de 30 x 50 cm hasta 50 x 70 cm, con una separación entre torres residenciales de 5 m, una placa de entrepiso aligerada con nervaduras de 15 cm. El material estructural principal utilizado en torres es el concreto armado de una resistencia de 300 kgf/cm² (4230 psi) hasta 600 kgf/cm² (8520 psi), para columnas y vigas centrales del nivel 10 hacia abajo de 600 kgf/cm² (7110 psi) y columnas y vigas de perimetrales de 500 kgf/cm² (8520 psi), losas de entrepiso de 430 kgf/cm² (6100 psi), y utilizando acero desde 0.5 a 2 % de resistencia de 4000 kgf/cm² (57000 psi) en todos estos elementos. La altura típica entre niveles para este tipo de estructuras es 3 m y, debido a las instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, una altura útil de 2.4 m. La losa cimentación en este tipo de estructuras suele ser de 2.5 a 3 m de espesor (Poon, 2004).

Debido a la variedad de sistemas estructurales, métodos de construcción y distintos criterios de los profesionales de la ingeniería civil, el dimensionamiento de los elementos de una estructura de gran dimensión puede encontrarse dentro

de amplio rango de especificaciones técnicas, que solo mediante un extenso análisis y diseño estructural se logra confirman su grado de factibilidad de construcción. Las variables a considerar en este tipo de estructuras son: capacidad soporte del suelo, envolvente sísmica, centro de masa e inercia, velocidad del viento y cargas gravitacionales.

Figura 64.

Construcción de torre residencial



Nota. Construcción de torre residencial Casalini en Zona 10, ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

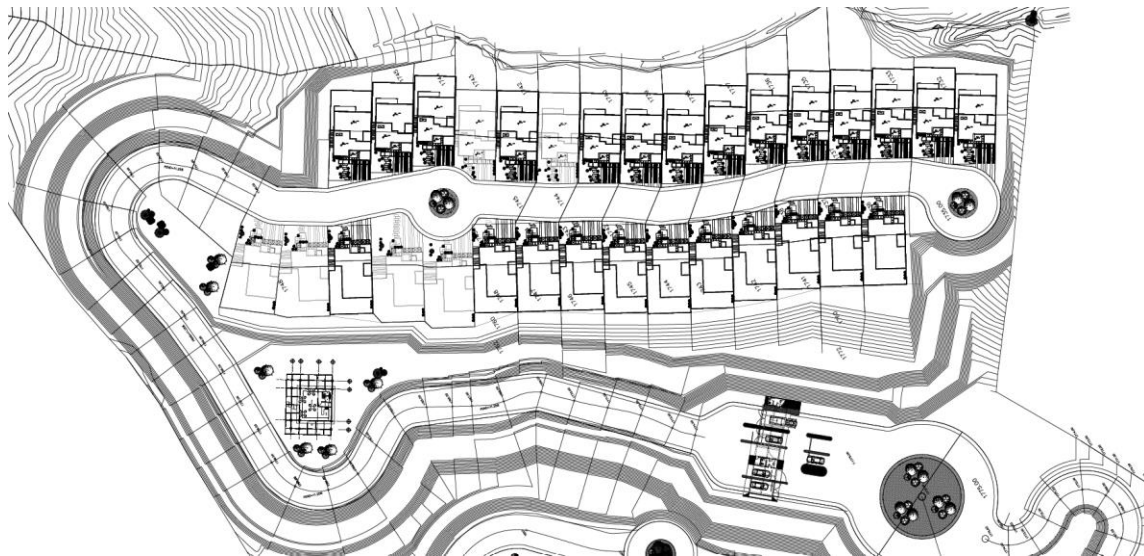
En la construcción de una torre de apartamentos, la combinación de distintas disciplinas de la ingeniería civil es estrictamente requerida. Los sistemas eléctricos, sanitarios, potables y contraincendios, acompañado del movimiento de tierras, la fundición de elementos estructurales e colocación de acabados, son algunos de los tipos de instalación que se deben realizar para el adecuado funcionamiento de la edificación y el desarrollo de la vida en ellos.

2.3.2.2. Conjuntos residenciales

Se dice de un grupo de casas o torres de apartamentos construidos simultáneamente como un solo desarrollo. La forma exacta del diseño del conjunto dependerá del área en que se localice: funciones urbanas, jerarquía de vías, geografía y/o paisaje natural. Suelen ser áreas de alta densidad, residencias de bajo impacto de viviendas unifamiliares separadas y, a menudo, permiten la propiedad separada de cada unidad de vivienda, por ejemplo, a través de la subdivisión de una finca, es decir, desmembramiento de una propiedad extensa.

Figura 65.

Plano Master Plan de tercer clúster



Nota. Master plan de tercer clúster de Brisias en zona 16, ciudad de Guatemala. Adaptado de Hidromaq S.A. (2023). *Plano Master Plan Cluster 3 Brisias.*

El diseño de conjuntos residenciales generalmente acompaña los accidentes y características geográficas del lugar de implantación, debiendo

atender el equilibrio de las articulaciones espacio-funcionales y unidad morfológica. Respetando jerarquías de espacios abiertos como cerrados, debiendo utilizar elementos patrón que otorguen identificación con el fin de integrar a los diversos sectores del conjunto. Requiere análisis profundo de las condiciones del lugar y los requerimientos la propuesta del conjunto residencial diseñado. Las leyes geométricas, al igual que en el diseño de carreteras, y la matemática precisa permite la coherencia entre las partes y el todo, los módulos de dimensiones se deben adecuar a limitaciones espaciales, funcionales y constructivos para mantener el sustento. Puede utilizarse más de un tramo entre partes, siempre así definiendo un tramo principal y otros secundarios (Papparelli y Kurbán, 2007).

Los sistemas constructivos utilizados en residencias de 2 a 3 niveles, alturas no mayores a 8 m, son marcos rígidos de concreto y cajones de mampostería. El dimensionamiento de los elementos en este tipo de sistemas constructivos suele ser: vigas entre 14 y 19 cm de ancho, 30 y 35 cm de peralte, con refuerzo de acero de 2.5 a 5.9 cm² y estribos No. 2 a cada 12 o 15 cm, para longitudes entre 2.5 y 4.5 m; mochetas de carga de 14 x 14 cm hasta 30 x 30 cm, con refuerzo de 4 No. 4 hasta 8 No. 8 y estribos de 4.5 mm de diámetro a cada 10 a 12 cm de separación; columnas aisladas de 25 x 25 cm hasta 35 x 35 cm, con refuerzo de 4 No. 5 a 8 No. 5 y estribos de 4.5 mm a cada 10 cm; soleras intermedias de 14 x 20 cm a 19 x 20 cm, con refuerzo de 4 No. 3 y estribos a cada 15 cm; cimiento corrido de 0.30 a 0.50 m de ancho y 0.18 a 0.20 m de espesor, con refuerzo de acero de 3 a 5 No.3. y estribos No.3 a cada 0.18 a 0.25 m; cimiento corrido de lindero de 0.30 a 0.90 m de ancho y 0.18 a 0.22 m de espesor, con refuerzo de 3 a 6 No.3 y refuerzo No. 3 o No.4 a cada 0.20 a 0.28 m; zapata de interior y lindero, en mochetas y columnas aisladas, de 0.50 x 0.50 m a 1.40 x 1.40 m de tamaño y 0.18 a 0.22 de espesor, con refuerzo No. 3 a 20 cm a No. 5 a 25 cm; losa de 2 x 2 m a 5 x 5 m de tamaño y 10 a 12 cm de espesor,

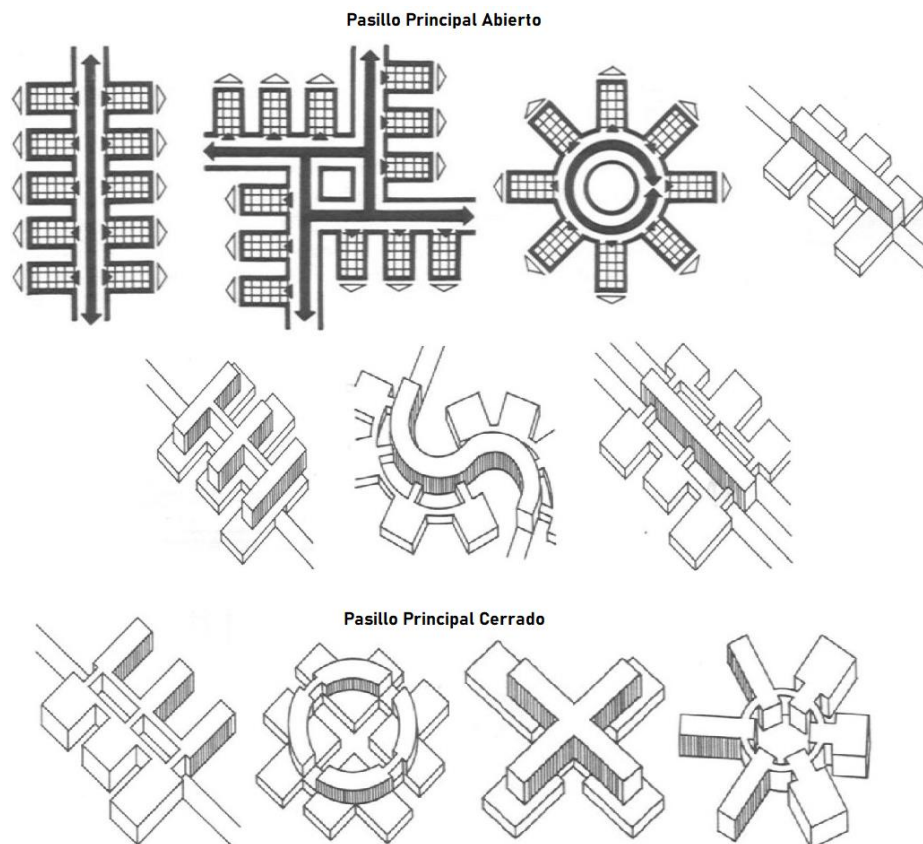
con refuerzo inferior y superior No. 3 a cada 0.15 cm hasta 0.30 Utilizando concreto de 3000 psi (210 kg/cm²) y acero grado 40 (2810 kg/cm²) (AGIES, 2015).

2.3.2.3. Hospitales

Según Neufert (2005), en la actualidad define este tipo de edificaciones como establecimientos dedicados a cuidar y dar asistencia a pacientes con enfermedades agudas o crónicas. El número de especialidades y el tamaño de cada una de las secciones varía según el tipo y grado de asistencia: unidades de tratamiento, unidades de prevención y postratamiento, exploraciones y tratamiento. Los hospitales se pueden subdividir en muy pequeños (puestos de salud de hasta 50 camas), pequeños (centros comunitarios de salud, de atención materna y de atención permanente de hasta 150 camas), normales (hospitales generales y de especialidades de hasta 600 camas) y grandes hospitales. Pueden ser de propiedad pública, privada o cooperativas. Por cada 1000 habitantes se considera la distribución de 200 de pacientes por año, 11.1 camas y 18 días de estancia de un paciente. Los hospitales se dividen según su función en hospitales generales, hospitales especializados y clínicas universitarias.

Figura 66.

Formas constructivas de un edificio hospitalario



Nota. Configuraciones estructurales de un edificio hospitalario. Adaptado de Neufert, P (2005). Arte de proyectar, p. 477.

La especialización de un hospital influye en el tamaño y en la forma de las diferentes unidades. Un contacto estrecho entre todas las partes reduce las posibilidades de que aparezcan problemas posteriormente. En la Figura 66, se puede observar configuraciones de diseño para adoptar una mejor circulación y contacto entre las partes de un hospital, aunque el diseño más frecuentemente usado en Guatemala son los edificios de altura. Generar un listado con el valor directriz de la superficie de las diferentes unidades ayuda a tener una visión rápida del tamaño que poseerá un hospital, aunque los siguientes valores

suponen una recomendación, primordialmente dependerá de la orientación médica y especialización del hospital correspondiente (Neufert, 2005).

