



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

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE ESTÁNDARES PARA CONSTRUCCIÓN DE
INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL PARA TELEFONÍA CELULAR, EN UNA EMPRESA
DE TELECOMUNICACIONES UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Pedro Antonio Duarte Pérez

Asesorado por el MSc. Ing. Víctor Alberto Betancourth Balán

Guatemala, octubre de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE ESTÁNDARES PARA CONSTRUCCIÓN DE
INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL PARA TELEFONÍA CELULAR, EN UNA EMPRESA
DE TELECOMUNICACIONES UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

PEDRO ANTONIO DUARTE PÉREZ

ASESORADO POR EL MSC. ING. VICTOR ALBERTO BETANCOURTH
BALÁN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
EXAMINADORA	Inga. Dilma Yanet Mejicanos Jol
EXAMINADOR	Ing. Julio Roberto Luna Aroche
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala y el Normativo de Tesis de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE ESTÁNDARES PARA CONSTRUCCIÓN DE
INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL PARA TELEFONÍA CELULAR, EN UNA EMPRESA
DE TELECOMUNICACIONES UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**

Tema que fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 3 de julio de 2021.

Pedro Antonio Duarte Pérez

Ref. EEPFI-0809-2021
Guatemala, 08 de julio de 2021

Director
Armando Fuentes Roca
Escuela de Ingeniería Civil
Presente.

Estimado Ing. Fuentes:

Reciba un cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado y aprobado el **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: ESTANDARES PARA CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL PARA TELEFONIA CELULAR, EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante **Pedro Antonio Duarte Pérez** carné número **199910863**, quien optó por la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la Maestría en Artes en Gestión Industrial.

Y habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Décimo, Inciso 10.2 del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.



Victor Betancourth
Ingeniero Civil
Msc. en Estructuras
Colegiado 3,477

Mtro. Víctor Alberto Betancourth Balán
Asesor

"Id y Enseñad a Todos"



Mtro. Carlos Humberto Aroche
Coordinador de Maestría
Gestión Industrial – Fin de Semana



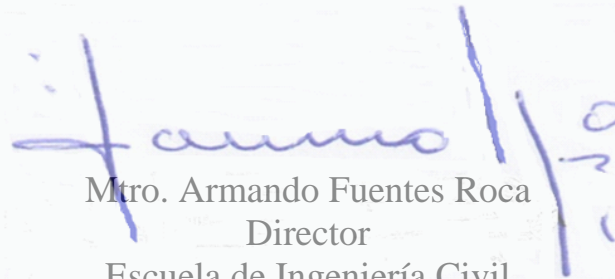
Mtro. Edgar Darío Álvarez Cotí
Director
Escuela de Estudios de Postgrado
Facultad de Ingeniería



EEP-EIC-007-2021

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 y Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, del Diseño de Investigación en la modalidad Estudios de Pregrado y Postgrado titulado: **ESTANDARES PARA CONSTRUCCION DE INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL PARA TELEFONIA CELULAR, EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Pedro Antonio Duarte Pérez, procedo con el Aval del mismo, ya que cumple con los requisitos normados por la Facultad de Ingeniería en esta modalidad.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Mtro. Armando Fuentes Roca
Director
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala, agosto de 2021





DTG.490.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN SOBRE ESTÁNDARES PARA CONSTRUCCIÓN DE INFRAESTRUCTURA DE OBRA CIVIL PARA TELEFONÍA CELULAR, EN UNA EMPRESA DE TELECOMUNICACIONES UBICADA EN EL DEPARTAMENTO DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Pedro Antonio Duarte Pérez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, octubre de 2021

AACE/cc

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Mi Creador, por darme vida y sabiduría para realizar una más de mis metas.
- Mis padres** Pedro Duarte (q.e.p.d.) y Elvira Pérez, por regalarme la dicha de vivir; por enseñarme que para alcanzar mis metas es necesario esforzarme; por guiarme en el camino del bien; mi eterno agradecimiento por su apoyo para hacer realidad este sueño.
- Mis hermanas** Maritza, Marcin y Drei Duarte, por su apoyo, consejos y compañía durante mi vida.
- Mis hijos** André, Jhonalek y Dessiré Duarte, porque han sido un regalo a mi vida; porque me inspiran día a día a ser mejor persona.
- Mi familia** Por darme siempre su cariño y consejos.
- Mis amigos** Por su inigualable amistad; por brindarme su apoyo y consejos en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser el alma <i>mater</i> que permitió nutrirme de conocimientos.
Facultad de Ingeniería	Por haberme formado como profesional y facilitarme las herramientas para realizar este trabajo de graduación.
Mi asesor	MSc. Ing. Víctor Alberto Betancourth Balán, por haberme guiado durante la elaboración del trabajo de graduación.
Mis maestros y catedráticos	Por compartir sus conocimientos y enseñanzas con paciencia y dedicación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
3.1. Contexto general.....	7
3.2. Descripción del problema.....	7
3.3. Formulación del problema.....	9
3.3.1. Pregunta central.....	9
3.3.2. Preguntas auxiliares.....	9
3.4. Delimitación del problema.....	10
4. JUSTIFICACIÓN.....	11
5. OBJETIVOS.....	13
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN.....	15
7. MARCO TEÓRICO.....	17
7.1. Industria de telecomunicaciones.....	17

7.2.	Infraestructura de telecomunicaciones	17
7.3.	Sitio de celda móvil.....	18
7.4.	Componentes de un sitio de celda móvil	20
7.4.1.	Estructura principal	20
7.4.2.	Caseta de transmisión	20
7.4.3.	Muro perimetral	20
7.4.4.	Base para equipos.....	21
7.4.5.	Sistema de energía.....	21
7.4.6.	Sistema de tierras.....	22
7.4.7.	Sistema de transmisión	22
7.5.	Soluciones de red móvil de telefonía celular.....	22
7.5.1.	Soluciones para exteriores (<i>outdoor</i>).....	23
7.5.2.	Soluciones para interiores (<i>indoor</i>).....	23
7.6.	Estructuras para sitios de celda móvil	24
7.6.1.	Estructuras tipo autosoportadas	24
7.6.2.	Estructuras tipo arriostradas	25
7.6.3.	Estructuras tipo monopolos	26
7.6.4.	Estructuras especiales.....	27
7.7.	Materiales para la construcción de infraestructura de telefonía móvil	28
7.7.1.	Acero	29
7.7.2.	Concreto	31
7.7.3.	Madera	32
7.7.4.	Block.....	33
7.7.5.	Fibra de vidrio	34
7.7.6.	Lámina de policarbonato	35
7.7.7.	Depósito de agua de polietileno	36
7.7.8.	Aleaciones	37
7.8.	Selección de materiales de obra civil	38

7.8.1.	Propiedades de los materiales	38
7.8.2.	Inspección de los materiales	38
7.8.3.	Ensayos de los materiales.....	39
7.9.	Calidad total	53
7.9.1.	Definición de la calidad.....	53
7.9.2.	Gestión de la calidad	54
7.9.3.	Círculos de calidad	54
7.9.4.	Control de calidad.....	55
7.9.5.	Administración estratégica de la calidad.....	56
7.9.6.	Análisis FODA	56
7.10.	Metodología Kaizen.....	57
7.10.1.	Implementación de la metodología Kaizen	59
7.10.2.	Reglas de la metodología Kaizen	59
7.10.3.	Fases de la metodología Kaizen	60
7.10.4.	Equipos de la metodología Kaizen	60
7.10.5.	Plan de implementación de la metodología Kaizen.....	60
7.11.	Estándares de construcción de infraestructura de obra civil	61
7.11.1.	Estándares del sistema de tierra física	71
7.11.2.	Estándares del sistema de pararrayos	75
7.11.3.	Estándares de pintura.....	78
7.11.4.	Estándares de mampostería.....	81
7.11.5.	Estándares eléctricos y de canalizaciones	82
7.12.	Estándares para torres y monopolos.....	88
7.12.1.	Estructuras de torres y accesorios	88
7.12.2.	Dispositivo de seguridad.....	93
7.12.3.	Diseño de estructura principal y cimentación	96
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS	99

9.	METODOLOGÍA.....	103
9.1.	Enfoque	103
9.2.	Diseño	103
9.3.	Tipo de estudio	104
9.4.	Alcance.....	104
9.5.	Variables e indicadores	104
9.6.	Fases de la investigación	107
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN.....	109
11.	CRONOGRAMA.....	111
12.	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO	113
13.	REFERENCIAS.....	115
14.	APÉNDICES	125

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Esquema de solución.....	16
2. Estructura autosoportada tipo triangular.....	25
3. Estructura arriostrada.....	26
4. Estructura tipo monopolo.....	27
5. Soluciones especiales.....	28
6. Acero utilizado en soportes de antenas.....	30
7. Concreto utilizado en la fundición de bases de torre.....	31
8. Uso de la madera en mimetización.....	32
9. Muro de cerramiento con block.....	33
10. Mimetización en fibra de vidrio.....	34
11. Mimetización de ventana con lámina de policarbonato.....	35
12. Mimetización tipo tinaco.....	36
13. Cerramiento de mimetización tipo columna con durock.....	37
14. Verificación de resistencia del concreto premezclado.....	40
15. Especímenes para prueba de resistencia a la compresión.....	41
16. Ensayo de tensión del acero.....	43
17. Medición de espesor del acero de montante de torre.....	44
18. Medición de galvanizado en montante de torre.....	45
19. Medición de dureza en montante de torre.....	46
20. Grabado del grado estructural del acero.....	50
21. Verificación visual del número de lote en block.....	51
22. Ensayo de medición de resistencia a la compresión.....	52
23. Ciclo PDCA.....	58

24. Medición de resistencia a tierra física.....	71
25. Barra de puesta a tierra.....	73
26. Registro de electrodo.....	77
27. Instalación de pararrayos en torre autosoportada.....	78
28. Pintura en torre autosoportada.....	79
29. Mimetización de torre.....	80
30. Pintura en caseta.....	81
31. Construcción de muro de mampostería.....	82
32. Acometida principal.....	84
33. Tablero de distribución principal y supresor de transientes.....	85
34. Iluminación sobre mampara.....	86
35. Fococelda y caja de control de luces de navegación aérea.....	87
36. Lámpara de obstrucción doble.....	88
37. Línea de vida y escalera de ascenso con <i>stepper</i>	95

TABLAS

I. Infraestructura de radiobases de telefonía móvil por departamento	19
II. Pérdida de dB por el uso de materiales en mimetizaciones	29
III. Tabla de conversión de durezas	47
IV. Tabla de especificaciones ASTM aplicables para varias formas estructurales	49
V. Normas relacionadas con estructuras de torres y monopolos	62
VI. Normas relacionadas con el concreto.....	65
VII. Normas relacionadas con energía y tierras	67
VIII. Normas relacionadas con mampostería	68
IX. Normas relacionadas con tuberías de conducción eléctrica	69
X. Normas relacionadas con pintura de estructuras.....	70
XI. Torque promedio para tornillería A325	89

XII.	Torque promedio recomendado para tornillería ISO R898 clase 8.8 (mm)	90
XIII.	Torque de pernos para torres arriostradas	91
XIV.	Promedio mínimo en micrones (μm) de espesor de recubrimiento de galvanizado, según ASTM A 123.....	92
XV.	Longitud de escalerilla con <i>stepp</i> a instalar según altura de estructura.....	96
XVI.	Operacionalización de variables	105
XVII.	Cronograma para el trabajo de investigación	111
XVIII.	Presupuesto para el trabajo de graduación	114

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
Δt	Delta de tiempo
GHz	Giga Hertz. Unidad de medida de frecuencia equivalente a un millardo de ciclos por segundo.
Kg/cm²	Kilogramo (s) sobre centímetro (s) cuadrado
Ksi	Libras de fuerza por pulgada cuadrada
Mpa	Megapascal.
MPH	Millas por hora
N/mm²	Newton sobre milímetro cuadrado
Psi	Libras por pulgada cuadrada
m	Metro
μm	Micrones
dBm	Nivel absoluto de potencia expresado en decibelios y relativo a 1 miliwatt
Ω	Ohmio
'	Pie
”	Pulgadas
F'c	Resistencia máxima del concreto a compresión

GLOSARIO

ACI	<i>American Concrete Institute.</i>
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
Agregado fino	Agregado que pasa el tamiz de 4.75 milímetros (# 4).
AISC	<i>American institute of Steel Construction.</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute.</i>
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers.</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
AWG	<i>American Wire Gauge.</i>
AWS	<i>American Welding Society.</i>
Cadweld	Tipo de soldadura industrial que se utiliza para unir el cable AWG de medida 2/0 con la varilla de cobre.
Capex	Es el gasto de capital que una empresa realiza en bienes.

Celda	Unidad mínima de servicio o cobertura de un sistema de comunicación inalámbrica.
Ciclo de Deming	Concepto de una rueda de rotación perenne, para enfatizar la necesidad de una constante interacción entre la investigación, diseño, desarrollo y resultados para alcanzar la mejora continua.
Cobertura	Área geográfica en la cual se puede establecer comunicación con una red de telefonía móvil celular.
Conmutación	Es el encargado de administrar las comunicaciones que se realizan entre los diferentes usuarios de la red
DGCA	Dirección General de Aeronáutica Civil.
EIA	<i>Electronic Industries Alliance.</i>
GEM	<i>Ground Enhancement Material.</i>
Indoor	Término que se utiliza para identificar la posición de los equipos en la estación de telefonía ubicados dentro de un inmueble.
ITU	<i>International Telecommunication Union</i>
Kaizen	Mejoramiento continuo, en su forma traducida.

Mástil	Elemento metálico vertical que se utiliza para la colocación de antenas.
MEM	Ministerio de Energía y Minas.
NSE	Norma de Seguridad Estructural.
N/mm²	Newton sobre milímetro cuadrado.
NTG	Normas técnicas guatemaltecas.
<i>Outdoor</i>	Término que se utiliza para identificar la posición de los equipos en la estación de telefonía, ubicados en la intemperie.
PVC	Policlorato vinílico.
Quibacsol	Compuesto mineral mejorador de la conductividad del terreno.
Red celular	Conjunto de elementos que permiten la comunicación móvil inalámbrica. Su nombre se deriva de la representación hexagonal de sus unidades básicas de servicio también denominadas celdas.
Rotomoldeo	Operación que describe la fabricación de depósitos de agua.
RRU	<i>Radio Remote Unit.</i>

SIT	Superintendencia de Telecomunicaciones.
SSPC	<i>Steel Structures Painting Council.</i>
TIA	<i>Telecommunications Industry Association.</i>
THHN	<i>Thermoplastic High Heat Nylon.</i>
UL	<i>Underwriters Laboratories.</i>
UNE	Unificación de normativas españolas.
WPS	<i>Welding Procedure Specification</i>

RESUMEN

La presente investigación busca sistematizar el proceso de construcción de infraestructuras de obra civil para telefonía celular en una empresa de telecomunicaciones.

Dado que, se carece de estándares para la construcción de infraestructura, fue necesario describir los distintos materiales que se utilizan, así como los ensayos y estándares nacionales e internacionales que estos deben cumplir previo a ser utilizados en la construcción. Se indica la manera en que estos deben ser inspeccionados, supervisados e instalados, con la finalidad de mejorar la calidad de la infraestructura terminada.

Se propone la verificación y evaluación de la infraestructura desde distintos puntos de vista: como el área de planificación y de construcción, implementación y operaciones; con la finalidad de obtener la mejora del sistema por medio de la implementación de un sistema de calidad total de la infraestructura como el método Kaizen, para involucrar a todas las personas que forman parte de la organización.

1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación busca sistematizar el proceso de construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular en una empresa de telecomunicaciones, elaborando procedimientos y registros que serán utilizados para el control de calidad.

El problema principal que se tiene en la empresa de telecomunicaciones es que, a pesar de existir un proceso de planificación de los proyectos que se van a ejecutar, la infraestructura construida y entregada ha presentado fallos antes de ser utilizada o bien antes del cumplimiento de su vida útil. Por tal razón es importante esta investigación, ya que permitirá diseñar estándares para la construcción y con esto podrá mejorarse la calidad de la infraestructura. Los beneficios para la empresa son la experiencia positiva y lealtad de sus clientes, pues tendrán menos eventos en los cuales se queden sin servicio debido a fallas causadas por problemas que surjan, además de la disminución en el gasto que causa la reparación de infraestructuras dañadas.

El trabajo de investigación tendrá un enfoque mixto, con un diseño de solución no experimental, utilizando métodos teóricos basados en instrumentos de recolección de datos, entrevistas, análisis de documentación y observación, que son necesarios para llevar un control de calidad.

La arquitectura de solución que se ensayará constará de cuatro fases: en la primera se realizará una revisión documental para dar contexto a los antecedentes del problema; en la segunda se realizará un diagnóstico para medir la calidad de la infraestructura de obra civil; en la tercera se hará un

análisis interno de la empresa, identificando las áreas involucradas en la construcción de infraestructura, y en la parte final se elaborará una propuesta de mejora en la calidad de construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil.

El trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para realizar las diferentes fases de la investigación. La empresa autoriza la realización del trabajo de investigación, brindando los recursos necesarios, humanos, tecnológicos, información e infraestructura.

El informe final de investigación consistirá en el desarrollo de cuatro capítulos: el primero será el marco teórico; el cual brindará generalidades y antecedentes para el desarrollo de la investigación; el segundo, corresponde al análisis de la investigación y la recopilación de datos del personal que interactúa en la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil de la empresa; el tercero corresponde a la presentación de resultados de los datos obtenidos en las encuestas y entrevistas a realizar, desarrollando los procesos que permitan la implementación de estándares, normas, reglamentos técnicos y procedimientos para la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil; en el cuarto y último capítulo se realizará la discusión respecto de la propuesta de estándares de construcción en una infraestructura de obra civil para telefonía móvil.

2. ANTECEDENTES

A continuación, se citan algunas investigaciones previas respecto a la infraestructura de obras civiles para telefonía móvil, con diversos enfoques, que pueden servir de soporte para el presente trabajo.

Latorre *et al.* (2019) indica que es posible mejorar la productividad al implementar la filosofía *Lean Construction*. Hace una comparación entre la industria automotriz y la de la construcción, analiza e indica que si se optimizan los recursos es posible mejorar la calidad y disminuir los gastos de construcción.

Esta investigación aporta la identificación de la secuencia de los procesos, acciones y propuestas de mejora en la industria de la construcción, aportando a esta investigación esquemas que se deben seguir para la aplicación de estándares de construcción de infraestructura de obra civil.

Como complemento, Hernández *et al.* (2018) analizó cómo la gestión de calidad puede usarse en cualquier sector, concluyendo que para tener un mejor control en los procesos de una organización es necesario implementar un sistema de gestión de la calidad.

Esta investigación aporta metodología para mejorar procesos que permitan alcanzar ventajas competitivas y lograr mejorar la productividad y calidad de la infraestructura de obra civil de telefonía móvil a través del ciclo PDCA.

Son varios los factores que afectan el desarrollo y calidad en la construcción de infraestructura, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2018) analizó los conflictos ambientales y sociales asociados a la construcción de infraestructura, donde los resultados principales indicaban que toda infraestructura a construir, debe estar contextualizada con las necesidades de la población para evitar conflictos sociales; debe planificarse con el fin de generar efectos positivos para todos los entes involucrados y generarse mecanismos de participación.

Esta investigación permite visualizar el proceso social que se debe realizar previo a la construcción de infraestructura, brindando herramientas de prevención y transformación de conflictos.

Recientemente, Pascual (2020) analizó los procedimientos de la gestión de calidad del sector automotriz que pueden aplicarse al sector de la construcción, concluyendo que, si se definen sistemas de gestión de calidad estandarizados y estos son llevados a la práctica en el sector de la construcción, se facilitará y fomentará su uso en gran medida. Esta investigación señala cuáles son los procedimientos que se pueden implementar en el ámbito de la construcción, para mejorar la calidad final de la infraestructura.

Adicionalmente, Castellanos *et al.* (2019) plantea que resulta útil identificar prácticas y procesos administrativos que permitan la reducción de costos y tiempo en una obra de construcción, concluyendo que al implementar la metodología *Lean* al proceso constructivo se beneficiará al constructor y al medio ambiente, ya que se reducen los desperdicios de materiales.

