



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

**REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES
METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE
PLANTA EXTERNA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**

Liz Maricel Lainez Navarro

Asesorada por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, septiembre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES
METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE
PLANTA EXTERNA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LIZ MARICEL LAINEZ NAVARRO

ASESORADA POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Luis Estuardo Saravia Ramírez
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE PLANTA EXTERNA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2011.


Liz Maricel Lainez Navarro

Guatemala 22 de julio de 2013

Ingeniero
Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles
Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Presente

Estimado Ingeniero:

Cumpliendo con lo resuelto con la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, se procedió a la asesoría y revisión del trabajo de graduación: **REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE PLANTA EXTERNA, EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**, presentado por la estudiante: Liz Maricel Lainez Navarro.

Considero que el trabajo de graduación se a desarrollado satisfactoriamente y cumple con los objetivos que motivaron la selección de dicho tema, por lo que hago de su conocimiento que apruebo el trabajo realizado. Sin otro particular, atentamente


Mario Rodolfo Corzo A.
Ingeniero Civil Colegiado No. 2089



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
21 de agosto de 2013

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

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE PLANTA EXTERNA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil Liz Maricel Lainez Navarro, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salazar
Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles

 FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

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



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Liz Maricel Lainez Navarro, titulado **REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE PLANTA EXTERNA, EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, septiembre de 2013.

/bbdeb.

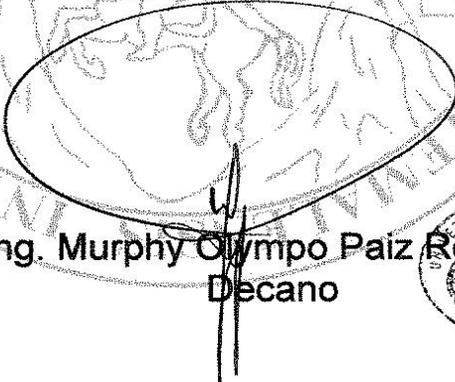
Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **REQUERIMIENTOS PARA LA FABRICACIÓN DE POSTES METÁLICOS CON SECCIÓN OCTOGONAL PARA EL USO DE PLANTA EXTERNA EN EL CAMPO DE LA INGENIERÍA CIVIL**, presentado por la estudiante universitaria: **Liz Maricel Lainez Navarro**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, septiembre de 2013

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por cuidarme en todo momento y brindarme sabiduría para lograr esta meta, así también por rodearme de personas que me apoyan y quieren.
- Mis padres** Hilda Yolanda Navarro Bautista y Victor Manuel Lainez Elias, por ser la mayor fuente de amor, apoyo y guía en mi vida y por asegurarse de proveerme con todas la herramientas para poder lograr mis metas.
- Hermano y primos** Alejandro Manuel Lainez Navarro, Marilyn Xiomara Abigail, Armando Vladimir y Gabriela Jazmin Rubi Lainez González, por estar siempre apoyándome y motivándome, así también para incentivarlos a finalizar con éxito cada meta que se tracen en su vida.
- Abuelos** María Elías Mejía de Lainez y Leonzo Lainez Zacarías, por todo su amor, cuidado, apoyo y fortaleza que me han brindado.

Tíos

Leonardo, Gloria Marina, Armando Lainez Elías y Brenda González, por su ejemplo de superación y su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida.

Amigos

Por todas las vivencias, ocurrencias y buenos momentos que compartimos durante nuestro tiempo como estudiantes, y sobre todo por el soporte y motivación que representan para mí.

AGRADECIMIENTOS A:

Mario Corzo

Por ser mi catedrático tanto para los estudios como en la vida, y por haberme guiado y apoyado incondicionalmente en la finalización de mi carrera profesional.

**Universidad de San
Carlos de Guatemala**

Por ser mí casa de estudios y mostrarme la realidad de la práctica.

Facultad de Ingeniería

Por formarme como profesional a través de conocimientos técnicos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. TEORÍA DE LOS MATERIALES Y PROCESOS IMPLEMENTADOS EN LA FABRICACIÓN EN LOS POSTES METÁLICOS	1
1.1. Definición de poste metálico.....	1
1.2. Definición de planta externa	2
1.3. Definición de acero, metales para aleación y la determinación de sus características y propiedades	3
1.3.1. Acero	3
1.3.1.1. Aceros al carbono.....	3
1.3.1.2. Aceros aleados.....	5
1.3.2. Metales para aleación.....	6
1.3.2.1. Definición de aleación.....	6
1.3.2.2. Tungsteno.....	6
1.3.2.3. Molibdeno	7
1.4. Procesos de conformación para postes metálicos	7
1.4.1. Perfilado	8
1.4.2. Plegado	9
1.5. Soldadura	10
1.5.1. Soldadura por arco eléctrico	10

1.5.1.1.	Electrodo	11
1.5.1.2.	Soldadura por arco con Corriente Continua (CC).....	13
1.5.1.3.	Técnicas de costuras o cordones	14
1.5.1.4.	Uniones típicas en soldadura metálica con arco protegido.....	17
1.5.1.5.	Indicaciones sobre las condiciones de trabajo para efectuar soldaduras de diversos materiales mediante arco protegido.....	18
1.5.1.5.1.	Indicaciones para aceros al carbono	19
1.5.1.5.2.	Indicaciones para aceros aleados	20
1.5.1.5.3.	Indicaciones para aceros inoxidables.....	21
1.5.1.5.4.	Indicaciones para hierro fundido	21
1.6.	Galvanizado.....	21
1.6.1.	Galvanizado en caliente	22
1.6.1.1.	Proceso de galvanización en caliente	22
1.6.2.	Requerimiento de espesores de recubrimiento mínimos	24
2.	ENSAYOS Y CÁLCULOS REALIZADOS EN POSTES	25
2.1.	Resumen de Norma ASTM D 1036-99.....	25
2.2.	Longitud de empotramiento	27
2.3.	Ensayo de poste a flexión	28

2.4.	Prueba de adherencia del galvanizado	28
2.5.	Principio teórico de la curva elástica	29
2.6.	Radio de giro	29
2.6.1.	Cálculo de radio de giro	30
2.7.	Deformación máxima flecha	38
2.7.1.	Cálculo de deformación máxima flecha implementando el radio de giro.....	38
3.	RESULTADOS	41
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	49
	CONCLUSIONES	51
	RECOMENDACIONES	53
	BIBLIOGRAFÍA.....	55
	APÉNDICES	57
	ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Representación de los rodillos de perfilado.....	9
2.	Polaridades en la soldadura por arco con CC.....	14
3.	Movimientos del electrodo para realizar una costura.....	15
4.	Ilustración de distintas pruebas de costuras.....	16
5.	Ejemplos de tipos de uniones para soldadura metálica.....	17
6.	Ilustración de tipos de soldadura.....	18
7.	Ilustración del proceso de galvanización en caliente.....	23
8.	Gráfica carga-deformación (poste 1).....	42
9.	Gráfica carga-deformación remanente (poste 1).....	43
10.	Gráfica carga-deformación (poste 2).....	44
11.	Gráfica carga-deformación remanente (poste 2).....	45
12.	Gráfica carga-deformación (poste 3).....	46
13.	Gráfica carga-deformación remanente (poste 3).....	47

TABLAS

I.	Tipos de acero al carbono.....	4
II.	Requerimientos espesores mínimos de recubrimiento.....	24
III.	Dimensiones de poste 1.....	31
IV.	Dimensiones de poste 2.....	34
V.	Dimensiones de poste 3.....	36
VI.	Coeficiente de radio de giro promedio.....	41
VII.	Comparación entre deformación teórica y real.....	41

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
H	Altura de elemento
A	Amperios
A	Área de sección transversal
cm	Centímetro
cm⁴	Centímetro a la cuarta
cm²	Centímetro cuadrado
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continúa
Φ	Diámetro
DE	Diámetro exterior
Di	Diámetro interior
Δ	Deformación máxima flecha
°C	Grado Celsius
Lb	Libra
m	Metro
μm	Micrómetro
mm	Milímetro
I	Momento de inercia
I_{eje}	Momento de inercia de la sección respecto su eje
p	Pie
%	Porcentaje
pulg	Pulgada
Rg	Radio de giro

Rg_{prom}

Radio de giro promedio

π

Razón matemática entre la longitud de una circunferencia y su diámetro.

GLOSARIO

Abonado	Cableado que se extiende entre la central telefónica y las dependencias del usuario.
Amperaje	Intensidad en amperios de una corriente eléctrica.
ASTM	American Society for Testing and Materials.
Base	Plano o sección transversal extrema en la parte inferior del poste.
Cabrestante	Torno de eje vertical con una cuerda o cable que se va enrollando en él a medida que gira y que sirve para mover grandes pesos.
Calibre	Término técnico que se refiere a la nomenclatura utilizada para especificar los espesores de láminas de acero.
Carga de diseño	La máxima carga aplicada a 30 centímetros de la cima, para la cual ha sido calculado y diseñado el poste.
Carga de rotura	Es aquella que aplicada a 30 centímetros de la cima, produce el colapso del poste por fluencia del acero.

Carga de rotura nominal	Es la carga mínima resultante de los cálculos efectuados por el fabricante.
Carga de trabajo	Carga máxima real que podrá ser aplicada al poste, en sentido normal a la línea y a 30 centímetros de la cima, sin que se presente deformación permanente mayor del 5 por ciento de la deflexión máxima permitida.
Chapa	Término coloquial para referirse al calibre de las láminas de acero.
Cima	Plano o sección transversal extrema, en la parte superior del poste.
Colapso	Destrucción total de un sistema estructural por la acción de una fuerza.
Conicidad	Relación que existe entre el incremento de diámetro de un tronco de cono recto y su altura. La conicidad debe ser de 1,5 centímetros por centímetro de longitud, para todos los tipos de postes de sección circular llena o anular.
Deformación permisible	Es la deformación máxima que se permite alcance un elemento dentro del rango de su comportamiento elástico.

Elastoplasticidad	Es la propiedad de los materiales de mostrar deformaciones permanentes (plásticas) cuando se sobrepasa el umbral del límite elástico, y la recuperación de las deformaciones elásticas cuando cesa la carga aplicada.
Escoria	Subproducto formado en algunos procesos de purificación de metales.
Esfuerzo nominal	Es aquél con el cual el fabricante designa el poste. Representa el esfuerzo libre disponible según la dirección principal, es decir, en la dirección normal al eje del poste.
Esfuerzo secundario	Es el esfuerzo máximo que puede soportar un poste en la dirección secundaria, es decir, en la dirección normal al eje del poste y perpendicular a la dirección principal.
Esfuerzo útil	Es el esfuerzo libre disponible aplicado en un punto cualquiera por encima o por debajo de la cima del poste, manteniendo un coeficiente de seguridad y según la dirección principal del mismo.
Falla	Es una condición no deseada que hace que un elemento estructural no desempeñe la función para la cual fue fabricado. Una falla no necesariamente produce un colapso.

Oxidación	Reacción química de combinación entre una sustancia, o un compuesto químico, y el oxígeno. Dicha reacción, que siempre es exotérmica, puede realizarse lentamente o bien de forma rápida.
Oligoelemento	Elemento químico que representa un porcentaje ínfimo en los organismos vivos, pero cuya presencia es indispensable para la vida y el crecimiento de los animales y plantas.
Refractario	Material que resiste el fuego o el calor sin cambiar de estado ni descomponerse.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación Requerimientos para la fabricación de postes metálicos con sección octogonal para el uso de planta externa en el campo de la ingeniería civil, tiene como finalidad hacer énfasis en algunos aspectos en la fabricación de los postes desde el punto de algunas de las diferentes ramas de ingeniería civil, tales como: resistencia de materiales e ingeniería estructural.

En el primer capítulo se describe las generalidades concernientes a los materiales y a los procesos implementados en la fabricación de los postes, tales como características de los aceros o tipos de soldadura.

En el segundo capítulo se detalla los ensayos de laboratorio que se le aplican a los postes metálicos, así como también algunos principios estructurales con su respectivo cálculo para su posterior comparación.

El tercer capítulo recopila todos datos a detalle, obtenidos en los ensayos realizados. Se observara así también comparaciones entre datos reales y datos teóricos.

En el cuarto capítulo se desarrolla el análisis de los resultados obtenidos mediante a cálculos y a ensayos realizados.

OBJETIVOS

General

Plantear los requerimientos ideales para llevar a cabo de manera óptima la fabricación de postes metálicos de sección octogonal utilizando un enfoque en la ingeniería civil.

Específicos

1. Realizar una búsqueda de características y propiedades de cada uno de los materiales, utilizado en la fabricación.
2. Elaborar ensayos de laboratorio y cálculos basados en principios estructurales, para postes y analizar su comportamiento.
3. Definir los parámetros que pueden ayudar a los postes tener un mejor funcionamiento.
4. Determinar si el análisis teórico del comportamiento de los postes a flexión se aproxima al comportamiento real.

INTRODUCCIÓN

El poste es un elemento estructural vertical, sometido principalmente a esfuerzos de flexión, estos pueden ser fabricados de metal, madera y concreto, con secciones tales como: circulares, hexagonales y octogonales.

Los postes metálicos que se analizarán trabajan en planta externa y son aquellas estructuras que se utilizan para el tendido eléctrico y telefónico, expuestas a la intemperie. Las propiedades tanto mecánicas como físicas que presenten los materiales con los que se elaboran los postes determinan el buen desempeño que estos tendrán al ponerse en funcionamiento, así como también su proceso de fabricación.

El acero es un material que se obtiene de la aleación de hierro con una cantidad de carbono variable entre el 0,1 y el 2,1 por ciento en peso de su composición. La variabilidad del porcentaje de carbono, determina las propiedades que el acero proporcionará.

Se conoce como Planta Externa toda la infraestructura exterior o medios enterrados, tendidos o dispuestos a la intemperie por medio de los cuáles una empresa de telecomunicaciones o energía ofrece sus servicios al cliente que lo requiere.

El presente trabajo de graduación se centrará en los postes metálicos, con sección transversal octogonal y tiene por objeto realizar una investigación detallada de las propiedades físicas, mecánicas y químicas de los diferentes metales, así como también el estudio y aplicación del método de galvanización

de las láminas de acero, con el fin de poder determinar requerimientos para la fabricación de los postes destinados a planta externa, basándose en normas y en ensayos de laboratorio.

1. TEORÍA DE LOS MATERIALES Y PROCESOS IMPLEMENTADOS EN LA FABRICACIÓN EN LOS POSTES METÁLICOS

Los postes metálicos son elementos estructurales utilizados para el tendido eléctrico y telefónico, expuestos a la intemperie. Las propiedades tanto mecánicas como físicas que presenten los materiales con los que se elaboran así como el proceso de fabricación, determinan el buen funcionamiento de los postes, es por eso que su estudio es de gran relevancia.

1.1. Definición de poste metálico

El poste es un elemento estructural vertical, sometido principalmente a esfuerzos de flexión. Por años los postes han sido utilizados para el soporte de cables eléctricos y de telecomunicación, estos pueden ser fabricados de metal, madera y concreto, con secciones tales como: circulares; hexagonales; octogonales.

Algunas de las ventajas en la implementación de postes metálicos son: su peso es ligero en comparación a los otros materiales, son cómodos para transportar y su ensamble y colocación son fáciles de realizar ya que no se necesita de mano de obra especializada.

Los postes metálicos son aquellos que son elaborados por láminas de acero los cuales pueden tener distintas secciones, en este trabajo de investigación se pondrá énfasis a los postes metálicos con sección octogonal.

Para la fabricación de postes se tiene tres criterios que deben considerarse en la resistencia mecánica del poste, los cuales son: calidad del acero empleado; espesor del poste; número de pliegues del poste.

Los postes metálicos de sección transversal de forma octogonal constan de tres tramos cada uno, los cuales son de formas troncónica, que disminuye hacia la puntas, por lo que las secciones de cada tramo son variables.

1.2. Definición de planta externa

Es un conjunto de medios que se pueden observar en calles, esquinas y avenidas por el cual empresas de telecomunicaciones o energía ofrece sus servicios al cliente que lo demande. Se le llama planta externa a toda infraestructura o medio enterrados, tendidos o dispuestos a la intemperie que entrelazan la central telefónica con los abonados.

Está constituida por el bucle local o bucle abonado, que es el cableado que se extiende entre la central telefónica y las dependencias del usuario, este consta de una serie de elementos asociados tales como: cables, cajas de empalme, bobinas, tendidos, conductos y otras infraestructuras adicionales.

