



**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

Departamento de Ingeniería Mecánica

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Título del trabajo:

Análisis de estructuras de soporte para señalizaciones viales

Autor del trabajo: Sergio Alejandro Rojas Pérez

Tutor del trabajo: Dr. C. Ing. César Alberto Chagoyén Méndez



Santa Clara, julio 2018  
Copyright©UCLV



Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

**Resumen:**

En el presente trabajo se desarrolla el análisis de una estructura de soporte para señalizaciones viales. Se describen los aspectos generales de la estructura de soporte para la señalización vial. Se determinan las cargas que actúan sobre la estructura de soporte y las combinaciones más críticas para su análisis. Se realiza el cálculo analítico a través de métodos y normas (AISCE) establecidas para ello y se confecciona un modelo similar mediante el método de elementos finitos para complementar los cálculos realizados.

**Abstract:**

In the present work the analysis of a structure of support for road signposting's is developed. Describes the general look of the structure of support for the road signposting. Determined the loads that support the structure and the most critical combinations are calculating. The calculation through analytical methods and by standards established for it (AISCE) was develop. A model of finite element method is built to complement the realized calculations.

# ÍNDICE

Introducción:.....	1
Capítulo 1: Estructuras de soporte .....	5
Introducción .....	5
1.1 Estructura de soporte de señales bajas.....	5
1.2 Estructura de soporte de señales elevadas.....	9
1.2.1 Estudios .....	10
1.2.2 Diseño .....	10
1.3 Materiales más utilizados .....	11
1.4 Efecto de las cargas .....	12
1.4.1 Ráfagas naturales viento.....	13
1.4.2 Ráfagas inducidas por camiones.....	13
1.4.3 Galopeo.....	14
Conclusiones Parciales: .....	16
Capítulo 2: Cálculo analítico de la estructura .....	18
Introducción .....	18
2.1 Contenido.....	18
2.2 Definiciones y suposiciones .....	19
2.3 Cargas muertas.....	23
2.4 Cargas de viento – Extremo I .....	25
2.5 Cargas factoradas y chequeo de resistencia en el Brazo .....	30
2.6 Soldaduras de la Base del Brazo .....	33
2.7 Cargas Factoradas y Chequeo de Resistencia en el Poste .....	33
2.8 Diseño base de la chapa .....	35
2.9 Diseño a Fatiga, definiciones y suposiciones.....	36
2.10 Fatiga por Galopeo.....	36
2.11 Fatiga por ráfagas naturales de viento en la Base del Brazo.....	37
2.12 Fatiga por ráfagas naturales de viento en la Base del Poste .....	40
2.13 Fatiga por ráfagas inducidas por camiones en la Base del Brazo.....	42
2.14 Fatiga por ráfagas inducidas por camiones en la Base del Poste.....	43
2.15 Conexión en la Base del Brazo, detalles y definiciones .....	44
2.16 Conexión en la Base del Poste, detalles y definiciones .....	46
2.17 Chequeo a Fatiga de la Base del Brazo .....	47

2.18 Chequeo a Fatiga de la Base del Poste .....	48
2.19 Automatización de los cálculos para su comprobación y el fácil manejo de sus resultados. ....	49
Conclusiones Parciales: .....	52
Capítulo 3: Modelado y simulación de la estructura de soporte .....	54
Introducción.....	54
3.1. Modelado de la Estructura de soporte: Invariante Geometría.....	54
3.2. Modelado de la Estructura de soporte: Invariante Cargas.....	55
3.3. Software empleado.....	60
3.4. Modelado de la Estructura de soporte: Invariantes Restricciones y Malla .....	61
3.5. Modelado de la Estructura de soporte: Invariante Material .....	62
3.6. Análisis de los resultados de la simulación .....	62
Conclusiones Parciales: .....	67
Conclusiones Generales .....	68
Recomendaciones.....	69
Bibliografía.....	70

## **Introducción:**

Las primeras señales de tráfico datan de la época de los romanos, que fueron los pioneros al establecer un código de señales para orientar al viajero en el tránsito por las calzadas. Estas señales de tráfico romanas se llaman millarios y contaban en millas romanas la distancia desde ese punto a los diferentes destinos que comunicaba la vía o calzada.