Esta investigación aporta propuestas que pueden ser aplicadas en los procesos de construcción por parte del personal que realiza los trabajos, quienes al utilizar los lineamientos de la filosofía *Lean* mejorarán la calidad de la infraestructura, optimizarán los recursos y evitarán el desperdicio de materiales para beneficio del sector construcción y del medio ambiente.

Díaz *et al.* (2019), analizó la integración del método *Last Planner* y el de mejora continua SGQ; se analizaron los sistemas ya implementados en una obra en construcción, por medio de entrevistas que les permitieron conocer las áreas de mejora en la implementación de ambos sistemas, concluyendo que, al integrarlos, se obtienen mejoras en la calidad, tiempo y costos.

La investigación aporta el resultado de integrar métodos de planeación y mejora continua a una obra en construcción, además de cómo realizar los procesos estratégicos de la cadena de valor y de apoyo, los cuales aportarán a esta investigación procedimientos que permitirán mejorar la calidad y el aprovechamiento de los recursos en la construcción de infraestructura para telefonía móvil.

Además, Santelices *et al.* (2019), realizaron un estudio sobre los problemas de una obra de construcción relacionados con la supervisión y calidad; su objetivo fue aportar herramientas para la mejora en este sector. Mediante la entrevista y aplicación de análisis del índice de importancia relativa, obtuvieron una lista de problemas que permite a los directores de un proyecto considerarlos para tomar decisiones acertadas en cuanto a la asignación de recursos.

Esta investigación permite identificar conceptos relacionados con la problemática de calidad y supervisión en la construcción de obra civil,

aportando métodos de análisis de encuestas, que al ponerlos en práctica permitirán conocer las deficiencias de calidad y supervisión dentro de la empresa en estudio.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

3.1. Contexto general

La *International Telecommunication Union (ITU, 2020)* indica que, a pesar de que el crecimiento de cobertura de telefonía móvil a nivel global ha disminuido desde el 2017, para el cierre del 2020 existió un crecimiento de cobertura del 1.3 % en comparación con datos registrados al cierre del 2019. En Guatemala, la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT, 2020) indica que la infraestructura de radio bases en funcionamiento al segundo semestre del 2020 es de 14 568; estas radiobases brindan servicio a 20 390 671 usuarios; de los cuales el 44.11 % pertenece a la empresa de telecomunicaciones en la que se efectúa el estudio.

3.2. Descripción del problema

Es una de las empresas proveedoras del servicio de telecomunicaciones en Guatemala, que ofrece productos de: servicios de telefonía fija, televisión de paga y servicios de telefonía móvil, siendo este último producto, el que genera mayores ingresos, según información interna de la empresa. Su departamento de ingeniería está ubicado en la ciudad de Guatemala, quien tiene a su cargo la construcción de infraestructura para telefonía móvil (empresa de telefonía).

El Departamento de Ingeniería tiene a su vez la subgerencia de obra civil, la cual cuenta con 11 personas que se encargan de realizar la supervisión de cualquier trabajo de infraestructura relacionado con la red móvil de telefonía. La construcción de infraestructura se realiza por medio de empresas que se

subcontratan, encargándose del personal y de todos los materiales necesarios para la construcción de infraestructura (acero, concreto, madera, fibra de vidrio, galvanizado, pintura, entre otros).

El suministro de materiales se hace a través de diferentes proveedores, aunque algunos de estos no cumplen con ninguna norma o estándar; además, el personal empleado por las empresas contratistas no cuenta con alguna certificación, factor que incide para que la infraestructura no cumpla con el tiempo de vida útil, presente daños en su estructura o no sea útil para implementar el servicio, por lo que debe ser demolida o reconstruida, e instalarse infraestructura adicional, con la finalidad de adaptarla a lo requerido para la implementación del servicio.

Al realizar trabajos adicionales o de reparación con el objetivo de utilizar la infraestructura, se generan costos, visitas en falso del personal, se retrasa la instalación de equipos y por consiguiente la puesta en servicio del sitio de celda.

El financiamiento de los gastos y costos utilizados en la investigación serán aportados por el investigador.

Al realizar la investigación, se podrán obtener estándares para la construcción de infraestructura de obra civil, se mejorará la planificación y productividad de la empresa, mejorando la calidad, tiempos de ejecución y evitando el desperdicio de materiales, beneficiando al medio ambiente.

De no realizarse la investigación, se continuará con el desconocimiento de por qué la infraestructura no cumple con el tiempo de vida útil; además de no tener un análisis correcto de la información recolectada.

3.3. Formulación del problema

El problema que se investigará se resume en los siguientes cuestionamientos:

3.3.1. Pregunta central

¿Cuáles son los estándares para construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular, en una empresa de telecomunicaciones ubicada en el departamento de Guatemala?

3.3.2. Preguntas auxiliares

- ¿Cuál es el estado actual de la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil, en una empresa de telecomunicaciones?
- ¿Cuál será la propuesta de estándares que ayudará a mejorar el control de calidad en la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil?
- ¿Qué procesos son necesarios para la implementación de estándares, normas, reglamentos técnicos y procedimientos para la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil?
- ¿Cuáles son los beneficios que proporciona la propuesta de estándares para construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil?

3.4. Delimitación del problema

El trabajo de investigación se realizará en el Departamento de Ingeniería de red móvil de una empresa de telecomunicaciones ubicada en el departamento de Guatemala. El periodo de ejecución de la investigación comprenderá desde julio a diciembre 2021.

4. JUSTIFICACIÓN

El trabajo de investigación se circunscribe en la línea de Sistemas Integrados de Gestión de la Maestría en Gestión Industrial de la Universidad de San Carlos de Guatemala, utilizando el aprendizaje obtenido en los cursos de metodología de la producción y principios y fundamentos de la calidad, y empleando conceptos de planeación estratégica, para cambiar o mantener procesos, herramientas de calidad total como el uso del ciclo de Deming que apoyará en las actividades de mejora, aprovechando la metodología ya establecida e incorporándola a la construcción de infraestructura del sector de telecomunicaciones.

El objetivo de esta investigación es dar a conocer las causas del constante deterioro en la infraestructura de telefonía móvil; de esta manera se podrá diseñar estándares de construcción de infraestructura que permitan mejorar su calidad, beneficiando de esta manera al sector de la construcción y a las empresas de telecomunicaciones.

La motivación del investigador de realizar el presente trabajo radica en aportar a la empresa un documento que contenga estándares que permitan la correcta construcción de infraestructura de obra civil, lo cual redundará en beneficio de la empresa, los colaboradores y sus familias. Con estándares adecuados se mejorará la competencia de la empresa en el mercado, ya que su infraestructura será apta para negocios futuros.

El beneficio se verá reflejado en los clientes internos y externos, quienes tendrán menos eventos de afectación del servicio, mejorando la rentabilidad de

la empresa al optimizar recursos y brindar continuamente el servicio, generando oportunidades de expansión, obteniendo mayor solidez y estabilidad para sus empleados y proveedores.

La empresa será la más beneficiada, ya que mejorará sus ingresos al implementar operación en infraestructura adecuada y optimizará el gasto en el *capex* debido a la disminución de daños en la infraestructura. Los colaboradores podrán realizar su trabajo de manera efectiva, disminuyendo el riesgo de accidentes por la utilización de materiales incorrectos; así también, la probabilidad de que el servicio falle por la mala infraestructura disminuirá. El medio ambiente será menos contaminado, pues los recursos se utilizarán de manera adecuada. En cuanto al investigador, su mayor beneficio será aumentar el conocimiento relacionado con la mejora de calidad, lo que permitirá su crecimiento profesional.

5. OBJETIVOS

General

Diseñar estándares para construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular en una empresa de telecomunicaciones ubicada en el departamento de Guatemala.

Específicos

- Diagnosticar el estado de la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil.
- Establecer los estándares para la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil.
- Proponer los procesos que permitan la implementación de estándares para la construcción de infraestructura.
- Determinar los beneficios que proporciona la propuesta de estándares para construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular.

6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN

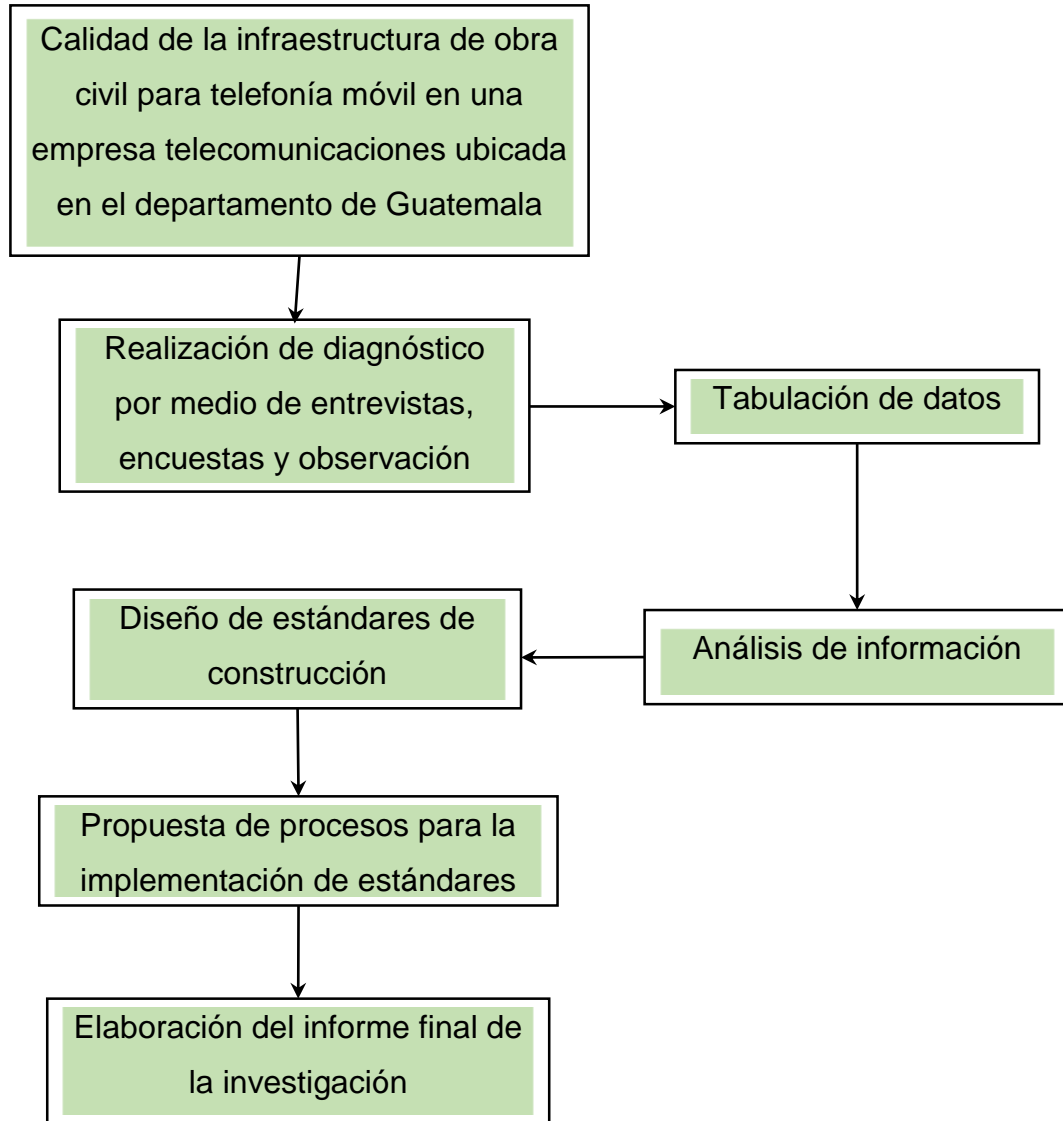
La necesidad principal que debe cubrirse en el ámbito laboral es mejorar la calidad de la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil.

Este estudio pretende apoyar a la industria de telecomunicaciones a nivel nacional, en la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil, con la estandarización, mejoramiento de la calidad y optimización de los recursos empleados.

El esquema que se ensayará en la solución constará de 4 fases principales; se iniciará con la revisión documental, para tener un contexto de los antecedentes del problema o estado del arte, en la segunda fase; se realizará un diagnóstico, por medio de entrevistas a los empleados de la empresa para identificar los daños o inconvenientes más frecuentes que se presentan en la infraestructura, así como las posibles áreas de oportunidad y mejora.

En la tercera fase se establecerán los estándares relacionados con la mejora de la calidad de la construcción de infraestructura de obra civil, recopilando información de entidades nacionales y extranjeras y aplicadas a la investigación. En la parte final se realizará una propuesta de procesos que permitan la implementación de estándares y procedimientos para la construcción de infraestructura de obra civil y se determinarán los beneficios que estos aportan. El trabajo de investigación tiene validez técnica porque se busca mejorar la calidad y eficiencia de la construcción de infraestructura de una obra civil para telefonía móvil.

Figura 1. **Esquema de solución**



Fuente: elaboración propia.

7. MARCO TEÓRICO

En la siguiente sección se incluye información de conceptos relacionados con la construcción de infraestructura de obra civil para la industria de telecomunicaciones.

7.1. Industria de telecomunicaciones

La industria de telecomunicaciones cuenta con una amplia variedad de servicios como los de entretenimiento, conectividad y comunicación; debido a esto es indispensable que los operadores realicen una actualización constante de su infraestructura para ser productivos y competitivos.

En Guatemala, el sector de las telecomunicaciones provee servicios satelitales de televisión, servicios de transmisión de datos y de telefonía fija y móvil.

7.2. Infraestructura de telecomunicaciones

La infraestructura de telecomunicaciones puede ser utilizada para brindar servicios fijos y móviles. Por su parte Camarena (2018) indica:

Las estructuras utilizadas en las telecomunicaciones sirven para la transmisión de energía eléctrica, así como la transmisión de señales, como es el caso de los teléfonos celulares; estas estructuras deben soportar diversos dispositivos como antenas de transmisión y accesorios propios de la torre, como escalera y accesorios de seguridad;

generalmente estas estructuras son ligeras y flexibles, donde generalmente los efectos del viento son los dominantes al hacer el análisis y diseño. (p.3)

7.3. Sitio de celda móvil

Una radiobase o sitio de celda móvil es la infraestructura compuesta por hardware, software e infraestructura de obra civil, ubicada para brindar cobertura al usuario. Rivera (2007) afirma que el sitio de celda para telefonía celular “es el lugar en donde se reciben y envían las señales para la comunicación entre teléfonos celulares, esto por medio de una torre y aparatos especiales de telecomunicación que están dentro de la celda” (p.1).

Por su parte, Lavagnino (2006) indica que:

Un sistema celular consta de células, cubiertas cada una por un sistema de radio que permite la conexión de los terminales móviles al sistema (estación base), y un sistema de conmutación (centro de servicios móviles) que permite la interconexión entre las estaciones base y la conexión del sistema a la red de conmutación públicas. (p.19)

La red móvil de telefonía celular está compuesta por varios sitios de celda. Campollo (2012) aporta:

Las celdas inicialmente son planteadas como hexágonos, que a su vez forman una gran red de hexágonos, lo cual, en cuestiones de diseño, no permite espacios vacíos. Cada celda está compuesta de una estación base, la que a su vez posee una infraestructura, ya sea torre, mimetización, soportes o equipo. (p.5)

En Guatemala la Superintendencia de Telecomunicaciones (SIT, 2020) indica que la infraestructura de radio bases en funcionamiento al segundo semestre del año 2,020 es de 14,568.

Tabla I. **Infraestructura de radio-bases de telefonía móvil por departamento**

Departamento	Cantidad de Radiobases
Alta Verapaz	539
Baja Verapaz	227
Chimaltenango	435
Chiquimula	371
Escuintla	693
Guatemala	3262
Huehuetenango	2489
Izabal	374
Jalapa	244
Jutiapa	618
El Petén	578
El Progreso	262
Quetzaltenango	787
Quiché	539
Retalhuleu	338
Sacatepéquez	430
San Marcos	719
Santa Rosa	437
Sololá	285
Suchitepéquez	435
Totonicapán	250
Zacapa	256
TOTAL	14568

Fuente: Superintendencia de Comunicaciones (2020). Consultado el 15 de julio de 2021. Recuperado de file:///C:/Users/mayra/Downloads/Bolet%C3%ADn%20Estad%C3%ADstico%20%202do%20Semestre%202020.pdf.

7.4. Componentes de un sitio de celda móvil

El funcionamiento de un sitio de celda de telefonía móvil requiere de la construcción de infraestructura que permita la instalación del hardware para el funcionamiento del sistema radiante.

7.4.1. Estructura principal

Es la infraestructura diseñada para la instalación del sistema radiante de un sitio de celda, el sistema radiante se conforma por antenas celulares y unidades remotas de radio. Generalmente en soluciones *outdoor* se construyen estructuras que van desde los 3 a los 90 metros de altura; estas pueden ser torres autosoportadas y arriostradas, monopolos o estructuras especiales; el objetivo es que al tener mayor altura se obtiene mayor área de cobertura.

7.4.2. Caseta de transmisión

En esta infraestructura de obra civil se instalan todos los equipos que permiten la transmisión del sitio de celda hacia la central de conmutación; además se instala en su interior el tablero de distribución principal de energía. “El área dentro del sitio de celda en donde se colocan los equipos que corren mayor peligro cuando está en operación, se utiliza en su mayoría para protegerse del agua” (Rivera, 2007. p. 2).

7.4.3. Muro perimetral

Esta infraestructura se construye con la finalidad de circular el perímetro que conforma el sitio de celda; el material a utilizar depende del tipo de solución, por lo que puede ser construido de mampostería reforzada, malla,

durock, celosía de madera, lámina y fibra de vidrio. El muro perimetral según Rivera (2007):

Se construirá en la periferia del sitio de celda y su función primordial será la de evitar el acceso al sitio de celda; a diferencia de la caseta de transmisión de datos el muro perimetral contará con un portón más amplio para ingresar los equipos que darán funcionamiento a la señal entre los teléfonos celulares. (p.3)

7.4.4. Base para equipos

La base para equipos o losa permite evitar el movimiento del gabinete o equipo principal, además brinda un área de trabajo. El gabinete se fija a la base debido a que este contiene tarjetas que convierten la señal analógica a digital; en algunos casos es el punto de remate de la fibra óptica de transmisión. “Se hará de concreto reforzado y tendrá como función evitar que el equipo que brinda la señal tenga contacto con el agua, para lo cual se construirá a 0.15 metros sobre el nivel del suelo” (Rivera, 2007. p. 4).

7.4.5. Sistema de energía

La alimentación principal de energía de la celda móvil se realiza por medio del distribuidor de energía, hasta la acometida del sitio; de ahí en adelante se realizan diferentes distribuciones de acuerdo con el equipo que se desea energizar. Rivera (2007) señala que:

El sistema de energía será el encargado de alimentar el sitio de celda de forma primaria. El sistema de energía está constituido para el sitio de celda desde la columna de acometida eléctrica, la cual pasa por el

contador de energía, luego al tablero de distribución de cargas y llegando a los puntos terminales que son los aparatos internos del sitio, iluminación o fuerza. (p.7)

7.4.6. Sistemas de tierras

Consiste en realizar dentro de la celda móvil un anillo con cable, cuyo material es el cobre que servirá para conectar todos los equipos a este; dicho anillo es conectado a electrodos que permiten evacuar cualquier descarga electroatmosférica que ocurra y evitar el daño de la infraestructura. En cuanto a esto Rivera (2007) indica que:

El sistema de tierras será el encargado de eliminar cualquier descarga eléctrica que se dé dentro de sitio, ya sea por voltajes altos que ocurran internamente en el sitio de celda o por causas naturales de tormentas, que puedan ser transportados por la torre y pudiendo llegar a arruinar los aparatos del sitio de celda. (p.7)

7.4.7. Sistema de transmisión

El sistema de transmisión permite la transferencia de datos, desde la celda hasta la central de conmutación que establezca el operador; puede ser por fibra óptica o a través de una antena de microondas.