Parte de esta infraestructura está compuesta por: tendidos, postes, armarios, cámaras y canalizaciones subterráneas, equipos y productos que permiten conectar y enlazar la red hasta llegar al punto donde es necesario.

En el área de telecomunicaciones la planta externa comprende: el estudio, administración, gestión y control de todo el tendido de redes externas comprendido entre la central telefónica pública o privada y la caja terminal del abonado, también incluye las extensiones interiores del abonado.

1.3. Definición de acero, metales para aleación y la determinación de sus características y propiedades

El acero si bien es la materia prima para las láminas por las que están conformados los postes, también va acompañado por otros metales que se implementan en el material final de las láminas a través de la aleación. Por esta razón se debe conocer cada una de las características y propiedades de estos materiales para su óptimo uso.

1.3.1. Acero

En la ingeniería metalúrgica se le denomina acero a una aleación cristalizada de hierro, carbono y otros varios elementos, el cual se enfría bruscamente luego de estar arriba de su temperatura crítica. Este material se puede moldear, laminar o forjar y no contiene escoria.

El carbono es uno de los componentes del acero que determina las propiedades del material, ya que puede aumentar la dureza y resistencia.

El acero puede clasificarse según los elementos de aleación que contenga, esta clasificación se divide en: aceros al carbono y aceros aleados.

1.3.1.1. Aceros al carbono

Se determinó que el acero es teóricamente una aleación de hierro y carbono, sin embargo cuando se obtiene comercialmente contiene pequeñas cantidades de otros elementos, particularmente magnesio, fósforo azufre y silicio. Cuando estos cuatro componentes se hallan presentes en sus porcentajes normales, el producto se le denomina acero al carbono, en los

cuales su resistencia es principalmente función de su contenido de carbono. La ductilidad del material decrece con dicho contenido y templabilidad es muy baja, además, las temperaturas tanto altas como bajas perjudican sus propiedades sus propiedades y sufren de corrosión en la mayoría de los ambientes.

Los aceros al carbono se dividen en: aceros de bajo carbono, medio carbono y aceros de alto carbono.

Tabla I. **Tipos de acero al carbono**

TIPO DE ACERO	PORCENTAJE DE CARBONO (%)	USO
Acero al bajo carbono o Acero suave o dulce	< 0.3	Comúnmente utilizado para productos industriales comunes como pernos, tuercas, láminas, placas y tubos y para componentes de maquinaria que no requieran alta resistencia
Acero al medio carbono	0.3 – 0.6	Generalmente utilizado en aplicaciones que requieren resistencia más elevada a la disponible en aceros de bajo carbono, como en piezas de equipo de maquinaria automotriz y equipo agrícola (engranajes, ejes, bielas), en equipo de ferrocarriles y en piezas para maquinaria de trabajo de metales.
Acero al alto carbono	> 0.60	Se utiliza para partes que requieran alta resistencia mecánica, dureza, y resistencia al desgaste, como las herramientas de corte, cable, resorte y cuchillería. Ya que mientras mas elevado sea el contenido de carbono del acero, más alta será su dureza, su resistencia mecánica y su resistencia al desgaste.

Fuente: elaboración propia

1.3.1.2. Aceros aleados

Los aceros aleados usualmente pueden contener cinco o más elementos de aleación, estos tipos de aceros no cuentan con un sistema de numeración para describir la aleación ya que se hace imposible. Estos aceros se seleccionan para muchos usos, debido a que contienen ciertas características que son superiores a aquellos simples aceros al carbono.

Pese a que todos los aceros aleados no contienen cada una de las características siguientes; se les atribuye:

- Mejora en la ductilidad, sin disminuir la resistencia a la tensión.
- Habilidad de ser endurecido, reduciendo así la posibilidad de rajaduras o torceduras.
- Capacidad de retener las propiedades físicas a temperaturas críticas.
- Baja sensibilidad a la corrosión y al desgaste, dependiendo de la aleación.

En esta categoría de aceros, en este texto, se incluye los de baja aleación, los estructurales de alta resistencia y los de aleación media.

Los aceros de baja aleación y los estructurales de alta resistencia son parecidos a los aceros de bajo contenido de carbono (comúnmente menos de 0,13 por ciento), usualmente se utiliza níquel, cromo y molibdeno. Debido a su bajo contenido de carbono conserva su facilidad de soldadura que es indispensable para la fabricación de grandes estructuras.

Los aceros de aleación media contienen suficiente carbono (más del 0,25 por ciento) que produce martensita de gran dureza, estos aseguran buena capacidad de endurecimiento, estos aceros deben enfriarse siempre por inmersión y templarse y los usos más frecuentes de estos aceros incluyen llaves de tuercas y piezas endurecidas y labradas a máquina.

1.3.2. Metales para aleación

Estos metales son aquellos que se implementan en las aleaciones, tomando en cuenta las propiedades que pueden aportar, y que entre ellas no perjudiquen el producto final.

1.3.2.1. Definición de aleación

Se entiende como aleación a la adición de elementos, ya sean metálicos o no metálicos a un metal base con el objetivo de optimizar las propiedades en el aspecto deseado.

1.3.2.2. Tungsteno

El tungsteno es un metal extremadamente rígido y fuerte, que aporta la propiedad de tenacidad en el elemento, el cual se refiere a la capacidad de sufrir golpes sin rotura que a la facultad de absorber energía durante la deformación. Si se usan en pequeñas cantidades en aceros aleados, se destaca por su gran indeformabilidad en aceros para trabajos en frío y porque en el tratamiento térmico es menos probable que se doblen, retuerzan, deformen o agrieten.

1.3.2.3. Molibdeno

Es un metal refractario, semejante al tungsteno de color blanco plateado, es duro y maleable. El molibdeno tiene un punto de fusión de unos 2 610 grados Celsius, un punto de ebullición de unos 5 560 grados Celsius, y una densidad relativa de 10,2. Su masa atómica es 95,94.

El molibdeno no existe libre en la naturaleza, sino en forma de minerales, siendo los más importantes la molibdenita y la wulfenita. Ocupa el lugar 56 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre y es un oligoelemento importante del suelo, donde contribuye al crecimiento de las plantas.

El metal se usa principalmente en aleaciones con acero. Esta aleación soporta altas temperaturas y presiones y es muy resistente, por lo que se utiliza en la construcción, para hacer piezas de aviones y piezas forjadas de automóviles. El alambre de molibdeno se usa en tubos electrónicos, y el metal sirve también como electrodo en los hornos de vidrio. El sulfuro de molibdeno se usa como lubricante en medios que requieren altas temperaturas.

1.4. Procesos de conformación para postes metálicos

Proceso de conformación es el conjunto de operaciones unitarias necesarias para modificar las características de las materias primas y así poder obtener un producto final.

En la fabricación de postes metálicos los procesos utilizados comúnmente son: perfilado y plegado.

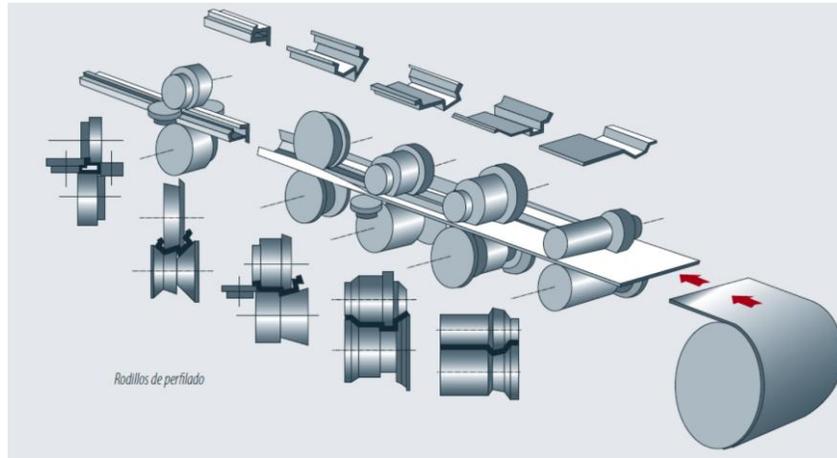
1.4.1. Perfilado

El perfilado en frío es un proceso de conformación continuo el cual permite obtener productos con sección constante, denominados perfiles, los cuales se obtienen a partir de chapas planas, en hojas cortadas o en bobinas.

Esta técnica se clasifica principalmente en tres categorías:

- Perfiles anchos: comprende productos con un ancho elevado (aproximadamente 600 a 1 500 mm) que presentan múltiples ondas de forma equivalente o similar, como por ejemplo: los perfiles utilizados en cubiertas y recubrimiento de fachadas.
- Tubos: son productos de sección cerrada, fabricados mediante un proceso de perfilado con soldadura en continuo.
- Perfiles estrechos: se trata de productos de sección abierta o continua, sin soldadura, que no presentan una forma de onda repetida. A esta categoría pertenecen, en particular, los perfiles de estructura, los conductos de cables, las bandas de carretera.

Figura 1. **Representación de los rodillos de perfilado**



Fuente: guía de utilización de productos de acero. ARCELOR.

Durante el proceso de perfilado la chapa es sometida a un plegado plástico y progresivo en cada uno de los cabezales, hasta obtener los ángulos y la forma deseados. Cada conjunto de rodillos (superior e inferior) se denomina cabezal de perfilado, ver figura 1.

1.4.2. Plegado

Es el proceso de transformación de chapa que determina la calidad de acero seleccionada, ya que es la operación de deformación más intensa debido a que el metal se curva sobre la herramienta.

Durante el proceso se consideran nulos el rozamiento y las tensiones externas, debería alcanzarse un equilibrio entre elongación de las fibras exteriores y la compresión de las fibras interiores, sin embargo el rozamiento se opone a la compresión de estas últimas y la tensión aumenta la tendencia a la elongación. La fibra neutra se desplaza hacia la herramienta y se reduce el

espesor de la chapa, evidentemente, esta reducción de espesor provoca un debilitamiento y las tensiones aplicadas producirían rápidamente la rotura si la resistencia a la deformación del acero no aumentase debido al endurecimiento.

1.5. Soldadura

El término soldadura se puede definir como la unión mecánicamente resistente de dos o más piezas metálicas diferentes. La primera manifestación de ello, aunque poco tiene que ver con los sistemas modernos, se remonta a los comienzos de la fabricación de armas.

Las uniones logradas a través de una soldadura de cualquier tipo, se ejecutan mediante el empleo de una fuente de calor. El calor necesario para unir dos piezas metálicas puede obtenerse a través de distintos medios. Se puede definir dos grandes grupos: los sistemas de calentamiento por combustión con oxígeno de diversos gases (denominados soldadura por gas), y los de calentamiento mediante energía eléctrica (por inducción, arco, punto).

Para rellenar las uniones entre las piezas o partes a soldar, se utilizan varillas de relleno, denominadas material de aporte o electrodos, realizadas con diferentes aleaciones, en función de los metales a unir.

1.5.1. Soldadura por arco eléctrico

Es uno de los procesos por fusión para unir piezas metálicas. En este tipo de soldadura, el intenso calor necesario para fundir los metales es producido por un arco eléctrico. Este se forma entre las piezas a soldar y el electrodo, el cual es movido manualmente o mecánicamente a lo largo de la unión (puede

darse el caso de un electrodo estacionario o fijo y que el movimiento se le imprima a las piezas a soldar).

1.5.1.1. Electrodo

El electrodo puede ser de diversos tipos de materiales, independientemente de ello, el propósito es trasladar la corriente en forma puntual a la zona de soldadura y mantener el arco eléctrico entre su punta y la pieza. El electrodo utilizado, según su tipo de naturaleza, puede ser consumible, fundiéndose y aportando metal de aporte a la unión. En otros casos, cuando el electrodo no se consume, el material de aporte deberá ser adicionado por separado en forma de varilla.

Algunas de las características que deberán tener los electrodos dependerán de las piezas a unir o algunos otros factores, como por ejemplo:

La medida del electrodo a utilizar depende de:

- Espesor del material a soldar
- Preparación de los bordes o filos de la unión a soldar
- La posición en que se encuentran la soldadura a efectuar (plana, horizontal, vertical)
- La habilidad del soldador

El amperaje a utilizar para realizar la soldadura dependerá de:

- Tamaño del electrodo seleccionado
- El tipo de recubrimiento que el electrodo posea
- El tipo de equipo de soldadura utilizado (CA; CC directa e inversa)

En la práctica se podrá comprobar que la cobertura del electrodo para soldadura por arco posee una gran influencia sobre los resultados obtenidos. Las funciones de la cobertura de un electrodo son las siguientes:

- Proveer una máscara de gases de combustión que sirvan de protección al metal fundido para que no reaccione con el oxígeno y el nitrógeno del aire
- Proveer un pasaje de iones para conducir corriente eléctrica desde la punta del electrodo a la pieza, ayudando al mantenimiento del arco
- Proveer material fundente para la limpieza de la superficie metálica a soldar, eliminando a los óxidos en forma de escorias que serán removidas una vez terminada la soldadura
- Controlar el perfil de la soldadura, en especial en las soldaduras de filete o esquineras
- Controlar la rapidez con que el aporte del electrodo se funde
- Controlar las propiedades de penetración del arco eléctrico
- Proveer material de aporte, el cual se adiciona al que se aporta del núcleo del electrodo
- Adicionar materiales de aleación en caso que se requiera una composición química determinada

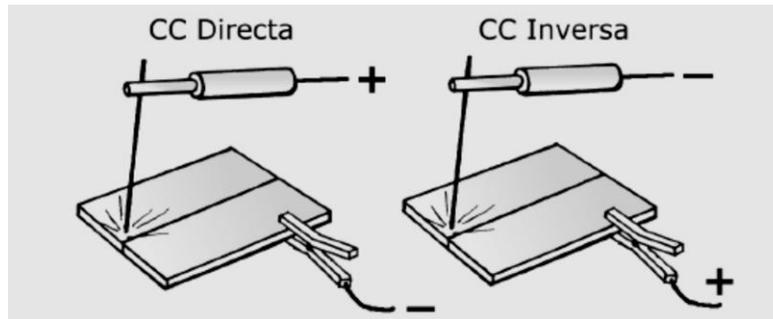
Debido a las composiciones químicas que los electrodos poseen en su superficie, pueden absorber humedad del ambiente. Por dicho motivo, es recomendable almacenar los mismos en lugares secos, libres de humedad. Igualmente, existen hornos eléctricos para el secado previo de los electrodos, para asegurarse de esta forma que las condiciones del aporte son las óptimas.

1.5.1.2. Soldadura por arco con Corriente Continua (CC)

Cuando se realizan las soldaduras con Corriente Alterna (CA), no se tiene polaridad definida de ninguno de los dos electrodos. En cambio, al realizarla con Corriente Continua (CC), existe un sentido único de circulación de corriente y los efectos de la polaridad sobre la soldadura son muy evidentes.

Por lo general, la polaridad que se adopta en CC es la inversa, la cual polariza al electrodo positivamente (+) respecto a la pieza. Con esta polaridad, el electrodo toma más temperatura que la pieza, el arco comienza más prontamente, y permite utilizar menor amperaje y un arco más corto.

Figura 2. **Polaridades en la soldadura por arco con CC**



Fuente: RODRÍGUEZ, Pedro Claudio. Manual de soldadura. p.35.

Para formar el arco eléctrico entre la punta del electrodo y la pieza se utilizan dos métodos, el de raspado o rayado y el de golpeado.

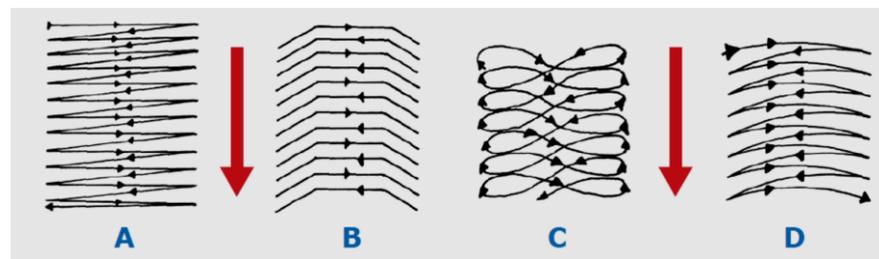
El de rayado consiste en raspar el electrodo contra la pieza metálica ya conectada al potencial eléctrico del equipo de soldadura (pinza de tierra conectada). El método de golpeado es, como lo indica su nombre, dar golpes suaves con la punta del electrodo sobre la pieza en sentido vertical. En ambos casos, se formará el arco cuando al bajar el electrodo contra la pieza, se produzca un destello lumínico. Una vez conseguido el arco, deberá alejarse el electrodo de la pieza unos 6 milímetros para así poder mantenerlo. Luego disminuir la distancia a 3 milímetros (distancia correcta para soldar) y realizar la soldadura. Si el electrodo no se aleja lo suficiente, se fundirá con la pieza, quedando pegado.