Los millarios eran habitualmente grandes columnas de piedra de una pieza en las que se labraba a cincel y en números romanos, por supuesto, los destinos, las distancias, el nombre de la vía y en muchos casos el financiador de tal calzada. Era la red de calzadas más extensa y compleja, abarcaba todos los pueblos mediterráneos y unía la totalidad de las poblaciones de este gran imperio. Los millarios, señales de tráfico de la época, eran los encargados de guiar el tránsito de los viajeros a través del imperio.

Este código de orientación se complementaba con el primer mapa de carreteras conocido. Se trata de un rollo de vitela que ha llegado a nuestros días en una copia realizada en el medievo y que recibe el nombre de Tábula Peutingeriana.

Durante toda la edad media y hasta casi el siglo XX las señales de tráfico de los caminos apenas variaron de los códigos usados por los romanos. Se seguían utilizando mojones de piedra grabados con la información, en todo caso se añadieron cartelones en otros materiales como el hierro o la madera, pero poco más se avanza en este sentido.

Los patrones básicos de las señales de tráfico se establecieron en el 1908 el Congreso Internacional de Carreteras, en Roma. En 1909, nueve gobiernos europeos acordaron el uso de cuatro símbolos pictóricos, lo que indica "golpe", "curva", "intersección", y "a nivel de grado de cruce de ferrocarril". El intenso uso y el crecimiento que las señales de tráfico soportan entre 1926 y 1949, en paralelo al crecimiento del parque automovilístico, condujo al desarrollo del sistema de señales de tráfico de Europa.

En 1968, los países europeos firmaron en la Convención de Viena un Tratado sobre circulación por carretera, con el objetivo de estandarizar las normas de tráfico en los países participantes, facilitar el tráfico internacional por carretera y

aumentar la seguridad vial. Parte del tratado sobre señalización vial, define las señales de tráfico. Como resultado de ello, en Europa Occidental las señales de tráfico están bien estandarizados, aunque todavía hay algunas excepciones específicas de cada país, que datan en su mayoría de la época anterior a 1968. El principio de la norma europea para las señales de tráfico es qué formas y colores se van a utilizar para indicar fines idénticos. Formas triangulares (fondo blanco o amarillo) se utilizan en señales de advertencia. Además, la Convención de Viena permite una forma alternativa para las señales de advertencia, una forma de diamante, que rara vez se utiliza en Europa (véase Irlanda). Las señales de prohibición en Europa son redondas con un borde rojo. Otros signos secundarios informativos y varios son de forma rectangular. En la actualidad el Tratado cuenta con 52 países signatarios, en los que se incluye toda Europa, gran parte de Asia y muchos países africanos.

Estados Unidos desarrolló su propio sistema de señalización vial, que también fue adoptado por otras naciones (con variaciones propias de cada país, este sistema está implementado en toda América y casi la totalidad de Oceanía y algunos países africanos). Los primeros intentos de normalización de las señales de tráfico norteamericanas se producen en 1905. El Automóvil Club Buffalo instaló una extensa red de señales de tráfico en el estado de Nueva York. En 1909, el Club de Automóviles de California emprendió la tarea de señalar las principales carreteras en un radio de 250 millas en torno a San Francisco. A principios de la década de 1920, los representantes de Wisconsin, Minnesota, Indiana y recorrieron varios Estados con la intención de desarrollar una base uniforme de signos y marcas viales. El grupo presentó sus conclusiones a los departamentos de carreteras de la Asociación del Valle de Mississippi (MVASHD) en 1932. De sus esfuerzos nacieron las normas generales para las señales americanas, muchas de las cuales todavía están en uso hoy. En 1932, se crea la primera "Comisión Mixta de Dispositivos Uniformes de Control de Tráfico". En 1935, se publicó la primera guía de normas de tráfico a nivel interestatal (MUTCD). El MUTCD ha crecido y cambiado y ha sido revisado aproximadamente cada diez años para reflejar los cambios.

Con el incremento de los medios de transporte las vías se hicieron mayores y más peligrosas y con estas las señalizaciones de tránsito aumentaron en cuanto a tamaño y cantidad, por lo que el estudio de sus estructuras de soporte comienza a jugar un papel importante para el trabajo ingenieril.