Figura 67.

Valores directrices de la superficie necesaria en hospitales

Superficies para todo el hospital, incluido la zona de suministros y eliminación de residuos	: 35–50 m ² sup./cama
Zona de asistencia	: 19–25 m ² sup./cama
Terapia intensiva	: 30–40 m ² sup./cama
Zona de quirófanos	: 130–160 m ² sup./quirófano
Rehabilitación	: 19–22 m ² sup./plaza tratam.
Fisioterapia	: 68–75 m ² sup./plaza tratam.
Rayos X	: 60–70 m ² sup./sala diagnóstico
Radioterapia	: 300–350 m ² sup./aparato
Zona de reanimación	: 25–30 m ² sup./cama reanimación
Diagnóstico nuclear	: 100–150 m ² sup./sala diagnóstico
Fisiología clínica	: 80–100 m ² sup./sala diagnóstico
Neurofisiología clínica	: 78–100 m ² sup./sala diagnóstico
Central de ingresos	: 140–160 m ² sup./sala de exploraciones/tratamientos
Zona de altas	: 85–100 m ² sup./sala de altas
Díálisis	: 70–80 m ² sup./cama diálisis
Departamentos especializados	: 55–75 m ² sup./sala de exploraciones/tratamientos

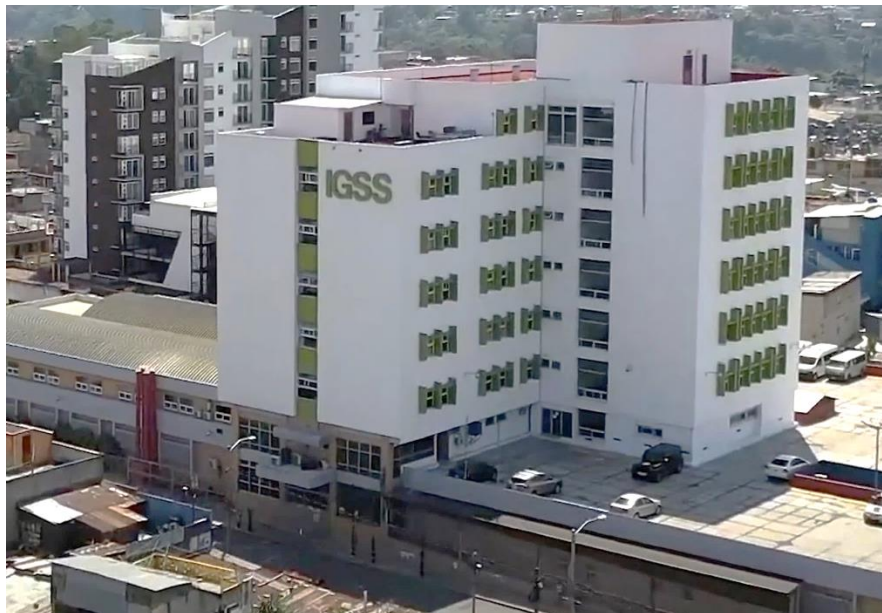
Nota. Directrices de diseño de superficie requerida para hospitales. Obtenido de Neufert, P (2005). Arte de proyectar, p. 488.

Al igual que en cualquier otra edificación urbana anteriormente vista, los materiales típicos en la construcción de edificios hospitalarios son el concreto armado, la mampostería y el acero estructural; y el sistema estructural de marcos rígidos es el que predomina en su análisis y diseño estructural. Dependiendo de la altura del edificio hospitalario a diseñar, habitualmente de 3 a 7 niveles, con altura promedio entre 9 y 22 m, las dimensiones de los elementos estructurales pueden variar en relación a su tamaño. Las columnas tienden a ser desde 50 cm x 50 cm hasta 70 x 70 cm con luces máximas de 8 m y vigas de 30 x 50 cm hasta 50 x 70 cm, y una placa de entrepiso aligerada con nervaduras en dos direcciones

de 15 cm. La altura típica entre niveles para este tipo de estructuras es 3 m y, debido a las instalaciones hidrosanitarias y eléctricas, la altura útil es 2.4 m. La losa cimentación en este tipo de estructuras suele ser de 30 cm a 50 cm de espesor (Poon, 2004).

Figura 68.

Hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo IGSS



Nota. Hospital general Dr. Juan José Arévalo Bermejo, IGSS en zona 6, ciudad de Guatemala. Obtenido del Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS, 2023).

2.3.2.4. Centros educativos

Son establecimientos destinados a la enseñanza, las capacidades humanas y el aprendizaje de conocimiento. Se pueden encontrar centros educativos de distintos tipos y con diferentes características, desde una escuela de educación de formación general hasta escuelas superiores de formación profesional. Dentro de la tipología de los centros educativos existen otros tipos de división

dependiendo del uso que cada una tenga, como, por ejemplo, los centro públicos y privados, o, acorde a Ministerio de Educación, escuelas de educación preprimaria, primaria y nivel medio y superior. A continuación, acorde a Neufert (2005), los tipos de espacios y relaciones de enseñanza de los centros educativos son:

- Jardines de infantiles: son centros de educación preprimaria encargados de la atención educativa, recreativa y asistencial para el desarrollo de las capacidades físicas, afectivas, sociales y cognitivas en niños desde el nacimiento hasta los seis años. Para una cantidad de 2000 a 4000 habitantes, la población en este tipo de instalaciones suele ser de 60 a 120 alumnos.
- Escuelas primarias y básicas: es el segundo nivel de la educación básica, asegura la alfabetización, calculo básico y conceptos culturales denominados competencias básicas. Para una cantidad de 2000 a 10000 habitantes, la población en este tipo de instalaciones suele ser de 250 a 500 alumnos.
- Escuelas secundarias: comúnmente también denominado escuelas de nivel medio o bachillerato, preparan para la educación vocacional o terciaria, capacitando al estudiante para poder iniciar estudios de educación superior. Para una cantidad de 10000 a 20000 habitantes, la población en este tipo de instalaciones suele ser de 1200 a 1800 alumnos.
- Escuelas superiores: es la última etapa del proceso de aprendizaje académico donde el estudiante adquiere conocimiento técnico y profesional. Dentro de este tipo de instituciones se pueden considerar universidades, escuelas técnicas e institutos politécnicos. Para una cantidad de 60000 a 120000 habitantes, la población en este tipo de instalaciones suele ser de 2500 a 4000 alumnos.

Como en cualquiera otra estructura que se desee planificar, es necesario conocer cuáles son los espacios, sus dimensiones y cantidades que se llegaran a encontrar en un edificio. En base a los habitantes en el ámbito de influencia del centro educativo y los siguientes parámetros para el dimensionamiento de los espacios frecuentemente utilizados en centros educativos, se podrá desarrollar una mejor distribución y ordenamiento de este tipo de proyectos.

Tabla 9.

Valores directrices superficie en centros educativos

Ambiente	Tipo de escuela		
	Elemental	Profesional	Instituto
Aulas teóricas	65-70 m ²	65-70 m ² (85 m ² para aulas de dibujo)	50-70 m ² (85 m ² para aulas de dibujo)
Aulas de demostraciones y practicas	70-75 m ²	70-75 m ²	70-75 m ²
Sala de laboratorios	-	80-85 m ²	80-85 m ²
Sala de preparativos de física, química o biología	-	30-35 m ²	30-35 m ²
Sala para biblioteca	60-65 m ²	70-75 m ²	70-75 m ²
Sala de materiales y aparatos	20-25 m ²	30-40 m ²	30-40 m ²
Sala de actos	1 m ² por alumno (máximo de la mitad de alumnos)		
Sala para asociación de alumnos	-	15-20 m ²	15-20 m ²

Continuación de la Tabla 9.

Sala de consejeros	20-25 m2	20-25 m2	20-25 m2
Salas de profesores	60-65 m2	80-85 m2	80-85 m2
Sala de despacho directores	15-20 m2	20-25 m2	20-25 m2
Comedores	30-40 m2	50-60 m2	50-60 m2

Nota. Directrices de diseño de superficie requerida para centros educativos. Obtenido de Neufert, P (2005). Arte de proyectar, p. 256.

El diseño estructural de centros educativos dependerá directamente de las dimensiones del área donde se planifique la construcción. La mayoría de centros educativos en Guatemala tienden a ser edificios con sistemas de marcos rígidos en combinación con cajones de mampostería, de 3 a 4 niveles y de 2.5 a 2.8 m de altura por nivel, con áreas de recreación de 100 m2 por edificio educativo, aunque, en algunos casos, donde terreno de la construcción es extenso, las áreas de recreación pueden llegar a medir hasta 250 m2 por edificio educativo.

Figura 69.

Edificio de aulas y áreas de recreación de centro educativo



Nota. Edificios educativos del colegio Los Andes en zona 4 de Mixco, ciudad de Guatemala. Elaboración propia.

2.3.2.5. Auditorios, iglesias, teatros y cines

También denominados centros culturales, son espacios a los que asiste una audiencia para observar y escuchar un evento de cultura. Los auditorios y su acústica son un ámbito limitado a la ingeniería acústica, los constructores tienen que lograr un buen comportamiento acústico y esto no es posible si las condiciones geométricas de la sala impiden y absorben la onda mecánica del sonido. El tamaño del obstáculo y la longitud de onda determina si la onda rodea o refleja la dirección de donde proviene. Además, se debe cuidar que los materiales sean lo menos poroso posible debido a la alta absorción y reflejo de onda que estos poseen, comúnmente los materiales utilizados para el techo y paredes de un auditorio son la madera y el yeso (Neufert, 2005).

Los parámetros principales a considerar en el diseño acústico de una sala son: el T60, que se mide en segundos, es un valor que indica el tiempo que tarda un sonido desde su emisión, hasta reducir su intensidad 60 decibelios, y el C80,

que se mide en decibelios, es un valor que indica la diferencia de intensidades en cada rango de frecuencias. Se busca el tiempo de reservación sea alrededor de 1.4 a 2.2 s en auditorios e iglesias y 0.8 a 1.4 en teatros y cines. Dados estos valores y a partir de la fórmula de Sabine, el volumen y superficie por persona preliminar puede ser encontrado (Ambrosio, 2018).

Algunos otras condicionantes consideradas en el diseño de recintos son: ángulos de visión, vertical de 0° a 30° y horizontal hasta de 45°; aislamiento acústico, frecuentemente de 85 dB; nivel de ruido, entre -20 y 25 NC; altura media de techo por nivel de 6.75 m, ya sea inclinado, curvo o recto; tipología frontal lineal, frontal abocinada, abanico y central; planta plana o en elevación, comúnmente de 0.40 m entre piso terminado de butacas; y ventilación no mayor a 15 % del área lateral total de la edificación (Sandoval, 2004 y Correa, 2003).

Los sistemas estructurales utilizados con mayor frecuencia en la construcción de salas acústicas son: marcos rígidos de concreto armado en combinación con armadura de acero, voladizos de concreto armado o ménsulas de armadura de acero, muros de carga de mampostería, cascarones de concreto reforzado y zapatas de concreto armado.

Figura 70.

Construcción del teatro nacional Miguel Ángel Asturias



Nota. Construcción de gran sala Efraín Recinos y teatro nacional Miguel Ángel Asturias en zona 1, ciudad de Guatemala. Adaptado de Ministerio de Cultura y Deporte (MCD, 2023). Construcción teatro nacional Miguel Angel Asturias.

En la Figura 70, podemos observar el recinto de mayor volumen que se puede encontrar en Guatemala. La Gran Sala Efraín Recinos cuenta con un escenario de 21 m de ancho por una altura de 13 m, para una capacidad de 65 personas en escena y con 2085 butacas para la audiencia en tres niveles, y pantalla de proyección de 12 x 5 m.