1.5.1.3. Técnicas de costuras o cordones

Se le llaman costuras o cordones al resultado, del aporte de metal aplicando el sistema de arco protegido.

Así también resulta común querer realizar una soldadura más ancha que un simple cordón, que se consigue con realizando solamente movimiento de traslación del electrodo, para ello es necesario adiciona al movimiento de avance del electrodo (movimiento de traslación) un movimiento lateral (movimiento oscilatorio). Existen diferentes tipos de oscilaciones laterales y para cualquiera que sea el movimiento elegido o aplicado, deberá ser uniforme para conseguir con ello una costura cerrada, y así facilitar el desprendimiento de la escoria una vez finalizada la soldadura.

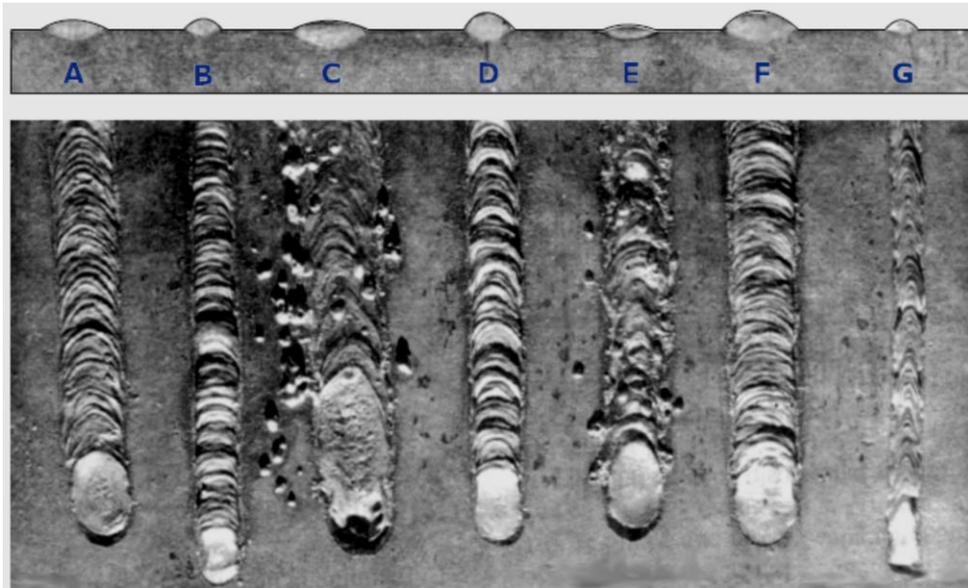
Figura 3. **Movimientos del electrodo para realizar una costura**



Fuente: RODRÍGUEZ, Pedro Claudio. Manual de soldadura. p.28.

Algunos factores que determinan una buena costura de soldadura, tales como la corriente (amperaje) y la velocidad de avance, ya que dependiendo de esto varía la funcionalidad de la costura de soldadura.

Figura 4. **Ilustración de distintas pruebas de costuras**



Se puede observar una serie de costuras de soldaduras en las cuales se varía su amperaje y la velocidad de avance, y se pueden clasificar de la siguiente manera:

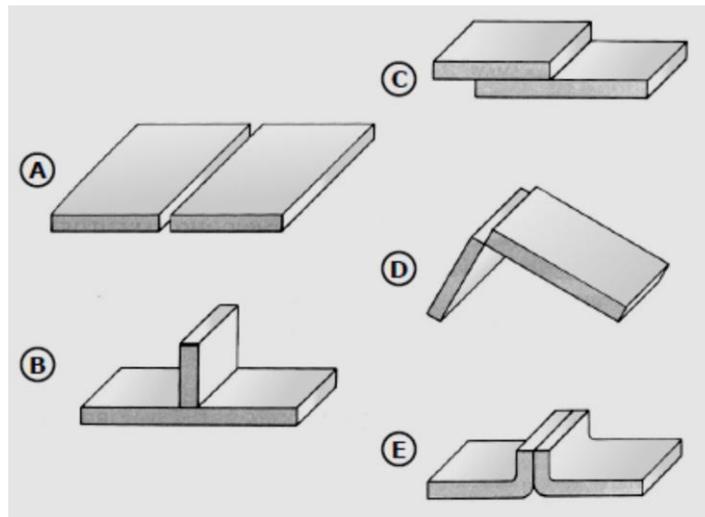
- Costura correcta con amperaje y velocidad adecuados.
- Costura aceptable con amperaje muy bajo.
- Costura deficiente por amperaje muy elevado.
- Costura aceptable con amperaje muy bajo, ocasionando demasiado aporte metálico.
- Costura deficiente con corriente inadecuada.
- Costura correcta con muy poca velocidad de avance. Observar que la costura está muy ancha y muy alta.
- Costura deficiente con corriente adecuada pero con velocidad de avance muy elevada.

Fuente: RODRÍGUEZ, Pedro Claudio. Manual de soldadura. p.29.

1.5.1.4. Uniones típicas en soldadura metálica con arco protegido

Anteriormente se hizo la definición de soldadura como la unión mecánicamente resistente de dos o más piezas metálicas diferentes. En esta sección se mencionaran algunas de las uniones de estas piezas más comunes.

Figura 5. Ejemplos de tipos de uniones para soldadura metálica



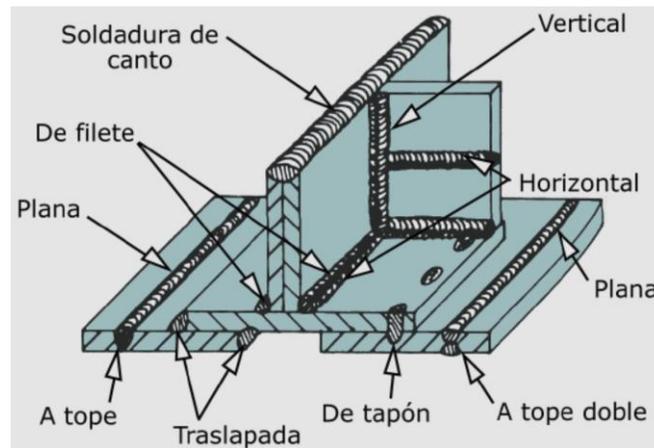
Se muestran las cinco uniones típicas de soldaduras, las cuales son:

- A. Unión a tope
- B. Unión en T
- C. Unión traslapada
- D. Unión en escuadra
- E. Unión de canto

Fuente: RODRÍGUEZ, Pedro Claudio. Manual de soldadura. p 31.

Soldadura de filete es el la forma en la que se le denomina a la soldadura aplicada en las uniones en T, existen dos clases de soldadura de filete, la horizontal y la plana, las cuales son utilizadas comúnmente en la industria.

Figura 6. **Ilustración de tipos de soldadura**



Fuente: RODRÍGUEZ, Pedro Claudio. Manual de soldadura. p.33.

1.5.1.5. Indicaciones sobre las condiciones de trabajo para efectuar soldaduras de diversos materiales mediante arco protegido

En el medio de la industria se trabaja con diferentes materiales tales como, aceros al carbono, aceros aleados, hierro fundido, etc. Por lo que las condiciones al efectuar la soldadura no son constantes, a continuación se mostraran algunas indicaciones que se pueden utilizar al efectuar soldaduras en los diferentes materiales.

1.5.1.5.1. Indicaciones para aceros al carbono

En los aceros al carbono la dificultad a efectuar la soldadura, son las piezas con poco espesor, ya que suelen perforarse o quemarse. A continuación se mostraran las indicaciones para hacer el trabajo de soldadura en este tipo de material más sencillo:

- Soldar con valores de corriente bajos. Intentar con una corriente de 60 a 75 Ampere con electrodo diámetro de 3 milímetros ó con una corriente de 40 a 60 Ampere con diámetro de 2,5 milímetros.
- Efectuar puntos de soldadura para evitar quemar o perforar el material. Esto ayudará, además, a evitar deformaciones u ondulaciones por exceso de temperatura.
- Mantener un arco corto (poca distancia entre la punta del electrodo y la pieza). Esto permite lograr el calor necesario para fundir el material de aporte con el de base sin excesos.
- Emplear pinzas de anclaje o elementos de fijación de gran superficie, permitiendo esta característica aumentar la disipación de temperatura de todo el conjunto y evitando así un cambio térmico drástico que pueda producir mayores deformaciones sobre el material a soldar.
- Si todo lo anterior no resulta efectivo, utilizar tiras de cobre como respaldo de la soldadura a realizar. La soldadura no se adherirá a las tiras o placas de cobre, las que podrán ser removidas una vez que la costura se haya enfriado.

1.5.1.5.2. Indicaciones para aceros aleados

Los aceros aleados son aquellos que usualmente pueden contener cinco o más elementos de aleación. Una característica de este tipo de aceros es la estructura granular que poseen los cristales de este acero, la cual provoca que las costuras y los cordones efectuados sobre el acero aleado sean propensos al agrietamiento cuando se enfrían.

A continuación se darán algunas indicaciones para soldar aceros aleados, haciendo referencia a los aceros aleados con cromo-molibdeno, utilizando corriente alterna para su ejecución.

- Cuanto más grande sea la pieza, más importante deberá ser el precalentamiento que reciba la misma, previo al trabajo de soldadura. Siempre se debe tratar de soldar a una temperatura no inferior a 20 grados Celsius, y además, se debe precalentar la zona afectada a la soldadura a una temperatura entre 90 y 150 grados Celsius.
- Precalentar la pieza con un soplete de oxiacetileno o, si el tamaño de la misma lo permite, precalentar en horno eléctrico.
- Utilizar siempre electrodos E7018 para efectuar la soldadura de acero aleado con cromo-molibdeno.
- Asegúrese de que la superficie a soldar esté limpia y libre de óxido, pintura y grasa. De descuidar este aspecto, se producirá sin lugar a dudas una soldadura defectuosa.

- De ser posible por los espesores que la pieza posea, desbastar los bordes de la unión a soldar formando una V (llamada unión en V). Esto favorecerá a la penetración de la soldadura.

1.5.1.5.3. Indicaciones para aceros inoxidables

No existe en particular problema para efectuar soldaduras sobre aceros inoxidables con el sistema de arco protegido con Corriente Alterna (CA), ya que los métodos a emplear son similares a los aceros al carbono y a los aceros aleados, añadiendo así, que no se necesita precalentar la zona a soldar.

1.5.1.5.4. Indicaciones para hierro fundido

Una de las características que más afecta al efectuar costuras de soldaduras en hierro fundido, es la gran rigidez que posee dicho material. Por esto se debe precalentar la pieza a soldar, para evitar que se formen fisuras cerca del área de la soldadura.

1.6. Galvanizado

Proceso electroquímico por el cual se puede cubrir un metal con otro. Debe su nombre a los trabajos de investigación de Luigi Galvani. La función del galvanizado es proteger la superficie del metal tratado contra la corrosión. El galvanizado más común consiste en depositar una capa de zinc sobre el acero o el hierro.

1.6.1. Galvanizado en caliente

La galvanización en caliente es un proceso mediante el que se obtiene un recubrimiento de zinc sobre hierro o acero, por inmersión en un baño de zinc fundido, a una temperatura aproximada de 450 grados Celsius. A esta operación se la conoce también como galvanización por inmersión o galvanización al fuego.

El proceso de galvanizado tiene como principal objetivo evitar la oxidación y corrosión que la humedad y la contaminación ambiental pueden ocasionar sobre el hierro.

1.6.1.1. Proceso de galvanización en caliente

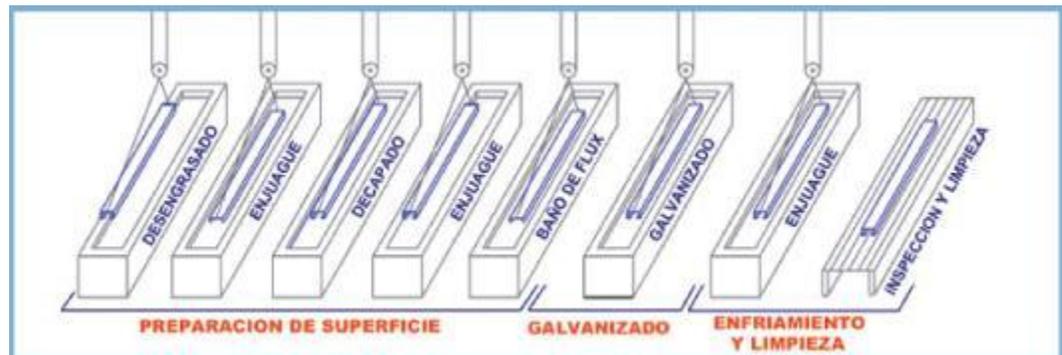
Este proceso consiste en cinco fases, así también se divide en tres etapas las cuales son preparación de superficie, galvanizado, enfriamiento y limpieza. En la figura 7 se ilustran estas etapas y a continuación se describen las fases:

- Limpieza cáustica: se utiliza una solución de soda cáustica caliente para remover contaminantes orgánicos como grasas y aceites, de la superficie del acero.
- Decapado: en esta etapa se elimina el óxido y la herrumbre de la superficie utilizando una solución diluida de ácido sulfúrico caliente o de ácido clorhídrico a temperatura ambiente.
- Aplicación del fundente: se sumerge el elemento en una solución de sales de cloruros amoniacales de zinc. El fundente elimina el óxido y

previene la oxidación posterior de la superficie para asegurar que el zinc fundido pueda empapar completamente a la pieza.

- Galvanizado: la pieza es sumergida en un baño de menos del 98 por ciento de zinc fundido, que se mantiene a 454 grados Celsius durante el tiempo suficiente para que la pieza alcance la temperatura del baño. Posteriormente la pieza es sacada lentamente del baño para escurrir completamente el exceso de zinc.
- Secado e inspección: luego que la pieza es sacada del baño para escurrir, son enfriadas con agua o al aire y luego sometidas a inspección. En esta etapa se verifica el espesor del recubrimiento y la apariencia de la superficie.

Figura 7. **Ilustración del proceso de galvanización en caliente**



Fuente: página oficial de Ipac Aceros, <http://www.ipac-acero.com>. Consultado: 30 de octubre de 2012.

1.6.2. Requerimiento de espesores de recubrimiento mínimos

Se toma como base la Norma ASTM-123, para la determinación de los espesores de galvanizado en diferentes espesores de material, los cuales determinan el buen o el mal desempeño de éstos.

Tabla II. **Requerimientos espesores mínimos de recubrimiento**

Requerimientos para la galvanización por inmersión en caliente					
ESPEORES MÍNIMOS DE RECUBRIMIENTO					
NORMA	ASTM 123/ A 123M-2				
Espesores promedios mínimos de galvanizado según el tipo de material (micrómetros)					
Espesor de material (mm)	< 1,6	[1,6 -- 3,2)	[3,2 – 4,8]	(4,8 – 6,4)	≥ 6,4
Estructuras y planchas	45	65	75	85	100
Flejes y barras	45	65	75	85	100
Cañerías y tubos	45	45	75	75	75
Cable	35	50	80	65	80

Fuente: elaboración propia, con referencia en la Norma ASTM A-123.

2. ENSAYOS Y CÁLCULOS REALIZADOS EN POSTES

Este capítulo describe los ensayos de laboratorio y cálculos estructurales que se le realizan a los postes, tales como: flexión estática, prueba de adherencia de galvanizado, radio de giro y deflexión máxima.

2.1. Resumen de Norma ASTM D 1036-99

La Norma ASTM D 1036-99 da las especificaciones para el los tipos de ensayos que se le practican a los postes de madera, pero ya que el fin común de los ensayos en postes metálicos y de madera, es la resistencia a la flexión, se puede aplicar de igual manera, teniendo en cuenta que lo único que cambiaría sería el momento de inercia.

Métodos de prueba estándar de pruebas estáticas de postes de madera
(Standard Test Methods of Static Tests of Wood Poles)

Los ensayos mecánicos en probetas de tamaños de postes se realizan con el objetivo de obtener el valor de la fibra máxima en tensión, para las diferentes especies de madera para postes, el cual es un factor importante en el diseño y uso económico de postes para el soporte de comunicación aérea y líneas eléctricas.