Las estructuras de soporte para las señalizaciones viales son generalmente postes, marcos y armaduras, entre otras, diseñados con la finalidad de soportar y dar rigidez a los tableros y demás elementos que pudieran tener dichas señales, dependen de su tipo, tamaño ubicación y características del terreno, así como de las presiones y succiones debidas al viento a que están sujetas, por lo que se debe elaborar un proyecto particular en cada caso en relación a su cimentación y estructura de soporte. Las estructuras de soporte se clasifican en:

- 1) **Postes.** Perfiles de acero que sostienen las señales bajas o sobre los cuales descansan las estructuras que sostienen las señales elevadas.
- 2) **Estructuras.** Marcos y armaduras construidos con perfiles de acero que sirven para mantener la rigidez y sostener los tableros de las señales. Se clasifican en:
  - a) **Estructura rigidizante.** Estructura compuesta con marcos o largueros que tienen como función rigidizar sus tableros
  - b) **Estructura de soporte tipo bandera.** Cuando las señales se ubican en una orilla del arroyo vial y se integran por un tablero colocado a un solo lado del poste que las sostiene
  - c) **Estructura de soporte tipo doble bandera.** Cuando las señales se integran con dos tableros, uno a cada lado del poste que las sostiene colocadas entre los dos cuerpos del arroyo vial en una bifurcación.
  - d) **Estructura de soporte tipo puente.** Cuando las señales se integran por uno o más tableros, ubicados sobre el arroyo vial y colocados en una estructura apoyada en ambos lados del mismo.

En esta investigación surgen las siguientes interrogantes científicas a resolver:

1. ¿Cuáles serían las principales acciones a considerar y en qué forma combinarlas durante el modelado y análisis de las estructuras de soporte para la señalización vial?
2. ¿Qué aspectos del modelado por invariantes resultan decisivos durante la confección de los esquemas de cálculo para el modelado y análisis de dichas estructuras?
3. ¿Cuál sería la respuesta y el comportamiento de la estructura bajo las principales acciones consideradas y cuales invariantes del modelado deciden su comportamiento?

Para dar respuesta a estas interrogantes se plantea la **hipótesis** de la investigación formulada de la siguiente manera:

“Si se elabora un modelo de la estructura de soporte para la señalización vial lo suficientemente parecido a la estructura real, es posible conocer el comportamiento de la estructura ante las cargas actuantes”

**Objetivo General:**

Determinar el comportamiento de la estructura de soporte para la señalización vial ante las cargas actuantes.

**Objetivos Específicos:**

1. Describir los aspectos generales de la estructura de soporte para la señalización vial.
2. Determinar las cargas que actúan sobre la estructura de soporte (viento natural y ráfagas producidas por los camiones) y las combinaciones más críticas para su análisis.
3. Realizar el cálculo analítico a través de métodos y normas (*AISC*) establecidas para ello.
4. Confeccionar un modelo de elementos finitos y simular la estructura de soporte bajo las cargas determinadas de forma individual y bajo las combinaciones más críticas establecidas.