2.3.2.6. Estadios deportivos

Un estadio es una estructura capaz de albergar a miles de personas con el fin de crear un ambiente festivo. Las instalaciones de un estadio requieren de muchos servicios, como amplias zonas de estacionamiento, comercio

complementario, áreas de entrenamiento, federaciones deportivas, gimnasios, y redes de transporte bien organizadas para enormes movimientos de entrada y salida de los espectadores (*Shepherd, 2011*).

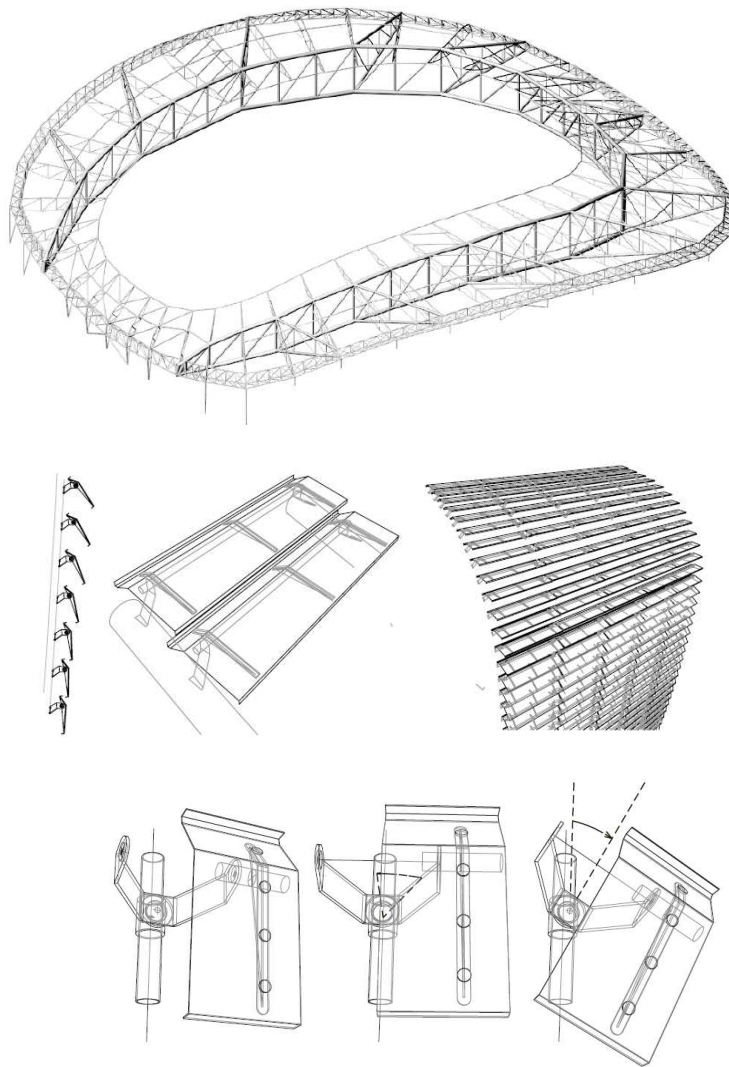
Cuando se considera la construcción de un estadio que se dedicará al albergue de una organización deportiva y un estadio de liga, podemos ver claras diferencias en términos de sostenibilidad. Un estadio de liga se usa al menos 20 a 25 veces en un año para partidos de liga, aunque también se puede utilizar para otras posibles organizaciones del deporte o entretenimiento, como eventos de atletismo o conciertos. Los estadios son propiedad mayoritariamente de clubes de fútbol o municipalidades y su explotación depende exclusivamente de ellos.

Es crucial construir dichos estadios en el contexto de la sostenibilidad, que cubre no solo los criterios de eficiencia energética sino también la flexibilidad medidas en uso y en aforo, además de la relación con el entorno urbano. Es recomendable que al elaborar los planos de construcción de un nuevo estadio o al renovar un estadio se considere si existe la posibilidad de que haya participación de la comunidad, ofreciendo salas de reunión, restaurantes, salones de juego, instalaciones deportivas, zona comercial, oficinas, entre otros.

Las tipologías estructurales predominantes en la construcción de estadios son los marcos rígidos y voladizos de concreto armado o acero articulado, armadura de acero, en función de soporte de los paneles de la fachada envolvente y/o cobertura horizontal de los graderíos, zapatas de concreto armado en la cimentación y placas de entrepiso de losa maciza, aligerada o losa acero. En este tipo de proyectos por lo general se acostumbra separar la estructura por edificios estructuralmente independientes o zonas (*Erten y Ortifiliz, 2006*).

Figura 71.

Estructura del modelo paramétrico

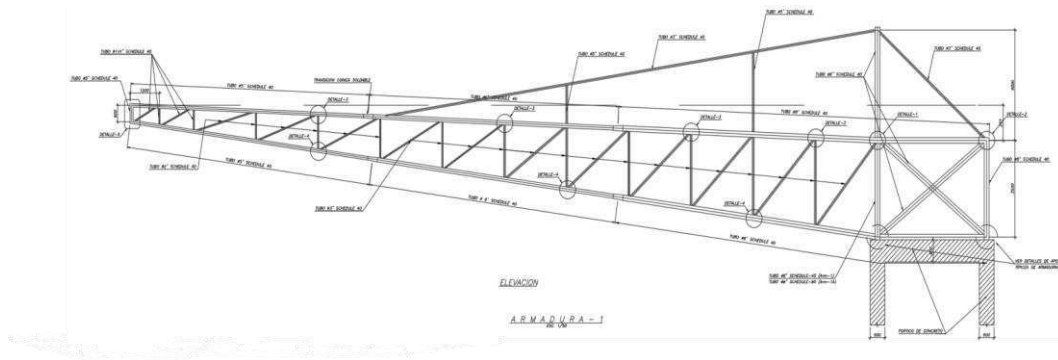


Nota. Estructura del modelo paramétrico, secciones de fachada de paneles y detalle de rotación de soportes del estadio Aviva Stadium. Adaptado de Shepherd, P., Hudson, R. y Hines, D. (2011). *Aviva Stadium: A parametric success*, p.174.

Las dimensiones de los elementos estructurales varían enormemente dependiendo de la envergadura de la estructura, al igual que en cualquier otro edificio, depende de la altura o niveles de la edificación. Por ejemplo, para un estadio de 8 niveles y capacidad de 43 mil espectadores, las secciones tienden a ser: columnas de 60 x 60 cm a 75 x 75 cm y en algunos casos, de 1.10 m en uno de sus lado cuando se conectan ejes excéntricos; vigas de 30 x 50 cm hasta 50 x 75 cm; placas de entepiso alrededor de 20 a 25 cm; zapatas de 2.5 a 5.40 m y combinadas de 7 a 14 m; rampas en voladizo de 3.30 a 4.6 m de ancho; graderíos de 73 cm de huella y 39 cm de altura; y secciones de tubo de armaduras de cobertura desde 1" a 8" de diámetro (Blanco, 2009).

Figura 72.

Detalle de cobertura en estructura metálica de estadio



Nota. Detalle de cobertura de techo en estructura metálica del estadio nacional en Perú. Adaptado de Blanco, A. (2009). Especificaciones Técnicas Estadio Nacional, pág.55.

Asimismo, algunos otros aspectos a considerar, tales como, las dimensiones recomendadas para el terreno de juego y área verde de un estadio suelen ser: 120 m de longitud y 80 m de ancho, aunque, para partidos de alto nivel profesional, las dimensiones del terreno de juego de competición final según la Federación Internacional de Fútbol Asociación (FIFA) únicamente admitirá 105 m de longitud por 68 m de ancho. Existen instalaciones en las que se ha preferido

añadir un corredor de servicio y/o pista, para facilitar el desplazamiento de vehículos de salud o de seguridad e implementar un rango más amplio servicios deportivos, la demarcación de línea de banda usualmente es 6 m de ancho y para línea de meta de 7.5 m. En aquellos estadios donde no es posible implementar corredor de servicio se acostumbre dejar un borde de 1.5 m de la línea de demarcación del campo. En algunos casos, cuando el diseño no permita mallas o pantallas transparentes contra la invasión del campo, es recomendado diseñar fosos de una anchura similar a la del borde del campo con una profundidad 1 m arriba del promedio de estatura de la región.

2.3.2.7. Pasarelas

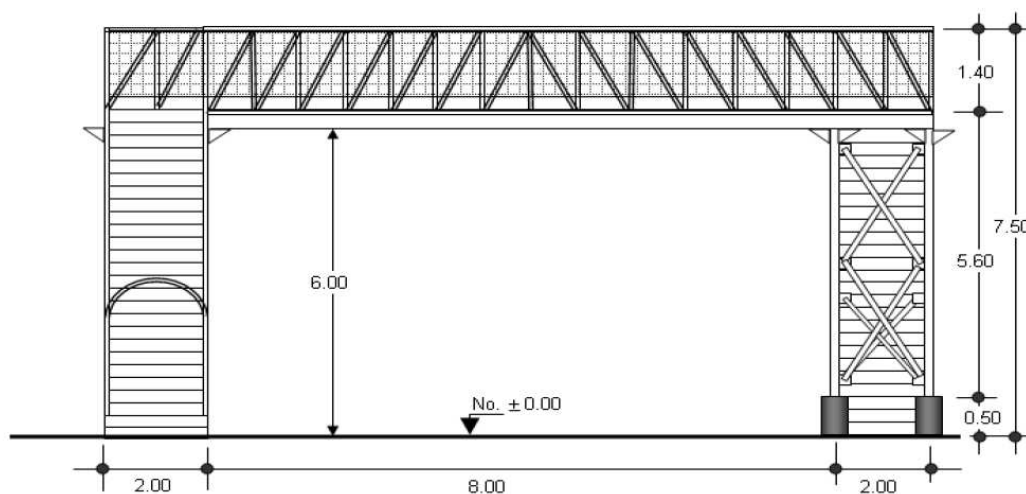
Al igual que los puentes vistos al inicio de este trabajo, las pasarelas son obras de paso, pero utilizadas para el tránsito peatonal y/o ciclista y su función principal es saltar un obstáculo, comúnmente vías con velocidades de diseño donde no sea posible el cruce sin interrupción al flujo vehicular, desniveles bruscos en la superficie del terreno o cuerpos y corrientes de agua. Las pasarelas se componen de soportes y módulos de gradas en cada extremo, fabricadas con concreto armado o estructura metálica, una o varias viga dintel apoyada en los soportes de manera que cruce la luz por donde se desea transiten los transeúntes y rampas con un máximo de seis por ciento de inclinación (García, 2022).

La sección transversal en pasarelas se compone por una losa superior, con pendiente de 2 % para la evacuación pluvial, de 1.5 o 2 m de ancho para uso peatonal y 3 m para uso ciclista, alrededor de 4.50 a 5.50 m si se combinan, con barandillas en los bordes entre 1.20 y 1.50 m de altura, compuesta de concreto armado o losa acero con un espesor alrededor de 10 y 30 cm, desde luego, dependiendo de su diseño y composición (Mendívil, 2021); pedestales, o bien, pilas o pilares, de un ancho de 0.3 a 0.5 m en concreto armado y tubos de acero

de sección hueca, frecuentemente cuadrado (SHS), o viga sección W, de 0.2 a 0.30 de lado o ancho, para viga W, altura aproximadamente de 0.45 m, y espesor de 5 a 6 mm, con placas de apoyo de 16 pulg de lado y 3/16 de espesor sobre columnas de 0.30 x 0.30 m, en el caso de constituirse de estructura metálica (Ovando, 2011), la altura de las pilas es variable dependiendo del nivel del terreno y sus cimientos, en otras palabras, zapatas, entre los 1.5 a 4.5 m de ancho y espesor de 0.40 a 1 m, con una profundidad mínima de 0.8 m, aunque en su mayoría se realiza a 2 m; y por último, vigas dintel, estructuras compuestas de concreto armado o prefabricado, y, en algunos casos, de armadura de acero, con una altura alrededor de 6 m sobre la rasante de la vía, un largo de cada tramos entre 10 y 50 metros, ancho de 1.8 a 3.5 m, altura alrededor de 1.5 m en concreto reforzado y entre 2 y 4 para estructura metálica (Arcos, 2011 y García, 2022). Tomar en cuenta cualquiera de estas dimensiones puede variar dependiendo del sistema y configuración estructural de proyecto.