Los métodos de ensayos que se incluyen son: el método de ensayo Cantilever, y el método de ensayo de la máquina, estos métodos de prueba cubren la determinación de resistencia a la flexión y la rigidez de los postes de madera.

Los procedimientos especificados en estos métodos de ensayo se aplican a las pruebas de cualquiera de los materiales tratados o no tratados. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

Como mediciones iniciales, antes de colocar el poste en el aparato de ensayo, se mide: el peso; longitud (hasta el próximo de una pulgada (25 milímetros)); clase; circunferencia en base; en punta y en la línea de tierra (hasta el próximo 1/16 pulgada (1,5 milímetros)); diámetro de cada nudo sobre 1/2 pulgada (13 milímetros) de diámetro y su ubicación en la superficie del poste con relación a la culata y de la línea central longitudinal de la cara del poste; y cualquier fuerza posible reducción de los defectos observados que no sea nudos, como fibra en espiral, daños por insectos.

El método de cantiléver, es un ensayo estático de flexión para postes el cual consta en confinar el poste en forma segura desde la base hasta la línea de tierra de forma horizontal, el aparato para el confinamiento debe ser construido de tal manera que no habrá movimiento significativo del extremo del poste durante el ensayo. Se proporcionara un soporte en un punto a tres cuartos de distancia desde la línea de tierra hasta el punto de aplicación de carga, el cual minimizara el movimiento vertical y disminuya el esfuerzo del peso del poste, este no debe proporcionar fricción alguna a la deflexión del poste al estar bajo la carga.

La carga debe ser aplicada en un punto a dos pies (600 milímetros) desde la punta del poste por un cabrestante, a una velocidad constante. La carga debe ser aplicada continuamente hasta que el poste falle. La línea de carga debe ser

asegurada en el punto de carga del poste. El aparato de medición de carga debe ser colocado en serie entre la línea de carga y el cabrestante.

Las deflexiones en este método deben ser medidas en intervalos de carga de modo de que no sean menos de quince lecturas simultáneas de la carga y deflexión, teniendo como preferencia de entre 25 a 40 lecturas.

Se debe registrar la carga máxima mostrada por el aparato de medición de carga. Luego de la falla estimar el lugar de la falla y medir y registrar la distancia de este lugar al punto de carga. Trazar una curva carga-deflexión para cada poste ensayado, así también calcular: esfuerzo máximo de fibra en la línea de tierra y el esfuerzo máximo de fibra en el lugar de la falla.

En el método de prueba de la máquina, el poste está soportado cerca el extremo y la punta, y una carga se aplica a la línea de tierra por el movimiento del cabezal de una máquina de ensayo mecánico. El objetivo de esta prueba es observar la flexión transversal de los postes, al final de los ensayos tomar fotografías o hacer un bosquejo de cada falla de los postes.

2.2. Longitud de empotramiento

Corresponde a la parte del poste que se empotrará en la fundación. Esta longitud es el 10 por ciento de la longitud total, medida desde la base (extremo de mayor diámetro).

Para definir la longitud de empotramiento, se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$H_T = 0,1H + 0,4$$

Donde:

H_T = longitud de empotramiento en metros

H = longitud total del poste en metros

2.3. Ensayo de poste a flexión

El ensayo a flexión realizado en los postes metálicos, se lleva a cabo siguiendo los procedimientos de la Norma internacional ASTM D-1036, la cual trata ensayos en postes de madera de sección circular, esta norma se aplica al material de los postes de este trabajo de investigación ya que comparten la característica de la conicidad y que su principal esfuerzo es el de flexión, lo único que cambiaría sería el momento de inercia.

Una diferencia entre la norma y el ensayo realizado es que la carga se aplica a 300 milímetros de la punta del poste, fundamentado en el hecho de que el usuario potencial de los postes es la telefonía la cual aplica la carga a 300 milímetros de la punta del poste.

2.4. Prueba de adherencia del galvanizado

La adherencia del recubrimiento de cinc a la superficie del metal base se lleva a cabo cortando o apalancando con la punta de un cuchillo sólido con una presión considerable para tratar de retirar una porción del recubrimiento. La adherencia se debe considerar inadecuada si el recubrimiento se levanta y expone el material base al avanzar con el cuchillo. La adherencia en los bordes o esquinas (puntos de menor adherencia del recubrimiento) no se debe usar para determinar la adherencia del recubrimiento. Igualmente, no se debe considerar como una falla cuando se retiran partículas pequeñas por medio de procesos de pelado o tallado.

2.5. Principio teórico de la curva elástica

En elementos sometidos a flexión es de suma importancia conocer las deformaciones provocadas por los desplazamientos del elemento, es decir las deflexiones que este puede tener. Esto se logra por medio de la curva elástica, la cual podemos definir por medio de la ecuación aproximada de la elástica:

$$EIy'' = M$$

Debido a que en dicha ecuación solamente tomamos en cuenta las fuerzas perpendiculares al eje del elemento, este estará en función del desplazamiento perpendicular al eje y del ángulo de flexión.

2.6. Radio de giro

En ingeniería estructural, el radio de giro describe la forma en la cual el área transversal o una distribución de masa se distribuye alrededor de su eje centroidal. Concretamente es el valor medio cuadrático de distancia de los puntos de la sección o la distribución de masa respecto a un eje que pasa por el centro de la misma.

El radio de giro de un área con respecto a un eje particular, es igual a la raíz cuadrada del cociente del segundo momento de área dividido por el área:

$$R_G = \sqrt{I_{EJE} / A}$$

Donde R_G es el radio de giro, I_{EJE} es el segundo momento de área o momento de inercia de la sección y A es el área de la sección transversal. Es una medida del alejamiento promedio de la sección resistente del centro de

gravedad, dadas dos secciones de la misma área la de menor radio de giro presentará menor rigidez torsional y también un peor comportamiento frente a pandeo.

2.6.1. Cálculo de radio de giro

Para el cálculo del radio de giro de los postes, se debe tener en cuenta que estos consisten en 3 piezas tronconicas que se empalman unas con otras para poder formar un solo elemento de sección octogonal, debido a estos empalmes se forman dos puntos críticos (estos puntos trabajan como una articulación elastoplástica), en los cuales se debe calcular el radio de giro.

En este caso para la sección transversal de los postes, se tomará que es un octágono inscrito en un círculo, por lo cual se harán los próximos cálculos con referencia de que se está trabajando con un círculo, esto para poder facilitar el procedimiento ya que lo que se está determinando es una aproximación al comportamiento real.

Para el radio de giro de cada uno de los puntos críticos que se les denominará 1 y 2, se hará un promedio de los radio de giro de las dos piezas que se están empalmando.

Fórmulas a utilizar:

$$I = (\pi * (D_E^4 - D_i^4)) / 64$$

Donde:

I= momento de inercia axial de un anillo

D_E= diámetro exterior

D_i= diámetro interior

$$A = \pi/4 * (D_E^2 - D_i^2)$$

Donde:

A= área de anillo circular (grosor de lámina)

D_E= diámetro exterior

D_i= diámetro interior

$$R_{giro} = (\sqrt{I}) / A$$

Donde:

R_{giro}= radio de giro del elemento

I= momento de inercia axial de un anillo

A= área de anillo circular

POSTE 1

Tabla III. Dimensiones de poste 1

POSTE No. 1								
Sección	Longitud (mm)	Diámetro promedio (mm)		Espesor promedio (mm)		Longitud promedio de arista (mm)		Longitud de poste armado (mm)
		Inicio	Punta	Inicio	Punta	Inicio	Punta	
Base	2 910	157	91,5	2,03	2,44	63	54	8 062
Intermedio	2 910	138	111,15	2,08	1,95	55	45	
Punta	2 910	121	94,75	2,5	2,1	50	38	

Fuente: elaboración propia.

Punto crítico (1)

Rgiro (base)

$$I_B = \pi * ((9,15 \text{ cm})^4 - (8,662 \text{ cm})^4) / 64 = 67,74 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((9,15 \text{ cm})^2 - (8,662 \text{ cm})^2) / 4 = 6,83 \text{ cm}^2$$

$$Rgiro_B = \sqrt{(67,74 \text{ cm}^4) / 6,83 \text{ cm}^2} = 1,21$$

Rgiro (intermedio)

$$I_i = \pi * ((13,84 \text{ cm})^4 - (13,384 \text{ cm})^4) / 64 = 205,15 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((13,84 \text{ cm})^2 - (13,384 \text{ cm})^2) / 4 = 8,88 \text{ cm}^2$$

$$Rgiro_i = \sqrt{(205,15 \text{ cm}^4) / 8,88 \text{ cm}^2} = 1,61$$

Rgiro (promedio)

$$Rgiro_{prom1} = (1,21 + 1,61) / 2$$

$$Rgiro_{prom1} = 1,41$$

Punto crítico (2)

Rgiro (intermedio)

$$I_i = \pi * ((11,12 \text{ cm})^4 - (10,73 \text{ cm})^4) / 64 = 99,88 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((11,12 \text{ cm})^2 - (10,73 \text{ cm})^2) / 4 = 6,69 \text{ cm}^2$$

$$Rgiro_i = \sqrt{99,88 \text{ cm}^4 / 6,69 \text{ cm}^2} = 1,49$$

Rgiro (punta)

$$I_p = \pi * ((12,10 \text{ cm})^4 - (11,60 \text{ cm})^4) / 64 = 163,49 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((12,10 \text{ cm})^2 - (11,60 \text{ cm})^2) / 4 = 9,39 \text{ cm}^2$$

$$Rgiro_p = \sqrt{163,44 \text{ cm}^4 / 9,39 \text{ cm}^2} = 1,38$$

Rgiro (promedio)

$$Rgiro_{prom1} = (1,33 + 1,38) / 2$$

$$Rgiro_{prom1} = 1,47$$

POSTE 2

Tabla IV. Dimensiones de poste 2

POSTE No. 2								
Sección	Longitud (mm)	Diámetro promedio (mm)		Espesor promedio (mm)		Longitud promedio de arista (mm)		Longitud de poste armado (mm)
		Inicio	Punta	Inicio	Punta	Inicio	Punta	
Base	2 910	157	130	2,5	2,5	66	55	8 010
Intermedio	2 910	140	114	2,5	2,5	57	50	
Punta	2 910	122	94	2,5	2,5	41	51	

Fuente: elaboración propia.

Punto crítico (1)

Rgiro (base)

$$I_B = \pi * ((13,00 \text{ cm})^4 - (12,50 \text{ cm})^4) / 64 = 203,56 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((13,00 \text{ cm})^2 - (12,50 \text{ cm})^2) / 4 = 10,01 \text{ cm}^2$$

$$R_{giro_B} = \sqrt{(203,56 \text{ cm}^4) / 10,01 \text{ cm}^2} = 1,41$$

Rgiro (intermedio)

$$I_I = \pi * ((14,00 \text{ cm})^4 - (13,50 \text{ cm})^4) / 64 = 255,30 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((14,00 \text{ cm})^2 - (13,50 \text{ cm})^2) / 4 = 10,80 \text{ cm}^2$$

$$R_{giro_I} = \sqrt{(255,30 \text{ cm}^4) / 10,80 \text{ cm}^2} = 1,48$$

Rgiro (promedio)

$$R_{giro_{prom1}} = (1,45 + 1,48) / 2$$

$$R_{giro_{prom1}} = 1,45$$

Punto crítico (2)

Rgiro (intermedio)

$$I_I = \pi * ((14,00 \text{ cm})^4 - (10,90 \text{ cm})^4) / 64 = 136,16 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((11,40 \text{ cm})^2 - (10,90 \text{ cm})^2) / 4 = 8,76 \text{ cm}^2$$

$$R_{giro_I} = \sqrt{(136,16 \text{ cm}^4) / 8,76 \text{ cm}^2} = 1,33$$

Rgiro (punta)

$$I_P = \pi * ((12,20 \text{ cm})^4 - (11,70 \text{ cm})^4) / 64 = 167,61 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((12,10 \text{ cm})^2 - (11,70 \text{ cm})^2) / 4 = 9,39 \text{ cm}^2$$

$$R_{giro_P} = \sqrt{(167,61 \text{ cm}^4) / 9,39 \text{ cm}^2} = 1,38$$

Rgiro (promedio)

$$R_{giro_{prom2}} = (1,33 + 1,38) / 2$$

$$R_{giro_{prom2}} = 1,36$$

POSTE 3

Tabla V. Dimensiones de poste 3

POSTE No. 3								
Sección	Longitud (mm)	Diámetro promedio (mm)		Espesor promedio (mm)		Longitud promedio de arista (mm)		Longitud de poste armado (mm)
		Inicio	Punta	Inicio	Punta	Inicio	Punta	
Base	2 910	156	131	2,13	2,13	66	55	7 070
Intermedio	2 910	139	113	2,7	2,7	58	50	
Punta	2 910	122	96	2,7	2,7	51	40	

Fuente: elaboración propia.

Punto crítico (1)

Rgiro (base)

$$I_B = \pi * ((13,10 \text{ cm})^4 - (12,67 \text{ cm})^4) / 64 = 180,66 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((13,10 \text{ cm})^2 - (12,67 \text{ cm})^2) / 4 = 8,70 \text{ cm}^2$$

$$Rgiro_B = \sqrt{(180,66 \text{ cm}^4) / 8,70 \text{ cm}^2} = 1,54$$

Rgiro (intermedio)

$$I_I = \pi * ((13,90 \text{ cm})^4 - (13,36 \text{ cm})^4) / 64 = 268,58 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((13,90 \text{ cm})^2 - (13,36 \text{ cm})^2) / 4 = 11,56 \text{ cm}^2$$

$$Rgiro_I = \sqrt{(268,58 \text{ cm}^4) / 11,56 \text{ cm}^2} = 1,42$$

Rgiro (promedio)

$$R_{giro_{prom1}} = (1,54 + 1,42) / 2$$

$$R_{giro_{prom1}} = 1,48$$

Punto crítico (2)

Rgiro (intermedio)

$$I_B = \pi * ((11,30 \text{ cm})^4 - (10,76 \text{ cm})^4) / 64 = 142,37 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((11,30 \text{ cm})^2 - (10,76 \text{ cm})^2) / 4 = 9,36 \text{ cm}^2$$

$$R_{giro_B} = \sqrt{((142,37 \text{ cm}^4) / 9,36 \text{ cm}^2)} = 1,27$$

Rgiro (punta)

$$I_P = \pi * ((12,20 \text{ cm})^4 - (11,70 \text{ cm})^4) / 64 = 167,61 \text{ cm}^4$$

$$A = \pi * ((12,20 \text{ cm})^2 - (11,70 \text{ cm})^2) / 4 = 9,39 \text{ cm}^2$$

$$R_{giro_P} = \sqrt{(167,61 \text{ cm}^4) / 9,39 \text{ cm}^2} = 1,38$$

Rgiro (promedio)

$$R_{giro_{prom2}} = (1,27 + 1,38) / 2$$

$$R_{giro_{prom2}} = 1,33$$

2.7. Deformación máxima flecha

Es necesario colocar ciertos límites, como la “flecha” que es la deformación máxima del elemento, en el caso del análisis de postes, al hacer uso del principio de la elástica obtenemos la ecuación de la flecha máxima permisible como sigue:

$$\Delta = 2H * \tan (1^\circ)$$

Donde:

Δ = flecha máxima permisible

H = altura efectiva del elemento

Debido a que el poste es de forma cónica de tres secciones unidas mediante el empalme mecánico de las secciones, lo cual induce al comportamiento llamado junta fría, condición que hace que el poste tenga un comportamiento en función del diámetro (este diámetro es derivado del radio de giro).

2.7.1. Cálculo de deformación máxima flecha implementando el radio de giro

Para el cálculo de la deformación máxima teórica en los postes tratados en este trabajo de investigación, se calculara la flecha individualmente para cada pieza del poste, agregando a la fórmula de deformación máxima el coeficiente promedio de radio de giro calculado anteriormente para posteriormente hacer la sumatoria de los tres datos resultados y así obtener la deformación máxima teórica del poste.

Fórmula a utilizar:

$$\Delta = 2H * \tan (1^\circ) * R_{\text{giro}}_{\text{prom}}$$

Donde:

Δ = flecha máxima permisible del elemento

H = altura efectiva del elemento

Cada pieza del poste mide 2 910 milímetros, pero se tomara como altura efectiva del elemento la longitud entre los centros de las longitudes de empalme. Se debe tomar en cuenta que para el elemento de la base se le debe restar la longitud de empotramiento, ya que el resultado es la longitud que en realidad se está deflectando.