# Capítulo 1: Estructuras de soporte

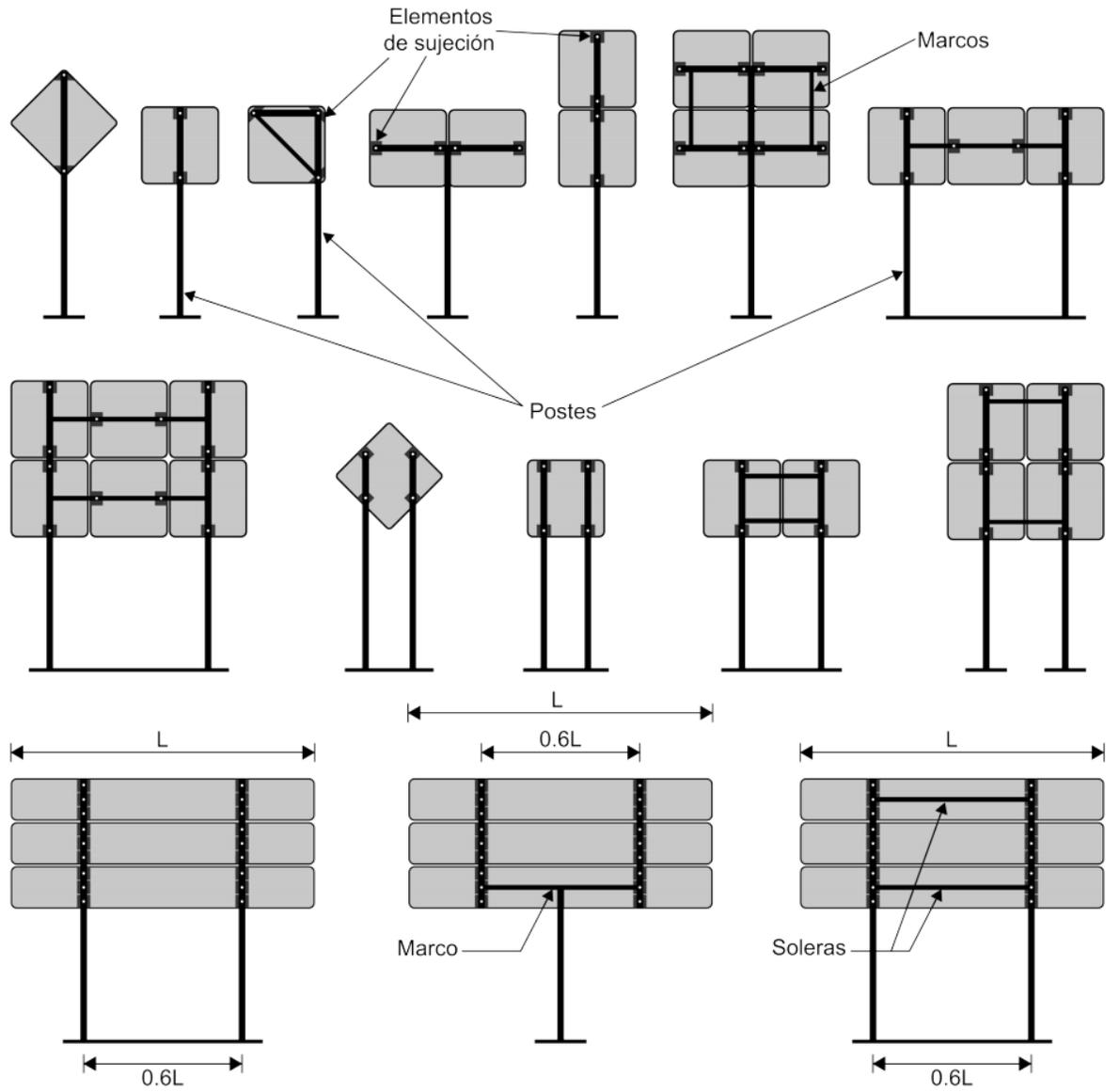
## Introducción

En este capítulo se muestran distintos modelos de estructuras de soporte, así como su clasificación y características de acuerdo a su forma y tamaño. También se describen algunos de los materiales más utilizados en estas estructuras de soporte y se dan a conocer los efectos de las cargas que con más frecuencia afectan a dichas estructuras.

### 1.1 Estructura de soporte de señales bajas

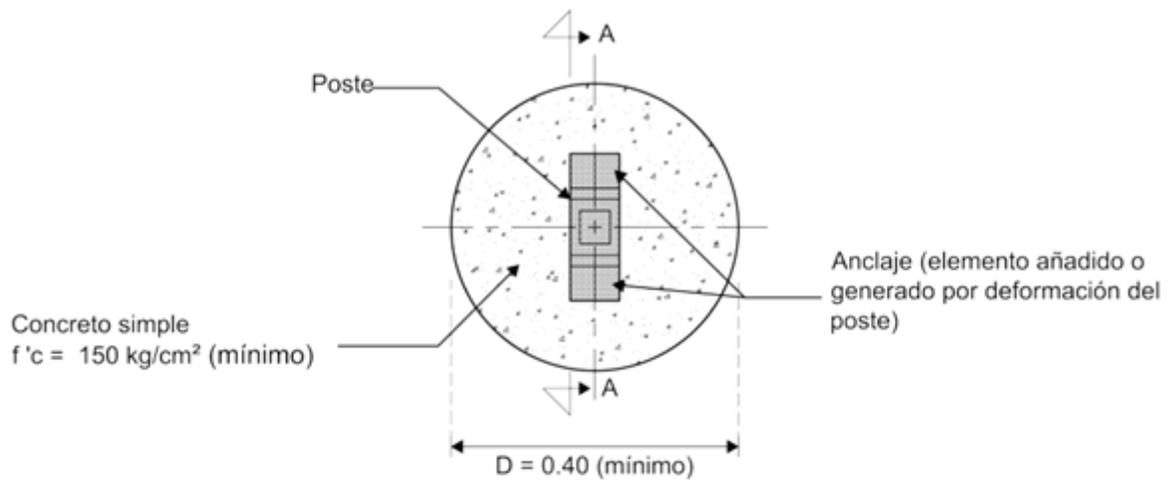
Las señales bajas de acuerdo con su tipo, ubicación y del tamaño del tablero o del conjunto de tableros que la integran, se sujetan en uno o dos postes como se muestra en la Figura 1.1 que pueden ser constituidos por ángulos si las señales son para carreteras o únicamente perfiles tubulares rectangulares de lados iguales cuando sean para zonas urbanas.