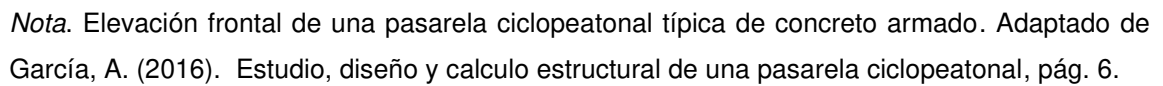
Figura 73.

Elevación frontal de una pasarela de metal



Nota. Elevación frontal de pasarela típica de estructura metálica. Adaptado de Ovando, E. (2011). Diseño y cálculo de una pasarela de metal, p.54.

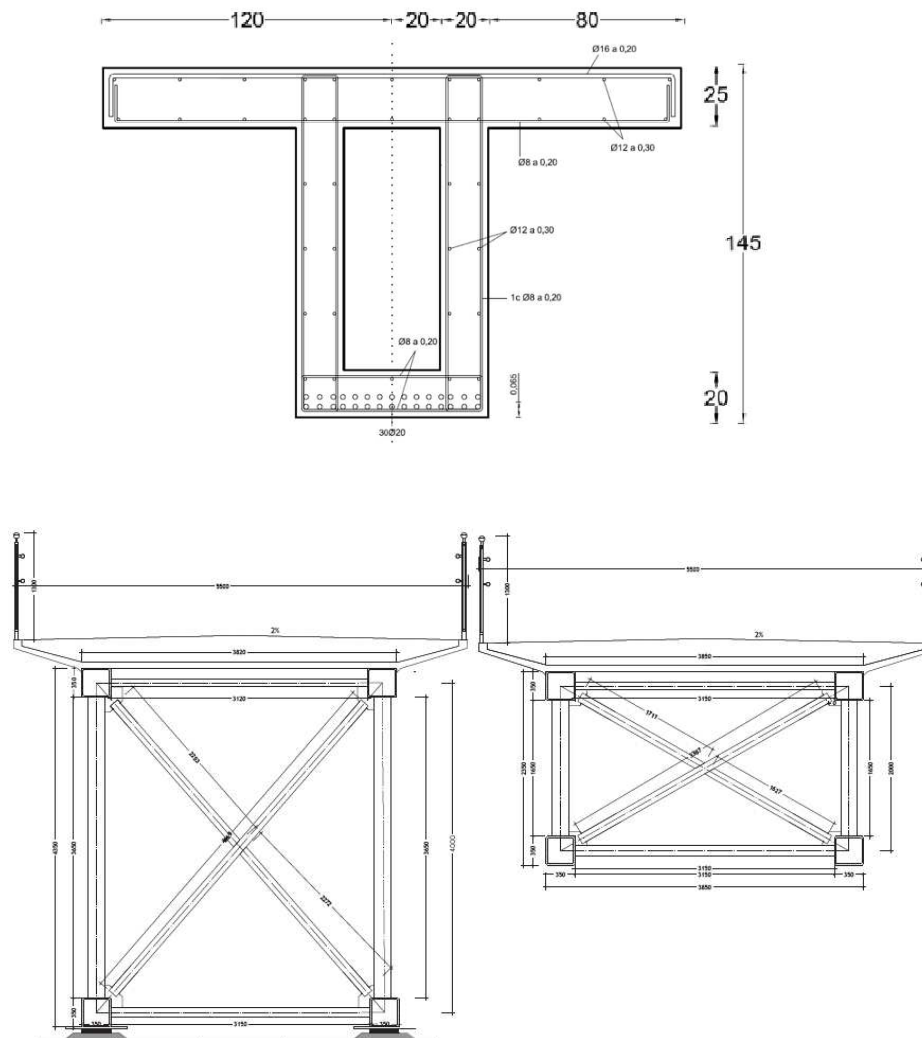
Elevación frontal de una pasarela ciclopeatonal



145

Figura 75.

Sección de viga de pasarelas



Nota. Sección transversal de viga de concreto prefabricada y estructura metálica de pasarela típica. Adaptado de Arcos, M. (2011). Diseño de pasarela peatonal, p.114.

2.4. Infraestructura medio ambiental

Es definida como una red interconectada de espacios verdes urbanos, periurbanos, rurales y silvestres, que conserva y aporta funciones ecosistémicas y servicios ambientales para la población humana. El concepto de infraestructura medio ambiental comprende una aproximación estratégica para la conservación del paisaje y sus componentes de valor natural y cultural, en el marco de las iniciativas de ordenamiento y planificación sustentable del territorio, regulando los impactos generados por la acción antrópica (Benedict y McMahon, 2006).

2.4.1. Parques ecológicos

Es un espacio situado en una ciudad o pueblo y se utiliza como jardín para recreación de los ciudadanos. Según su gestión gubernamental, los parques se clasifican en nacionales, subnacionales, urbanos, rurales y militares. La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece el límite mínimo de jardines públicos o áreas verdes, para las ciudades, en 9 m²/habitante. En algunos casos, la infraestructura de un parque puede acoger otros lugares de recreación, como atracciones temáticas, obras de arte, zonas de juego infantil, instalaciones acuáticas o deportivas, e inclusive, en algunos casos, con instalaciones educativas.

En este tipo de espacios se suele construir rutas de encaminamiento para dirigir a sus visitantes por toda el área del parque, el encaminamiento de este tipo de rutas suele ser de un ancho de 1.5 a 2 m de ancho.

En la Figura 76, podemos observar uno de los parques nacionales y urbanos de mayor tamaño en la ciudad de Guatemala, el parque cuenta con 4.91 km² de superficie. Es una de las últimas reservas naturales que quedan en el área metropolitana de Ciudad de Guatemala.

Figura 76.

Parque nacional Naciones Unidas



Nota. Parque nacional Naciones Unidas en zona 10 de Villa Nueva, ciudad de Guatemala.
Elaboración propia.

Figura 77.

Parques nacionales de Guatemala



Nota. Mapa de parques nacionales de Guatemala. Adaptado de *Wikipedia*, (https://es.wikipedia.org/wiki/Parques_nacionales_de_Guatemala). Consultado el 23 de junio de 2023.

2.4.2. Reservas ecológicas

Son áreas protegidas por el estado y se dedican a la protección de la vida salvaje y el hábitat natural. Guatemala actualmente cuenta con 113 áreas protegidas declaradas, de distintas categorías de manejo, abarcando el 34.46 % del territorio nacional, que cubren una superficie 3,752,409.71 ha. Asegurar la conservación y el uso sostenible de estas áreas protegidas y la diversidad biológica, contribuye con el desarrollo del patrimonio natural y calidad de vida de una nación (SIGAP, 2018).

El crecimiento de la población y por ende la expansión de las áreas dedicadas a la vivienda, comercio e industria, han provocado la necesidad del crecimiento de las ciudades y poblados, traducéndose en la deforestación de reservas ecológicas. En Guatemala muchas localidades conocen la existencia de reservas ecológicas, pero no sus límites, permitiendo la invasión de áreas protegidas sin la necesidad de la obtención de permisos ante instituciones, como el Consejo de Áreas Protegidas (CONAP), o las Municipalidades, entre otros. Es deber de cada uno de los profesionales de la ingeniería civil respetar los espacios dedicados a la vida silvestre y generar concientización, sin la necesidad de autorización para su aprovechamiento. La asociación y asesoría de otras ramas de la ingeniería, como la ingeniería medio ambiental, y la realización de evaluaciones de impacto ambiental, son consideraciones que todo proyecto debe cumplir para poder mitigar cualquier posible impacto que una obra puede causar al ambiente.

El listado oficial de las áreas protegidas según categoría de manejo, región administrativa y extensión es proporcionado por la Dirección de Desarrollo del Sistema Guatemalteco de Áreas Protegidas (SIGAP), consultar Anexo 7.

2.4.3. Paredes verdes

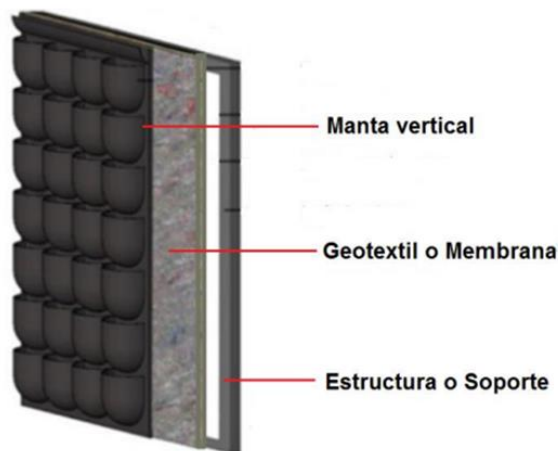
Son una forma de revestimiento para cubrir grandes superficies con plantas. Estos sistemas son paisajismo vertical, soportan plantas que cubren parcial o totalmente la superficie de la pared, no se consideran elementos estructurales, pero si consisten de una estructura unida a la superficie vertical, la cual facilita el cultivo de las plantas.

Dichas estructuras pueden ser paneles de plástico o tejido sintético que formen módulos verticales capaces de soportar una gran variedad y densidad de

plantaciones, en otras palabras, capaces de soportar el peso del sustrato de cultivo y el peso de las plantas (Fernández-Cañero, Pérez y Perini 2018).

Figura 78.

Características del sistema de paredes verdes



Nota. Esquema de características de sistemas de paredes verdes. Adaptado de Baran, Y y Gultekin, A. (2018). *Green wall systems: A literature review. Lecture Notes in Civil Engineering*, p. 12.

Las paredes verdes ofrecen múltiples beneficios, a nivel social se dan mejora al estilo de vida de los residentes de una zona urbana, cambian la apariencia de las ciudades. Respecto a los beneficios económicos, los jardines pueden fomentar la alimentación de la ciudad, empleando plantas comestibles en base a una agricultura vertical. Así también mejora la estabilidad de la construcción y aumenta el valor de la propiedad o alquiler (Baran y Gültekin 2018). Para la reducción de Material Particulado (PM), las especies más empleadas son: *I. palmata*, *A. leptopus*; respecto a Dióxido de carbono (CO₂) tenemos *C. comosum*, *E. aureum*, *C. ternatea* y *P. luteum*; y en cuanto a Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) están *N. exaltata*, *P. obtusifolia*, *S. arboricola*, entre otras (Mikkonen et al. 2018, Pettit, Irga y Torpy, 2019).

CONCLUSIONES

1. La metodología de las líneas de investigación nos sirve para orientar la búsqueda, análisis, estudio y deducción de proyectos, con el propósito de confinar los resultados presentados por las universidades, centros de investigación o unidades académicas, de tal manera que puedan ser presentados y aplicables a la problemática de alguna sociedad.
2. La línea de investigación del área de estructuras en la ingeniería civil se enlaza directamente con el tipo de servicio que la planificación de un edificio prevea, en consecuencia, podemos definirlas en tres grandes familias: económica, social y ambiental. Dichas familias, a su vez, puede subdividirse en: transporte, energía y minas, industria y comercio; sanitaria y urbana; y parques, reservas y áreas verdes, respectivamente.
3. El eje de la investigación de la infraestructura, en términos de la ingeniería civil, infiere lo siguiente: la infraestructura económica es toda aquella edificación o elemento constructivos cuyo fin es permitir la actividad productiva de un país, abarcando toda obra civil que se requiera desde el proceso de producción de materia prima de algún producto, hasta su punto comercialización. La infraestructura social, por otra parte, su función primordial es la construcción y mantenimiento de instalaciones capaces del sostenimiento de la vida de los ciudadanos. Y, por último, el infraestructural medio ambiental, reside en la preservación y protección de los recursos, el entorno natural y revertir los daños ocasionados a la naturaleza por el ser humano.