POSTE 1

$$\Delta = 2H * \tan (1^\circ) * R_{\text{giro}}_{\text{prom}}$$

$$H_B = 2,8 \text{ (m)} - 1,21 \text{ (m)} = 1,59 \text{ (m)}$$

$$H_I = 2,57 \text{ (m)}$$

$$H_P = 2,71 \text{ (m)}$$

$$\Delta_B = 2 * 1,59 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1,62 = 0,0899 \text{ (m)}$$

$$\Delta_I = 2 * 2,57 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1,47 = 0,1319 \text{ (m)}$$

$$\Delta_P = 2 * 2,69 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1 = 0,0939 \text{ (m)}$$

$$\Delta_1 = 0,3157 \text{ m} = 31,57 \text{ (cm)}$$

POSTE 2

$$\Delta = 2H * \tan 1^\circ * R_{\text{giro}_{\text{prom}}}$$

$$H_B = 2,81 \text{ (m)} - 1,20 \text{ (m)} = 1,61 \text{ (m)}$$

$$H_I = 2,66 \text{ (m)}$$

$$H_P = 2,54 \text{ (m)}$$

$$\Delta_B = 2 * 1,61 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1,45 = 0,0815 \text{ (m)}$$

$$\Delta_I = 2 * 2,66 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1,36 = 0,1260 \text{ (m)}$$

$$\Delta_P = 2 * 2,54 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1 = 0,0946 \text{ (m)}$$

$$\Delta_2 = 0,3004 \text{ m} = 30,04 \text{ (cm)}$$

POSTE 3

$$\Delta = 2H * \tan 1^\circ * R_{\text{giro}_{\text{prom}}}$$

$$H_B = 2,78 \text{ (m)} - 1,11 \text{ (m)} = 1,67 \text{ (m)}$$

$$H_I = 2,32 \text{ (m)}$$

$$H_P = 1,97 \text{ (m)}$$

$$\Delta_B = 2 * 1,67 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1,48 = 0,0863 \text{ (m)}$$

$$\Delta_I = 2 * 2,32 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1,30 = 0,1053 \text{ (m)}$$

$$\Delta_P = 2 * 1,97 \text{ m} * \tan 1^\circ * 1 = 0,0688 \text{ (m)}$$

$$\Delta_3 = 0,2604 \text{ m} = 26,04 \text{ (cm)}$$

3. RESULTADOS

En este capítulo, se mostraran todos aquellos datos encontrados, según los ensayos o cálculos realizados en los postes metálicos, así también una comparación entre los datos prácticos y teóricos de estos.

Tabla VI. **Coeficiente de radio de giro promedio**

Coeficientes de radio de giro		
No. POSTE	Rgiro _{PROM} (1)	Rgiro _{PROM} (2)
1	1,62	1,47
2	1,45	1,36
3	1,48	1,30

Fuente: elaboración propia.

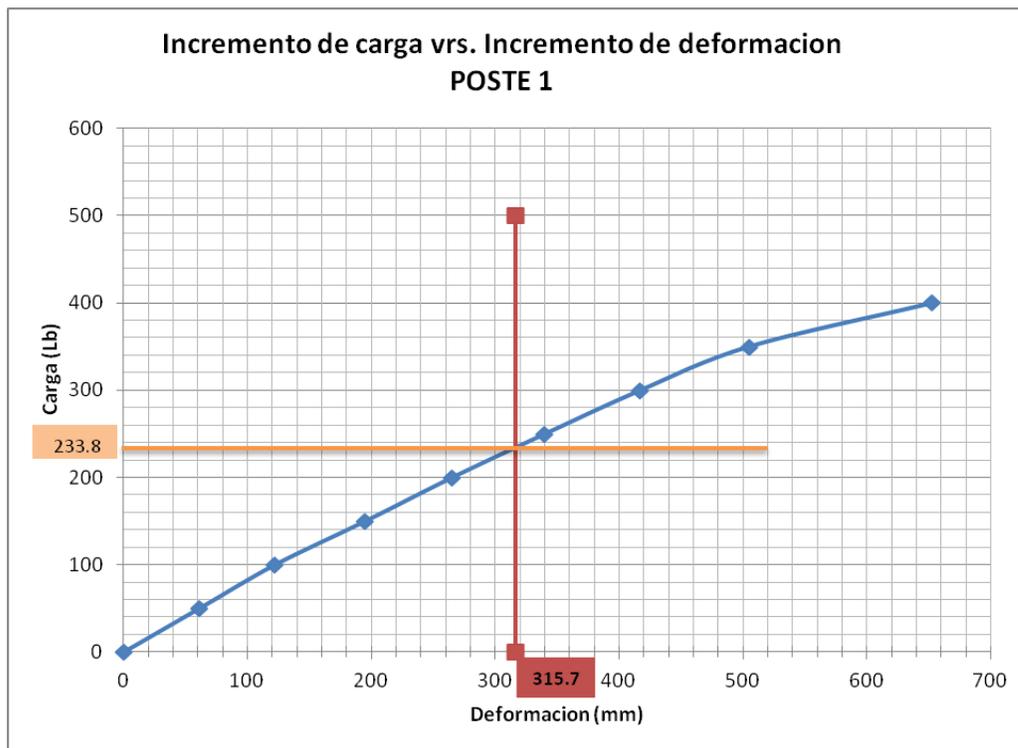
Tabla VII. **Comparación entre deformación teórica y real**

	Deformación teórica utilizando coeficiente de radio de giro	Deformación real bajo carga de trabajo
No POSTE	Deformación Flecha (Δ)	Deformación Flecha (Δ)
1	315,7 (mm)	340 (mm)
2	300,4 (mm)	334 (mm)
3	260,4 (mm)	324 (cm)

Fuente: elaboración propia.

Los resultados del ensayo a flexión de los postes metálicos se mostraran en este capítulo, con el fin de tener una mejor perspectiva de los resultados, pero se podrá observar todos los datos del ensayo en los anexos.

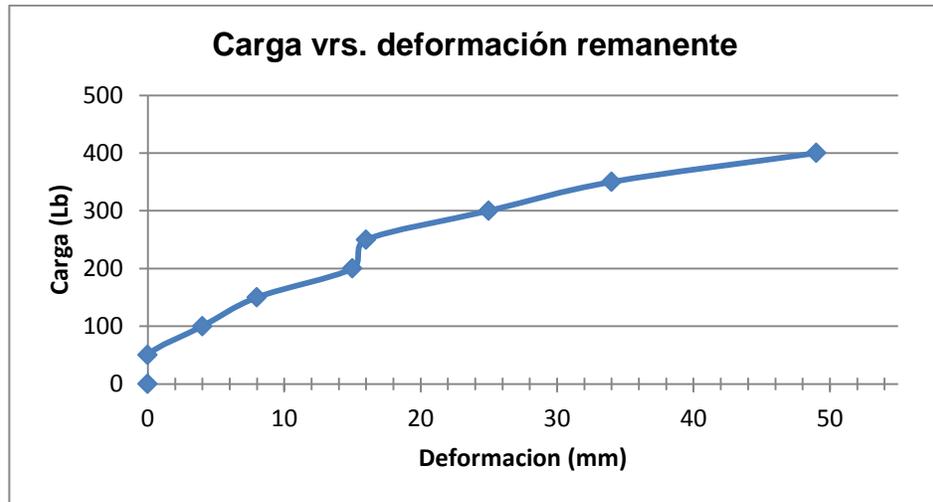
Figura 8. **Gráfica carga-deformación (poste 1)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Área de Estructuras.

En la gráfica carga-deformación del poste 1, se puede observar el comportamiento del poste conforme se le aplicaba la carga, así también se señala la deformación teórica que se obtuvo implementando el coeficiente de radio de giro, para la cual se señaló también la carga en la que teóricamente ocurría.

Figura 9. **Gráfica carga-deformación remanente (poste 1)**



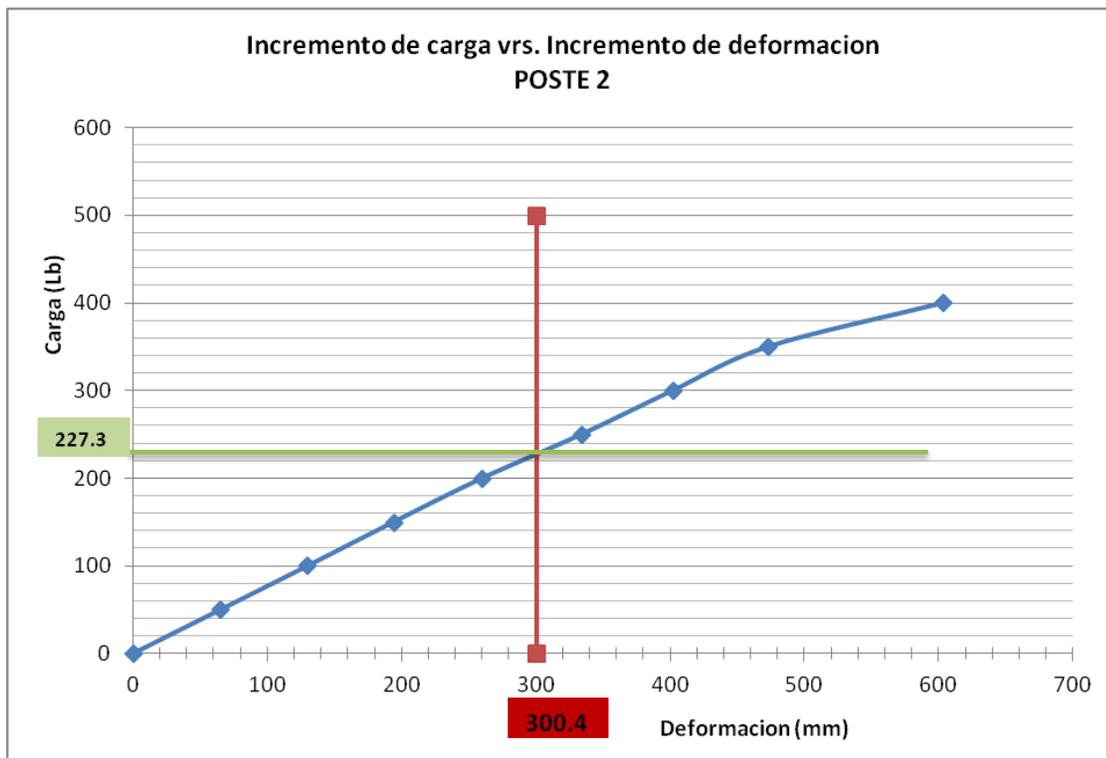
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Área de Estructuras.

En la gráfica carga- deformación remanente del poste 1 se puede observar el comportamiento del material bajo efectos de la fuerza, luego de esperar 2 minutos en la descarga, que:

- De 0-50(lb) el elemento muestra su resiliencia.
- De 50-150 (lb) el elemento está en su zona elástica.
- De 150-200(lb) el elemento entra en su zona elastoplástica.
- De 200-250(lb) muestra un endurecimiento (el cual es una característica del comportamiento plástico), el cual en este poste ocurre de una forma más notoria.
- De 250(lb) en adelante eleva su resistencia pero ya está trabajando en su zona plástica.

Experimentalmente se ha determinado que el valor límite de deformación remanente es menor al 10 por ciento de la deformación de diseño para la carga de diseño, en este caso cumple.

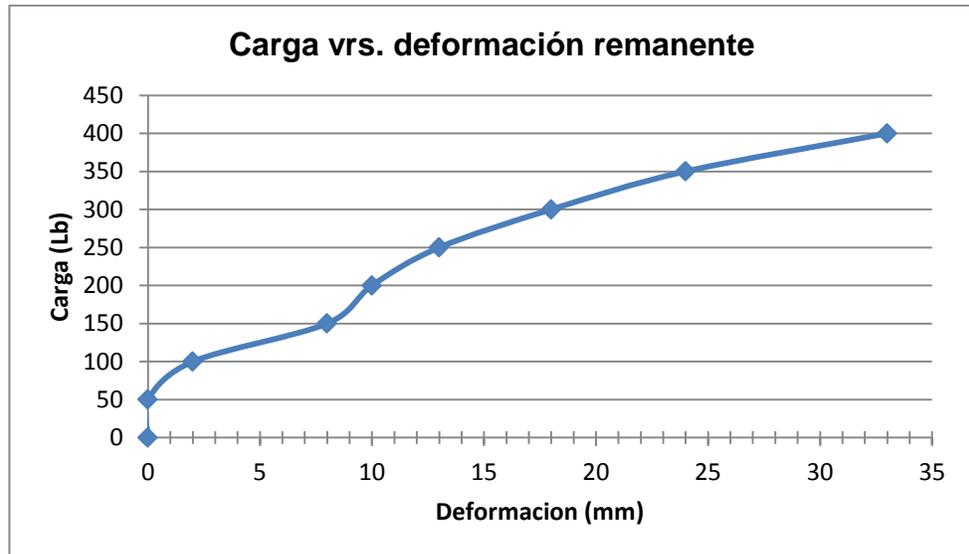
Figura 10. **Gráfica carga-deformación (poste 2)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Área de Estructuras.

En la gráfica carga-deformación del poste 2, se puede observar el comportamiento del poste conforme se le aplicaba la carga, así también se señala la deformación teórica que se obtuvo implementando el coeficiente de radio de giro, para la cual se señaló también la carga en la que teóricamente ocurría.

Figura 11. **Gráfica carga-deformación remanente (poste 2)**



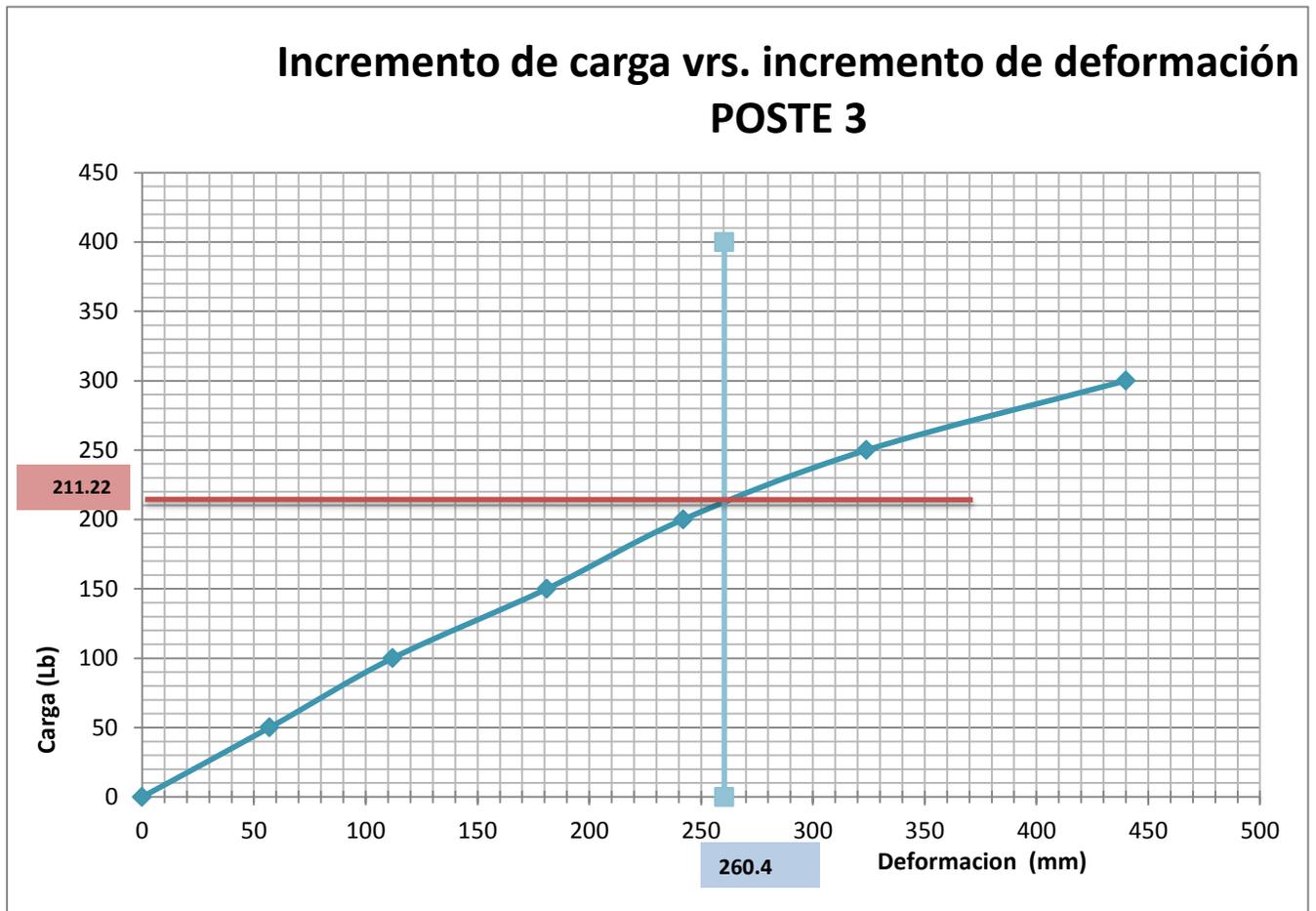
Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Área de Estructuras.