7.5. Soluciones de red móvil de telefonía celular

La red móvil de telefonía celular cuenta con soluciones para exteriores e interiores, el tipo de solución a brindar depende de diversos factores como la capacidad o cobertura de la red en el área o sector que se requiera, costos de

prospección, construcción, implementación, la apertura de la población a la construcción de la infraestructura y las aprobaciones de carácter legal.

7.5.1. Soluciones para exteriores – *outdoor*

Son aquellas soluciones de tipo macro que permiten la cobertura desde el exterior; el objetivo es tener el mayor alcance de cobertura en cuanto a la relación de distancia que pueda existir de la ubicación de la celda con el usuario. El rango de cobertura depende de factores externos como los obstáculos entre la antena y el objetivo de cobertura, la terminal del usuario y factores internos como la frecuencia de operación y la potencia del equipo.

Para este tipo de soluciones, se emplean diversas infraestructuras como torres, monopolos, postes, mástiles, mimetizaciones (tinacos, chimeneas, cúpulas, vallas publicitarias), y coubicaciones entre operadores.

7.5.2. Soluciones para interiores - *indoor*

Son soluciones que brindan cobertura de señal móvil en el interior de algunos inmuebles en donde es difícil alcanzar cobertura por las celdas *outdoor* debido a la arquitectura o el tipo de material con que fue construida la infraestructura del inmueble; si esta es de concreto reforzado o acero causa interferencia y disminuye la intensidad de la señal de red móvil, afectando la calidad y cobertura del servicio.

Este tipo de soluciones se implementan en edificios, centros comerciales, hospitales, sótanos y parqueos. Las antenas que radian la señal son más pequeñas que en una solución *outdoor* y están conectadas en un sistema

llamado DAS, que no es más que un procedimiento de distribución de antenas que permiten tener cobertura en todo el inmueble.

7.6. Estructuras para sitios de celda móvil

Por su diseño las estructuras utilizadas para telefonía celular se clasifican en:

- Autoportadas
- Arriostradas
- Monopolos
- Soluciones especiales

7.6.1. Estructuras tipo autoportadas

En relación con el tema de las estructuras autoportadas Betancourth (2013) afirma:

Son estructuras reticulares de acero que deben su nombre precisamente a que no necesitan mantenerse de pie con apoyo de cables o tensores externos para mantener su verticalidad o que eviten su volteo ante las fuerzas de viento que se produzcan en determinado momento. (Betancourth, 2013, p.1)

Figura 2. **Estructura autoportada tipo triangular**



Fuente: Mitas Telecom. Torres *autoportadas*. Consultado el 18 de julio de 2021. Recuperado de <http://www.mitastelecom.com/es/page/productos/torres-autoportadas-de-seccion-triangular-con-perfiles-angulares-4/20>.

7.6.2. Estructuras tipo arriostradas

Las torres arriostradas según Betancourth (2013) son:

Estructuras reticuladas de cara que oscilan entre 0.30 metros hasta 0.60 metros; la particularidad de este tipo de estructuras es la necesidad de accesorios externos como riendas o tensores, para permitir su verticalidad y estabilidad, ya que por su gran esbeltez no pueden permanecer estables sin dichos accesorios; por lo que necesitan de gran extensión de área, para logra anclar adecuadamente al suelo o azotea

dichos tensores que en promedio deben ubicarse a un 25 % o 30 % de la altura total de la estructura tipo celosía. Sus alturas oscilan entre 6 hasta 100 metros. (Betancourth, 2013, p.4)

Figura 3. **Estructura arriostrada**



Fuente: Syscom. *Torres arriostradas*. Consultado el 15 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.syscomblog.com/2018/12/torres-arriostradas.html>.

7.6.3. Estructuras tipo monopolos

Por su parte Betancourth (2013) define:

Básicamente, estas estructuras son ideales para espacios reducidos a nivel de suelo en lugares en donde no exista suficiente área para instalar una torre autosoportada por las distancias basales requeridas entre sus patas de apoyo o que no permitan una instalación idónea de tensores para las estructuras arriostradas; consiste en un poste metálico o de

concreto que oscila entre los 12 a 40 metros sobre el nivel del suelo; tiene la dificultad de necesitar vías de acceso que permitan ingresar grúas para el izado o montaje de una o varias secciones de dicho poste. En algunas regiones cercanas a áreas protegidas o por restricciones de los reglamentos municipales de construcción, se han estado instalando monopolos denominados “ecológicos” simulando un tipo de árbol para no afectar el entorno. (p.5)

Figura 4. **Estructura tipo monopolo**



Fuente: Ingeniería en Estructuras y Telecom. *Monopolos*. Consultado el 12 de julio de 2021.
Recuperado de <http://iestel.co/productos/estructuras/monopolos/>.

7.6.4. Estructuras especiales

Este tipo de estructuras se construye de acuerdo con el entorno o diseño arquitectónico del lugar donde se implemente. La finalidad de mimetizar la solución es acoplarse a un entorno y espacio determinado. La estructura principal es un mástil de 2 a 6 pulgadas de diámetro y de 2 a 6 metros de altura;

este puede ser instalado dentro de una mimetización para evitar la contaminación visual. Este tipo de soluciones es único debido a que se construye específicamente para el lugar y entorno requerido.

Figura 5. **Soluciones especiales**



Fuente: ALQUIANSA. *Soluciones especiales*. Consultado el 22 de julio de 2021. Recuperado de <https://docplayer.es/19989293-Soluciones-especiales-torres-y-estructuras-moviles.html>.

7.7. Materiales para la construcción de infraestructura de telefonía móvil

Son diversos los materiales utilizados en la construcción de infraestructura, sin embargo, los utilizados para la construcción de un sitio de celda de telefonía móvil son el acero, concreto, madera, block, fibra de vidrio, vidrio, láminas de policarbonato y aleaciones; dependerá de la solución a brindar. Molina (1996) afirma que: “la función principal de los materiales de construcción consiste en desarrollar resistencia, rigidez y durabilidad al servicio para el que fueron concebidos” (p.1).

Los materiales utilizados en la construcción de infraestructura de obra civil permiten la implementación del hardware que proporciona la señal móvil al usuario. Garrido (1997) afirma que: “los materiales de construcción son todos aquellos elementos, sustancias o mezclas que se utilizan en el proceso de construcción de una obra civil” (p.1).

Tabla II. **Pérdida de dB provocada por el uso de materiales en mimetizaciones**

Material	Pérdida generada en dB
Celosía de madera con sarán al 80 %	0.5
Securock	0.6
Durock	7
Depósito para agua de 2500 litros	0.5
Ladrillo tubular en posición de soga	9
Ladrillo tubular en posición de canto	4
Lámina de policarbonato con protector plástico	0.4
Lámina policarbonato sin protector plástico	0.2
Block pómez	26
Vidrio ahumado	1

Fuente: elaboración propia.

7.7.1. Acero

Para la construcción de las estructuras principales de la infraestructura de un sitio de celda de telefonía móvil se utiliza el acero. “Es una aleación de hierro con una proporción de carbono, que brinda propiedades especiales tales como dureza y elasticidad” (Gramajo, 2015, p.28).

El tipo de acero que se va a utilizar dependerá del uso que este tenga; puede ser utilizado en la cimentación de la torre, refuerzo para el concreto de las bases de equipos, refuerzo de mampostería o para la estructura principal de torres, mástiles y soportes.

En cuanto al acero, Salguero (2015) afirma:

Los aceros son aleaciones de hierro (Fe) y carbono (C) junto con varios elementos más. Suelen tener un contenido en carbono inferior al 1 por ciento en peso, pero para los aceros estructurales contienen menos de un 0.25 por ciento, casi un 0.4 por ciento de contenido de carbono equivalente. (p.6)

Figura 6. **Acero utilizado en soportes de antenas**



Fuente: Alibabá. *Soportes de acero*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://spanish.alibaba.com/product-detail/telecommunication-steel-antenna-mast-and-communication-single-pipe-galvanized-monopole-tower-60672122344.html>.

7.7.2. Concreto

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil; su resistencia dependerá del uso que se pretenda dar; es utilizado en la fundición de cimentación de las estructuras principales, bases para equipos, mampostería para cerramientos, sistema de tierras, caseta de transmisión y mampara de tableros. En relación con el concreto, Paredes (2013) indica:

Es un material utilizado en la construcción hecho a base de materiales inertes debidamente procesados, que se unen para darle resistencia a la acción del cemento y el agua. Estos materiales inertes consisten en grava o piedra triturada y arena o residuos de piedra pulverizada. A los materiales inertes se les llama agregados o áridos; a las gravas se les conoce como agregado grueso y a la arena o piedra pulverizada se le denomina agregado fino. (p.71)

Figura 7. **Concreto utilizado en la fundición de bases de torre**



Fuente: Steel. *Obras civiles*. Consultado el 14 de julio de 2020. Recuperado de <https://steelcom.mx/steelcom-obras-civiles-raw-land.html>.

7.7.3. Madera

La madera es utilizada como estructura principal en adecuaciones de estructuras especiales; en las mimetizaciones tales como cerramientos con celosía y como estructura principal de cúpulas, columnas, chimeneas y cerramientos de fibra de vidrio; el objetivo de su uso es evitar la menor interferencia a la radiación que emite la antena.

La madera que se utiliza puede ser de cualquier variedad siempre que sea tratada para que cumpla con la vida útil estimada, las dimensiones dependerán de la adecuación a realizar. Se define como “una sustancia dura y resistente que constituye el tronco de los árboles y se ha utilizado durante miles de años como combustible y como material de construcción” (Diaz, 2012, p.2).

Figura 8. **Uso de la madera en mimetización**



Fuente: Niederleytner, F. *Antenas de telefonía móvil: mimetizaciones urbanas*. Consultado el 28 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.estacionbase.com/antenas-de-telefonía-móvil-mimetizaciones-urbanas/>

7.7.4. Block

El block es utilizado regularmente para el levantado de mampostería del cerramiento del sitio de celda y del cerramiento de la caseta de transmisión. En cuanto al block, Garrido (1997) indica:

Los bloques pueden fabricarse a base de morteros o concretos y sus agregados pueden ser agregados normales (arena de río y pedrín pequeño) o bien agregados livianos (...) En realidad, lo que se persigue en la utilización de bloques es disminuir el peso en las construcciones y si son livianos obtener mayor facilidad de operación. (p.25)

Figura 9. Muro de cerramiento con block



Fuente: Habitissimo. *Cerramiento acabado*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de https://fotos.habitissimo.com.mx/foto/colado-de-cerramiento-acabado-aparente_348931.

7.7.5. Fibra de vidrio

Este material se utiliza en mimetizaciones debido a que puede ser moldeable; el objetivo de su uso es causar la menor interferencia a la radiación de las antenas; el espesor dependerá de la forma que se requiera y del área que se desea mimetizar. En cuanto a la manera de producir la fibra de vidrio Dávila (2012) aporta:

Es posible producir fibras de vidrio que pueden tejerse como las fibras textiles, estirando vidrio fundido hasta diámetros inferiores a una centésima de milímetro. Se pueden producir tanto hilos multifilamentosos largos y continuos como fibras cortas de 25 o 30 centímetros de largo. (p.33)

Por su parte Irving (2010) afirma: “la fibra de vidrio es un material hecho a base de filamentos finos de vidrio. (...), al solidificarse, se obtiene el material con suficiente flexibilidad como para ser usado como una fibra” (p.31).

Figura 10. **Mimetización en fibra de vidrio**



Fuente: Ayuntamiento de Coruña. *Catálogo de técnicas de integración en el medio y mimetización*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de http://coruna.es/infoambiental/uploads/File/telefonía_movil/Catalogo_de_Tecnicas_de_Mimetizacion/Catalogo%20de%20Tecnicas%20de%20Mimetizacion.pdf.

7.7.6. Lámina de policarbonato

Este material se usa en mimetizaciones para simular ventanas; puede ser utilizado sin protector plástico, es decir totalmente transparente o con protector plástico, es decir que tiene una capa de color que no permite visualizar hacia dentro de la estructura. Este material es uno de los que menos interferencia provoca a la radiación de las antenas; el espesor dependerá del área que se desea cubrir. En cuanto al policarbonato, Godoy (2016) explica:

Los puntos fuertes del policarbonato (transparencia, resistencia frente a impactos y buen comportamiento frente a temperaturas relativamente elevadas) hicieron vislumbrar el éxito de este producto desde un primer momento. Sus aplicaciones son variadísimas, como sustituto del vidrio en numerosas aplicaciones, en el ámbito de la construcción y del automóvil, telecomunicaciones, entre otros. (p.33)

Figura 11. **Mimetización de ventana con lámina de policarbonato**



Fuente: DVP. *Policarbonatos y cubiertas*. Consultado el 16 de julio de 2021. Recuperado de https://neufert-cdn.archdaily.net/uploads/product_file/file/11697/CATALOGO_POLICARBONATO_DVP.pdf.

7.7.7. Depósito de agua de polietileno

Debido a que el polietileno no interfiere demasiado con la radiación emitida por las antenas se hace frecuente el uso de los depósitos de agua o tinacos, además la mayoría de las viviendas cuenta con estos para almacenamiento de agua lo que hace que no sea evidente su instalación para la mimetización de antenas en los sitios de celda ubicados en azoteas. Morales (2011) afirma: “Generalmente se conocen como tinacos y se elaboran mediante el proceso conocido como rotomoldeo, el cual consiste en cocer polietileno en un molde rotativo. Se producen de diferentes tamaños para ofrecer diversas opciones a los clientes” (p.10).

Figura 12. **Mimetización tipo tinaco**



Fuente: Metros Cúbicos. *Tinaco magno*. Consultado el 24 de julio de 2021. Recuperado de https://casa.metroscubicos.com/MLM-938194697-casa-en-venta-monte-magno-_JM#posicion=45&search_layout=grid&type=item&tracking_id=6863f108-3712-4449-b1e2-6a92f06a6897&gid=1&pid=1.

7.7.8. Aleaciones

Son aquellos materiales que previamente han sido tratados para crear uno nuevo, los utilizados en la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular son el *securock*, *durock* o tablarroca. Estos se utilizan para realizar cerramientos de mimetizaciones de cuartos, columnas y chimeneas de una manera rápida. La desventaja de este tipo de materiales es que tiene una malla de refuerzo en su estructura y la cubierta es de cemento lo que provoca interferencia a la radiación de las antenas.

Figura 13. Cerramiento de mimetización tipo columna con *durock*



Fuente: Facebook. *Arte y decoración Moreno*. Consultado el 3 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.facebook.com/arteydecoracionmoreno/photos/pcb.4141268592566387/4141267692566477/>

7.8. Selección de materiales de obra civil

Previo al inicio de la construcción debe realizarse la selección de los materiales que serán utilizados. Por su parte Molina (1996) afirma:

La servicialidad, es el criterio último en la selección de materiales. Otro criterio importante lo constituye el ensayo, que contribuye a predecir o garantizar el desempeño deseado de los materiales en condiciones de servicio. No obstante, en la selección de materiales para la construcción, los problemas de la calidad del material, del diseño y del uso se interrelacionan. (p.1)

7.8.1. Propiedades de los materiales

Conocer los materiales utilizados en la construcción de infraestructura garantiza que alcance la vida útil para la cual fue diseñada. En cuanto a la eficiencia de los materiales, Molina (1996) explica que: “la eficiencia relativa de un material para un uso específico depende del grado al cual las propiedades pertinentes estén presentes. Para algunos usos, una propiedad puede ser muy deseable, mientras que para otros puede ser indeseable o aun peligrosa”. (p.2)

7.8.2. Inspección de los materiales

Es importante inspeccionar los materiales con la finalidad de que cumplan con los estándares requeridos, para que la infraestructura terminada sea de la calidad esperada. Por su parte Molina (1996) indica:

La inspección cubre la observación de los procesos y productos de fabricación o construcción con el propósito de garantizar la presencia de

las cualidades deseadas. (...). La inspección propugna el control de la calidad por medio de la aplicación de criterios establecidos e implica la idea de rechazar un material subnormal. (p.4)

7.8.3. Ensayo de los materiales

Realizar ensayos a los materiales de construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular, permitirá conocer su calidad, resistencia y durabilidad. Por su parte Molina (1996) indica:

El ensayo de los materiales puede efectuarse con uno de tres objetivos como meta: aportar información rutinaria acerca de la calidad de un producto-ensayo comercial o de control; recabar información nueva o mejor acerca de materiales conocidos o desarrollar nuevos materiales y labor de desarrollo u obtener medidas exactas de las propiedades fundamentales o constantes, físicas, medición científica. (...). Específicamente, el ensayo se relaciona con la realización física de las operaciones (ensayos) para determinar las medidas cuantitativas de ciertas propiedades. (p. 3-4)

- Ensayos para el concreto

Se debe verificar en campo que el concreto que se va a utilizar sea de la resistencia requerida. En la construcción de un sitio de celda debe utilizarse concreto con una resistencia de 4,000 Psi para la cimentación de la torre y de 3,000 Psi para las demás infraestructuras.

Figura 14. **Verificación de resistencia del concreto premezclado**



Fuente: Wikipedia. *Obtención de muestras para verificar la resistencia del concreto conforme a lo proyectado.* Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Obtenci%C3%B3n_de_muestras_para_verificar_la_resistencia_del_concreto_conforme_a_lo_proyectado.

- **Ensayo para el concreto fresco**

Al momento de realizar la fundición se debe realizar el ensayo de asentamiento o *slump* del concreto para medir la consistencia de este. En cuanto a este ensayo, Rivera (2007) explica:

Debe contarse con un molde cónico llamado cono de Abrams de 203 milímetros de diámetro en la base mayor, 102 milímetros en la base menor y 305 milímetros de altura, una varilla cilíndrica lisa con punta redonda de 16 milímetros de diámetro y 600 milímetros de longitud. Debe colocarse el molde humedecido en una superficie plana e impermeable, luego llenar este a 1/3 de su volumen y apisonar 25 veces con la varilla, llenar 1/3 más el cilindro y apisonar 25 veces; llenar el último 1/3 de cilindro y apisonar 25 veces más, el concreto excedente en la parte

superior del cono se retira y luego se levanta el cono lentamente. Se da vuelta al cono y se coloca a la par del concreto; se mide el asentamiento que existe desde la parte superior del cono hasta la parte superior del concreto. (pp.16,17)

- Ensayo para el concreto endurecido

Al momento de fundir en sitio se deben llenar con la mezcla de concreto que se está utilizando, 6 especímenes de un diámetro de 3” y un alto de 6”, los cuales servirán para realizar en laboratorio el ensayo de resistencia a la compresión; se deben evaluar 2 especímenes a los 7, 14 y 21 días para conocer si se obtuvo la resistencia deseada.

Figura 15. **Especímenes para prueba de resistencia a la compresión**



Fuente: Osorio J. *Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión*. Consultado el 3 de agosto de 2021. Recuperado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion>.

- Ensayo no destructivo para el concreto endurecido

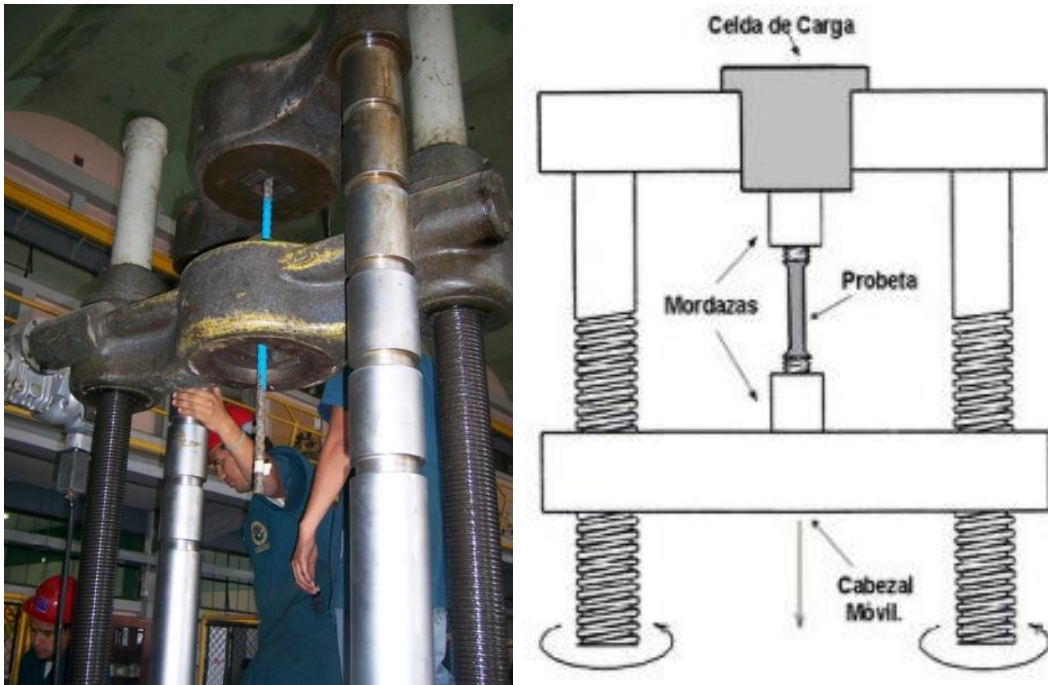
Previo a la construcción de un sitio de celda sobre una azotea debe verificarse la estructura del inmueble. Se revisan los planos para ubicar columnas y vigas además de realizar el ensayo con martillo esclerométrico o de rebote en columnas, vigas y losas que proporcionara la resistencia del concreto. Los pedestales, vigas y losas de la torre también pueden ser evaluados con el martillo esclerométrico para conocer su resistencia.