4. Obras civiles, como carreteras, puentes, vías férreas, terminales, aeropuertos, puertos, túneles, muros de contención, centrales eléctricas y eólicas, líneas de transmisión, pozos de extracción, minas, complejos industriales y naves industriales, bodegas, torres y centros de comercio, son edificaciones que componen el transporte, la generación de energía, extracción de recursos, la industria y el comercio de nuestro país. Alcantarillados, colectores, plantas de tratamiento de aguas residuales, plantas potabilizadoras de agua, fosas sépticas, pozos y zanjas de absorción, letrinas, tanques, canales; todos pertenecientes al área sanitaria; así como: torres y conjuntos residenciales, hospitales, centros educativos, auditorios, estadios y pasarelas; son objetos de la urbanización de las ciudades. Y terminado con parques, reservas y áreas verdes; son el registro de edificaciones correspondientes a las distintas clases de infraestructura en Guatemala.
5. Los elementos constructivos frecuentemente utilizados en la construcción se pueden resumir en los siguientes: aireador, balasto, base, cable a tensión, caja, cámara, canal, carpeta de rodadura, cimienta corrido, clarificador, contactor, cuneta, decantador, desarenador, digestor de lodos, diques, durmientes, espigones, estructura metálica, filtros, firme de concreto, floculador, cubiertas, líneas de aducción, losa, ménsula, pantalla, pedestal, pilar, pilote, poste, presa, rampa, relleno, segmento de arco o torre, subbalasto, subbase, subrasante, talón, tanque, terracería, torre, tubería hidráulica y petrolífera, vertedero, viga y zapata.

RECOMENDACIONES

1. Previo al desarrollo de trabajos de graduación, se recomienda evaluar si el estudio conecta directamente con la tipología estructural desarrollada en Guatemala, la mejora en la infraestructura de nuestro país depende de investigaciones aplicables al desarrollo regional.
2. Se recomienda el análisis y diseño de elementos estructurales que a menudo no se frecuentan en edificaciones comunes, la combinación del uso de métodos de construcción en edificios ayuda al aprovechamiento de recursos y reducción del monto total o de áreas de específicas en presupuestos, como lo son las cubiertas, las fundaciones o muros de corte.
3. Se recomienda utilizar las dimensiones presentadas en este estudio como predimensionamientos de elementos constructivos, se requiere de un adecuado diseño estructural o estudio de laboratorio para valorar propiedades y causar impacto positivo en los costos de la obra.
4. Se recomienda la investigación de nuevas tecnologías en los materiales de construcción, como lo son la fibra de acero o polímero para concretos, el aerogel y la espuma de poliuretano como aislante térmico para cubiertas y fachadas arquitectónicas, la resina epóxica para pisos, la madera laminada para elementos estructurales principales, entre otros.

5. Se recomienda utilizar el trabajo de graduación como guía para el desarrollo de nuevas líneas de investigación sobre infraestructura de tipología estructural de tendencia e inhabilitada en el país.

REFERENCIAS

- [ASCE], A. S. (2010). *Guidelines for Electrical Transmission Line Structural Loading* (Tercera ed.).
- AC 150/5300-13B Airport Design. (2022). *Federal Aviation Administration [FAA]*.
- Agudelo, N. (2004). Las líneas de investigación y la formación y la formación investigadores: una mirada desde la administración y sus procesos formativos. *Revista electrónica de la Red de Investigación Educativa*.
- Alasino, N. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Obtenido de Instituto de Desarrollo y Diseño, Universidad Tecnológica Nacional.
- Ali, M., & Al-Kodmany, K. (2022). *Structural systems for tall buildings*. Obtenido de Creative Commons Attribution, Basel, Switzerland.
- Ambrosio, A. (2018). *Metodología preliminar para el diseño de auditorios*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- American Association of State Highway and Transportation Officials [AASHTO]. (2010). *Technical Manual for Design Construction of Road Tunnels*. Distrito de Colombia, Estados Unidos .
- Amiri, N., Shaterabadi, M., & Reza , K. (2021). *A Comprehensive Review on Desing, Monitoring and Failure in Fixed Offshore Platforms*. (S. U. Departament of Mechanical Engineering, Ed.) Tehran, Iran. Obtenido de Departament of Mechanical Engineering.
- Arcos, M. (2011). *Análisis y dimensionamiento de una pasarela peaton con hormigón estructural*. Madrid , España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica [AGIES]. (s/f). *Cartilla de diseño estructural de mampostería reforzada para albañiles y constructores*. Guatemala: AGIES.

- Association (AREMA). (2013). *Manual for Railway Engineering. American Railway Engineering and Maintenance-of-Way*. Estados Unidos.
- Ávila, M. (2022). *Memoria de diseño, Planta de Tratamiento de Aguas Residuales 72.40 m³/d*. Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Ballesteros, V. (2004). *Diseño de pozos profundos*. Universidad Santo Tomas. Bogotá, Colombia: Facultad de Ingeniería.
- Baran, Y., & Gültekin, A. (2018). *Green wall systems: A literature review*. Obtenido de Lecture Notes in Civil Engineering. Proceedings of 3rd International.
- Bautista, G. (2006). *Centro Comercial Municipal. Facultad de arquitectura*. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Ciudad de Guatemala.
- Bernt, A. (2010). *Modern Well Design*. CRC Press. Stavanger (Segunda ed.). Noruega.
- Blanco, A. (2009). *Rehabilitación, remodelación y equipamiento de la infraestructura del estadio nacional*. Lima , Perú: Instituto Peruano del deporte.
- Bomer, P. (2008). *A Primer of Oilwell Drilling* (Séptima edición ed.). E.E.U.U. : Universidad de Texas en Austin.
- Braja, D. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones México* (Séptima Edición ed.). Ciudad de México: Cengage Learning.
- Brown, t. (9 de Mayo de 2022). *Brown, t. (9 de mayo de 2022). Mining. National Geographic Society. Brown, t. (9 de mayo de 2022). Mining. Mining .* Obtenido de National Geographic Society: Brown, t. (9 de mayo de 2022). Mining. Natio<https://education.nationalgeographic.org/resource/mining>
- Casanova, M., Ramon , X., & Matheu, N. (2008). *Diseño de complejos industriales*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Castañeda, R. (2011). *Diseño de una Familia de Estructuras para Señalización, Ligadas a un Programa Señalético, para la Terminal del Aeropuerto*

Internacional la Aurora. Ciudad de Guatemala, Guatemala: Universidad Rafael Landívar.

Clasificación de mercado. (2022). *Estándares técnicos para la clasificación de edificios por mercado*. (C. R. (NAIOP)., Ed.) Virginia , Estados Unidos. Obtenido de Estándares técnicos para la clasificación de edificios por mercado.

Correa, F. (2003). *Diseño estructural de un auditorio de estructuras metálicas*. Piura, Perú: Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería Civil.

Danert, K. (2009). *Hand Drilling Directory*. St. Gallen, Suiza.: Rural Water Supply Network (RWSN).

Darling, P. (2011). *Mining Engineering Handbook*. Obtenido de Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, INC. (SME).

Design Criteria for Boat Ramps. (2015). *Department of Transport and Main Roads*. Queensland, Australia.

Diez, J., & Omeda , S. (2008). *Diseño eco-hidrológico de pequeñas centrales hidroeléctricas: evaluación de caudales ecológicos*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Donoso, G. (2017). Diseño tanque Imhoff. En U. C. Quito, *Saneamiento, Ingeniería Civil*. Quito, Ecuador.

Erbe, S. (2021). *Erbe, S. (2021). DevelopDevelopment of a sustainable structural concept for the Maun Science Park*. Konstanz, Alemania: University of Technology, Business and Design Konstanz.

Erten, S., & Ozfiliz, S. (2016). *Stadium Construction and Sustainability: The Review of Mega-Event Stadiums (1990-2012)*. Estambul, Turquía: Istanbul Technical University.

Federal Aviation Administration [FAA]. (2005). *Runway Length Requirements for Airport Design*.

- García, A. (2022). Diseño de pasarela ciclopeatonal sobre el río Agres. En E. T. Caminos, *Universidad Politécnica de Valencia. Valencia*. Valencia, España.
- Geocon. (2016). *Muros con anclajes, suelo enclavado (Soil Nailing)*. Obtenido de En Geocon: <https://geocon.com.gt/servicios/muros-de-contencion/muros-de-suelo-enclavado/>
- González, M. (2020). *Conceptualización y definición de líneas de investigación prioritarias a nivel de la universidad*. Universidad de Pinar Río.
- Grigsby, L. (2001). *The Electric Power Engineering Handbook*. Estados Unidos. Obtenido de CRC Press.
- Haj Hussein, M. (2013). *Office Building Proje*t. Nablus, Jerusalem: An-Najah National University.
- Hermann, F. (2012). *Tipos de minería de carbón. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Washington D.C., Estados Unidos.
- Hernández, A., & Morales, F. (2005). *Diseño de Torres de Transmisión Eléctrica*. México D.F., México: Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura.
- Jochimsen, R. (1966). *Teoría de la infraestructura, Fundamentos de desarrollo de la economía de mercado*. JCB Mohr (Paul Siebeck) Tübingen.
- Lardé, J., & Sánchez, R. (2001). *Optimal Conceptual Design of High-Rise Office Buildings*. Obtenido de Unidad de Servicios de Infraestructura, CEPAL.
- Leal, A. (s.f.). *Bodega y Almacén*. Obtenido de En siigo: Leal, A. (2018). Bode<https://www.siigo.com/blog/empresario/bodega-almacen-diferentesconceptos-para-tu-negocio/>
- Lechman, J. (2017). *Muros de Contención con GEO5, el siguiente paso en la estabilización de un talud*. Obtenido de En Civilgeeks: <https://civilgeeks.com/2021/05/27/muros-de-retencion-con-geo5/>
- Litwin, E. (1994). *Litwin, E. (1994). La tecnología educativa y la didáctica: un debate vigente* (Vol. 3(6)). Obtenido de Educación.

- Lozano, W. (2012). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Bogotá, Colombia: Universidad Piloto de Colombia.
- Mallitásig, O. (2008). *Modelación y diseño digital para centrales de generación hidroeléctrica*. Quito, Ecuador : Universidad Politécnica Nacional.
- Meera, C. (2013). *Pre-engineered building design of an industrial warehouse, Structural Engineering*. Coimbatore, India: Regional Centre of Anna University.
- Mehlinger, H., & Power, S. (2000). *Mehlinger, H. y Powe Technology & Teacher Education. A Guide for Educators and Policymakers*. Estados Unidos: College Teaching.
- Mendívil, J. (2021). *Diseño de pasarela para ensayos con cargas peatonales*. Oviedo, España: Universidad de Oviedo, Escuela Politécnica de Mieres.
- Mikkonen, A. (2018). Biofiltration of airborne VOCs with green wall systems – Microbial and chemical. En J. W. Sons. New York, Estados Unidos.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. Marzo, 2. (2009). *Manual de Normas Sanitarias que establecen los procesos y métodos de Purificación de Agua para Consumo Humano*.
- Neufert, P. (2005). *Arte de proyectar* (14a. edición ed.). Barcelona: Gustavo Gill, S.A.
- Ordoñez, A. (2017). *Muros de contención*. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria, DEpartamento Académico de Recursos de Agua y Tierra.
- Osoy, E. (2021). Parque industrial y complejo industrial. En *Desarrollo inmobiliario*. En Qualicons. Obtenido de Desarrollo inmobiliario : <https://qualicons.com/2021/12/01/parque-industrial-y-complejo-industrial-cual-le-conviene-mas-a-su-empresa/>
- Ovando, E. (2011). *Diseño y cálculo sw una pasarela de metal*. Guatemala, Guatemala: Facultad de Ingeniería.
- Padrón, J. (2001). *El problema de organizar la investigación universitaria, Investigación de Postgrado*. Heredia: Universidad Peruana Cayetano.