En la gráfica carga- deformación remanente del poste 2 se puede observar el comportamiento del material bajo efectos de la fuerza, luego de esperar 2 minutos en la descarga, que:

- De 0-50(lb) el elemento muestra su resiliencia.
- De 50-100 (lb) el elemento está en su zona elástica.
- De 100-150(lb) el elemento entra en su zona elastoplástica.
- De 150-200(lb) muestra un endurecimiento (el cual es una característica del comportamiento plástico), el cual en este poste ocurre de una forma más gradual.
- De 200(lb) en adelante eleva su resistencia pero ya está trabajando en su zona plástica.

Experimentalmente se ha determinado que el valor límite de deformación remanente es menor al 10 por ciento de la deformación de diseño para la carga de diseño, en este caso cumple.

Figura 12. Gráfica carga-deformación (poste 3)

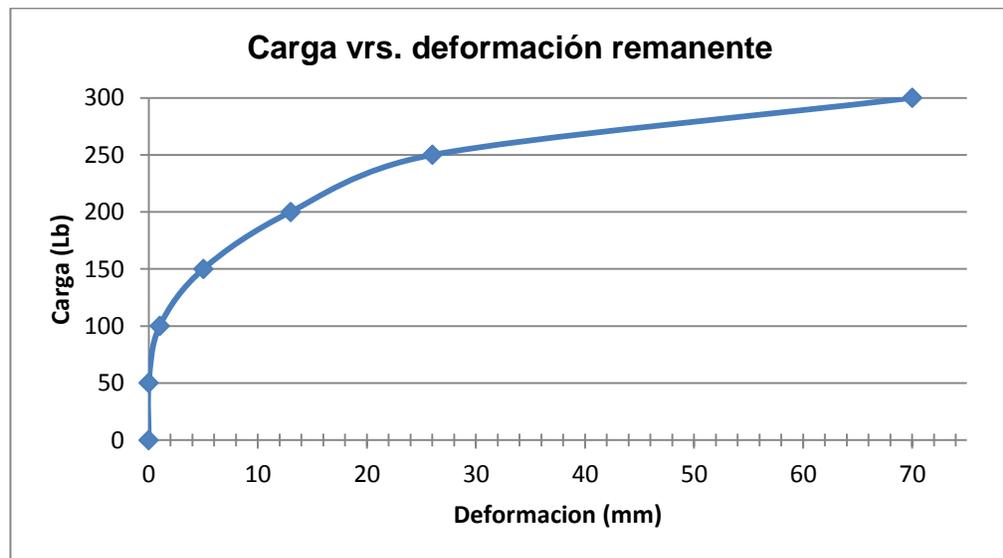


Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Área de Estructuras.

En la gráfica carga-deformación del poste 3, se puede observar el comportamiento del poste conforme se le aplicaba la carga, así también se señala la deformación teórica que se obtuvo implementando el coeficiente de

radio de giro, para la cual se señaló también la carga en la que teóricamente ocurría.

Figura 13. **Gráfica carga-deformación remanente (poste 3)**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería. Área de Estructuras.

En la gráfica carga- deformación remanente del poste 2 se puede observar el comportamiento del material bajo efectos de la fuerza, luego de esperar 2 minutos en la descarga, que:

- De 0-100(lb) el elemento muestra su resiliencia.
- De 100-150 (lb) el elemento está en su zona elástica.
- De 150-200(lb) el elemento entra en su zona elasto-plástica.
- De 200-250 (lb) muestra endurecimiento (el cual es una característica del comportamiento plástico), en este caso no es tan notorio sin embargo se puede observar una pequeña “grada” en este intervalo.

- De 250(lb) en adelante eleva su resistencia pero ya está trabajando en su zona plástica.

Experimentalmente se ha determinado que el valor límite de deformación remanente es menor al 10 por ciento de la deformación de diseño para la carga de diseño, en este caso cumple.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis que a continuación se desglosa, es basado en los datos obtenidos y descritos en los resultados de los estudios realizados en los postes metálicos.

- La longitud total de los postes varía entre los elementos de prueba estudiados, ya que las secciones no son constantes, influyendo en la longitud de los empalmes y en el comportamiento estructural del sistema, haciendo que el poste sea de menor longitud.
- En el poste no. 2 presento una longitud más aproximada a la requerida en el diseño, que en este caso era de 8 metros.
- En los datos del poste no. 2, se pudo apreciar que soporto el 150 por ciento de la carga de diseño, presentando una deformación máxima 5 centímetros menos que la deformación del poste 1, siendo la longitud del poste 1 ligeramente más grande que la del poste 2.
- El poste no. 3 presento la mayor longitud de empalme, por lo cual su longitud fue de casi un metro menos que la de diseño (8 metros), teniendo su carga de falla al 120 por ciento de la carga de diseño, que es menor a los postes anteriores, presentando una deformación más grande en esa carga que los postes anteriores.

- Teniendo una longitud más aproximada a la diseño se puede observar que el material puede comportarse de una mejor forma, ya que desarrolla cada una de sus etapas.
- En la gráfica carga – deformación remanente, del poste 3, el comportamiento en los cambios de etapas, se presentaron rápidos y abruptos por lo que se observa una curva suave donde casi no se aprecian los cambios de etapas de trabajo del material de los postes.
- El radio de giro es un coeficiente que al ser utilizado conjuntamente con la fórmula de deformación máxima o Flecha, se puede obtener un aproximado de la deformación última que presentara el poste.
- Al observar los valores de los radios de giro en cada articulación de los postes se puede determinar el comportamiento teórico del sistema, así también se observa como los valores del radio de giro disminuyen en las articulaciones, esto debido a que se considera la forma tronconica de los postes.

CONCLUSIONES

1. La selección de metales para la aleación del acero de los postes es determinante para el óptimo funcionamiento de los mismos, ya que esta determina las características físicas y químicas, así como también las propiedades estructurales que el elemento desempeñará.
2. La longitud de empotramiento es un factor determinante para el comportamiento del poste.
3. Al tener más longitud de empalme se obtiene más rigidez en el elemento, por lo que el punto de colapso del poste se hace más violento, y por lo que se observó en el análisis de los postes esta longitud es variada para cada una de las muestras ensayadas.
4. El radio de giro es la capacidad que tiene el sistema (poste de tres secciones) a la resistencia a flexión, que utiliza como base fundamental para su cálculo las características de cada uno de los elementos del sistema.
5. Los resultados del análisis teórico implementando el radio de giro no son exactos con los resultados reales obtenidos en los ensayos de laboratorio, pero puede utilizarse como un dato aproximado preliminar para poder predecir el futuro comportamiento de los postes.

6. Los cálculos estructurales son una parte fundamental del estudio del comportamiento de los postes, ya que aportan el fundamento teórico al análisis.

RECOMENDACIONES

1. Para mejorar la funcionabilidad en el aspecto mecánico de los postes, el fabricante debe tener en cuenta la relación entre el calibre de la lámina con la composición química del acero utilizado, tomando en cuenta así que la implementación de ciertos materiales como el tungsteno y el molibdeno en la aleación de las láminas si bien mejora las propiedades del material, eleva el costo de la plancha, tomando en cuenta lo anterior se debe analizar la posibilidad de aumentar la sección y el espesor del mismo.
2. Se debe mejorar el proceso de doblado para que las secciones se ajusten correctamente, y la longitud de empalme sea homogénea para cada junta, ya que se determinó en esta investigación que este parámetro es de suma importancia para el buen desempeño de los postes.
3. Es necesario que el fabricante elabore cada elemento que conforma el poste con homogeneidad para que al momento del ensamblaje la longitud de empalme no varí drásticamente y provoque un cambio considerable, según lo establecido en las especificaciones propias del poste, de la longitud total del poste.
4. Es recomendable al fabricante la implementación en los cálculos de diseño para los postes, el radio de giro ya que según lo expuesto en este trabajo de graduación, el comportamiento teórico es bastante aproximado con el comportamiento real, así utilizar el dato de la

deformación máxima o flecha ya que puede dar una mejor visión en el proceso de fabricación, al marcar algunos fallos en este.

BIBLIOGRAFÍA

1. CODENSA. *Especificación técnica postes metálicos de distribución* [en línea]: <http://empresas.micodensa.com> [Consulta: 25 de abril de 2012].
2. DEGARMO, E. Paul; BLACK, J. Temple; KOHSER, Ronald A. *Materiales y procesos de fabricación*. [en línea]: 2a ed. Vol. 1 <http://books.google.com.gt> [Consulta: 30 de abril de 2012].
3. KALPAKJIAN, Serope; SCHMID, Steven R. *Manufactura, ingeniería y tecnología*. [en línea]: 4a edición. <http://books.google.com.gt> [Consulta: 30 de abril de 2012].
4. NILSON, Arthur H. *Diseño de estructuras de concreto*. 12a ed. Colombia: McGraw-Hill Interamericana, S.A. 2001. 723 p.
5. American Society for Testing and Material. *Norma A-123 Especificación técnica de galvanizado*. Estados Unidos: book of standards, 2002. 18 p.
6. -----, *Norma D-1036 Métodos de prueba estándar de pruebas estáticas de postes de madera*. Estados Unidos: book of standards, 1999. 30 p.
7. RODRÍGUEZ, Pedro Claudio. *Manual de soldadura eléctrica, MIG Y TIG*. 2011. 65 p.

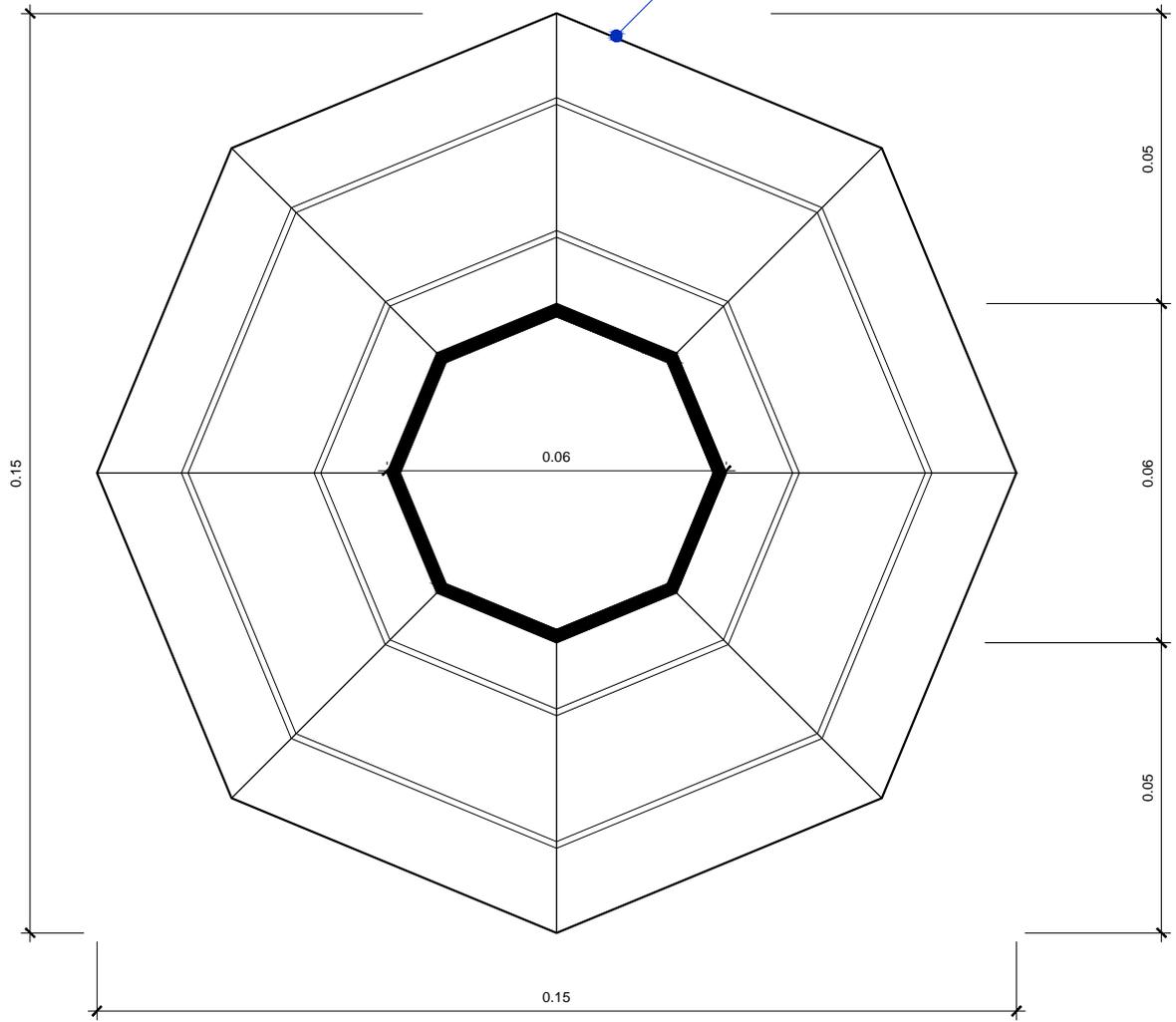
8. UNIÓN FENOSA S, A. *Especificación técnica de materiales, postes metálicos de chapa*. 6a ed. 2002. 68 p.

APÉNDICES

Planos de:

- Elevación del poste acotada
- Planta del poste
- Perspectiva del poste

TUBO DE
LAMINA GALVANIZADA



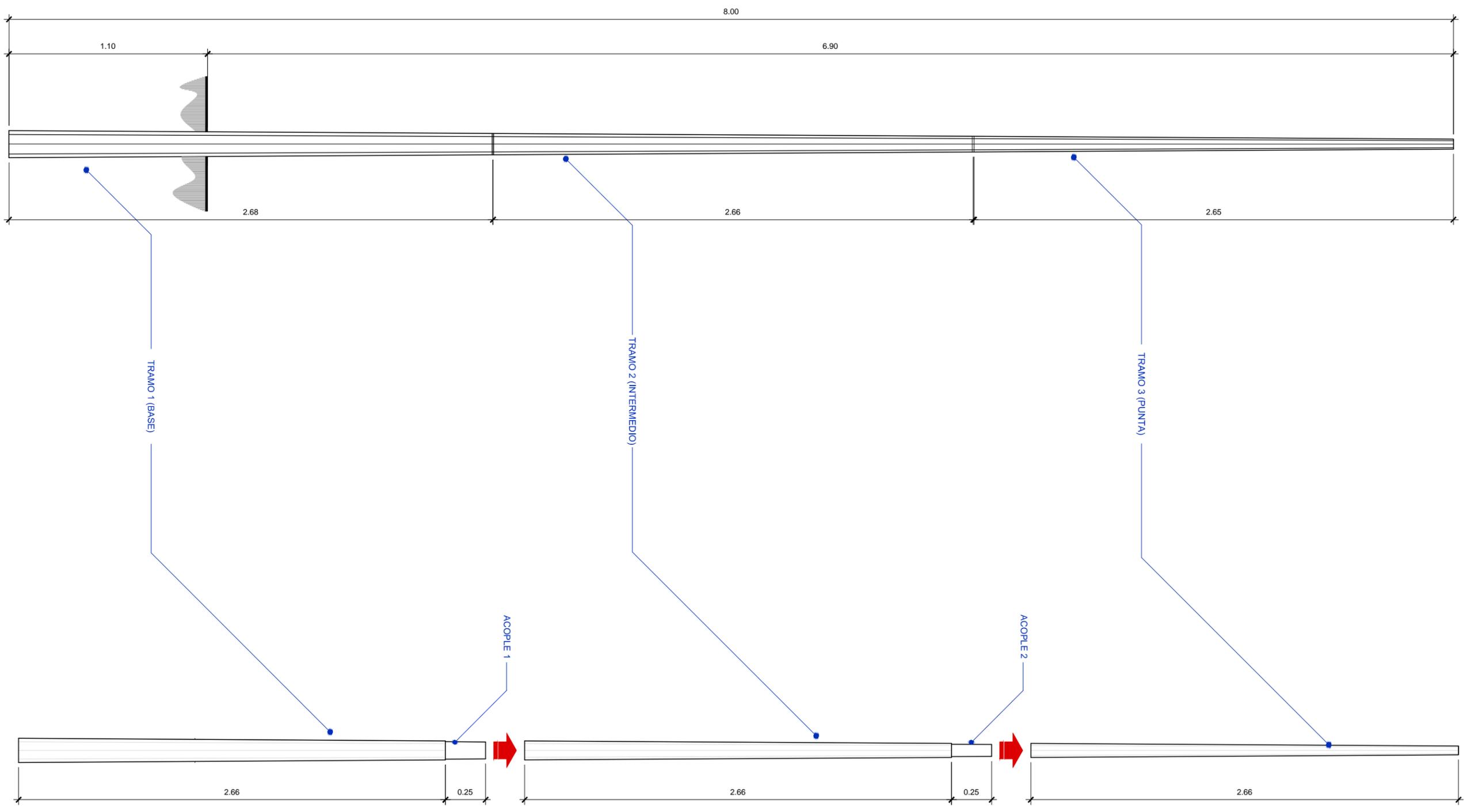
 PLANTA DE POSTE

SIN ESCALA



ELEVACION DE POSTE

SIN ESCALA



POSTE INSTALADO

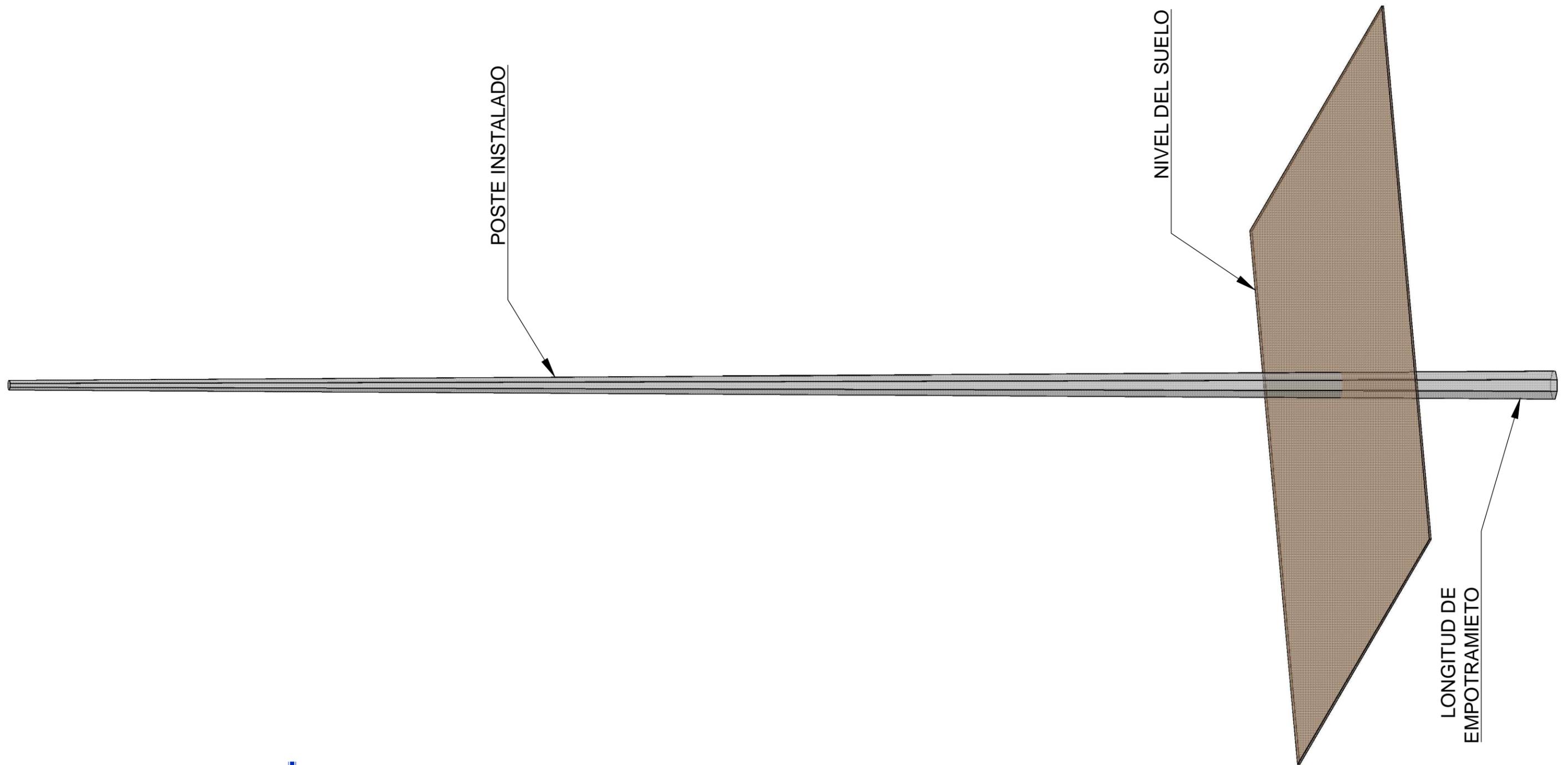
NIVEL DEL SUELO

LONGITUD DE
EMPOTRAMIENTO



ISOMETRICO DEL POSTE INSTALADO

SIN ESCALA



ANEXOS

Tabla de calibres en láminas.

Información proporcionada por Grupo AP, S.A.

TABLA DE CALIBRES	
C. 28	0.3 mm
C.26	0.45 mm
C.24	0.61 mm
C.22	0.76 mm
C.20	0.71 mm
C.18	1.21 mm
C.16	1.52 mm

Informe de Ensayo de postes metálicos a flexión.

Realizado por: Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII) por la sección de estructuras. 2012. 15 p.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

INTERESADO: LIZ MARICEL LAINEZ NAVARRO

ASUNTO: ENSAYO DE POSTES METALICOS A FLEXION

FECHA: 18 de octubre de 2012

GENERALIDADES

Se procedió al ensayo de tres postes metálicos, en las instalaciones de los laboratorios del centro de investigaciones de ingeniería, con la finalidad de determinar la carga máxima de falla y si cumple con las especificaciones de las normas.

Acero Laminado

El acero que sale del horno alto de colada de la siderurgia es convertido en acero bruto fundido en lingotes de gran peso y tamaño que posteriormente hay que laminar para poder convertir el acero en los múltiples tipos de perfiles comerciales que existen de acuerdo al uso que vaya a darse del mismo.

Propiedades mecánicas del Molibdeno y Tungsteno:

MOLIBDENO

- ✓ Alta resistencia a tracción
- ✓ Alta conductividad eléctrica
- ✓ Alta conductividad térmica
- ✓ Resistencia a alta temperatura
- ✓ Bajo coeficiente de dilatación
- ✓ Buena resistencia al ataque químico

Molibdeno - Mo: El Molibdeno también es un elemento habitual, ya que aumenta mucho la profundidad de endurecimiento del acero, así como su resistencia al impacto. El Molibdeno es el elemento mas efectivo para mejorar la resistencia del acero a las bajas temperaturas, reduciendo, además, la perdida de resistencia por templado. Los aceros inoxidables austeníticos contienen Molibdeno para mejorar la resistencia a la corrosión

El **Tungsteno** se añade para impartir gran resistencia a alta temperatura.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

ENSAYO DE POSTE A FLEXIÓN

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

Se siguió la forma de ensayo, según los procedimientos de la norma internacional ASTM D-1036.

Los postes constan de tres tramos cada uno, los cuales son de formas troncónica, que disminuye hacia la puntas, por lo que las secciones de cada tramo son variables.

Los tramos de cada poste se ensamblan, con una longitud de acoplamiento no menor al 10% de la longitud del tramo mayor a ensamblar.

La sección transversal de los tres postes a ensayar, forma polígonos de 8 lados.

Procedimiento de Ensayo

Cada poste se coloca en posición horizontal, empotrado el mismo a una distancia igual al 10% de su longitud + 40cm. Se aplico cada a 10cm de la punta y en ciclos de carga y descarga proporcionales; se midieron las deflexiones (con y sin aplicación de carga) en la punta hasta el colapso.

Los diámetros indicados son a círculo circunscrito.

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

POSTE No. 1								
Sección	Longitud (mm)	Diámetro Promedio (mm)		Espesor Promedio (mm)		Longitud Promedio de Arista (mm)		Longitud de poste armado (mm)
		Inicio	Punta	Inicio	Punta	Inicio	Punta	
Base	2910	157	91.5	2.03	2.44	63	54	8062
Intermedio	2910	138	111.15	2.08	1.95	55	45	
Punta	2910	121	94.75	2.5	2.1	50	38	

12002



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

POSTE No. 2								
Sección	Longitud (mm)	Diámetro Promedio (mm)		Espesor Promedio (mm)		Longitud Promedio de Arista (mm)		Longitud de poste armado (mm)
		Inicio	Punta	Inicio	Punta	Inicio	Punta	
Base	2910	157	130	2.5	2.5	66	55	8010
Intermedio	2910	140	114	2.5	2.5	57	50	
Punta	2910	122	94	2.5	2.5	41	51	

POSTE No. 3								
Seccion	Longitud (mm)	Diametro Promedio (mm)		Espesor Promedio (mm)		Longitud Promedio de Arista (mm)		Longitud de poste armado (mm)
		Inicio	Punta	Inicio	Punta	Inicio	Punta	
Base	2910	156	131	2.13	2.13	66	55	7070
Intermedio	2910	139	113	2.7	2.7	58	50	
Punta	2910	122	96	2.7	2.7	51	40	

No. Postes	Tipo	No. Postes	Acople 1 (mm)	Acople 2 (mm)	Longitud total de acoplamiento (mm)
1	8/120	1	244	408	652
2	8/120	2	220	520	740
3	7/120	3	300	504	804

EL TIPO SIGNIFICA 8 METROS DE LARGO Y 120 KILOGRAMOS DE CARGA DE DISEÑO. LA LONGITUD FINAL ES LOGRADA DESPUES DE HABERSE ACOPLADO LOS TRAMOS. LOS ACOPLÉS ESTAN DE LA BASE A LA PUNTA.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

SOBRE EL ENSAYO

CARGA DE TRABAJO:

Poste No. 1									
Fuerza (Lb)	0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%	140%	150%
	Desplazamiento (mm)								
	0 Lb	50 Lb	100 Lb	150 Lb	200 Lb	250 Lb	300 Lb	350 Lb	375 Lb
0	0	0	4	8	15	16	25	34	49
50		61	55	65	68	70	80	90	115
100			122	125	130	135	150	160	175
150				195	200	205	215	225	240
200					265	260	280	290	305
250						340	340	355	380
300							417	415	435
350								505	520
400									653

Poste No. 2									
Fuerza (Lb)	0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%	140%	150%
	Desplazamiento (mm)								
	0 Lb	50 Lb	100 Lb	150 Lb	200 Lb	250 Lb	300 Lb	350 Lb	375 Lb
0	0	0	2	8	10	13	18	24	33
50		65	70	75	80	85	85	90	110
100			130	135	140	140	150	150	170
150				194	195	200	220	220	220
200					260	255	265	270	285
250						334	330	345	350
300							402	400	415
350								473	480
400									603



Informe No. EPF octubre 2012

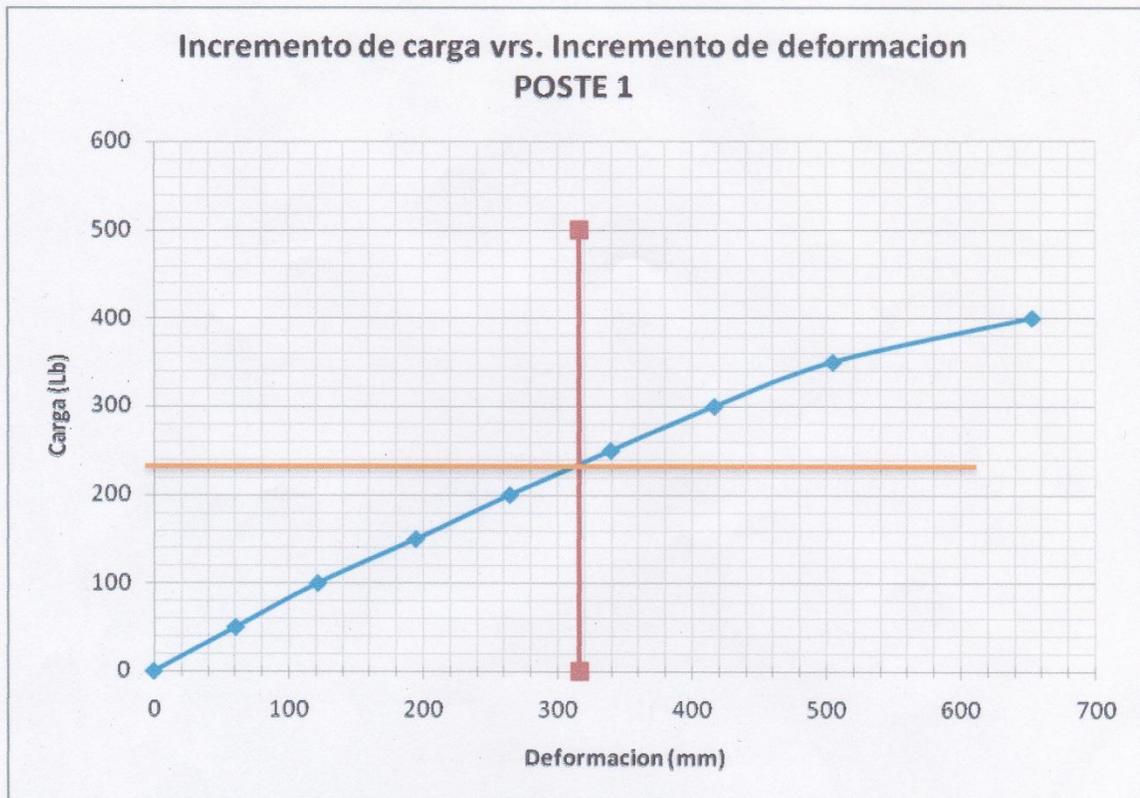
O.T. 30556

Poste No. 3							
Fuerza (Lb)	0%	20%	40%	60%	80%	100%	120%
	Desplazamiento (mm)						
	0 Lb	50 Lb	100 Lb	150 Lb	200 Lb	250 Lb	300 Lb
0	0	0	0	1	5	13	26
50		57	53	55	60	65	90
100			112	113	115	125	140
150				181	181	185	210
200					242	250	275
250						324	345
300							440



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556



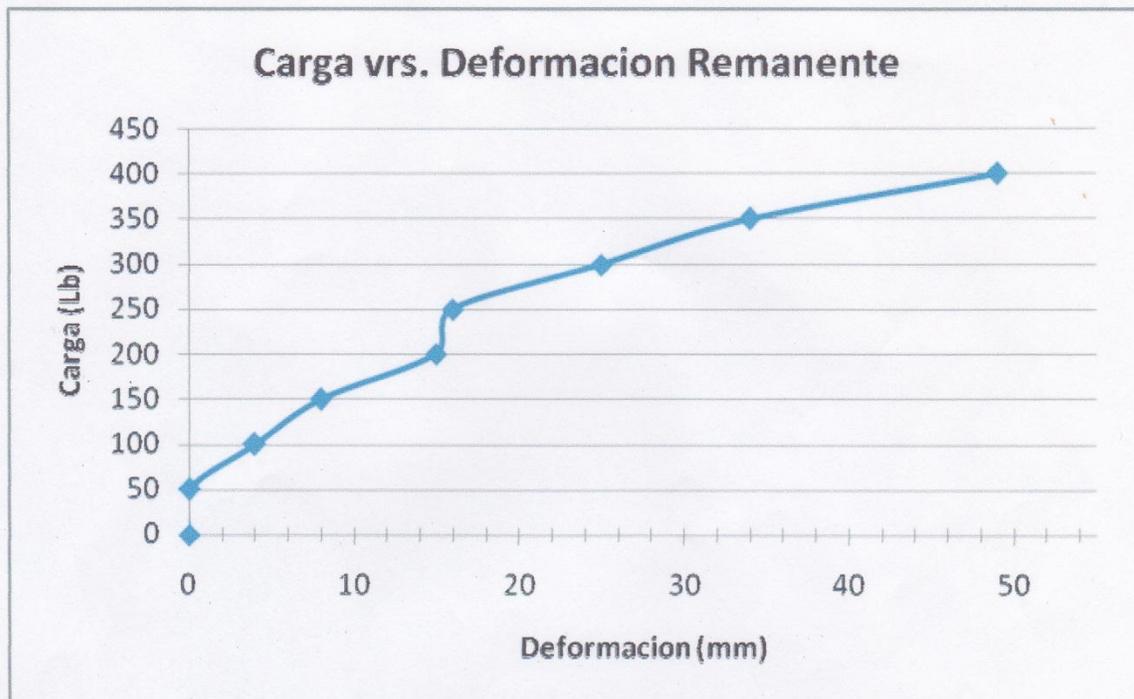
1Kg = 2.2Lb

En la grafica del poste No.1 se muestra el valor de la carga correspondiente a la deformación teórica permitida, el valor mencionado toma en consideración el radio de giro, ya que el poste tiene la forma de trapecoide tronconico. La carga correspondiente a la deformación teórica es del orden de los 220 libras, el valor nominal de diseño del poste es de 264 libras.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556