Las secciones estructurales para los postes que soportan los tableros de las señales, para carreteras se indican en la Tabla 1.1, y para vialidades urbanas se muestran en la Tabla 1.2, en ambos casos, son las mínimas recomendadas y aplican para condiciones del viento con velocidad menor o igual a 50 km/h, y contemplando que el diseño de la cimentación, se apege a la ilustrada en la Figura 1.2, que muestra las dimensiones mínimas para ésta, en donde se toman en cuenta los parámetros de diseño requeridos y solo en caso de que la señal se ubique fuera del cuerpo del terraplén, se requiere verificar que la capacidad de carga del terreno sea igual o mayor a  $4 \text{ kg/cm}^2$ . La longitud de los postes es la necesaria para que una vez empotrados en el terreno, las señales queden a la altura previamente indicada o la establecida en el proyecto aprobado por la autoridad responsable de la carretera o vialidad urbana. Los tableros, tornillos y perfiles para los postes deben ser de acero galvanizado lo mismo que los elementos que sujetan los tableros a cada poste.

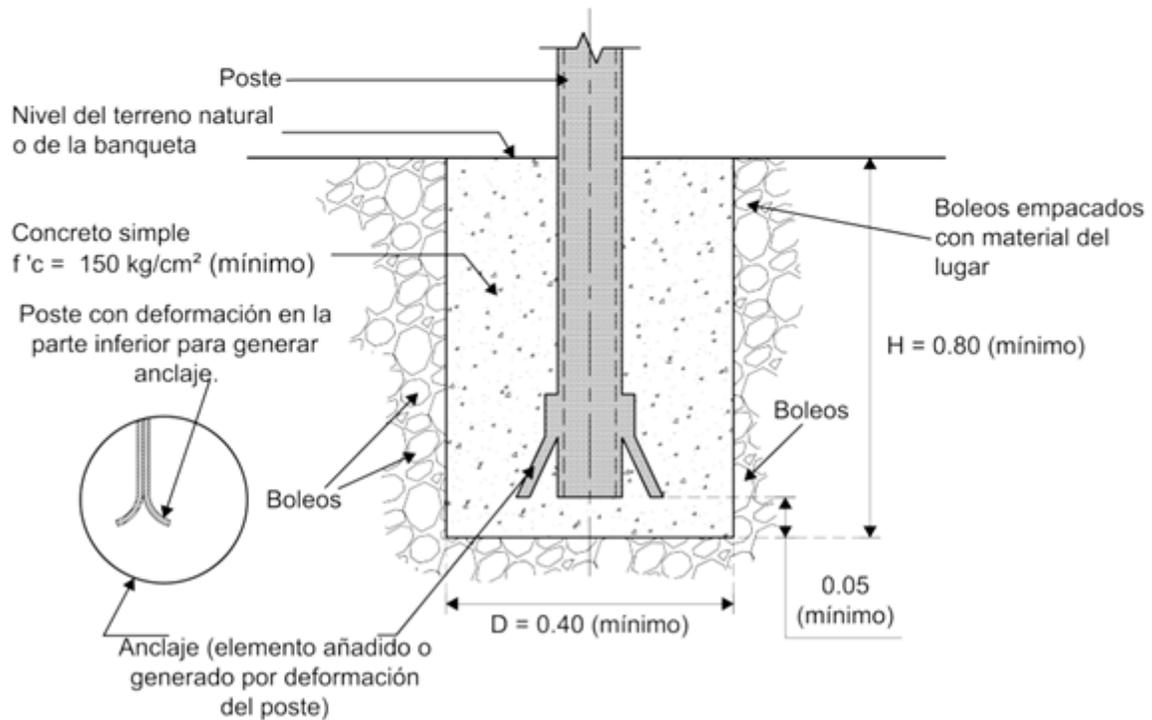


L= Longitud del tablero  
 Dibujos fuera de escala

**Figura 1.1 Disposición de elementos de sujeción para señales bajas**



VISTA SUPERIOR



CORTE A - A ELEVACIÓN

Acotaciones en metros  
Dibujos fuera de escala

Figura 1.2 Cimentación tipo para los postes de las señales bajas

**Tabla 1.1 Secciones estructurales para el soporte de tableros para señales bajas en carreteras**

Tipo de señal	Lado mayor del tablero o ancho del conjunto (cm)	Estructura de soporte		
		Número de postes	Sección del poste (mm)	Sección del marco (mm)
SP SR	hasta 86	1	L 64 x 4	-
	más de 86	2		
STS señal con 1 o 2 (V) tableros	hasta 90	1	L 64 x 4	-
	más de 90	2		
STS señal con 2 (H) o 4 tableros	hasta 90	1	L 64 x 4	L 51 x 5