- Padrón-Guillén, J. (1999). *El concepto de línea de investigación y sus implicaciones*. Caracas, Venezuela: Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez.
- Papparelli, A., & Kurbán, A. (2007). *Diseño urbano sustentable de conjuntos habitacionales*. Argentina: Universidad Nacional de San Juan. San Juan.
- Perrotti, D., & Sánchez, R. (2011). *La brecha de infraestructura en América Latina el Caribe*. Santiago de Chile, Chile: División de recursos naturales e infraestructura, Naciones Unidas.
- Pettit, T., Irga, P., & Torpy, F. (2019). *Te in situ pilot-scale phytoremediation of airborne VOCs and particulate matter with an active green wall*. Basilea, Suiza: Air Quality, Atmosphere and Health.
- Poon, D. (2004). *Structural design of a tall concrete tower*. Council on Tall Building and Urban Habit. New York, Estados Unidos: Thornton_Tomasetti Group.
- Prakash, B. (2009). *Desing of stable slope for opencast mines*. Departament of Mining Engineering. Roukela, India: National Institute of Technology.
- Puertas de García, M. (1996). *Diseño de las líneas de investigación de la Universidad Fermín Toro. Tesis Magister en Educación Superior*. Universidad Fermín Toro de Venezuela.
- Ramírez, P. (2001). *Vías Férreas*. Bogotá, Colombia: Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería.
- Rodríguez, M. (2011). *Líneas de investigación y dialogismo en los procesos investigativos en el campo universitario*. Universidad Andina Simón Bolívar.
- Rozas, P., & Sánchez, R. (2004). *Desarrollo de infraestructura y crecimiento económico: revisión conceptual*. Santiago de Chile, Chile: División de recursos naturales e infraestructura, Naciones Unidas.
- Rúa, C. (2006). *Los puertos en el transporte marítimo*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.

- Sandoval, A. (2004). *Diseño armónico de un teatro auditorio*. Hermosillo, México: Instituto Tecnológico de Hermosillo.
- Seliyan, S. (2015). *Railway Engineering*. Estados Unidos: Atlantic International University.
- Shepherd, P., Hudson, R., & Hines, D. (2011). *Shepherd, P, Hudson, Aviva Stadium: A parametric sucess*. Bath, Inglaterra: Universidad de Bath.
- Smet, J., & Wijk, C. (2002). *Small Community Water Supplies: Technology, People and Partnership: Groundwater*. Delt, Holanda: International Water and Sanitation Centre (IRC).
- Soler , F., González, N., Camarero, A., Almazan, J., & Palomino, M. (2013). Diseño de un modelo de planificación de zonas de actividades logísticas mediante el empleo de redes bayesianas. *Revista Ingeniería Industrial*.
- Srinivan, R. (1958). *Dock, Harbor and Tunnel Engineering*. Anand. E.E.U.U.College of Engineering an Technology.
- Tshitema, N., & Kallon, D. (2021). *Product Development of a Rock Reinforcing Bolt for Underground Hard Rock Mining: Mining*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/mining1030023>
- UNICEF. (2010). *Financing Options for Low-cost Well Drillers & Communities for Rural Water Supply*. Nueva York, Estados Unidos: United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF).
- Van der Wal, A. (2010). *Understanding Groundwater & Wells in Manual Drilling*. (H. P. Foundation, Ed.) Obtenido de Instruction handbook for Manual Drilling Teams on Hydrogeology for Well Drilling, Well Installation and Well Development.
- Veliz, C. (2009). *Estabilización de Taludes con pantallas de concreto lanzado con malla electro soldada y anclajes de concreto reforzado*. Guatemala, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.

- Villalaz, C. (2004). *Vías de comunicación: caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos*. México, México: Limusa Noriega Editoriales.
- WaterAid. (s.f.). Technology Notes. *Tubewells and Boreholes*.
- Wiley, J. (1998). Petroleum well construction. *Halliburton Energy Services*.
- Wurzel, P. (2001). Drilling Boreholes for Handpumps. *Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT)*.

APÉNDICES

Estas páginas contienen información elaborada por el estudiante que contribuye en la investigación.

Apéndice 1.

Resumen de elementos constructivos

Infraestructura	Tipo	Estructura	Métodos de construcción	Elementos constructivos	Dimensiones Estandar	Especificaciones
Económica	Transporte	Carreteras	Conformación de suelos	Subrasante	$e \leq 200\text{mm}$	Suelo natural cribado (rocas < 100mm)
				Subbase	$100\text{mm} \leq e \leq 700\text{mm}$	Suelo natural cribado (Tamiz 0.425 mm $\leq 50\%$, Tamiz 0.075 mm $\leq 25\%$, rocas < 70mm)
				Base	$100\text{mm} \leq e \leq 300\text{mm}$	Suelo natural estabilizado con cal y cemento (Tamiz #200 $\leq 70\%$)
			Pavimento rígido	Carpeta de rodadura	$50\text{mm} \leq e \leq 100\text{mm}$; losas de 3 a 6 m	Concreto hidráulico ($\geq 280\text{ kg/cm}^2$, barras de transferencia 3/4" $\leq \phi \leq 1-1/2"$ y 41cm $\leq L \leq 51\text{cm}$)
			Pavimento flexible	Carpeta de rodadura	$50\text{mm} \leq e \leq 100\text{mm}$	Concreto asfáltico (Método Marshall o SUPERPAVE)
			Encofrado e insitu	Cuneta y contracuneta	$\nabla = 2:1$; $e = 2.5\text{ cm}$, $0.60\text{m} \leq b \leq 0.80\text{m}$; $1.0\text{m} \leq B \leq 1.8\text{m}$; $h > 0.30\text{m}$	Concreto reforzado (210 kg/cm^2) Piedra triturada (Tamiz 4" y #200)
		Puentes	Encofrado	Vigas	$15\text{m} \leq L \leq 30\text{m}$	Concreto reforzado (200 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 350\text{ kg/cm}^2$)
					$50\text{m} \leq L \leq 200\text{m}$	Concreto prefabricado (200 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 350\text{ kg/cm}^2$)
				Segmento de arco	$180\text{m} \leq L \leq 700\text{m}$	Concreto reforzado (200 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 350\text{ kg/cm}^2$)
			Celosía	Mensula	$20\text{m} \leq L \leq 500\text{m}$	Concreto prefabricado (200 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 350\text{ kg/cm}^2$)
				Estructura Metálica	$20\text{m} \leq L \leq 200\text{m}$	Perfiles de acero
			Montaje	Cables a tensión	$500\text{m} \leq L \leq 1000\text{m}$, $55\text{mm} \leq \phi \leq 195\text{mm}$	Cables revestidos de cordones o alambres (de 1570MPa a 1960MPa)
		Vías Férreas	Conformación de suelos	Subbalasto	$255\text{mm} \leq h \leq 300\text{mm}$	Piedra triturada (Tamiz 4" y #200)
				Balasto	$255\text{mm} \leq h \leq 300\text{mm}$	Piedra triturada (2-1/2" y 1/2")
			Prefabricado	Durmiente	Sección Transversal: 7" x 9" $9" \leq L \leq 12'$	Concreto reforzado ($\geq 210\text{ kg/cm}^2$)
			Montaje	Viga	Sección Variable	Acero (2500 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 4500\text{ kg/cm}^2$)
		Estaciones	Conformación de suelos	Relleno	$100\text{mm} \leq e \leq 150\text{mm}$	Suelo natural cribado (rocas < 100mm)
			Encofrado	Firme de concreto	$e \leq 80\text{mm}$	Concreto simple con electromalla $f_c \leq 140\text{ kg/cm}^2$
			Encofrado	Losa	$e \leq 100\text{mm}$	Concreto reforzado (200 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 300\text{ kg/cm}^2$)
				Rampas	$3.3\text{m} \leq b \leq 4.6\text{m}$, $\nabla = 1:10$	Concreto reforzado (200 $\text{kg/cm}^2 \leq f_c \leq 300\text{ kg/cm}^2$)
			Montaje	Estructura Metálica	$6.10\text{m} \leq L \leq 12.20\text{m}$	Perfiles de Acero (2500 $\text{kg/cm}^2 \leq f_y \leq 4500\text{ kg/cm}^2$)
				Lamina Toquelada o Standing Seam	$6" \leq L \leq 16'$; $0.45\text{m} \leq s \leq 1\text{m}$	Polycarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26)

Continuación de Apéndice 1.

Económica	Transporte	Terminales	Montaje o encofrado	Vigas	250mmbs≤300mm, 250mmsh≤300mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Losa	e≤120mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Columnas	250mmbs≤300mm, 250mmsh≤300mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Zapatas	180mmse≤400mm, 0.5mL≤1.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	300mmbs≤700mm, 180mmse≤220mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Estructura Metalica	20mL≤200m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Rampas	3.3mbs≤4.6m, V=1:10	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Mamposteria	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
			Montaje	Estructura Metalica	6.10mL≤12.20m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Lamina Toquelada o Standing Seam	6'sL≤16'; 0.45m≤1m	Polycarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26)
		Aeropuertos	Conformación de suelos	Subrasante	e≤200mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
				Subbase	100mmse≤700mm	Suelo natural cribado (Tamiz 0.425 mm ≤50%, Tamiz 0.075 mm ≤25%, rocas<70mm)
				Base	100mmse≤300mm	Suelo natural estabilizado con cal y cemento (Tamiz #200 ≤70%)
			Pavimento flexible	Carpeta de rodadura	50mmse≤100mm	Concreto asfáltico (Método Marshall o SUPERPAVE)
			Montaje, encofrado o insitu	Vigas	250mmbs≤300mm, 250mmsh≤300mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Losa	e≤120mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Columnas	250mmbs≤300mm, 250mmsh≤300mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Zapatas	180mmse≤400mm, 0.5mL≤1.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	300mmbs≤700mm, 180mmse≤220mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Rampas	3.3mbs≤4.6m, V=1:10	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Montaje	Estructura Metalica	6.10mL≤12.20m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Lamina Toquelada o Standing Seam	6'sL≤16'; 0.45m≤1m	Polycarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26)
		Puertos	Insitu y prefabricado	Diques	h≤22.5m, a≤5m, V=1:1.25	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Prefabricado	Espigones	2m≤a≤6m, 300mmse≤400mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Insitu	Pilotes	450m≤ds≤650mm, 30msh≤40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Encofrado	Rampas	b≤4000mm, V=1:10	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
		Tuneles	Conformación de suelos	Relleno	100mmse≤150mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
			Encofrado	Firme de concreto	e≤80mm	Concreto simple con electromalla f _c ≤ 140 kg/cm ²
			Conformación de suelos	Subrasante	e≤200mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
				Subbase	100mmse≤700mm	Suelo natural cribado (Tamiz 0.425 mm ≤50%, Tamiz 0.075 mm ≤25%, rocas<70mm)
				Base	100mmse≤300mm	Suelo natural estabilizado con cal y cemento (Tamiz #200 ≤70%)
			Pavimento flexible	Carpeta de rodadura	50mmse≤100mm	Concreto asfáltico (Método Marshall o SUPERPAVE)
			Prefabricado	Segmento de arco	180mL≤700m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)

Continuación de Apéndice 1.