Para conocer el valor de la resistencia a la compresión ($F'c$) del concreto se realizan varios ensayos con el martillo; estas lecturas se anotan y se saca un promedio, el valor obtenido será en Mpa; este valor se convierte a lb/pulg² para verificar si cumple con la resistencia requerida.

- Ensayos para el acero

Garrido (1997) refiere que en el laboratorio deben efectuarse ensayos para verificar la calidad del acero. El ensayo de tensión da como resultado los límites de proporcionalidad, fluencia y rotura; y el de dureza sirve para determinar la resistencia que opone el material a la abrasión y a la penetración.

Figura 16. **Ensayo de tensión del acero**



Fuente: Areatecnología. *Ensayo de acero a tensión*. Consultado el 12 de julio de 2021.
Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/materiales/ensayo-de-traccion.html/>.

En las estructuras principales o torres, debe de realizarse los siguientes ensayos:

- Medición del espesor

La medición del espesor del acero se realiza con equipo de sondeo electrónico; la finalidad es verificar si las piezas cumplen con el espesor indicado en el diseño del fabricante. Un equipo utilizado para realizar este ensayo es la sonda Positector UTG C1 estándar.

Figura 17. **Medición de espesor del acero de montante de torre**



Fuente: Twilight. *Instrumentos de medición*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://twilight.mx/instrumentos/medidores-de-espesor/27/201/df-utg-c1-positector-utg.c1.html/>.

- **Medición de galvanizado**

La medición del galvanizado se realiza con equipo de sondeo electrónico, el cual mide el espesor del revestimiento; este permite verificar si las piezas de la torre cuentan con el recubrimiento de galvanizado. Un equipo utilizado para realizar este ensayo es el medidor de recubrimiento POSITECTOR 6000.

Figura 18. **Medición de galvanizado en montante de torre**



Fuente: Labomat. *Instruments & specialites*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://labomat.eu/es/preguntas-mas-frecuentes/621-preguntas-frecuentes-metodologia-de-ensayo-de-espesor-positector-6000.html>.

- **Medición de dureza**

La medición de dureza se realiza con equipo de impacto inalámbrico, que utiliza el método de ensayos de rebote dinámico y el ensayo de dureza estática de *rockwell*; el objetivo es medir la dureza de los montantes y breizas de la torre. Un equipo utilizado para realizar este ensayo es el medidor de dureza Equotip.

Figura 19. **Medición de dureza en montante de torre**



Fuente: Cotecno. *Medidor de dureza de metales portátiles*. Consultado el 12 de julio de 2021.
Recuperado de <https://www.cotecno.cl/nuestros-productos/medidor-de-dureza-de-metales-portatiles-equotip/>.

Se mide la dureza del montante ya sea este angular o tubular, obteniendo un valor en Brinell, Vickers o Rockwell, este valor debe convertir a N/mm^2 .

Tabla III. Tabla de conversión de durezas

TABLA DE CONVERSION DE DUREZAS						
resistencia a la tracción, Brinell, Vickers y Rockwell						
RESISTENCIA A LA TRACCION	DUREZA BRINELL		DUREZA VICKERS	DUREZA ROCKWELL		
	DIAMETRO DE BOLA EN MM					
N/mm²	d	HB	HV	HRB	HRC	HR30N
255	6,630	76,00	80			
270	6,450	80,70	85	41		
285	6,300	85,50	90	48		
305	6,160	90,20	95	52		
320	6,010	95,00	100	56,2		
335	5,900	99,80	105			
350	5,750	105	110	62,3		
370	5,650	109	115			
385	5,540	114	120	66,7		
400	5,430	119	125			
415	5,330	124	130	71,2		
430	5,260	128	135			
450	5,160	133	140	75		
465	5,080	138	145			
480	4,990	143	150	78,7		
495	4,930	147	155			
510	4,850	152	160	81,7		
530	4,790	156	165			
545	4,710	162	170	85		
560	4,660	166	175			
575	4,590	171	180	87,1		
595	4,530	176	185			
610	4,470	181	190	89,5		
625	4,430	185	195			
640	4,370	190	200	91,5		
660	4,320	195	205	92,5		
675	4,270	199	210	93,5		
690	4,220	204	215	94		
705	4,180	209	220	95		
720	4,130	214	225	96		
740	4,080	219	230	96,7		
755	4,050	223	235			
770	4,010	228	240	98,1	20,3	41,7
785	3,970	233	245		21,3	42,5
800	3,920	238	250	99,5	22,2	43,4
820	3,890	242	255		23,1	44,2
835	3,860	247	260	101	24	45
850	3,820	252	265		24,8	45,7
865	3,780	257	270	102	25,6	46,4
880	3,750	261	275		26,4	47,2
900	3,720	266	280	104	27,1	47,8
915	3,690	271	285		27,8	48,4
930	3,660	276	290	105	28,5	49
950	3,630	280	295		29,2	49,7
965	3,600	285	300		29,8	50,2
995	3,540	295	310		31	51,3
1030	3,490	304	320		32,2	52,3
1060	3,430	314	330		33,3	53,6
1095	3,390	323	340		34,4	54,4
1125	3,340	333	350		35,5	55,4
1165	3,290	342	360		36,6	56,4
1190	3,250	352	370		37,7	57,4
1220	3,210	361	380		38,8	58,4
1255	3,170	371	390		39,8	59,3
1290	3,130	380	400		40,8	60,2

Continuación de la tabla III.

TABLA DE CONVERSION DE DUREZAS						
resistencia a la tracción, Brinell, Vickers y Rockwell						
RESISTENCIA A LA TRACCION	DUREZA BRINELL		DUREZA VICKERS	DUREZA ROCKWELL		
	DIAMETRO DE BOLA EN MM					
N/mm2	d	HB	HV	HRB	HRC	HR30N
1320	3,09	390	410		41,8	61,1
1350	3,06	399	420		42,7	61,9
1385	3,02	409	430		43,6	62,7
1420	2,99	418	440		44,5	63,5
1455	2,95	428	450		45,3	64,3
1485	2,92	437	460		46,1	64,9
1520	2,89	447	470		46,9	65,7
1555	2,86	456	480		47,7	66,4
1595	2,83	466	490		48,4	67,1
1630	2,81	475	500		49,1	67,7
1665	2,78	485	510		49,8	68,3
1700	2,75	494	520		50,5	69
1740	2,73	504	530		51,1	69,5
1775	2,70	513	540		51,7	70
1810	2,68	523	550		52,3	70,5
1845	2,66	532	560		53	71,2
1880	2,63	542	570		53,6	71,7
1920	2,60	551	580		54,1	72,1
1955	2,59	561	590		54,7	72,7
1995	2,57	570	600		55,2	73,2
2030	2,54	580	610		55,7	73,7
2070	2,52	589	620		56,3	74,2
2105	2,51	599	630		56,8	74,6
2145	2,49	608	640		57,3	75,1
2180	2,47	618	650		57,8	75,5
			660		58,3	75,9
			670		58,8	76,4
			680		59,2	76,8
			690		59,7	77,2
			700		60,1	77,6
			720		61	78,4
			740		61,8	79,1
			760		62,5	79,7
			780		63,3	80,4
			800		64	81,1
			820		64,7	81,7
			840		65,3	82,2
			860		65,9	82,7
			880		66,4	83,1
			900		67	83,6
			920		67,5	84
			940		68	84,4

Fuente: Swiss Steel. *Imágenes conversiones*. Consultado el 5 de junio de 2021. Recuperado de https://www.swisssteel-international.com.mx/fileadmin/user_upload/public_images/Mexico/15PRESH5.pdf.

Al tener el valor de la resistencia en N/mm² se debe convertir a Ksi para verificar que la estructura cumpla con el grado de acero requerido.

Tabla IV. **Tabla de especificaciones ASTM aplicables para varias formas estructurales**

TABLES FOR THE GENERAL DESIGN AND SPECIFICATIONS OF MATERIALS

2-39

Table 2-3 Applicable ASTM Specifications for Various Structural Shapes														
Steel Type	ASTM Designation	F _y Min. Yield Stress (ksi)	F _u Tensile Stress ^a (ksi)	Applicable Shape Series										
				W	M	S	HP	C	MC	L	HSS		Pipe	
				Rect.	Round									
Carbon	A36	36	58-80 ^b	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
	A53 Gr. B	35	60											
	A500	Gr. B	42	58										
			46	58										
		Gr. C	46	62										
			50	62										
	A501	36	58											
	A529 ^c	Gr. 50	50	65-100										
		Gr. 55	55	70-100										
	High-Strength Low-Alloy	A572	Gr. 42	42	60									
Gr. 50			50	65 ^d	■									
Gr. 55			55	70										
Gr. 60 ^e			60	75										
Gr. 65 ^e			65	80										
A618 ^f		Gr. I & II	50 ^g	70 ^g										
		Gr. III	50	85										
		50	50 ^h	60 ^h										
A913		60	60	75										
		65	65	80										
	70	70	90											
Corrosion Resistant High-Strength Low-Alloy	A992	50-65 ⁱ	65 ⁱ	■										
		42 ^j	63 ^j											
	A242	46 ^k	67 ^k											
		50 ^l	70 ^l											
		A588	50	70										
A847	50	70												

■ = Preferred material specification.
 □ = Other applicable material specification, the availability of which should be confirmed prior to specification.
 ◻ = Material specification does not apply.

^a Minimum unless a range is shown.
^b For shapes over 426 lb/ft, only the minimum of 58 ksi applies.
^c For shapes with a flange thickness less than or equal to 1½ in. only. To improve weldability a maximum carbon equivalent can be specified (per ASTM Supplementary Requirement S78). If desired, maximum tensile stress of 90 ksi can be specified (per ASTM Supplementary Requirement S79).
^d If desired, maximum tensile stress of 70 ksi can be specified (per ASTM Supplementary Requirement S91).
^e For shapes with a flange thickness less than or equal to 2 in. only.
^f ASTM A618 can also be specified as corrosion-resistant; see ASTM A618.
^g Minimum applies for walls nominally ¾ in. thick and under. For wall thicknesses over ¾ in., F_y = 46 ksi and F_u = 67 ksi.
^h If desired, maximum yield stress of 65 ksi and maximum yield-to-tensile strength ratio of 0.85 can be specified (per ASTM Supplementary Requirement S75).
ⁱ A maximum yield-to-tensile strength ratio of 0.85 and carbon equivalent formula are included as mandatory in ASTM A992.
^j For shapes with a flange thickness greater than 2 in. only.
^k For shapes with a flange thickness greater than 1½ in. and less than or equal to 2 in. only.
^l For shapes with a flange thickness less than or equal to 1½ in. only.

AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, INC.

Fuente: González J. *Tipos de acero estructural ASTM*. Consultado el 15 de junio de 2021. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/333596518/Tipos-Acero-Estructural-ASTM>.

- Verificación de geométrica de la estructura

Se debe realizar medición de todas las piezas que conforman la torre en especial el diámetro de montantes y secciones de breizas, esto con la finalidad de evaluar en software si la torre cumple con el diseño y cargas requeridas.

- Verificación visual

Para las varillas de acero que se utilizan en cimentación o refuerzo estructural, en campo se debe verificar la marca de la empresa productora del acero, el grado estructural grabado en la varilla, si no ha sido sometido a dobleces y si no presenta algún grado de corrosión.

Figura 20. **Grabado del grado estructural del acero**



Fuente: Corporación AG. *Varilla corrugada*. Consultado el 15 de junio de 2021. Recuperado de <https://www.corporacionag.com/es/categoria-producto/hierro-ag>.

- Ensayos para block

Por su parte Garrido (1997) indica:

La toma de muestras se efectuará de acuerdo con lo establecido por la norma COGUANOR NGO 41055 (...). El tamaño de la muestra estará en relación con el tamaño del lote. Los especímenes serán tomados completamente al azar en la fábrica y en obra, siguiendo especificaciones del producto almacenado o durante su traslado. (p.25)

Figura 21. **Verificación visual del número de lote en block**



Fuente: El arenal. *Block*. Consultado el 15 de junio de 2021. Recuperado de <https://elarenal.com.gt/collections/materiales-de-construccion/products/block-14-x-25-kg-pc?variant=31907192504371>.

Además, Garrido (1997) indica que deben efectuarse ensayos en laboratorio bajo la norma COGUANOR NGO 41056; en dicho ensayo se deben evaluar las siguientes características mecánicas:

- Resistencia mínima a la compresión
- Máxima absorción de agua

- Porcentaje de humedad

Figura 22. **Ensayo de medición de resistencia a la compresión**



Fuente: CEMEX. *¿Por qué se determina la resistencia a la compresión en el concreto?*. Consultado el 15 de junio de 2021. Recuperado de <https://www.cemex.com.pe/-/por-que-se-determina-la-resistencia-a-la-compresion-en-el-concreto->.

- Ensayos para madera

Según Ecuté (2009) deben de realizarse los siguientes ensayos a la madera:

- Clivaje
- Flexión estática
- Compresión paralela a la fibra

- Compresión perpendicular a la fibra
 - Corte paralelo a la fibra
 - Tensión paralela a la fibra
 - Tensión perpendicular a la fibra
- Ensayos para fibra de vidrio

De acuerdo con Irving (2009) para obtener la resistencia y rigidez de la fibra de vidrio es necesario realizar los siguientes ensayos:

- Tensión
- Compresión
- Flexión

7.9. Calidad total

Se refiere a la aplicación de principios de gestión de calidad que permitan desarrollar modelos de excelencia, tanto en producto como en servicio.

7.9.1. Definición de la calidad

Según Herrera (2008) se define a la calidad como “aquella que tiene como objetivo la plena satisfacción de las necesidades del cliente, mediante productos y servicios elaborados con cero defectos, que logren exceder sus propias expectativas” (p.5).

7.9.2. Gestión de la calidad

La gestión de calidad permite la mejora continua de un producto optimizando recursos. PMBOK (2017) afirma que: “es el proceso de convertir el plan de gestión de la calidad en actividades ejecutables de calidad que incorporen al proyecto las políticas de calidad de la organización”. (p.271)

En relación con este tema, Ramírez (2014) define un sistema de gestión de la calidad como:

Una serie de actividades coordinadas que se llevan a cabo sobre un conjunto de elementos (recursos, procedimientos, documentos, estructura organizacional y estrategias) para lograr la calidad de los productos o servicios que se ofrecen al cliente, es decir, planear, controlar y mejorar aquellos elementos de una organización que influyen en satisfacción del cliente y en el logro de los resultados deseados por la organización. (p.32)

7.9.3. Círculos de calidad

Los círculos de calidad son estrategias implementadas dentro de las organizaciones, las cuales consisten en reunir a un grupo de empleados de diversas áreas para dar a conocer los problemas que surgen, con el objetivo de encontrar la solución de acuerdo con las ideas que propone cada uno de los integrantes. Normalmente se establece un equipo multidisciplinario y es muy importante la participación de los dueños y líderes de cada proceso o estación de trabajo. (Ramírez, 2014, p.32)

7.9.4. Control de calidad

En cuanto a control de calidad, PMBOK (2017) afirma que: “es el proceso de monitorear y registrar los resultados de la ejecución de las actividades de gestión de calidad, para evaluar el desempeño y asegurar que las salidas del proyecto sean completas, correctas y satisfagan las expectativas del cliente. (p.271)

Según Herrera (2019):

Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta en el control de calidad es precisamente lo referente a materiales de construcción; esto abarca tanto la elección del material para garantizar que cumpla con las especificaciones del proyecto, así como su manejo y almacenamiento. (p.5)

- Etapas del control de calidad
 - Control de nuevos diseños: según Espinoza (1990): “comprende los esfuerzos para lograr transformar en un diseño, los requerimientos y deseos del consumidor, conciliando esto con la disponibilidad de recursos de la empresa” (p.32).
 - Control de materiales y materias primas: Espinoza (1990) afirma que: “comprende los procedimientos, especificaciones y actividades necesarias para garantizar la calidad de todos los materiales, materias primas y servicios que ingresan al proceso” (p.32).

- Control del proceso: según Espinoza (1990), “es el sistema de control durante la manufactura para garantizar que se logre cumplir con las especificaciones establecidas que garanticen la fabricación y entrega del producto que espera el consumidor” (p.32).
- Control del producto: Espinoza (1990) afirma que: “es el control del producto en el mercado para evaluar su funcionamiento, sus fallas y las causas, así como el servicio al cliente y otras actividades que permitan mejorar el producto” (p.32).

7.9.5. Administración estratégica de la calidad

La administración estratégica de la calidad se ha conocido como “el proceso de establecer metas para la calidad a largo plazo y definir el enfoque para cumplir dichas metas. Generalmente, quien la desarrolla, implanta y dirige, es la alta dirección” (Ramírez, 2014, p. 35)

7.9.6. Análisis FODA

El FODA se define como una herramienta de análisis estratégico que permite analizar elementos internos a la empresa y por tanto controlables, tales como fortaleza y debilidades; además de factores externos a la misma y por tanto no controlables, tales como oportunidad y amenazas. La importancia en la realización de este análisis consiste en “determinar de forma objetiva, en qué aspectos la empresa o institución tiene ventajas respecto de la competencia y en cuáles necesita mejorar para ser competitiva. (Ramírez, 2014, p.36)

7.10. Metodología Kaizen

Es una estrategia que se esfuerza por dar atención tanto al proceso como a los resultados. Según la cultura japonesa, la metodología Kaizen es fundamental, ya que significa mejoramiento en marcha que involucra a todas las personas dentro de la organización, y que como punto de partida reconoce una necesidad hacia el cambio constante. El mensaje de la estrategia de Kaizen es que “no debe pasar un día sin que se haya hecho alguna clase de mejoramiento en algún lugar de la empresa” (Flores, 2003, p. 50).

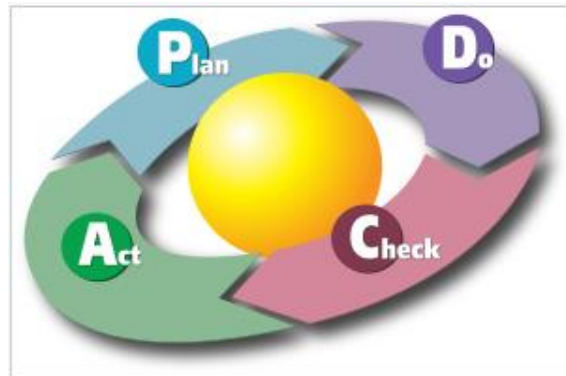
Según Flores (2003):

El mejoramiento continuo muestra aspectos importantes cuando su aplicación es enfocada en el proceso, hace referencia a que la mejora continua del mismo se lleva a cabo mediante la aplicación del proceso del ciclo de Deming, basado en: PHRA (Planificar – Hacer – Revisar – Actuar). (p.51)

- Ciclo de Deming

El llamado Ciclo de Mejora Continua, (...), consiste en una secuencia lógica de cuatro pasos que se llevan a cabo consecutiva y repetitivamente como estrategia de mejora continua. Se conoce también como Círculo PDCA. Las letras son el acrónimo de Plan, Do, Check, y Act. (Castillo, 2014, p.43)

Figura 23. **Ciclo PDCA**



Fuente: Wikipedia. *Ciclo de Deming*. Consultado el 13 de julio de 2021. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_de_Deming.