	más de 90	2		
STS señal con 3 o 6 tableros	hasta 215	2	L 64 x 4	
	más de 215		L 89 x 6	
SID SIR SIG	hasta 239	2	L 89 x 6	-
	hasta 300		L 89 x 6	solera de 25 x 3
SII OD	hasta 60	1	L 51 x 5	-
	más de 60		L 64 x 4	

L Sección en ángulo de lados iguales.

V Disposición vertical de los tableros.

H Disposición horizontal de los tableros.

Las estructuras de soporte para las señales diagramáticas con ancho mayor de 3.66 m dependen de su tamaño, ubicación y características del terreno para su cimentación así como de las presiones y succiones debidas al viento a que están sujetas, por lo que en cada caso se debe elaborar un proyecto particular, como en las señales elevadas.

**Tabla 1.2 Secciones estructurales para soporte de tableros para señales bajas para velocidades del viento de 120 km/h**

<b>Consideraciones básicas de proyecto</b>	
Velocidad regional del viento	120 km/h
Capacidad de carga del terreno	4 kg/cm <sup>2</sup>
Ángulo de fricción interna	30°
Peso volumétrico del suelo	1 800 Kg/m <sup>3</sup>
Altura sobre el nivel del mar	10 m
Temperatura	25.5°C
Altura de la señal sobre el terreno o sobre la banqueta	2.50 m

<b>Señales colocadas en carreteras</b>		
Tipo de señal (Lado mayor del tablero o ancho total del conjunto en cm, Número de postes)	Perfil poste requerido	Cimentación redonda requerida (D x H)
SP (86 x 86,1)	Li (102 x 10)	0.40 x 0.90
SR (150 x 150,2)	Li (102 x 10)	0.40 x 0.85
STS señal con 1 tablero (86 x 86,1)	Li (102 x 10)	0.40 x 0.90
STS señal con 2 (V) tableros (172 x 86,2)	Li (102 x 10)	0.40 x 0.90
STS señal con 2 (H) tableros (172 x 86,2)	Li (102 x 10)	0.40 x 0.90
STS señal con 4 tableros (172 x 172,2)	Li (127 x 13)	0.55 x 0.90
STS señal con 3 tableros (213 x 71,2)	Li (102 x 10)	0.40 x 0.85
STS señal con 6 tableros (258 X 172,2)	Li (152 x 10)	0.55 x 0.85