Económica	Transporte	Muros de Contención	Encofrado e insitu	Pantalla	3.5mshs12m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Encofrado e insitu	Talón	h≤95cm, 0.75mBs5.6m,	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Encofrado e insitu	Cuneta y contracuneta	V=2:1; e=2.5 cm, 0.60mshs0.80m; 1.0mshs1.8m; h>0.30m	Concreto reforzado (210 kg/cm ²) Piedra triturada (Tamiz 4" y #200)
	Energía y Minas	Centrales Electricas	Encofrado e insitu	Presa	h=variable (≈100m)	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Encofrado e insitu	Vertedero	3mshs5m,	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Montaje	Linea de aducción	d=variable (≈4.5m)	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Encofrado e insitu	Tanque de compensación	V=variable (≈20m ³)	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
		Centrales Eolicas	Encofrado e insitu	Zapata	3mshs5m, d=variable (≈35m)	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Encofrado e insitu	Pilotes	450mshs650mm, 30mshs40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Montaje	Segmentos de torre	80mshs175m (por segmentos ≈50m)	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
		Lineas de distribución	Prefabricado	Postes de distribución	8mshs10m, ds27cm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Postes de subtransmisión	h≤40m, 8mshs10m	Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
			Montaje o encofrado	Zapatas	1.5mshs3m; 3mshs5m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Pilotes	4.5mshs25m; 450mshs650mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
		Pozos de extracción	Excavación y montaje	Tubería Hidráulica	h≤40m; 300mshs500mm	PVC SDR 17.5 (315 psi)-SDR 51 (80psi)
				Tubería Petrolífera	1500mshs3250m; d=30-35cm	Acero (Grado K-55 o Grado P-110)
			Montaje o encofrado	Torres	60mshs80m; seccion variable	Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Conformación de suelos	Relleno	100mmshs150mm
	Industria y comercio	Naves industriales y bodegas	Encofrado	Losa	es100mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Pedestales	0.30mshs0.80m; 0.30mshs0.80m; 0.60mshs1m; Pernos A325 o A36 (d=1/2", 8"shs20")	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²); Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
			Mampostería	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
			Montaje	Estructura Metalica	20mshs200m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Lamina Toquelada, ondulada o Standing Seam	6"shs16"; 0.45mshs1m	Policarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26, termoacustica 18mmshs50mm)
		Torres Comerciales	Montaje o encofrado	Vigas	300mshs500mm, 1200mshs1500mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Losa	es120mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Columnas	300mshs1500mm, 300mshs1500mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Zapatas	180mshs400mm, 0.5mshs1.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	300mshs700mm, 180mshs220mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Montaje	Estructura Metalica	6.10mshs12.20m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
		Centros Comerciales	Conformación de suelos	Relleno	100mmshs150mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
				Losa	es100mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Encofrado	Pedestales	0.30mshs0.80m; 0.30mshs0.80m; 0.60mshs1m; Pernos A325 o A36 (d=1/2", 8"shs20")	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²); Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Mampostería	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
			Montaje	Estructura Metalica	6.10mshs12.20m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Lamina Toquelada o Standing Seam	6"shs16"; 0.45mshs1m	Policarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26, termoacustica 18mmshs50mm)

Continuación de Apéndice 1.

Social	Sanitaria	Alcantarillas	Excavación o montaje	Tubería Hidráulica	8"≤sds≤32"; 2%≤ss≤3% 15"≤sds≤98"; 2%≤ss≤3%	PVC SDR 17.5 (315 psi)-SDR 51 (80psi) Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 350 kg/cm2)
		Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	Encofrado e insitu	Canal de Rejillas	a=0.30 m; L=3 m; h=0.85 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2); Acero (2500 kg/cm2 ≤ fy ≤ 4500 kg/cm2)
				Caja de Trampa de Grasas	a=0.80 m; L=2.50m; h=2.60m; pantalla=variable	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2); Acero (2500 kg/cm2 ≤ fy ≤ 4500 kg/cm2)
				Tanque de Aireación	a=2.35 m; L=5.50m; h=4.50 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Contactador	a=1 m; L=2.50 m; h=2.60 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Digestor de Lodos	a=1 m; L=5.50 m; h=4.50 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2); Acero (2500 kg/cm2 ≤ fy ≤ 4500 kg/cm2)
				Clarificador	a=0.80 m; L=2.85 m; h=2.80 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Tanque de Contacto	a=0.80 m; L=1 m; h=4.50 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
		Fosa Septica	Encofrado e insitu	Tanque de Sedimentación	a>0.60; 2a≤L≤5a; h>0.75m	Concreto reforzado (210 kg/cm2) Piedra triturada (Tamiz 4" y #200)
		Pozo de Absorción	Excavación y montaje	Tubería Hidráulica	4mshs6m; 0.80msds1.5m	Concreto reforzado (210 kg/cm2) Piedra triturada (Tamiz 4" y #200)
		Zanja de absorción	Encofrado e insitu	Canal de Absorción	0.25msas0.50m; L=4.30; h=0.60m	PVC SDR 17.5 (315 psi)-SDR 51 (80psi) Suelo natural cribado (rocas<100mm) Piedra triturada (Tamiz 4" y #200)
		Letrina	Excavación e insitu	Camara Septica	2mshs4.5m; brocal=0.25m; a=1.25m; b=1.25m	Concreto reforzado (200 kg/cm2)
			Mamposteria	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm2, 100 kg/cm2 y 133 kg/cm2
		Tanques Imhoff	Encofrado e insitu	Tanque de Sedimentación	d=4.20m; h=4.55m; 0.20mses0.30m; θsedimentador=55°; s fondo=20°	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
		Sistemas de agua potable	Excavación o montaje	Tubería Hidráulica	1/2"≤sds8"	PVC SDR 13.5 (315 psi)-SDR 51 (80psi)
		Plantas de Tratamiento de Agua Potable	Encofrado e insitu	Cámara de carga	a=0.90 min; L=1.20 min; t=15 a 45 seg	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Desarenador	V=variable	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Aereador	300 a 900 m3/m2/día; 3mshs3.60m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Vertedero	w=91 cm; c=122cm; d=157cm; h=91cm; Lgarganta=61cm; Ldivergente=91cm; Vc ≥ 0.72 m/seg; 0.75mses0.85m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Floculador	0.15m/segvs 0.34m/seg; T=15-45 min; a canal=0.45 o 0.50 cm; h>60cm	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Decantador	3.7mshs4.9m; L=30m (circulares, d≤ 60m); 5msas10m d difusor=1.5 a 4.5m; 2hsT≤4h; 0.45m/minsv sistemas 0.90m/min; v lodos<0.30 m/seg; θ conos=45° y 65°; s fondo=8%	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)
				Filtración	2.45mshs3m; A lecho=400m2 v=5 a 15 m/h; 9.35 a 280 m3 por m2 por día; 0.3mmse filtros2.5mm; e arena= 0.60 a 0.65m; e grava=0.30 a 0.40 m; L canaletas=0.8 a 1m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2) Arena 0,40 a 0,50 mm (uniformidad 1.5) Grava 1/6" a 3"
				Clarificador	a=0.80 m; L=2.85 m; h=2.80 m	Concreto reforzado (200 kg/cm2 ≤ f'c ≤ 300 kg/cm2)

Continuación de Apéndice 1.

Social	Urbana	Torres Residenciales	Montaje o encofrado	Vigas	300mmsbs500mm, 1200mmsbs1500mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Losa	es120mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Columnas	300mmsbs1500mm, 300mmsbs1500mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Zapatas	180mmses400mm, 0.5msL≤1.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	300mmsbs700mm, 180mmses220mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 350 kg/cm ²)
			Montaje	Estructura Metalica	6.10msL≤12.20m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
		Conjuntos Residenciales	Montaje o encofrado	Vigas	140mmsbs190mm, 300mmsbs350mm	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
				Losa	es120mm	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
				Columnas	250mmsbs350mm, 250mmsbs350mm	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
				Zapatas	180mmses400mm, 0.5msL≤1.40m	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	500mmsbs1400mm, 180mmses220mm	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
			Mamposteria	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
		Hospitales	Montaje o encofrado	Vigas	300mmsbs500mm, 500mmsbs700mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Losa de entrepiso	es150mm	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
				Columnas	500mmsbs700mm, 500mmsbs700mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Losa de cimentación	30cmses50cm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Zapatas	180mmses400mm, 0.5msL≤1.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	300mmsbs700mm, 180mmses220mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Mamposteria	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
		Centros Educativos	Conformación de suelos	Relleno	100mmses150mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
			Encofrado	Losa	es100mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Pedestales	0.30mbsbs0.80m; 0.30msas0.80m; 0.60mshs1m; Pernos A325 o A36 (d=1/2", 8"shs20")	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²); Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
			Mamposteria	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
			Montaje	Estructura Metalica	6.10msL≤12.20m	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Lamina Toquelada o Standing Seam	6'sL≤16'; 0.45msas1m	Polycarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26, termoacustica 18mmses50mm)
		Auditorios, iglesias, teatros y cines	Montaje o encofrado	Vigas	300mmsbs500mm, 500mmsbs700mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Losa de entrepiso	es150mm	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
				Columnas	500mmsbs700mm, 500mmsbs700mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Losa de cimentación	30cmses50cm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Zapatas	180mmses400mm, 0.5msL≤1.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Cimiento Corrido	300mmsbs700mm, 180mmses220mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Mamposteria	Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²
		Estadios deportivos	Montaje o encofrado	Vigas	300mmsbs500mm, 500mmsbs700mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Losa de entrepiso	es250mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Columnas	600mmsbs750mm, 600mmsbs750mm	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Zapatas	180mmses400mm, .5msL≤5.40m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Rampas	3.3msbs4.6m, V=1:10	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
			Montaje	Estructura Metalica	6.10msL≤12.20m; 1"sds8"	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
			Mamposteria	Lamina Toquelada o Standing Seam	6'sL≤16'; 0.45msas1m	Polycarbonato o Aluzinc (Calibre 24 o Calibre 26, termoacustica 18mmses50mm)
				Bloque Un Tabique y Doble Tabique	b=140 y 190 mm	66 kg/cm ² , 100 kg/cm ² y 133 kg/cm ²

Continuación de Apéndice 1.

Social	Urbana	Pasarelas	Montaje o encofrado	Vigas	400mm _s b≤450mm, 400mm _s h≤450mm	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Losa	100mm _s e≤300mm; 1.5m _s a≤2m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
				Pilares	200mm _s b≤300mm, 200mm _s h≤300mm	Perfiles de Acero (2500 kg/cm ² ≤ f _y ≤ 4500 kg/cm ²)
				Zapatas	400mm _s e≤1000mm, 1.5m _s L≤4.5m	Concreto reforzado (210kg/cm ²)
Medio Ambiental	Parques Ecologicos	Plataformas	Conformación de suelos	Relleno	100mm _s e≤150mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
		Encaminamientos	Conformación de suelos	Terracería	100mm _s e≤150mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)
			Insitu	Losa	e≤120mm; 1.5m _s a≤2m	Concreto reforzado (200 kg/cm ² ≤ f _c ≤ 300 kg/cm ²)
	Reservas Naturales	Plataformas	Conformación de suelos	Relleno	100mm _s e≤150mm	Suelo natural cribado (rocas<100mm)

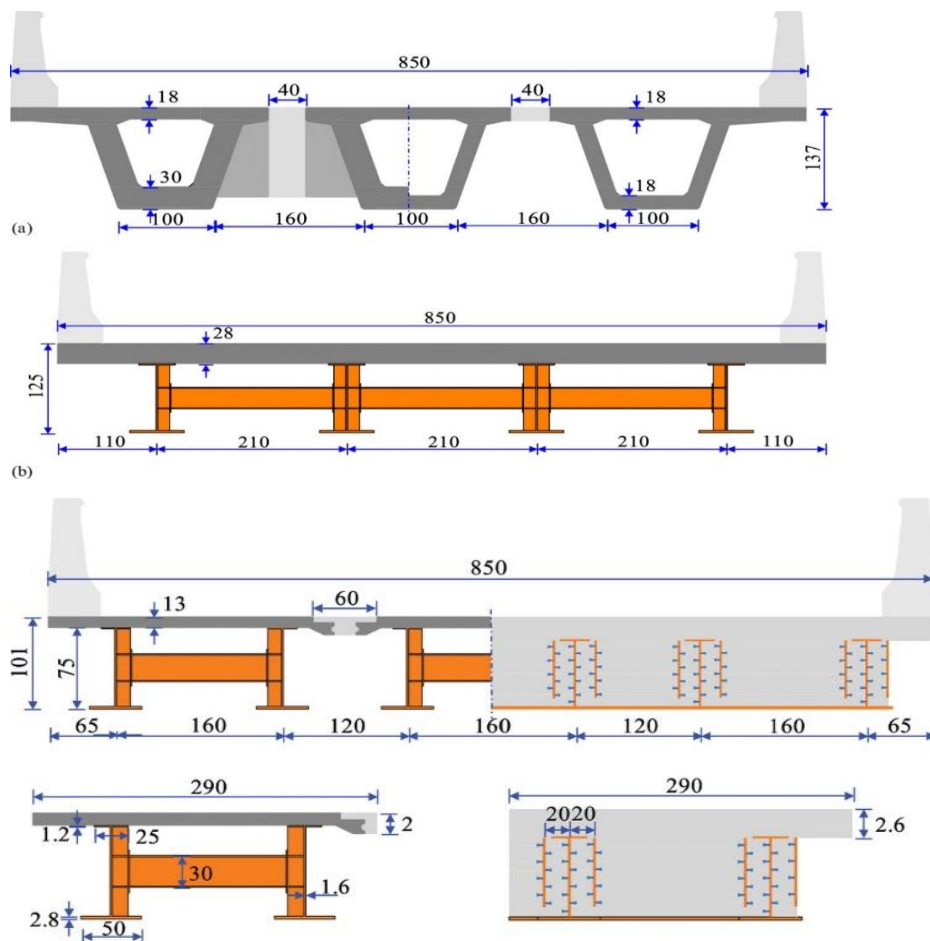
Nota. Cuadro resumen de detalles y especificaciones general de elementos constructivos. Elaboración propia.