A continuación, se describen las 4 etapas del círculo de Deming:

- Planificar (*Plan*). Guía para una gestión basada en procesos (2009, p. 71) indica que: “la etapa de planificación implica establecer qué se quiere alcanzar (objetivos) y como se pretende alcanzar (planificación de las acciones)”.
- Hacer (*Do*). Guía para una gestión basada en procesos (2009, p. 71) continúa indicando: “en esta etapa se lleva a cabo la implantación de las acciones planificadas según la etapa anterior”.
- Verificar (*Check*). Guía para una gestión basada en procesos (2009, p. 71) afirma: “En esta etapa se comprueba la implantación de las acciones y su efectividad para alcanzar las mejoras planificadas (objetivos)”.

- Actuar (*Act*). Guía para una gestión basada en procesos (2009, p. 71) refiere: “En función de los resultados de la comprobación anterior, en esta etapa se realizan las correcciones necesarias (ajuste) o se convierten las mejoras alcanzadas en una “forma estabilizada” de ejecutar el proceso (actualización)”.

7.10.1. Implementación de la metodología Kaizen

Ramírez (2014, en cita realizada de Gutiérrez, 2001) refiere que para implantar el método Kaizen debe realizarse lo siguiente:

- Desarrollar un compromiso del personal con las metas que tiene la empresa.
- Definir metas y objetivos
- Compromiso e involucramiento del personal
- Implementar un programa de reconocimiento al esfuerzo del personal
- Implementar un programa de incentivos
- Involucramiento de todo el personal
- Implementar el trabajo en equipo
- El líder del equipo debe asumir su rol

7.10.2. Reglas de la metodología Kaizen

Ramírez (2014, como se citó en Mazaaki, 1998) indica que se deben implementar 10 reglas:

- Aumentar la eficiencia y productividad de los recursos
- Aumentar la eficiencia y productividad de los recursos
- Eliminar desperdicios

- Mejorar la calidad del producto
- Actitud positiva de los empleados
- Opinión constante e involucramiento de los miembros del equipo
- Mantener un ambiente cordial de trabajo
- Aceptar todas las interrogantes del equipo
- Tener respeto hacia los demás miembros del equipo
- Entender que no todos tienen las mismas habilidades
- Tratar a todos por igual

7.10.3. Fases de la metodología Kaizen

Ramírez (2014) afirma que se deben implementar las siguientes fases de la metodología Kaizen:

- Fase de preparación y planeación
- Fase de implantación
- Fase de comunicación y seguimiento

7.10.4. Equipos de la metodología Kaizen

Ramírez (2014, como se citó en Suárez, 2007) indica que: hay ciertos requisitos que se deben cumplir para conformar un equipo de trabajo, como, por ejemplo, que el equipo varía según el evento, pero usualmente es de 5 a 9 integrantes.

7.10.5. Plan de implementación de la metodología Kaizen

Para cumplir con cada uno de los objetivos que Kaizen propone, pueden existir varias prácticas como aquellas que se inclinan a la orientación al

cliente, un control total de la calidad, círculos aplicados al control de calidad, el movimiento de los cinco pasos de Kaizen, por hacer mención de algunas importantes, y que llevan a la empresa hacia un mismo fin. (Flores, 2003, p.71)

7.11. Estándares de construcción de infraestructura de obra civil

Un estándar es un documento que regula procedimientos y reglamentos que deben seguirse para obtener un producto.

Los beneficios de implementar estándares son simplificar el proceso de diseño y fabricación, mantener la función para la cual fueron diseñados, la confiabilidad, y calidad, eliminar costos de imprevistos y generar confianza en el cliente.

Para lograr estándares de construcción de infraestructura de un sitio de celda móvil es necesario implementar una política de calidad; lo que requiere de procedimientos y estándares técnicos. Según Boj (2013):

La industria de la construcción de torres para telecomunicaciones, dentro del territorio de Centro América, no está regulada y reglamentada; por lo que las empresas se han valido de normas y reglamentaciones de otros países para estandarizar los procesos y lograr que los fabricantes, diseñadores e instaladores tengan un marco de referencia para darle garantía y homologar los procesos, para facilitarse de ese modo, el costeo y los alcances de obra, el diseño y la implementación de los proyectos. (p.5)

Tabla V. Normas relacionadas con estructura de torres y monopolos´

Estructura principal-torres/monopolos			
Nacionales			
AGIES	NSE 7.5	Diseño de edificaciones de acero.	Diseño de edificios de acero y extrapolación de su uso para no similares a edificios.
AGIES	NSE 5-10	Requisitos para diseño de obras de Infraestructura u obras Especiales.	Diseño de estructuras de infraestructura o industriales, entre ellas torres.
DGAC	384-2001-39-b	Instalación de antenas, torres, rótulos publicitarios y otros objetos.	Altura máxima permisible dentro de las áreas de influencia de un aeródromo.
Internacionales			
ASTM	F1554	Especificación estándar para pernos de anclaje, acero, resistencia a la fluencia de 36, 55 y 105 ksi.	Requisitos para pernos de anclaje, rectos y doblados, de acero de baja aleación de alta resistencia.
ASTM	A36	Especificación estándar para acero estructural al carbono.	Diseño de perfiles, placas y barras de acero estructural al carbono de calidad estructural.
AWS	D1.1 / D1.1 M:2015	Código de soldadura estructural-acero.	Requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada.

Continuación de la tabla V.

Estructura principal-torres/monopolos			
Internacionales			
ASTM	F3125/ F3125M – 19e2	Especificación estándar para ensamblajes y pernos estructurales de alta resistencia, acero y acero de aleación, tratado térmicamente, dimensiones en pulgadas 120 ksi y 150 ksi Resistencia mínima a la tracción y dimensiones métricas 830 MPa y 1040 MPa Resistencia mínima a la tracción.	Requisitos para el diseño de pernos templados y revenido fabricados de acero y acero de aleación, en pulgadas y dimensiones métricas, en dos grados de resistencia, dos tipos y dos estilos.
ASTM	A394-08	Especificación estándar para pernos de acero para torres de transmisión, revestidos de zinc y desnudos.	Estándares para pernos hexagonales y de cabeza cuadrada de acero recubierto de zinc para su uso en la construcción de torres.
ASTM	A123 / A123M - 17	Especificación estándar para recubrimientos de zinc (galvanizados en caliente) en productos de hierro y acero.	Estándar para recubrimientos de zinc galvanizados en caliente en productos de hierro y acero.
ASTM	E18-20	Métodos de prueba estándar para la dureza Rockwell de materiales metálicos.	Determinar la dureza Rockwell y la dureza superficial Rockwell de materiales metálicos.

Continuación de la tabla V.

Estructura principal-torres/monopolos			
Internacionales			
ANSI	ASC A14.3-2008 (R2018)	Escaleras-fijas- requisitos de seguridad	Diseño de escaleras fijas.
ANSI / ASSP	Z359.1-2020	Código de protección contra caídas	Especificaciones de equipos y sistemas de protección contra caídas.
TIA/EIA	222 F	Normas estructurales para torres y estructuras de acero para antenas.	Requerimientos para diseño de torres y estructuras de acero para antenas.
TIA/EIA	222 G	Normas estructurales para antenas y estructuras que soportan antenas.	Requerimientos para diseño de torres y estructuras de acero para antenas.
ASCE	7-16	Cargas mínimas de diseño y criterios asociados para edificios y otras estructuras.	Determinar diversas cargas y sus combinaciones para el diseño estructural.
ASCE	10-15	Norma de Diseño de Estructuras en Celosía para Torres de Transmisión eléctrica.	Diseño de estructuras para resistir las cargas cercanas a la fluencia, pandeo o fractura.
ANSI/AISC	360-10	Especificación para edificios de acero estructural.	Diseño de estructuras de acero estructural o estructuras de acero estructural compuestas con hormigón armado.
ANSI/AISC	341-10	Disposiciones sísmicas para edificios de acero estructural.	Diseño de estructuras de acero.

Fuente: ASTM, AWS, AGIES, DGAC. *Recopilación de normas nacionales e internacionales.*
 Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.astm.org/>. https://app.aws.org/mexico/mx_standards.html. <https://www.agies.org/biblioteca-agies/normas-de-seguridad-estructural/>. <http://www.dgac.gob.gt/index.php/descargas/regulaciones/>.

Tabla VI. Normas relacionadas con el concreto

Concreto			
Nacionales			
COGUANOR	NTG-41068	Concreto premezclado. Especificaciones.	Diseño de concreto premezclado y concreto manufacturado despachado en estado fresco.
COGUANOR	NTG 41057	Práctica para el muestreo de concreto recién mezclado.	Muestras de concreto fresco entregado en el lugar del proyecto.
COGUANOR	NTG 41017 h4	Método de ensayo. Determinación del asentamiento del concreto hidráulico.	Determinación del asentamiento del concreto hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.
Internacionales			
ASTM	C1064 / C1064 M-17	Método de prueba estándar para la temperatura del concreto de cemento hidráulico recién mezclado.	Proporciona un medio para medir la temperatura del hormigón recién mezclado.
ASTM	C94 / C94 M-21	Especificación estándar para concreto premezclado.	Requisitos para la calidad del concreto premezclado.
ASTM	C172 / C172 M-17	Práctica estándar para el muestreo de concreto recién mezclado.	Requisitos y procedimientos estándar para el muestreo de concreto recién mezclado.

Continuación de la tabla VI.

Concreto			
Internacionales			
ASTM	C143 / C143 M-20	Método de prueba estándar para el asentamiento del hormigón de cemento hidráulico.	Procedimiento para determinar el asentamiento.
ASTM	C39 / C39 M-21	Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón.	Determinar la resistencia a la compresión.
ACI	318	Requisitos del código de construcción para hormigón estructural.	Requisitos mínimos para los materiales, diseño y detalle de edificios de hormigón estructural y estructuras no edificables.
ACI	530 / 530.1-13	Requisitos y especificación del código de construcción para estructuras de mampostería y comentarios complementarios.	Diseño y construcción de estructuras de mampostería.
AISC	89	Especificación para Edificios de acero estructural.	Especificación para edificios de acero estructural-diseño de tensión.

Fuente: ANSI, TIA, ASCE. *Recopilación de normas nacionales e internacionales*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.ansi.org/>.
<https://tiaonline.org/what-we-do/standards/>

Tabla VII. Normas relacionadas con energía y tierras

Sistemas de energía y tierras			
Nacionales			
CNEE	NTDOID	Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución.	Diseño y construcción de líneas aéreas de distribución de energía eléctrica y sus equipos asociados.
MEM		Reglamento de la ley general de electricidad.	Normar las actividades de generación, transporte, distribución y comercialización de electricidad.
Internacionales			
UL	1449	Dispositivos de protección contra sobretensiones.	Estos requisitos cubren los dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD).
IEEE	C 62.41-1991	Práctica recomendada por IEEE para picos de voltaje en circuitos de alimentación de CA de bajo voltaje.	Pruebas de voltaje y corriente que se aplicarán en la evaluación de la capacidad de resistencia a sobretensiones.
NEC	250.106	Sistema de protección contra rayos	Diseño de sistema de protección contra rayos.
UNE	21186	Protección de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con acción de cebado.	Diseño del sistema de protección activo, pararrayos.
NFC	17.102	Protección contra el rayo.	Diseño del sistema de protección activo, pararrayos.
NFPA	780	Norma para la instalación de protección contra rayos.	Diseño del sistema de protección, pararrayos.

Fuente: ANSI, TIA, ASCE. *Recopilación de normas nacionales e internacionales*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.ansi.org/>.
<https://tiaonline.org/what-we-do/standards/>

Tabla VIII. **Normas relacionadas con mampostería**

Mampostería			
Nacionales			
AGIES	NSE 7.4	Diseño de mampostería reforzada.	Diseño estructural y la construcción de edificaciones de mampostería reforzada.
Internacionales			
ASTM	C-150	Especificación normalizada para cemento Portland.	Especificación sobre los 8 tipos de cemento Portland.
ASCE	5-11/6-11	Requisitos y especificaciones del código de construcción para estructuras de mampostería.	Diseño y la construcción de estructuras de mampostería.
TMS	402/602-16	Requisitos del código de construcción y especificaciones para estructuras de mampostería.	Requisitos del código de construcción y la especificación para estructuras de mampostería.

Fuente: ANSI, TIA, ASCE. *Recopilación de normas nacionales e internacionales*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.ansi.org/>.
<https://tiaonline.org/what-we-do/standards/>

Tabla IX. **Normas relacionadas con tuberías de conducción eléctrica**

Tuberías de conducción eléctrica			
Nacionales			
COGUANOR	NTG 19011:2015	Tuberías de plástico. Tubos y conexiones de poli cloruro de vinilo (PVC) rígido para conducción eléctrica y telefónica.	Requisitos para tubos y conexiones de poli cloruro de vinilo (PVC) rígido para alojary proteger conductores eléctricos y telefónicos.
Internacionales			
ASTM	F512-19	Especificación estándar para conductos y accesorios de poli (cloruro de vinilo) (PVC) de pared lisa para instalación subterránea.	Para conductos y accesorios de poli (cloruro de vinilo) para comunicaciones subterráneas y alambres y cables de energía eléctrica.
INTE	C185:2013	Tubería eléctrica (Conduit) de PVC rígido Cédula 40, Cédula 80, Tipo A y Tipo EB y sus accesorios.	Tubería eléctrica (conduit) de PVC rígido Cédula 40, Cédula 80, Tipo A y Tipo EB y sus accesorios.
UL	651:2012	Estándar para conexiones y conductos de PVC rígido cédula 40, 80, tipo EB y A.	Para conductos y accesorios eléctricos de PVC (cloruro de polivinilo).

Fuente: ANSI, TIA, ASCE. *Recopilación de normas nacionales e internacionales*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.ansi.org/>.
<https://tiaonline.org/what-we-do/standards/>

Tabla X. **Normas relacionadas con pintura de estructuras**

Pintura de torres			
Internacionales			
ASTM	D523-14 (2018)	Método de prueba estándar para brillo de espejo.	Diseño de pintura para torres.
ASTM	E308-18	Práctica estándar para calcular los colores de objetos mediante el sistema CIE.	Diseño de pintura para torres.
ASTM	D2244-16	Práctica estándar para el cálculo de tolerancias de color y diferencias de color a partir de coordenadas de color medidas instrumentalmente.	Diseño de pintura para torres.
ASTM	D1729-16	Práctica estándar para la evaluación visual de colores y diferencias de color de materiales opacos con iluminación difusa.	Diseño de pintura para torres.
SSPC	SP2/SP3	Limpieza de superficies con herramienta-manual/mecánica.	Aplicación de pintura.

Fuente: ANSI, TIA, ASCE. *Recopilación de normas nacionales e internacionales*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.ansi.org/>.
<https://tiaonline.org/what-we-do/standards/>

7.11.1. Estándares del sistema de tierra física

En los sitios de celda de telefonía móvil debe existir únicamente un sistema de tierras y el valor de resistencia a tierra debe ser como máximo de 2Ω , el sistema a utilizar electrodos instalados de manera convencional.

Figura 24. **Medición de resistencia a tierra física**



Fuente: Megger. *Medición de resistividad del terreno*. Consultado el 15 de julio de 2021.
Recuperado de <https://csa.megger.com/products/mediciones-en-baja-tension/earth-testing/>.

- **Materiales e instalación**

Los materiales utilizados en un sistema de tierra física de electrodos convencional son:

- Varillas de cobre
- Terminal de doble agujero
- Barra de puesta a tierra
- Aislador
- Cable
- Soldadura exotérmica
- Moldes fabricados para soldadura exotérmica

Para la instalación de un anillo o malla de tierra física se debe utilizar varillas de cobre de 5/8 de pulgada de diámetro y 8 pies de longitud. La conexión entre las varillas y el cable siempre debe efectuarse con soldadura exotérmica; si se instalan dos o más electrodos, la distancia mínima entre éstos debe ser de 3m.

El anillo de tierras debe contar con 4 electrodos como mínimo, interconectados con cable de cobre desnudo No. 2/0 AWG. La profundidad del anillo de tierras debe estar como mínimo a 0.60 m del nivel 0.00 del sitio de celda y se debe aplicar concreto 3,000 Psi con un espesor de 10 centímetros por el ancho y longitud de la zanja del anillo de tierras. Si no se obtiene la resistencia requerida con el sistema empleado, se debe realizar un diseño especial.

Para unir cables y accesorios, debe emplearse soldadura exotérmica tipo Cadwell, para unir los cables con la soldadura se deben utilizar moldes fabricados con grafito, específicamente para los diámetros de varillas y calibres del cable que se estén uniendo.

La barra de puesta a tierra debe ser de los siguientes materiales, de acero cubierta de cobre, barra de cobre puro, barra de aluminio y barra HG. La barra debe tener las siguientes especificaciones:

- 6 mm (0.25") de espesor
- 100 mm (4") de ancho
- Longitud variable (375 mm/15" y 500 mm/ 20")

La barra de puesta a tierra debe contar con suficientes pares de agujeros, con diámetros de 16 mm (5/8"), 8 mm (5/16"), 11 mm (7/16").

Figura 25. **Barra de puesta a tierra**



Fuente: National Electrical Code. *Barra de tierra física*. Consultado el 15 de julio de 2021.
Recuperado de <https://lightning.org/wp-content/uploads/2014/12/Bonding-2013-ULPA-LPI-rev1.pdf/>.

La barra de puesta a tierra debe ser instalada con soportes, sujetadores, arandelas planas, arandelas de seguridad de acero inoxidable y aisladores. Debe recubrirse con grasa antioxidante conductora.

La barra debe ser instalada a 50 mm (2") de la superficie de la pared, y de tal forma que sea accesible al personal, debe ubicarse debajo de los tableros de distribución. En una estructura principal como torres, postes o mástiles, debe ubicarse 3 metros por debajo de los soportes para antenas con la finalidad de aterrizar los RRU's.

El cable por utilizar para el aterrizaje principal de los equipos preferiblemente debe ser de cobre No. 2/0, sin embargo, puede utilizarse cable ACSR No. 3/0, independientemente del tipo de cable, debe dejarse una cola de

3 m sobre el nivel de la losa donde se instala el equipo. El calibre mínimo para aterrizar equipos es THHN No. 6AWG.

Las terminales de doble agujero deben utilizarse para evitar desconexiones de las barras de puesta a tierra o de equipos.

En los sitios de celda cubricados, se debe unir el sistema de tierras del equipo y mampara a instalar al sistema de puesta a tierra del operador arrendante.

- Sistema de bus de tierras en torres

Para torres de 60 y 75 m de altura, se deben instalar 3 platinas y para torres de 45 m o menores a esta altura, 2 platinas. Se deben instalar accesorios de fijación para las platinas, esto accesorios son aisladores térmicos y deben utilizarse tornillos, tuercas, arandelas de presión y planas de bronce al silicio para su fijación.

Las platinas deben ser de aluminio de 20"x4"x1/4", estas deben ubicarse en las escaleras del cableado del sistema radiante, la primera a 3 m abajo de la cúspide de la torre, la segunda a la mitad y la última entre 2 m y 6 m del nivel del terreno Las platinas deben estar conectadas verticalmente por medio de cable ACSR 2/0 e interconectadas al anillo de tierra existente.

El cable ACSR debe instalarse separado de la torre por medio de aisladores térmicos los cuales deben estar separados entre ellos a una distancia no mayor de 3 metros; el bus de tierras debe quedar tensado y evitar curvas durante todo su recorrido. La unión del bus de tierra hacia el anillo de tierras existente debe realizar mediante un conector bimetálico tipo H.

Se deben utilizar pulseras antiestáticas durante la manipulación de equipos y componentes electrónicos o similares, a fin de evitar los daños que pudiesen causar las descargas electrostáticas.