1Kg = 2.2Lb

En la gráfica del poste No.1 se puede observar la deformación, luego de esperar 2min en la descarga, que:

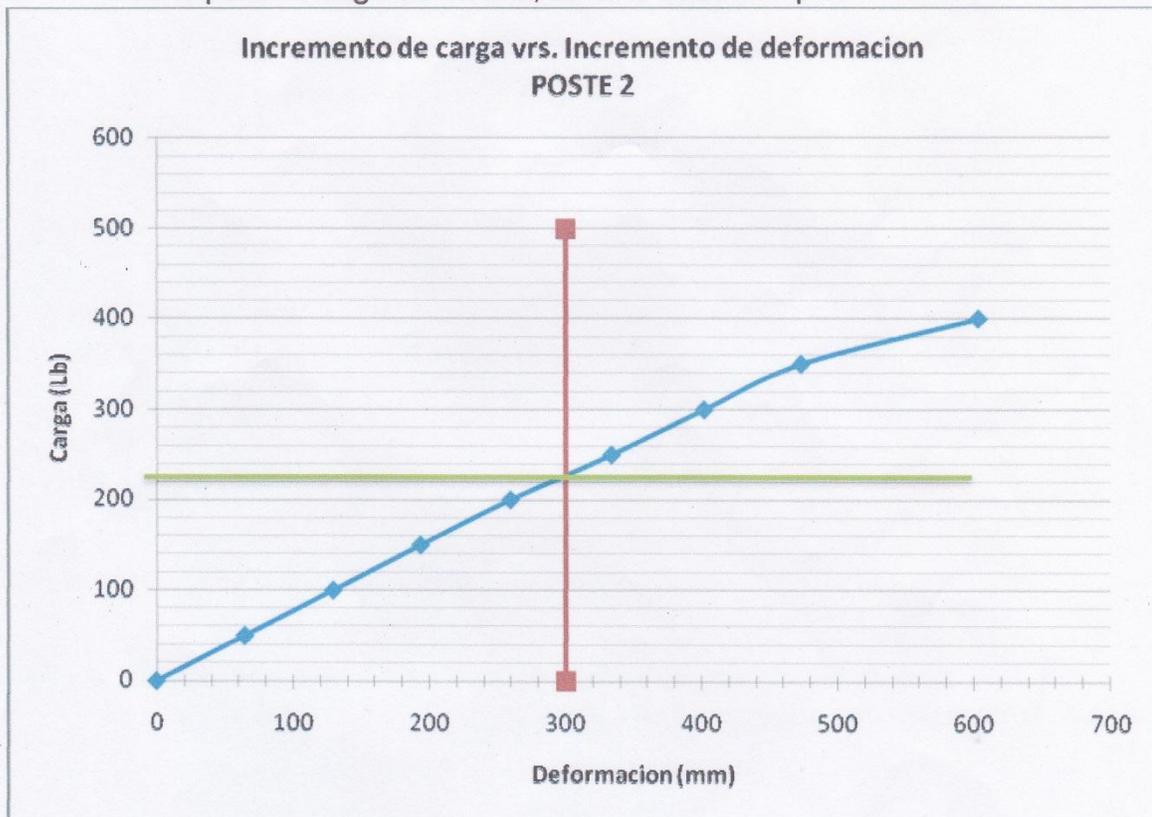
- de 0-50(Lb) el elemento muestra su resiliencia;
- de 50-150 (Lb) el elemento esta en su zona elástica;
- de 150-200(Lb) el elemento entra en su zona elastoplástica,
- de 200-250(Lb) muestra un endurecimiento, como característica de comportamiento plástico;
- de 250(Lb) en adelante eleva su resistencia pero ya esta trabajando en su zona plástica.



Informe No. EPF octubre 2012

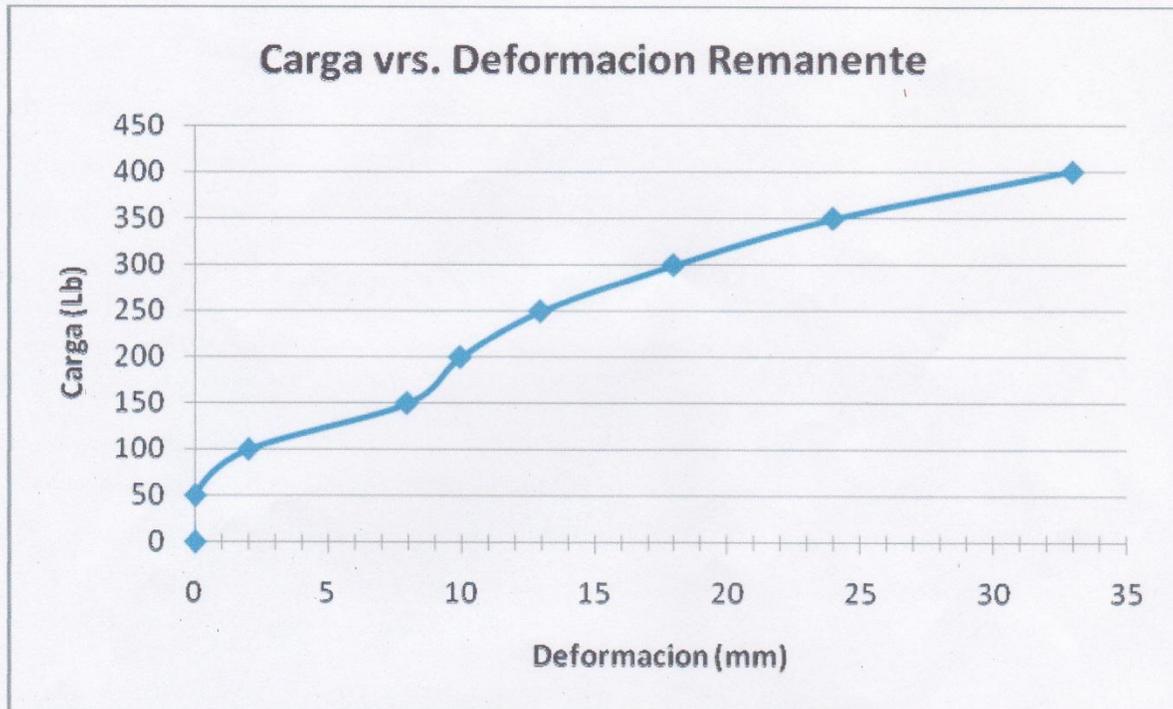
O.T. 30556

- Experimentalmente se ha determinado que el valor límite de deformación remanente es menor al 10% de la deformación de diseño para la carga de diseño, en este caso cumple.



1Kg = 2.2Lb

En la grafica del poste No.2 se muestra el valor de la carga correspondiente a la deformación teórica permitida, el valor mencionado toma en consideración el radio de giro, ya que el poste tiene la forma de trapezoide tronconico. La carga correspondiente a la deformación teórica es del orden de los 222 libras, el valor nominal de diseño del poste es de 264 libras.



1Kg = 2.2Lb

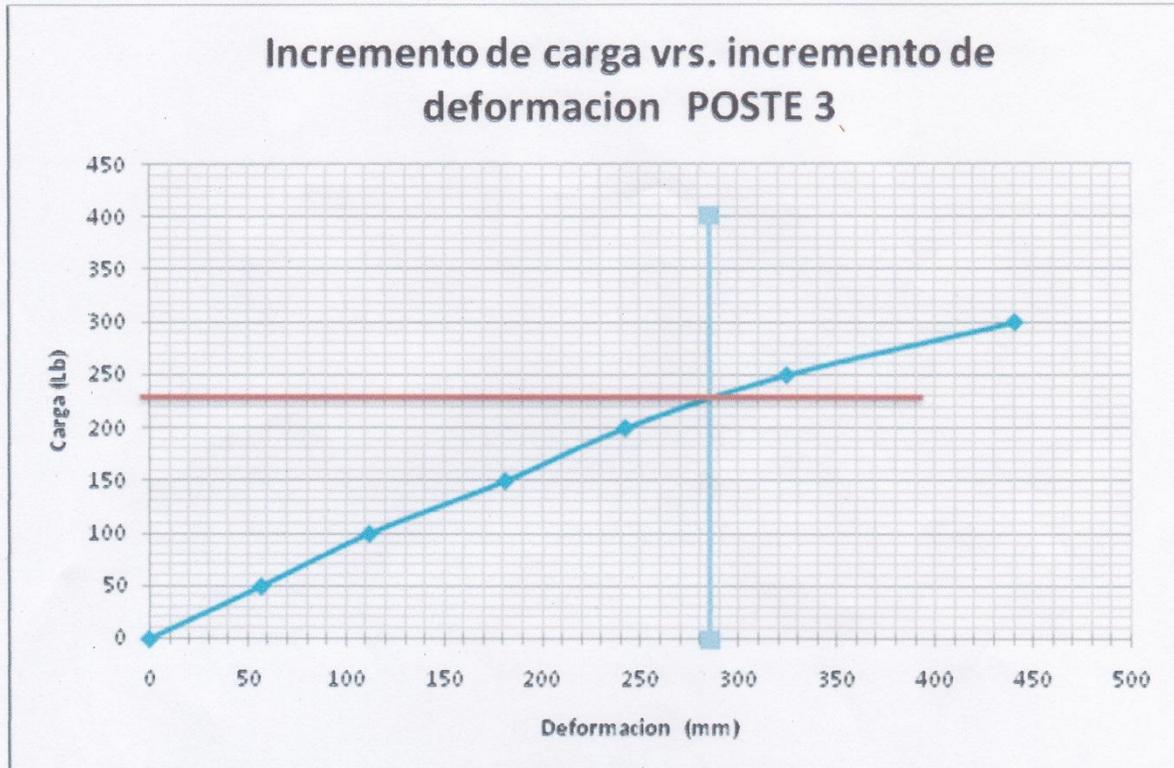
En la gráfica del poste No.1 se puede observar la deformación, luego de esperar 2min en la descarga, que:

- de 0-50(Lb) el elemento muestra su resiliencia;
- de 50-100 (Lb) el elemento esta en su zona elástica;
- de 100-150(Lb) el elemento entra en su zona elastoplástica,
- de 150-200(Lb) muestra un endurecimiento como característica de comportamiento plastico.
- De 200(Lb) en adelante eleva su resistencia pero ya esta trabajando en su zona plástica.
- Experimentalmente se ha determinado que el valor límite de deformación remanente es menor al 10% de la deformación de diseño para la carga de diseño, en este caso cumple.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556



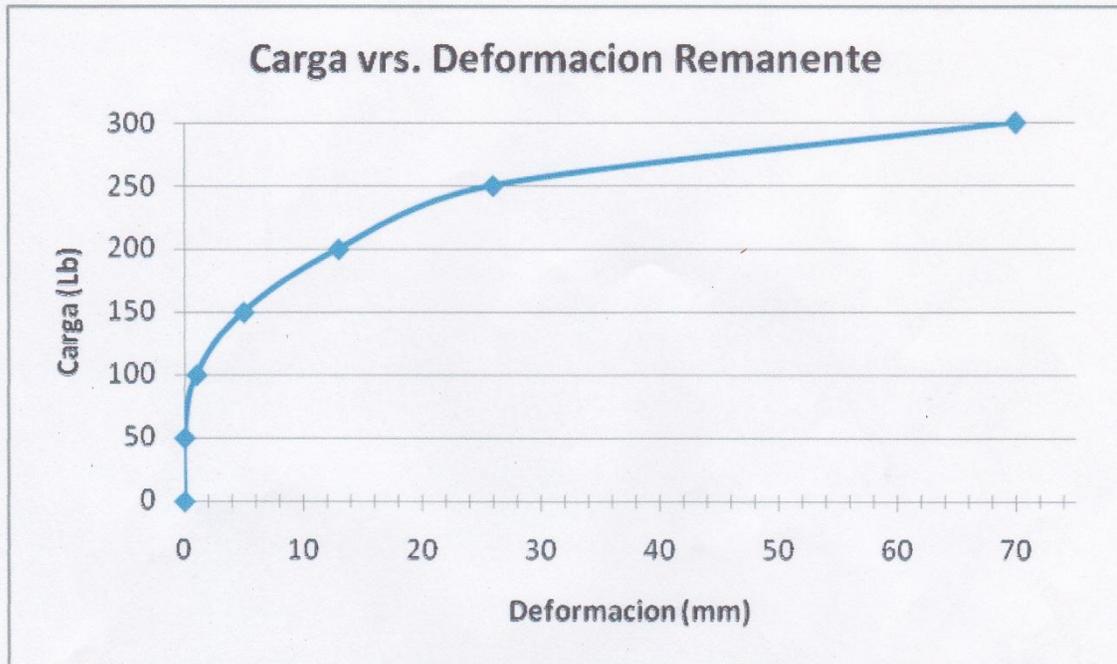
1Kg = 2.2Lb

En la grafica del poste No.3 se muestra el valor de la carga correspondiente a la deformación teórica permitida, el valor mencionado toma en consideración el radio de giro, ya que el poste tiene la forma de trapezoide tronconico. La carga correspondiente a la deformación teórica es del orden de los 230 libras, el valor nominal de diseño del poste es de 264 libras.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556



1Kg = 2.2Lb

En la gráfica del poste No.1 se puede observar la deformación, luego de esperar 2min en la descarga, que:

- de 0-100(Lb) el elemento muestra su resiliencia;
- de 100-150 (Lb) el elemento esta en su zona elástica;
- de 150-200(Lb) el elemento entra en su zona elastoplástica,
- de 200-250 (Lb) muestra endurecimiento, como característica de comportamiento plastico;
- de 250(Lb) en adelante eleva su resistencia pero ya esta trabajando en su zona plástica.



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

- Experimentalmente se ha determinado que el valor límite de deformación remanente es menor al 10% de la deformación de diseño para la carga de diseño, en este caso cumple.

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

Como se puede observar en el reporte de la prueba:

- Los postes no cumplen con la carga de diseño requerida.
- La carga de diseño se encuentra en la zona plástica del material, este comportamiento se presenta en las tres muestras.
- El material de las muestras (acero), presenta un comportamiento blando, permitiendo deformaciones a cargas tempranas, por lo cual no cubre la carga de diseño.
- La deformación remanente que se presenta en las tres muestras, al entrar a su zona plástica, es satisfactoria, ya que es menor al 10% a la de diseño (300mm).
- Se pudo observar que entre mas grandes son los empotramientos de las piezas, mejora su comportamiento como sistema.
- El factor de seguridad al colapso menor registrado es de 1.40



Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

Este ensayo solo representa la calidad de los postes probados.





Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556





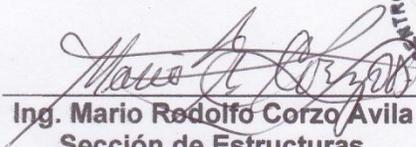
Informe No. EPF octubre 2012

O.T. 30556

CONCLUSIÓN FINAL:

En relación al análisis y en los resultados obtenidos, se determina que la materia prima para la elaboración de los postes debe tener una certificación del porcentaje del contenido de carbono. Así también se recomienda implementar: Molibdeno y Tungsteno. Ya que las propiedades de estos materiales pueden hacer mas eficientes los postes, por las condiciones en las que son expuestos.

Se debe controlar el proceso de Galvanizado, ya que los recubrimientos influyen en la calidad del empotramiento de los postes.


Ing. Mario Redolfo Corzo Avila
Sección de Estructuras



Vo. Bo 
Inga. Qca. Telma Maricela Cano Morales
Directora CII