ANEXOS

Estas páginas contienen información obtenida de una fuente externa para la investigación.

Anexo 1.

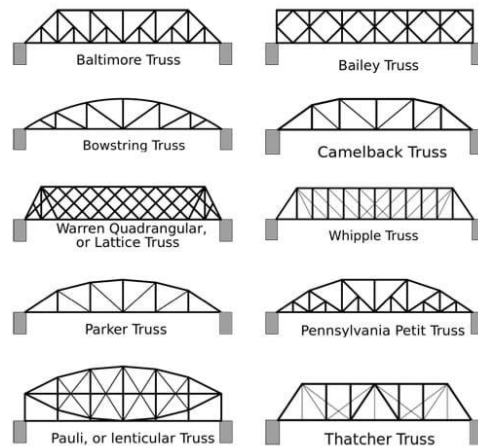
Sección de vigas presforzadas para puentes



Nota. Transverse Joint Design of Small-Medium-Span Fully Precast Steel-UHPC Lightweight Composite Bridge. Consultado de American Society of Civil Engineers (ASCE, <https://ascelibrary.org/>) . Consultado el 15 de marzo 2022.

Anexo 2.

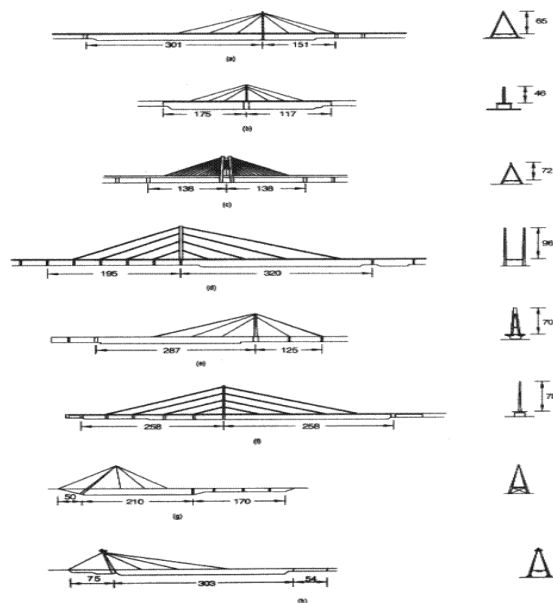
Esquema de celosía para puentes



Nota. Esquema de celosía para puentes. Truss structure design of bridges. (<https://www.teachengineering.org/>). Consultado el 26 de abril 2022.

Anexo 3.

Esquema de tirantes para puentes



Nota. Esquema de cables de puentes atirantados. Optimum seismic design of curved cable-stayed bridges. (<https://www.sciencedirect.com/>). Consultado el 3 de abril 2022.

Anexo 4.

Necesidades especiales de los métodos de tunelización

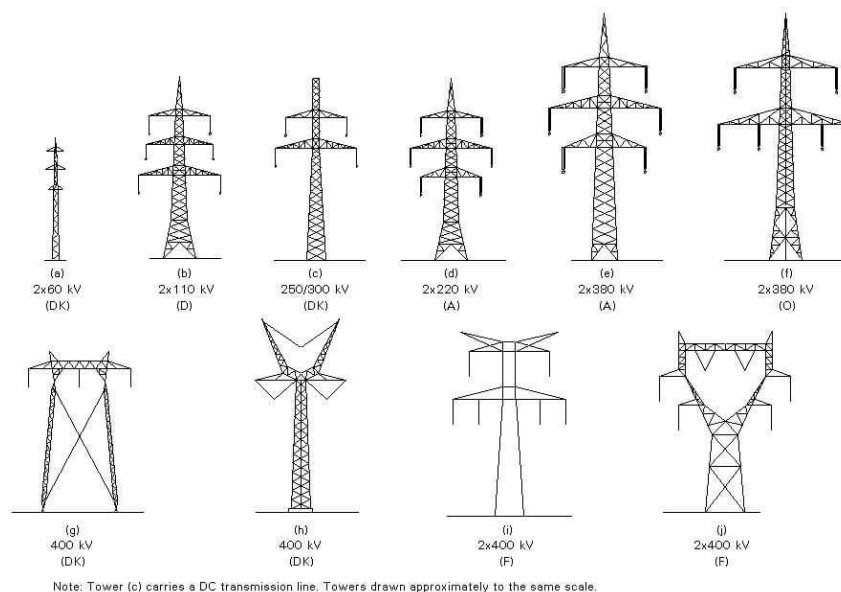
Table 3.5.1-1—Special Investigation Needs Related to Tunneling Methods (Adapted from Bickel, et al., 1996)

Cut and cover (see Chapter 5)	Plan exploration to obtain design parameters for excavation support, and specifically define conditions closely enough to reliably determine best and most cost-effective location to change from cut and cover to true tunnel mining construction.
Drill-and-Blast (see Chapter 6)	Data needed to predict stand-up time for the size and orientation of tunnel.
Rock Tunnel Boring Machine (TBM) (see Chapter 6)	Data required to determine cutter costs and penetration rate is essential. Need data to predict stand-up time to determine if open-type machine will be okay or if full shield is necessary. Also, water inflow is very important.
Roadheader (see Chapter 6)	Need data on jointing to evaluate if roadheader will be plucking out small joint blocks or must grind rock away. Data on hardness of rock is essential to predict cutter/pick costs.
Shielded Soft Ground TBM (see Chapter 7)	Stand-up time is important to face stability and the need for breasting at the face, as well as to determine the requirements for filling tail void. Need to fully characterize all potential mixed-face conditions.
Pressurized-Face TBM (see Chapter 7)	Need reliable estimate of groundwater pressures and of strength and permeability of soil to be tunneled. Essential to predict size, distribution, and amount of boulders. Mixed-face conditions must be fully characterized.
Compressed Air (see Chapter 7)	Borings must not be drilled right on the alignment and must be well grouted so that compressed air will not be lost up old bore hole in case tunnel encounters old boring.
Solution-Mining (see Chapter 8)	Need chemistry to estimate rate of leaching and undisturbed core in order to conduct long-term creep tests for cavern stability analyses.
Sequential Excavation Method/NATM (see Chapter 9)	Generally requires more comprehensive geotechnical data and analysis to predict behavior and to classify the ground conditions and ground support systems into four or five categories based on the behavior.
Immersed Tube (see Chapter 11)	Need soil data to reliably design dredged slopes and to predict rebound of the dredged trench and settlement of the completed immersed tube structure. Testing should emphasize rebound modulus (elastic and consolidation) and unloading strength parameters. Determine soil strength parameters for slope stability, settlement and bearing capacity evaluations. Also need exploration to assure that all potential obstructions and/or rock ledges are identified, characterized, and located. Any contaminated ground should be fully characterized.
Jacked Box Tunneling (see Chapter 12)	Need data to predict soil skin friction and to determine the method of excavation and support needed at the heading.
Portal Construction	Need reliable data to determine most cost-effective location of portal and to design temporary and final portal structure. Portals are usually in weathered rock/soil and sometimes in strain-relief zone.
Construction Shafts	Should be at least one boring at every proposed shaft location.
Access, Ventilation, or Other Permanent Shafts	Need data to design the permanent support and groundwater control measures. Each shaft deserves at least one boring.

Nota. Necesidades especiales de investigación relacionadas con métodos de tunelización. Technical Manual for Design and Construction of Road Tunnels. Obtenido de American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO, 2010), pág. 83.

Anexo 5.

Secciones típicas de torres eléctricas



Nota. Secciones típicas de torres de conducción eléctrica. Transmission Towers and Conductors. Obtenido de Western Renewable Link, AusNet Services (2022). pág. 12.

Anexo 6.

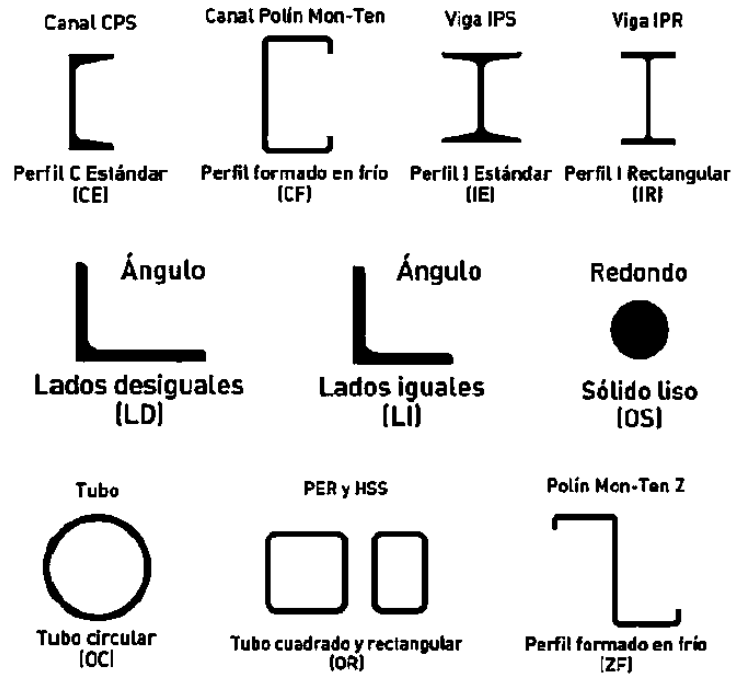
Tamaños de estaciones de trabajo en oficinas

Oficinista	48 pies ² (4,46 m ²)
Secretaría	72 pies ² (6,70 m ²)
Director de departamento	100 pies ² (9,30 m ²)
Director general	144 pies ² (13,40 m ²)
2.º Vicepresidente	216 pies ² (18,54 m ²)
1.º Vicepresidente	324 pies ² (27,89 m ²)
Personal especializado autónomo	6,00–9,00 m ²
Personal especializado en sala múltiple	5,00 m ²
Personal especializado en sala de trabajo	3,80–4,80 m ²
Sala de reuniones: por persona	2,50 m ²
– Altura libre en función de la superficie:	
hasta 50 m ²	2,50 m
más de 50 m ²	2,75 m
más de 100 m ²	3,00 m
más de 250–2000 m ²	3,25 m

Nota. Criterios de diseño de áreas de estaciones de trabajo para oficinas. Arte de proyectar. Obtenido de Neufert, P. (2005), p. 304.

Anexo 7.

Tipos de perfiles estructurales de acero



Nota. Tipos de perfiles estructurales de acero. Manual Técnico de Estructuras Metálicas. Obtenido de Fundación Universitaria Antonio de Arévalo (2020), p. 98.