7.11.2. Estándares de sistema de pararrayos

El sistema consiste en la instalación de un pararrayos activo o pasivo para la captación de rayos, las corrientes generadas por la captación del rayo deben ser conducidas a tierra a través de un cable trenzado diseñado especialmente para esta función. En todos los sitios de celda de telefonía celular deben instalarse los siguientes componentes para garantizar las descargas electroatmosféricas a tierra: pararrayos, mástil autosoportado y conductor bajante.

El pararrayos debe ser de acero inoxidable con sistema de cebado o PDC, que es el elemento captador del rayo y cuyas características físicas contribuyen a la ionización del aire que lo rodea.

Para un sitio de celda de telefonía celular debe instalarse un pararrayos activo de las siguientes marcas: Stormaster Ese Telco de LPI o Cirprotec y Nimbus CPT-L.

La punta del pararrayos debe operar con delta de tiempo (Δt) mínimo de 1 5 μs e instalarse en la cúspide de la torre; se debe garantizar la continuidad eléctrica y el funcionamiento tras el impacto del rayo. El radio de cobertura varía de acuerdo con el nivel de protección, siendo estos los siguientes:

- 80 m de radio a nivel I (20 m de altura)
- 89 m de radio a nivel II (30 m de altura)

- 102 m de radio a nivel III (45 m de altura)
- 113 m de radio a nivel IV (60 m de altura)

El mástil autoportado debe ser de acero galvanizado u inoxidable; debe contar con un adaptador para la punta del pararrayos y una altura de 6 m; sin embargo, si no fuese posible cumplir con esta altura, se debe instalar por los menos a 2 m de distancia del plano horizontal más alto del sitio celda. El conductor bajante se instala con un solo tramo de cable desde el pararrayos hasta el electrodo correspondiente, utilizando accesorios fabricados con cobre. No se permiten curvas con un radio menor a los 45° para evitar el desprendimiento por la fuerza de inducción generada durante una descarga.

- Instalación del sistema de pararrayos

El pararrayos debe instalarse en el punto más alto del sitio de celda, luego debe unirse con cable 2/0 ACSR (cable de aluminio compuesto de 7 hilos con alma de acero) y bajar en un solo tramo hasta la base de la torre, se debe sujetar en 3 puntos por montante con cinchos *bandit* metálicos de ¾" y conectarse mediante junta mecánica a un electrodo, que debe tener tratamiento especial con Quibacsol o GEM. Este electrodo se debe ubicar en una caja de registro de mantenimiento, la cual quedara oculta bajo el nivel 0.00 del sitio de celda construida de concreto reforzado y de dimensiones internas 0.50 m x 0.50 m x 0.60 m. Los electrodos deben ser de 5/8" de diámetro x 8' de longitud y un espesor de 0.254 mm revestidos de cobre.

Los 3 electrodos ubicados en la base de la torre deben contar con un registro de 6 pulgadas de diámetro y 15 pulgadas de longitud de tubería PVC color blanco con su respectivo tapón para el mantenimiento correspondiente, esto registros deben quedar debajo del nivel 0.00.

Los montantes deben ser aterrizados por medio de junta mecánica entre una placa soldada de fábrica al montaje y cable de cobre calibre No. 2/0; el cable del montante que se ubique en la base de la torre debe conectarse al anillo de tierras del sitio a través de soldadura Cadwell.

Figura 26. **Registro de electrodo**

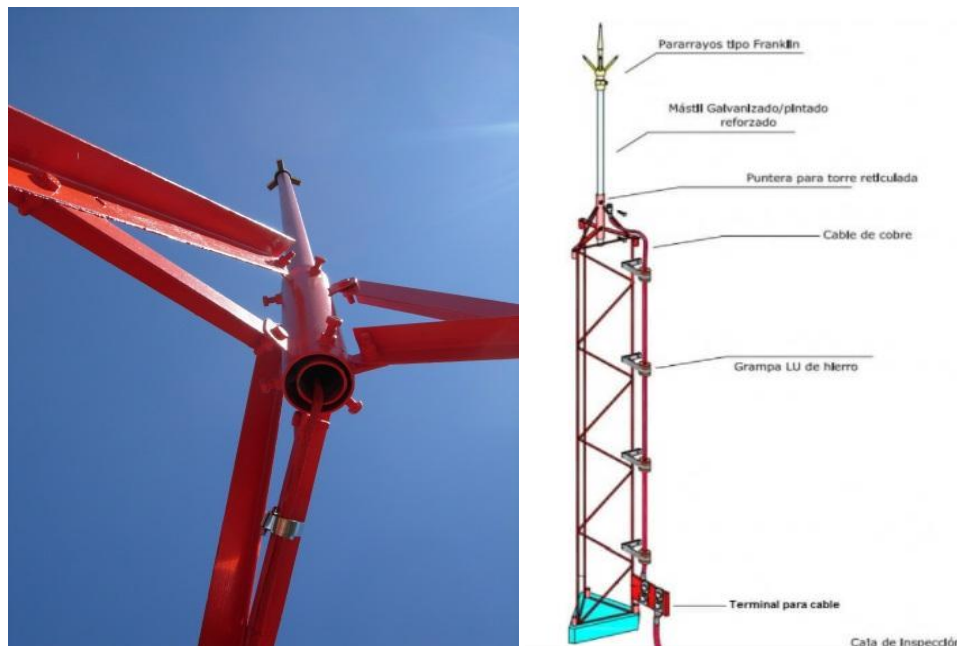


Fuente: Naresa. *Registro para tierra física*. Consultado el 15 de julio de 2021. Recuperado de <http://www.naresagdl.com/naresa/plasticos/registro%20sanitario.html/>.

Entre cada electrodo deben existir 5.00 m de separación, de no ser posible el equivalente a una varilla horizontal, es decir 2.50 m; esta distancia puede variar debido al espacio disponible para la instalación.

Es importante no pintar los flanges de la torre en el área que coinciden las uniones de cada sección, ni las uniones de las escaleras de cables en la parte interna para mejorar el área de contacto para las descargas eléctricas.

Figura 27. **Instalación de pararrayos en torre autoportada**



Fuente: Tecnología-informática. *Antenas y pararrayos*. Consultado el 15 de julio de 2021.
Recuperado de <https://www.tecnologia-informatica.es/antenas-y-pararrayos/>.

7.11.3. **Estándares de pintura**

- Pintura en torres

Las torres, monopolos, mástiles y soportes deben ser cubiertos con pintura de esmalte acrílica 100 % a base de agua. Para el área donde el clima sea demasiado frío se puede utilizar pintura grado cero y para áreas cercanas al mar pintura resistente a sulfatos. La pintura se debe aplicar según la ley de navegación de la dirección general de aeronáutica civil. Los colores por utilizar son blanco y naranja, alternándose entre sí, el primer tramo se debe pintar de color naranja el siguiente de color blanco, el tramo superior de la torre debe ser de color naranja.

Figura 28. **Pintura en torre autoportada**



Fuente: Sherwin C.A. *Pintura para torres de hierro*. Consultado el 15 de julio de 2021.

Recuperado de <https://www.sherwinca.com/tienda/industria/pintura-torres-hierro/>.

En casos donde el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales lo requiera se mimetizará la estructura aplicando un color de pintura distinto de acuerdo con el requerimiento.

Figura 29. **Mimetización de torre**



Fuente: Ayuntamiento de Coruña. *Catálogo de técnicas desintegración en el medio y mimetización*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de http://coruna.es/infoambiental/uploads/File/telefonía_movil/Catalogo_de_Tecnicas_de_Mimetizacion/Catalogo%20de%20Tecnicas%20de%20Mimetizacion.pdf/.

- Pintura en infraestructura complementaria: la caseta de transmisión debe pintarse con pintura látex color gris y debe pintarse un zócalo de 0.3 m de color gris oscuro.

Figura 30. **Pintura en caseta**



Fuente: Sherwin C.A. *Catálogo de productos línea arquitectónica*. Consultado el 15 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.sherwinca.com/wp-content/uploads/2020/02/Cat%C3%A1logo-L%C3%ADnea-Arquitect%C3%B3nica-Enero-2020.pdf/>.

Puerta del sitio de celda, se les debe aplicar un fondo de pintura, esta debe ser tipo anticorrosiva y de color negro mate; además debe aplicarse pintura de aceite en color gris mate como acabado final.

7.11.4. Estándares de mampostería

El levantado del muro de mampostería de la caseta, así como el muro perimetral debe realizarse con block de concreto con una resistencia como mínimo de 35 Kg/cm² y con las medidas siguientes, 0.15 m x 0.20 m x 0.40 m. La unión de *blocks* debe realizarse con sabieta, elaborada con arena de río cernida en tamiz de ¼", cemento tipo portland tipo 1 y agua.

El concreto a utilizar en la fundición de zapatas, cimientos, columnas, soleras y losas debe ser concreto premezclado de 3,000 Psi y para su elaboración se debe utilizar máquina concretera.

El refuerzo longitudinal de las soleras, columnas, cimientos, zapatas y losas debe ser grado 40, debe utilizarse para el armado de la estructura alambre de amarre calibre 16.

Figura 31. **Construcción de muro de mampostería**



Fuente: GC Construcciones. *Composición de la mampostería reforzada*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://gc-construcciones.net/lo-necesitas-saber-mamposteria-reforzada/>.

7.11.5. Estándares eléctricos y de canalizaciones

El voltaje de operación del sistema de energía de un sitio de celda debe ser 120/208 VCA para los sistemas trifásicos y 120/240 VCA para los sistemas monofásicos. Para servicios monofásicos y trifásicos menores a 225 kVA, el banco de transformadores puede ser instalado en el poste. La alimentación de energía debe ser provista por el distribuidor de energía donde se ubique la celda este puede ser; EEGSA, ENERGUATE y empresas municipales de energía.

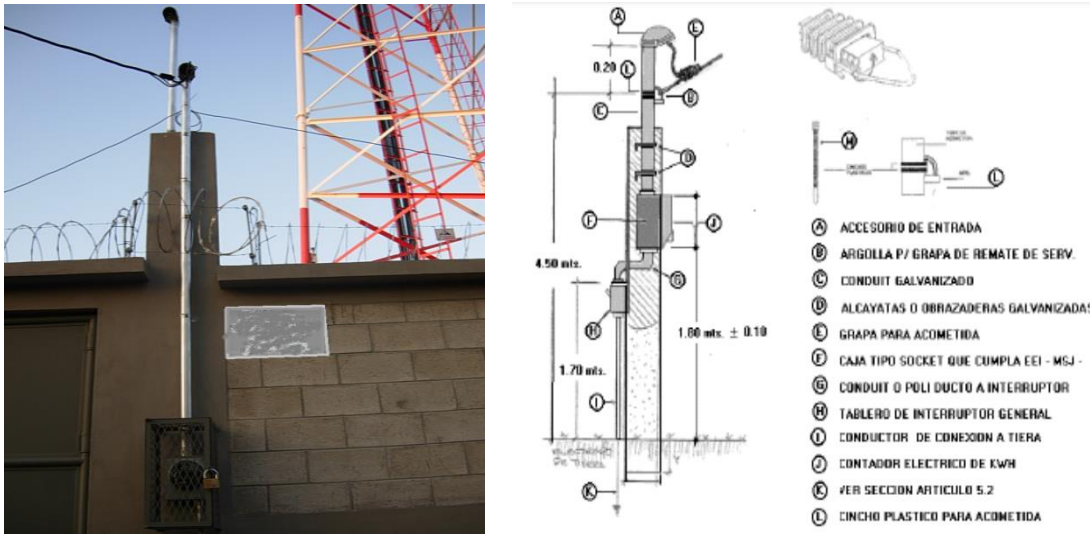
En los sitios de celda cubricados, se debe utilizar la energía del operador arrendante. El sistema de energía en todos los sitios está compuesto por:

- Caja tipo *socket* para medidor de energía
- Conductores de cobre para baja tensión
- Tubería HG o EMT
- *Breaker* principal
- Caja RH
- Tablero principal de distribución
- Supresor de sobretensiones transitorias o SPD

Los conductores o cables deben ser de cobre, AWG/THHN y dimensionados de acuerdo con la distancia, número de conductores por tubería y temperatura, se deben diferenciar cada una de las líneas, líneas vivas color negro, línea neutra color blanco y línea a tierra color verde. El voltaje máximo de operación en baja tensión es de 600 VCA. Para las conexiones se deben utilizar terminales de doble agujero, tornillos, tuercas, roldanas planas y de presión, todo de acero inoxidable.

En la canalización de la acometida principal de energía y fibra óptica para las canalizaciones expuestas a la intemperie se debe utilizar tubería HG y para las canalizaciones internas sin exposición a la intemperie se puede utilizar tubería HG, EMT, LT o PVC.

Figura 32. **Acometida principal**



Fuente: CNEE. *Especificaciones de la columna*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://www.cnee.gob.gt/estudioselectricos/Normas%20Tecnicas/NORMA%20EEGSA.pdf/>.

Las tuberías que se instalen sobrepuestas en pared deben ser fijadas con riel unicanal y abrazaderas, la separación máxima entre soportes que sujetan la tubería será de 1.0 m.

Las tuberías instaladas de forma aérea deben ser fijadas con riel unicanal con sus respectivas abrazaderas y varilla roscada, fijadas a la losa con tarugos de expansión; la separación entre soportes que sujetan la tubería será de 1.0 m.

Las tuberías subterráneas deben cubrirse de concreto en toda su trayectoria. La tubería debe colocarse mínimo a 40 cm por debajo del nivel

0.00. Se debe instalar en la caja tipo RH; esta debe contar con un *breaker* principal de tipo industrial.

La barra izquierda en el tablero de distribución principal debe ser utilizada para las conexiones de tierra y la barra derecha para las conexiones de neutros, la caja debe ser tipo Nema 1, IP65. Los equipos para protección contra sobretensiones transitorias, llamadas supresor de transientes, deben ser conectados en paralelo con la carga a la que se quiere proteger.

Figura 33. **Tablero de distribución principal y supresor de transientes**



Fuente: ABB. *Tableros de distribución*. Consultado el 12 de julio de 2021. Recuperado de <https://industrialsolutions.la.abb.com/productos/tableros-de-distribucion/>.

- Sistema de iluminación
 - Iluminación perimetral y de equipo: debe proveerse en el techo interior de la caseta, 1 bombilla de 60 watts y en el perímetro del muro deben instalarse tres bases con soportes dobles para

instalar 2 reflectores de 75 watts. En caso no exista caseta, la bombilla será sustituida por un reflector doble que se debe instalar sobre la mampara de tableros. En el caso de un sitio coubicado, únicamente se debe instalar un reflector doble sobre la mampara de tableros.

Figura 34. **Iluminación sobre mampara**



Fuente: EPA. *Reflectores y lámparas de seguridad*. Consultado el 12 de julio de 2021.

Recuperado de <https://gt.epaenlinea.com/iluminacion/reflectores-y-lamparas-de-seguridad.html/>.

- **Iluminación en torre**

Debe ser tipo LED y debe incluir una caja de control de luces de navegación aérea resistente a la intemperie, una fotocelda tipo CR-174 / H651 y una potencia de 1000 vatios, con herrajes adecuados para sujetarse al

montante. Los componentes del sistema de iluminación deben estar aterrizados al sistema de tierras del sitio.

Figura 35. **Fotocelda y caja de control de luces de navegación aérea**



Fuente: CIRPROTEC. *Controladores balizas baja intensidad*. Consultado el 12 de julio de 2021.
Recuperado de http://www.cirprotec.com/archivos/downloads/CATALOGO_BALIZAS.pdf/.

Si la torre es de 45 metros o más, debe instalarse en la cúspide una lámpara de obstrucción doble (baliza) con foco y soporte para colocación y a media altura deben instalarse 3 lámparas de obstrucción simple, las ampollitas deben ser de vidrio y de base metálica.

Si la torre es de una altura menor a 45 metros debe instalarse en la parte superior una lámpara de obstrucción doble con foco y soporte para colocación, las ampollitas deben ser de vidrio y base metálica.

Figura 36. Lámpara de obstrucción doble



Fuente: ATG OBSTRUCCIÓN. *Unidad de obstrucción de led doble*. Consultado el 6 de agosto de 2021. Recuperado de http://atg-mx.com/atg_obstruccion_catalogo.html.

7.12. Estándares para torres y monopolos

Todas las estructuras principales como torres, monopolos, soportes y mástiles deben cumplir con los estándares indicados a continuación.

7.12.1. Estructuras de torre y accesorios

- Pernos de anclaje

Son los elementos que unirán la cimentación a la estructura principal de la torre, mecánicamente; estos deben incluir tuerca de seguridad, roldana plana y de presión, todo debidamente galvanizado por inmersión en caliente; deben ser de 2 m de largo y 1" de diámetro como mínimo o de acuerdo con el diseño del fabricante cumpliendo con norma ASTM F1554.

- Suministro e instalación de torre autoportada tubular de sección triangular

Debe ser formada por tramos de 6.00 metros de longitud cada uno. La tubería y los perfiles angulares deben ser fabricados con calidad de acero ASTM A-36. Toda la tornillería de las conexiones principales debe ser galvanizada por inmersión en caliente y debe diseñarse bajo norma ASTM F3125 / F3125M – 19e2 y A-394-08 para las conexiones secundarias. Los pernos se deben instalar con arandela plana, de presión, de seguridad y tuerca. Los pernos en todas las torres autoportadas y los monopolos deben cumplir con el torque recomendado para tornillería A325 o bien ISO R898 clase 8.8.

Tabla XI. **Torque promedio para tornillería A325**

Diámetro nominal en pulgadas	Torque promedio recomendado perno A 325 en pie-libras (con lubricante para fines de cálculo)
1/2	60
5/8	100
3/4	175
7/8	280
1	400

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Torque promedio recomendado para tornillería ISO R898 clase 8.8 (mm)**

Diámetro pernos ISO R898 clase 8.8 (mm)	TORQUE (Ft*Lb)
12	60
14	80
16	110
18	145
20	150
22	185
24	240
27	322
30	507
33	763
36	945
39	1215
42	1525

Fuente: elaboración propia.

Los pernos en todas las torres arriostradas deben cumplir con el torque recomendado para tornillería.

Tabla XIII. **Torque de pernos para torres arriostradas**

Torque de instalación pernos anclaje (pie-libra) torres arriostradas	
Diámetro nominal en pulgadas	TORQUE (Ft*Lb)
3/8	37
1/2	59
5/8	88
3/4 y mayor	221

Fuente: elaboración propia.

- Plataformas de trabajo.

En torres autoportadas deben instalarse plataformas de trabajo; estas deben cubrir toda el área interna de la torre en la altura que sean instaladas; no se deben instalar escotillas, únicamente se debe dejar un área de paso en cada plataforma de trabajo. Deben ser galvanizadas por inmersión en caliente y el diseño debe ser de acuerdo con la ingeniería del fabricante de la torre. Si la torre es de 60 m de altura se deben instalar 3 plataformas de trabajo; la primera a una distancia máxima de 3 m de la cúspide de la torre, la segunda a 45 m y la tercera a 30 m. Si la torre es de 45 m de altura se deben instalar 2 plataformas de trabajo; la primera a una distancia máxima de 3 m de la cúspide de la torre y la segunda a 30 m. Si la torre es de 36 m de altura se debe instalar una plataforma de trabajo a una distancia máxima de 3 m de la cúspide de la torre.

- Soportes de antenas celulares

Se deben instalar 3 soportes de antenas celulares con capacidad para colocar 4 antenas tipo panel; la longitud de los tubos para instalar las antenas

debe ser de 3 m y tener un diámetro de 2 pulgadas, además los soportes deben contar con un fijador de ángulo o tensor que restrinja el movimiento de los soportes.

- Galvanizado

Toda la estructura y sus conexiones debe ser galvanizada por inmersión en caliente y tener el recubrimiento mínimo en micrones, recomendado en la norma ASTM A123.

Tabla XIV. **Promedio mínimo en micrones (μm) de espesor de recubrimiento de galvanizado según ASTM A 123**

Tipo de material	Espesores de los especímenes analizados (pulgadas)				
	<1/16	1/16 y < 1/8	1/8 y 3/16	>3/16 y < 1/4	$\geq 1/4$
Perfiles estructurales y placas (incluye angulares) μm	45	65	75	85	100
Hembras y barras de acero μm	45	65	75	85	100
Tuberías μm	45	45	75	75	75
Alambre μm	35	50	60	65	80
Tipo de material	Espesores de los especímenes a ser analizados (pulgadas)				
	<3/16		>3/16		
Lámina rolada, presionada o artículos forjados μm	66		86		

Fuente: elaboración propia.

- Escaleras para cableados de sistema radiante.

Se deben instalar 2 escaleras, una en cada cara de la torre; estas permiten la instalación del cableado del sistema radiante (RF). Deben fabricarse con angular de 1 ½" x ¼", un ancho de 0.60 m y una longitud de 6 m e instalarse a lo largo de la torre; deben sujetarse a esta por abrazaderas y pernos que cumplan con norma ASTM A-394-08. En la parte baja de la torre debe construirse una base de concreto reforzado para evitar el movimiento de las escaleras.

- Escalera para ascenso a la torre

Debe instalarse una escalera para ascender en la cara de la torre; que no haya escalera de cables que permita otro tipo de ascenso; debe instalarse con la inclinación de modo que el ascenso sea favorable. Esta escalera debe estar instalada en toda la longitud de la torre, tener un ancho mínimo de 0.6 m y una longitud de 6 m; tener peldaños de ¾" de sección y una separación entre peldaños de 0.3 m; además, cumplir con la norma ANSI – ASC A14.3-2008.

7.12.2. Dispositivo de seguridad

Las torres, monopolos, postes y mástiles de 6 metros deben contar con un sistema de línea de vida vertical de acero galvanizado con diámetro de 3/8" de 7 hilos y una capacidad mínima de 14,400 libras.

- Torres autosoportadas.

Las líneas de vida verticales se deben instalar directamente a la escalerilla de ascenso a la torre; en caso la torre no cuente con escalerilla debe

fijarse a la su estructura propia y cumplir con la norma ANSI/ASSP Z359.1-2020. La línea de vida instalada en una torre autosoportada debe asegurarse en la parte superior a la escalera de ascenso un mínimo de 3 peldaños y prolongarse sobre toda la longitud de la escalera hasta que los pies del trabajador estén posados sobre una superficie de trabajo. La línea de vida debe tener un anclaje superior con un componente fundamental absorbente de impacto con capacidad de 3,800 libras; que pueda ser utilizada simultáneamente por 2 operadores como mínimo, y un máximo de 4.

Los componentes de la línea de vida deben ser de acero galvanizado, esto para evitar un par galvánico, garantizar la vida útil del equipo y que pueda funcionar en diferentes regiones con variaciones de clima.

La conexión del soporte inferior debe soportar una carga del sistema de 750 libras. Los sistemas de línea de vida deben tener compatibilidad con diámetros 5/16" y 3/8", para utilizar arrestadores de caída o frenos de cable, los cuales se ajustan a un cable específico. La línea de vida debe contar con accesorios de caucho que sirvan como guía, ubicados a una distancia de 7.5 m entre cada uno.

- Torres arriostradas

En las torres arriostradas, que en su mayoría son construidas por estructura tipo *Joist*, se recomienda utilizar los componentes transversales del *Joist* para sujetar el dispositivo de seguridad vertical en lugar de un sistema de escalerilla de ascenso. Los demás componentes de la línea de vida deben ser instalados bajo las especificaciones de una torre autosoportada.

- Monopulos y postes de concreto

Estos deben tener un sistema de línea de vida de acero galvanizado, una escalera de ascenso con *stepper*, adaptados a la estructura del monopolo o poste de concreto al desplazarse el operador; quien debe usar un arrestador de caída.

Figura 37. **Línea de vida y escalera de ascenso con *stepper***



Fuente: EVISOS. *Líneas de vida para escaleras, torres y monopolos*. Consultado el 2 de agosto de 2021. Recuperado de [https://br.pinterest.com/pin/36521446958436652/?amp_client_id=CLIENT_ID\(&mweb_unauth_id=&simplified=true](https://br.pinterest.com/pin/36521446958436652/?amp_client_id=CLIENT_ID(&mweb_unauth_id=&simplified=true).

Tabla XV. **Longitud de escalerilla con *stepp* a instalar, según altura de estructura**

Sistema combinado de escalerilla con <i>stepp</i> y cable de vida			
Monopolo	Altura	Escalerilla	Sistema de seguridad
No ecológico	18	No aplica	Cable de vida con absorción de caída
No ecológico	24	Aplica hasta 12 m de altura	Cable de vida con absorción de caída
Ecológico	30	Aplica hasta 12 m de altura	Cable de vida con absorción de caída
No ecológico	30	Aplica hasta 12 m de altura	Cable de vida con absorción de caída
Ecológico	36	Aplica hasta 12 m de altura	Cable de vida con absorción de caída
No ecológico	36	Aplica hasta 12 m de altura	Cable de vida con absorción de caída

Fuente: elaboración propia.

7.12.3. Diseño de estructura principal y cimentación

La torre debe tener una garantía mínima de 10 años, contados a partir de su recepción en sitio; esta garantía debe cubrir la estructura, cimentación y montaje de la torre. Previo a realizar diseño de cimentación es necesario contar con estudios firmados y timbrados por un profesional responsable de mecánica de suelos y levantamiento topográfico específicos para el sitio de celda. Si la cimentación, el traslado y el montaje lo realiza un proveedor distinto al fabricante de la torre, este debe garantizar de igual forma el trabajo ejecutado.

Se deben entregar memorias de cálculo debidamente firmadas y timbradas por un profesional colegiado activo y especialista en la materia; además deben entregarse planos de instalación y montaje y planos de las piezas, indicando el peso de cada una y el peso total de la estructura.

Se debe presentar certificado de verticalidad de la estructura firmado, timbrado y sellado por profesional del ramo; esto para garantizar que la estructura se encuentra instalada de acuerdo con el diseño del fabricante.

- Diseño de estructura de torre autosoportada

La torre se debe diseñar con cargas de viento básico de 80, 100 y 125 MPH, bajo norma TIA/EIA 222 F o TIA/EIA 222 G; además, se debe considerar la ubicación del sitio de celda y la velocidad de viento de la región donde se ubique.

- Cimentación de torre de torre autosoportada

El cálculo y diseño de la cimentación, debe realizarse bajo norma TIA/EIA 222 F o TIA/EIA 222 G, considerando las combinaciones de carga muerta y viento. El acero de refuerzo longitudinal debe ser legítimo; en refuerzo vertical grado 60 y para refuerzo a corte los zunchos o estribos deben ser grado 40. Las vigas conectoras deben ser en su refuerzo longitudinal de acero grado 40. El concreto que se va a utilizar debe ser premezclado o en bolsas de concreto listo de resistencia 4,000 Psi.

- Diseño de estructura tipo monopolo

Una estructura tipo monopolo se debe diseñar con cargas de viento básico de 70 MPH, bajo norma TIA/EIA 222 F o TIA/EIA 222 G; se debe considerar la ubicación del sitio de celda y la velocidad de viento de la región donde se ubique.

- Cimentación de monopolo

El cálculo y diseño debe estar bajo norma TIA 222 F o TIA/EIA 222 G, considerando la combinación de viento y carga muerta. El acero de refuerzo debe ser legítimo; en refuerzo vertical grado 60 y para refuerzo a corte los zunchos o estribos deben ser grado 40. El concreto a utilizar debe ser premezclado o en bolsas de concreto listo de resistencia 4,000 Psi.

8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

1. INTRODUCCIÓN
2. ANTECEDENTES
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA
 - 3.1. Contexto general
 - 3.2. Descripción del problema
 - 3.3. Formulación del problema
 - 3.3.1. Pregunta central
 - 3.3.2. Preguntas auxiliares
 - 3.4. Delimitación del problema
4. JUSTIFICACIÓN
5. OBJETIVOS
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE LA SOLUCIÓN
7. MARCO TEÓRICO
 - 7.1. Industria de telecomunicaciones
 - 7.2. Infraestructura de telecomunicaciones
 - 7.3. Sitio de celda móvil
 - 7.4. Componentes de un sitio de celda móvil

- 7.4.1. Estructura principal
- 7.4.2. Caseta de transmisión
- 7.4.3. Muro perimetral
- 7.4.4. Base para equipos
- 7.4.5. Sistema de energía
- 7.4.6. Sistema de tierras
- 7.4.7. Sistema de transmisión
- 7.5. Soluciones de red móvil de telefonía celular
 - 7.5.1. Soluciones para exteriores (outdoor)
 - 7.5.2. Soluciones para interiores (indoor)
- 7.6. Estructuras para sitios de celda móvil
 - 7.6.1. Estructuras tipo autosoportadas
 - 7.6.2. Estructuras tipo arriostradas
 - 7.6.3. Estructuras tipo monopolos
 - 7.6.4. Estructuras especiales
- 7.7. Materiales para la construcción de infraestructura de telefonía móvil
 - 7.7.1. Acero
 - 7.7.2. Concreto
 - 7.7.3. Madera
 - 7.7.4. Block
 - 7.7.5. Fibra de vidrio
 - 7.7.6. Lámina de policarbonato
 - 7.7.7. Depósito de agua de polietileno
 - 7.7.8. Aleaciones
- 7.8. Selección de materiales de obra civil
 - 7.8.1. Propiedades de los materiales
 - 7.8.2. Inspección de los materiales
 - 7.8.3. Ensayos de los materiales

- 7.9. Calidad total
 - 7.9.1. Definición de la calidad
 - 7.9.2. Gestión de la calidad
 - 7.9.3. Círculos de la calidad
 - 7.9.4. Control de calidad
 - 7.9.5. Administración estratégica de la calidad
 - 7.9.6. Análisis FODA
- 7.10. Metodología Kaizen
 - 7.10.1. Implementación de la metodología Kaizen
 - 7.10.2. Reglas de la metodología Kaizen
 - 7.10.3. Fases de la metodología Kaizen
 - 7.10.4. Equipos de la metodología Kaizen
 - 7.10.5. Plan de implementación de la metodología Kaizen
- 7.11. Estándares de construcción de infraestructura de obra civil
 - 7.11.1. Estándares del sistema de tierra física
 - 7.11.2. Estándares del sistema de pararrayos
 - 7.11.3. Estándares de pintura
 - 7.11.4. Estándares de mampostería
 - 7.11.5. Estándares eléctricos y de canalizaciones
- 7.12. Estándares para torres y monopolos
 - 7.12.1. Estructuras de torres y accesorios
 - 7.12.2. Dispositivo de seguridad
 - 7.12.3. Diseño de estructura principal y cimentación

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS

APÉNDICES

ANEXOS

9. METODOLOGÍA

9.1. Enfoque

El enfoque del estudio propuesto es mixto, ya que corresponde a un análisis cualitativo porque se basa en la revisión documental, la observación directa de los procesos y las experiencias de los clientes que tienen relación con la infraestructura de obra civil para telefonía celular. Es cuantitativo porque se analiza el número de daños o fallas que presenta la infraestructura, así como la evaluación del comportamiento de la infraestructura.

9.2. Diseño

El diseño adoptado será no experimental, porque no se realizarán ensayos de laboratorio para determinar el resultado de las variables; los datos se analizarán en su estado original sin ninguna manipulación; se obtendrán mediante herramientas de medición con el objetivo de hacer una observación y análisis de datos para determinar las áreas y procesos en los que se deba hacer la mejora que se plantea con el diseño de estándares de construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular, en una empresa de telecomunicaciones ubicada en el departamento de Guatemala.

Finalmente, transversal porque el estudio de investigación está delimitado en tiempo; ya que existe una fecha de inicio y fin de la investigación.

9.3. Tipo de estudio

El tipo de estudio es descriptivo, ya que pretende responder interrogantes del caso de estudio, con base en datos del actual proceso constructivo, continuando con el registro de daños, fallas, percepción de los clientes y del comportamiento organizacional hacia el cliente, para luego efectuar un análisis y posteriormente evaluar estándares para mejorar la calidad.

9.4. Alcance

El alcance es descriptivo, porque se pretende describir los procesos que actualmente se realizan para la mejora en la calidad de la construcción de infraestructura de obra civil de telefonía celular.

9.5. Variables e indicadores

En la tabla siguiente se presenta la operacionalización de las variables.

Tabla XVI. Operacionalización de variables

Nombre de la variable	Definición teórica	Definición operativa	Indicador
Diagnóstico de la infraestructura	Situación en la que se encuentra alguien o algo	Conocer la situación actual en la que se encuentra la infraestructura de obra civil de telefonía móvil.	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Observación de la infraestructura ✓ Calidad de la infraestructura ✓ Infraestructura dañada ✓ Conocimiento del área operativa sobre el costo de reparación de infraestructura ✓ Gastos de reparación de infraestructura en el último año ✓ Presupuesto asignado para la reparación de infraestructura ✓ Existencia de contratistas para ejecutar los trabajos de reparación ✓ Tiempo estimado de reparación ✓ Proceso para gestión de reparación de infraestructura

Continuación de la tabla XVI.

Elaboración de la propuesta para mejorar la calidad de la infraestructura	Adecuación de un producto o servicio a las características especificadas	Indicar como se debe construir la infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qué estándares debe cumplir la infraestructura a construir ✓ Qué procesos se deben de modificar ✓ Qué evaluación se debe hacer al personal involucrado ✓ Cómo se evalúa la calidad de la infraestructura construida ✓ Quiénes serán los responsables de la verificación
Procesos para implementar	Acción de ir hacia adelante	Propuesta del proceso de implementación	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Qué áreas son las involucradas ✓ Cómo se puede llevar a cabo la implementación
Beneficios obtenidos en la infraestructura	Bien que se hace o recibe	Evaluación de la implementación por el área de operación y mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Si es factible la implementación ✓ El beneficio que se obtiene al implementar

Fuente: elaboración propia.

9.6. Fases de la investigación

Para cumplir con los objetivos del diseño de investigación deberá llevarse el siguiente proceso:

- Fase 1: Revisión documental

Responde a la revisión documental, para realizar la investigación de antecedentes del problema o estado del arte. El objetivo de esta fase es establecer una base teórica respecto de la utilización de estándares utilizados en la construcción de infraestructura, como referencia para la realización del trabajo de investigación. El resultado esperado es establecer la base teórica como marco de referencia para el desarrollo del trabajo de investigación (4 semanas).

- Fase 2: Diagnosticar el estado de la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil

Las fuentes disponibles de información serán la documentación existente, entrevistas a los colaboradores (estas se ubican en los anexos) y visitas de campo en los cuales se verificará si la infraestructura actual cumple o no con estándares. Con la información obtenida se realizará un FODA que permita analizar los elementos internos de la empresa tales como fortalezas y debilidades, así como los elementos externos enfocados en las oportunidades y amenazas. El objetivo de esta fase es diagnosticar el estado de la infraestructura de obra civil y las deficiencias actuales que presenta. El resultado esperado es determinar de forma objetiva en qué aspectos la empresa tiene ventajas respecto de la competencia y en qué aspectos necesita mejorar para ser competitiva (6 semanas).

- Fase 3: Análisis:

Se analizarán los procesos operativos claves para establecer los estándares de construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular mediante utilización de la metodología Kaizen, como un elemento de la gestión de calidad (TQM) que permita mediante técnicas de control la mejora continua de los procesos operativos. El objetivo de la fase de análisis es hacer una revisión de los procesos estratégicos de la empresa, de planificación y operativos; establecer la cadena de valor para determinar los procesos y las áreas en que se deben implementar los estándares de construcción de infraestructura en la empresa mediante el uso de la metodología Kaizen.

El resultado esperado de esta fase es establecer la cadena de valor de la empresa y determinar los procesos claves en los cuales resulta estratégico implementar la metodología Kaizen para mejorar la calidad de la infraestructura de obra civil de telefonía celular (8 semanas).

- Fase 4: Informe final

Se elaborará el informe final con toda la información recaudada acerca de estándares de construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular. Para presentar la propuesta de procesos que permitan mejorar la calidad de la infraestructura (4 semanas)

10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

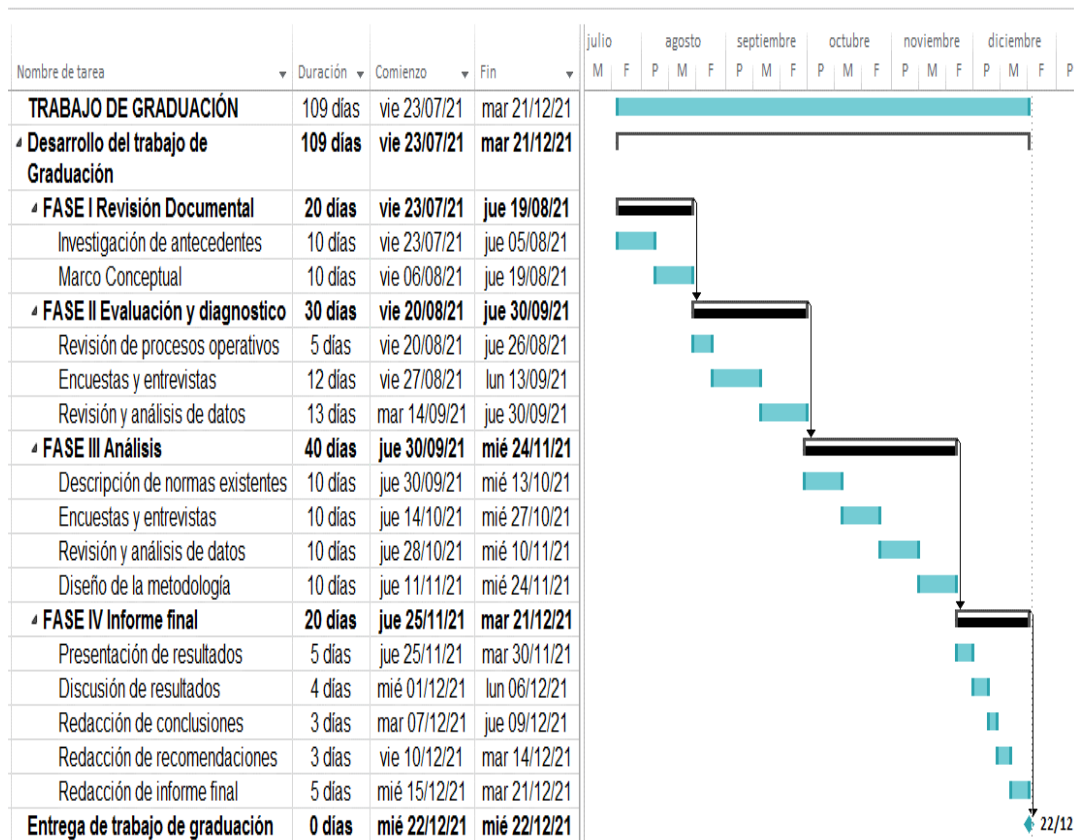
Completada la recopilación de los resultados se procederá a realizar el análisis de la información empleando la técnica de estadística descriptiva. Se analizarán datos recibidos de fuentes primarias y secundarias, previamente recolectados por la empresa; datos que corresponden a daños registrados en la infraestructura obtenidos de reportes. Adicional a la información proporcionada por la empresa, se recolectará información mediante una encuesta (ver anexos).

Con base en la investigación descriptiva, con los datos recabados se realizarán gráficas que den visibilidad de tendencias e identificar puntos de acción; se elaborarán diagramas de causa-efecto y Pareto para determinar la causa raíz de los principales problemas; se utilizará el Ciclo de Deming como una estrategia basada en la mejora continua en cuatro pasos, el cual permitirá identificar el problema y buscar una oportunidad de mejora de la infraestructura de obra civil de telefonía móvil.

11. CRONOGRAMA

Un cronograma es una representación gráfica, ordenada y esquemática de actividades, tareas y eventos por realizar en un tiempo determinado. Normalmente sirve como herramienta de gestión de proyectos. Por eso, constituyen una herramienta de uso común en las diversas áreas de emprendimiento.

Tabla XVII. Cronograma para el trabajo de investigación



Fuente: elaboración propia, elaborado con Microsoft Project 2010.

12. FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

El trabajo de investigación es factible porque se cuenta con los recursos necesarios para ejecutar las diferentes fases que lo conforman. La empresa autoriza la realización del presente trabajo de investigación proporcionando los recursos:

- Información: acceso a la información requerida en la investigación, con el compromiso de respetar los derechos de propiedad.
- Humano: disposición del personal para apoyo en entrevistas y actividades relacionadas a la investigación.
- Tecnológicos: accesos a programas de software dedicados y equipo de cómputo para obtener información requerida.
- Infraestructura: acceso a las diferentes áreas de la empresa con la finalidad de obtener información relacionada con la presente investigación.

El recurso financiero necesario para realizar la investigación será aportado por el investigador. Se presenta el siguiente presupuesto de gasto relacionado con la investigación:

Tabla XVIII. Presupuesto para el trabajo de investigación

No.	Descripción del gasto	Tipo de recurso	Valor	Porcentaje
1	Inversión de tiempo por el investigador	Humano	Q 5,000.00	50 %
2	Asesoría de trabajo de investigación	Humano	(<i>ad honorem</i>)	0 %
3	Equipo (tóner, impresora)	Material	Q 500.00	5 %
4	Papelería y útiles	Material	Q 500.00	5 %
5	Transporte	Combustible	Q 1,000.00	10 %
6	Alimentación	Alimentación	Q 1,000.00	10 %
7	Internet	Tecnológico	Q 1,000.00	10 %
8	Imprevistos	Varios	Q 1,000.00	10 %
Total			Q 10,000.00	100 %

Fuente: elaboración propia.

El 100 por ciento de los recursos económicos serán cubiertos por el investigador; por lo que se considera que es factible la realización del estudio.

13. REFERENCIAS

1. Beltrán, J., Carmona, M., Carrasco, R., Rivas, M. y Tejedor, F. (2009). *Guía para una gestión basada en procesos*. Instituto Andaluz de Tecnología, España. Recuperado de https://www.euskadi.eus/web01-s2ing/es/contenidos/informacion/bibl_digital/es_documento/adjuntos/Guia%20para%20una%20gestion-basada-procesos.pdf
2. Betancourth, V. (2013). *Aplicación norma TIA/EIA 222G para torres autosoportadas tipo celosía de telecomunicaciones en Guatemala y comparación con norma TIA/EIA 222F* (Tesis de maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/5159/1/VICTOR%20ALBERTO%20BETANCOURTH%20BALAN.pdf>.
3. Boj, E. (2013). *Metodología de optimización en el diseño de estructuras metálicas de soporte para antenas de telecomunicaciones en la industria celular* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0737_M.pdf.
4. Camarena, J. (2018). *Guía para análisis y diseño estructural para torres de telecomunicaciones* (Tesis de maestría). Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México. Recuperado de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/7279>.

5. Campollo, C. (2012). *Cubicación y uso conjunto de radio bases (celdas) de telefonía celular en áreas protegidas y sitios arqueológicos y su beneficio medioambiental* (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Guatemala. Recuperado de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/07/01/Campollo-Carmen.pdf>
6. Castellanos, A., Serrano, M. y Pérez, D. (2019). *Estrategia de reflexión para enseñanza de proyectos de construcción en Ingeniería Civil*. *Alteridad*, 14(1), 122-137. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/4677/467757705010/467757705010.pdf>
7. Castillo, M. (2014). *Diseño de investigación del incremento de productividad en la unidad de ventas industriales de una empresa comercializadora de adhesivos, mediante el modelo de gestión por procesos* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3076_IN.pdf.
8. Centro de Investigaciones Económicas Nacionales. (2015). *Diagnóstico y propuestas en infraestructura de telecomunicaciones*. Recuperado de <https://cien.org.gt/wp-content/uploads/2018/09/Telecomunicaciones.pdf>.
9. Comisión Económica para América Latina. (2018). *Desarrollo y conflictos asociados a la construcción de infraestructura*. 361(1). Recuperado de: https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/43573/S1800311_es.pdf.

10. Díaz, A. (2012). *Guía de tipología de maderas para la construcción de una vivienda en Guatemala* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_3101.pdf.
11. Díaz, L., de Oliveira, M., Pucharelli, P. y Pinzón, J. (2019). Integración entre el último sistema de planificación y el sistema de gestión de calidad aplicado en el sector de la construcción civil. *Ingeniería de Construcción*, 34(2), 146-158. Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/899>.
12. Ecuté, L. (2009). *Determinación de la capacidad instalada para el control de calidad de materiales de construcción, en el área metropolitana de Guatemala* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2965_C.pdf.
13. Espinoza, C. (1990). *Control total de calidad concepto y requisitos. Tecnología en marcha*, 10(2), 31-35. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5678838.pdf>
14. Flores, M. (2003). *Aplicación del sistema Kaizen en la industria de empaques flexibles* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1231_IN.pdf.
15. Garrido, J. (1997). *Manual práctico sobre ensayos de laboratorio y análisis de campo de materiales de construcción básicos para una correcta supervisión* (Tesis de pregrado). Universidad de San

Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1888_c.pdf.

16. Godoy, M. (2016). *Detección de la migración de bisfenol A, en agua purificada envasada en garrafones plásticos de policarbonato, por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC)* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/QF1410.pdf>.
17. Gramajo, J. (2015). *Características físicas y propiedades mecánicas de las barras de acero para refuerzo, no certificadas, equivalentes al diámetro de 10 MM (3/8”), en algunos sectores de la ciudad de Guatemala* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3196/1/Jos%C3%A9%20Antonio%20Gramajo%20B%C3%A1maca.pdf>.
18. Hernández, H., Barrios, I. y Martínez, D. (2018). Gestión de la calidad: elemento clave para el desarrollo de las organizaciones. *Criterio Libre*, 16(28), 169–185. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/327197050_Gestion_de_la_calidad_elemento_clave_para_el_desarrollo_de_las_organizaciones.
19. Hernández, J. (2005). *Estudio comparativo de tres soluciones estructurales para una torre de telecomunicaciones de 40 m. de altura tipo autosoportada*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México. Recuperado de <http://132.248.9.195/pd2005/0601694/0601694.pdf>.

20. Herrera, J. (2009). *Lineamientos básicos para la inspección de control de calidad en la construcción de obra civil en subestaciones eléctricas en Guatemala* (Tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Quetzaltenango, Guatemala.
21. Herrera, M. (2008). *Diseño de un sistema de gestión de la calidad para una microempresa*. (Tesis de maestría). Universidad Veracruzana, Xapala Enríquez, Veracruz, México. Recuperado de <https://www.uv.mx/gestion/files/2013/01/MIRIAM-HERRERA-MENDOZA.pdf>.
22. *International Telecommunication Union*. (2020). *Measuring digital development facts and figures*. Geneva, Switzerland. Recuperado de <https://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/facts/FactsFigures2020.pdf>.
23. Irving, J. (2010). *Evaluación de composites de cemento-fibra de vidrio*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3145_C.pdf.
24. Latorre, A., Sanz, C. y Sánchez, B. (2019). Aplicación de un modelo Lean-BIM para la mejora de la productividad en redacción de proyectos de edificación. *Informes de la Construcción*. 71(556), e313. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/337719140_Aplicacion_de_un_modelo_Lean-BIM_para_la_mejora_de_la_productividad_en_redaccion_de_proyectos_de_edificacion.

25. Lavagnino, L. (2006). *Evaluación de la radiación emitida por las antenas base de telefonía celular en la ciudad de Guatemala, con base en los estándares permitidos internacionalmente* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0164_EO.pdf.
26. López, R. (2005). La calidad total en la empresa moderna. *Perspectivas*. 8 (2), 67-81. Universidad Católica Boliviana, San Pablo, Bolivia. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/4259/425942412006.pdf>.
27. Lozano, G., y Tenorio, J. (2015). El sistema de control Interno: Una herramienta para el perfeccionamiento de la gestión empresarial en el sector construcción. *Accounting power for business*, 1(1), 49-59. Recuperado de: https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_apfb/article/download/896/864.
28. Macías, M., Ruiz, S. y Valdivieso, P. (2020). Talento humano y la satisfacción laboral en una empresa de construcción civil. *Ingeniería Industrial*. 41(2), e4118. La Habana Cuba. Recuperado de <https://rii.cujae.edu.cu/index.php/revistaind/article/view/1051>.
29. Molina, M. (1996). *Materiales de construcción en ingeniería civil*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1839_C.pdf.

30. Morales, J. (2011). *Mejora en el sistema de abastecimiento de los niveles de inventario de materia prima y elaboración de un plan de contingencia en la empresa Cemix de Centroamérica, S.A.* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2375_IN.pdf.
31. Morocho, T. (2015). Gestión de la calidad en los procesos constructivos, situación actual de la mano de obra civil ecuatoriana. *Ciencia*. 17(1) 125-137. Recuperado de <https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/515/423>.
32. Paredes, J. (2013). *Propuesta metodológica para un diseño sismo resistente en edificaciones de concreto armado* (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3613_C.pdf.
33. Pascual, E. (2020). *Estudio comparativo de la Gestión de la Calidad entre el sector de la automoción y el sector de la construcción*. (Tesis de maestría). Universitat Politècnica de Valencia, España. Recuperado de <https://riunet.upv.es/handle/10251/157177>.
34. Project Management Institute (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos*. Estados Unidos, Pennsylvania.: Editorial Project Management Institute. Recuperado de <https://www.udocz.com/read/29624/guia-del-pmbok-sexta-edicion-espanol>.

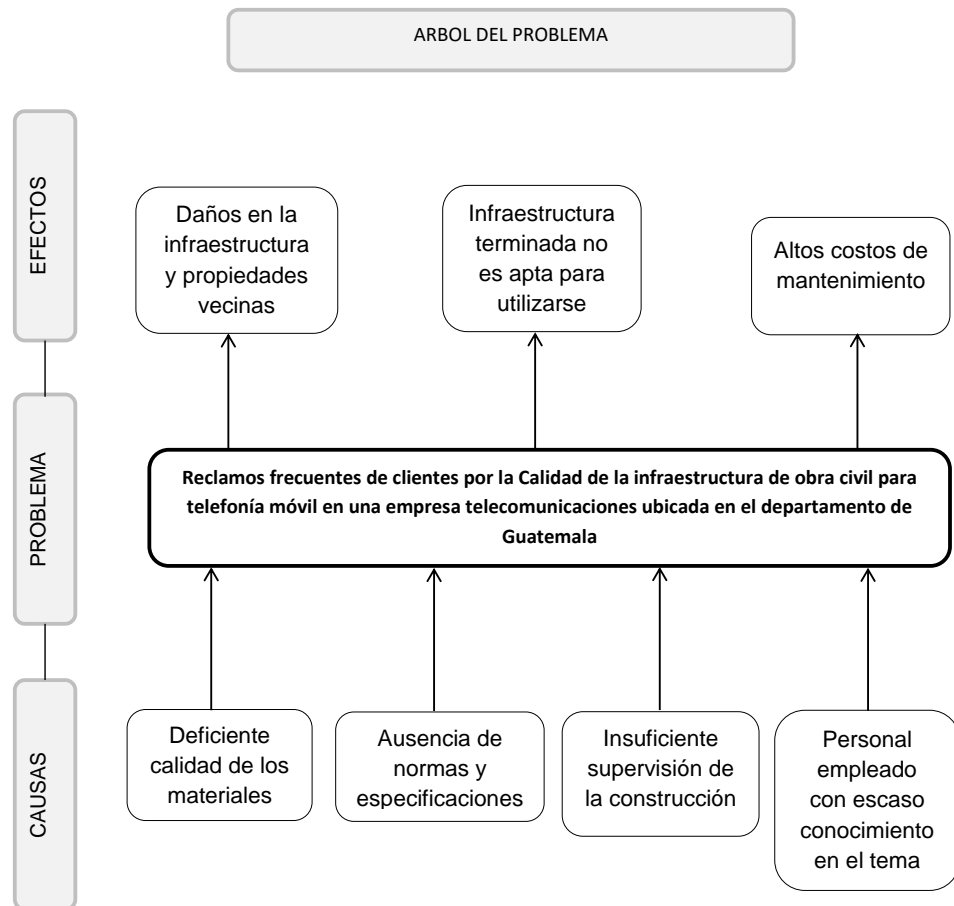
35. Ramírez, E. (2014). *Diseño de la investigación del Kaizen como herramienta del toyotismo, aplicado a la reducción de reclamos en una industria de tubos de acero*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3080_IN.pdf.
36. Rivera, S. (2007). *Especificaciones técnicas para la construcción de sitios de telefonía celular*. (Tesis de pregrado). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala. Recuperado de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2748_C.pdf.
37. Rojas, M., Grajales M. y Valencia M. (2016). Lean construction – LC bajo pensamiento Lean. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 16(30), 115-128. Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v16n30/1692-3324-rium-16-30-00115.pdf>.
38. Roncancio, M., Castro, J. y Rivera, A. (2015). Análisis comparativo de las normas ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y OHSAS 18001:2007, para su aplicación integral en procesos de construcción para empresas de Ingeniería Civil. *Respuestas*. 20(1), 95–111. España: Universidad La Rioja. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5364545.pdf>.
39. Santelices, C., Herrera, R. y Muñoz, F. (2019). Problemas en la gestión de calidad e inspección técnica de obra: un estudio aplicado al

contexto chileno. *Ingeniería de Construcción*, 34(3), 242-251.
Recuperado de <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/view/1025>.

40. Swiss Steel International. *Tabla de conversión de durezas, resistencia a la tracción, Brinell, Vickers y Rockwell*. Schmolz + Bickenbach Mexico. Recuperado de http://www.schmolz-bickenbach.com.mx/fileadmin/user_upload/public_images/Mexico/15PRESH5.pdf.
41. Vera, J. (2013). Atributos de calidad del servicio de la telefonía móvil para clientes mexicanos y su impacto en la satisfacción y en la lealtad hacia la marca. *Contaduría y administración*. 58(3), 39-63. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S018610421371221X>.

14. APÉNDICES

Apéndice 1. **Árbol del problema**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. Matriz de coherencia

Título: estándares para construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular, en una empresa de telecomunicaciones ubicada en el departamento de Guatemala.

Problema: reclamos frecuentes de clientes por la calidad de la infraestructura de obra civil para telefonía móvil en una empresa telecomunicaciones, ubicada en el departamento de Guatemala.

Matriz de coherencia					
Formulación del problema	Objetivos	Variables	Indicadores	Técnicas e instrumentos	Metodología
¿Cuál es el estado actual de la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil, en una empresa de telecomunicaciones?	Diagnosticar el estado de la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil	Diagnóstico del estado actual de la construcción de infraestructura de telefonía móvil	✓ Infraestructura total existente ✓ Cantidad de infraestructura dañada ✓ Gastos de reparación	Formularios de entrevistas Protocolo de infraestructura (PI)	Entrevistas al personal de operación y mantenimiento con relación a los daños en la infraestructura Protocolo de infraestructura (PI)
¿Cuál será la propuesta de estándares que ayudara a mejorar el control de calidad en la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil?	Establecer los estándares para la construcción de obra civil para telefonía móvil	Desarrollo de la propuesta	✓ Normativa a cumplir ✓ Como se evaluará la calidad de la infraestructura	Formularios de entrevistas	Entrevistas a las áreas responsables de la supervisión de construcción de infraestructura Documentación existente de normas
¿Qué procesos son necesarios para la implementación de estándares, para la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil?	Proponer los procesos que permitan la implementación de estándares para la construcción de infraestructura	Descripción del proceso que permita la implementación de los estándares para la construcción de infraestructura	✓ Áreas responsables ✓ Que procesos se deben modificar	Formularios de entrevistas	Entrevistas con el personal involucrado
¿Cuáles son los beneficios que proporciona la propuesta de estándares para construcción de infraestructura de obra civil para telefonía móvil?	Determinar los beneficios que proporciona la propuesta de estándares para construcción de obra civil para telefonía celular	Evaluación de los beneficios	✓ viabilidad de la implementación	Formularios de entrevistas	Evaluación de los beneficios por parte de gerencia de ingeniería Evaluación de los beneficios por parte de gerencia de operación y mantenimiento

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Encuesta a personal de Ingeniería y operaciones



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO. BOLETA #_____.

Instrucciones: la siguiente encuesta tiene como objetivo obtener información general sobre la infraestructura de obra civil actual en los sitios de celda de red móvil. La información que proporcione será estrictamente confidencial y de carácter académico. Marque con una “X” la respuesta que considere correcta.

1. ¿Conoce sobre especificaciones para la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular?
 - a. Sí
 - b. No

2. ¿Por qué cree que la infraestructura presenta daños?
 - a. Supervisión inadecuada en el proceso de construcción
 - b. Los materiales utilizados en el proceso de construcción no fueron los correctos
 - c. El mantenimiento no es el correcto
 - d. La infraestructura cumplió su vida útil

3. ¿Qué infraestructura presenta daños con mayor frecuencia?
 - a. Muros
 - b. Torre
 - c. Losas
 - d. Caseta
 - e. Sistema de tierras
 - f. Sistema de energía
 - g. Ductos

Continuación del apéndice 3.

4. ¿Con qué periodicidad se realiza mantenimiento a la infraestructura?

- a. Mensual
- b. Bimestral
- c. Semestral
- d. Anual
- e. Bianual

5. ¿Conoce el costo promedio de reparación de infraestructura en un sitio de celda de telefonía celular?

- a. Sí
 - i. Especifique el costo: _____
- b. No

6. Indique la cantidad de infraestructura dañada de la cual tenga conocimiento

- a. 1 a 3
- b. 4 a 5
- c. 5 a 10
- d. 10 a 20
- e. 20 a 50

Observaciones:

Gracias por su colaboración.

Fuente: elaboración propia.

Apéndice 4. **Encuesta a personal de responsable de la supervisión**



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO. BOLETA # _____

Instrucciones: la siguiente encuesta tiene como objetivo obtener información general sobre la infraestructura de obra civil actual en los sitios de celda de red móvil. La información proporcionada será estrictamente confidencial. A continuación, encontrará una serie de preguntas; marque con una “X” la respuesta que considere correcta.

1. ¿Conoce sobre especificaciones para la construcción de infraestructura de obra civil para telefonía celular?
 - a. Sí
 - b. No

2. ¿Los materiales que se utilizan en la construcción cumplen con las normas y especificaciones establecidas?
 - a. Sí
 - b. No

3. ¿Qué tipo de supervisión realiza regularmente?
 - a. De campo
 - b. Reporte fotográfico
 - c. Video llamadas
 - d. Informes

Continuación del apéndice 4.

4. ¿Cuenta con equipo de protección personal para realizar supervisión en campo?

a. Sí

b. No

5. Cuando realiza supervisión en campo ¿utiliza equipo de protección personal?

a. Sí

b. No

c. A veces

6. ¿Cuánto tiempo en horas dura la supervisión que realiza?

a. 1 hora

b. 2 horas

c. 3 horas

d. Más de 4 horas

7. ¿Con qué periodicidad realiza supervisión a la construcción de infraestructura?

a. Diariamente

b. Semanalmente

c. Quincenalmente

d. Mensualmente

e. Una sola vez durante la construcción

Continuación del apéndice 4.

8. ¿Cómo verifica que los materiales utilizados cumplen con la calidad requerida?

- a. Por inspección visual
- b. Laboratorio
- c. Ficha técnica
- d. No es importante

9. ¿Al ejecutar la construcción realiza todos los controles requeridos?

- a. Sí
- b. No

10. ¿Tiene experiencia en la supervisión de construcción de infraestructura para telefonía?

- a. Nula
- b. Poca
- c. Suficiente
- d. Demasiada

11. ¿Cree que el personal contratado para realizar los trabajos de construcción de infraestructura está calificado?

- a. Sí
- b. No

12. ¿Ha detectado infraestructura con fallas o daños?

- a. Sí
- b. No

Continuación del apéndice 4.

13. ¿Qué infraestructura es la que generalmente presenta fallas o daños?

- a. Muros
- b. Torre
- c. Losas
- d. Caseta
- e. Sistema de tierras
- f. Sistema de energía
- g. Ductos

14. ¿Por qué cree que se presentan fallos en la infraestructura?

- a. Poco mantenimiento
- b. Construcción incorrecta
- c. Sabotaje por robo
- d. Tiempo de vida útil

Observaciones:

Fuente: elaboración propia