<b>Señales colocadas en zona urbana</b>		
Tipo de señal (Lado mayor del tablero o ancho total del conjunto en cm, Número de postes)	Perfil poste requerido	Cimentación redonda requerida (D x H)
SP (86 x 86,1)	OR (64 x 6.4)	0.40 x 0.90
SR(86 x 86,1)	OR (64 x 6.4)	0.40 x 0.90
STS señal con 1 tablero (86 x 86,1)	OR (76 x 4.8)	0.40 x 0.90
STS señal con 2 (V) tableros ( 172 x 86,1)	OR (76 x 4.8)	0.40 x 0.90
STS señal con 2 (H) o 4 tableros (172 x 172,1)	OR (89 x 6.4)	0.65 x 0.90
STS señal con 3 ó 6 tableros (258 x 172,1)	OR (102 x 9.5)	0.70 x 0.90

**V** Disposición vertical de los tableros

**H** Disposición horizontal de los tableros.

## 1.2 Estructura de soporte de señales elevadas

Las estructuras de soporte para las señales elevadas dependen de su tipo,

tamaño, ubicación y características del terreno para su cimentación, así como de las presiones y succiones debidas al viento a que están sujetas, por lo que en cada caso se debe elaborar un proyecto particular.

Los tableros, postes, estructuras rigidizantes y de soporte, elementos de sujeción, tornillos y anclas deben ser de acero galvanizado.

Los elementos de sujeción y las estructuras rigidizantes pueden ser soldados al reverso de los tableros, en cuyo caso, las áreas soldadas deben ser limpiadas eliminando cualquier residuo de aceite, grasas y productos corrosivos, y pintadas con 2 capas de pintura rica en zinc, para disminuir el riesgo de corrosión

### **1.2.1 Estudios**

Es necesario contar con un estudio geotécnico del suelo de cimentación en el sitio que se coloca la estructura con objeto de poder determinar la capacidad de carga del suelo, prevenir posibles asentamientos y deformaciones diferenciales, elegir el tipo de cimentación adecuado y recomendar el proceso de construcción más conveniente.

### **1.2.2 Diseño**

Para el diseño de la estructura de soporte de la señal se considera la masa propia y la masa propia más la carga de viento como combinaciones de carga.

Para determinar el factor de seguridad al volteo de la estructura, la presión en la base de apoyo y los esfuerzos generados en los elementos que la integran, se consideran las presiones y succiones debidas al viento según lo establecido en el Manual de Diseño de Obras Civiles, en lo referente a diseño por viento de la Comisión Federal de Electricidad.

Para el diseño de los elementos principales y de las conexiones de la estructura, se toma en cuenta lo establecido en el Manual de diseño de estructuras de acero de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

### 1.3 Materiales más utilizados

La mayoría de las estructuras de soporte son fabricadas de tubos, perfiles angulares, y chapas, ya sean de aluminio o acero. Las especificaciones de los materiales más usados comúnmente se muestran en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3 Especificación de Materiales**

Structural Steel	ASTM A36, A572 or A709 (or AASHTO equivalent)
Structural Steel (Weathering)	ASTM A572 W or A588
Steel Tubing	ASTM A500
Steel Pipe	ASTM A53, Grade B; A595 A, A135, API 52
Aluminum	
Alloy and Temper 5083 - H111/H321 5456 - H111/H116/H321 6061 - T6/T651 6063 - T5/T6	ASTM B209, B210, B211, B221, B241, B247, B308, B429

Los materiales a base de aluminio están disponibles en una colección variada de aleaciones y temples como es visto en Tabla 1.3. Las aleaciones 6061-T6 y 6063-T5 son las más usadas comúnmente. Para aumentar la resistencia, el aluminio es aleado con otros elementos, y para la serie de la T se les realiza un tratamiento térmico. Cuando estos materiales con tratamientos térmicos son usados en estructuras soldadas, el valor de las tensiones admisibles disminuye debido al calor suministrado por la soldadura. El aluminio es ligero y resistente a la corrosión, lo cual trae buenos resultados en su uso en estructuras auxiliares. Sin embargo, la resistencia a la fatiga del aluminio es sólo aproximadamente el 40 por ciento que la de los aceros con límites de resistencia comparables, y el módulo de elasticidad es una tercera parte del de los aceros, lo cual incrementa las deflexiones en los miembros.

Los fabricantes de estructuras de aluminio generalmente utilizan uniones soldadas. Los electrodos de soldadura son seleccionados de forma que concuerden con el metal base, y la soldadura se realiza conforme al código ASW D1.2 "Structural Welding Code Aluminum". Los tubos redondos son comúnmente

usados en la fabricación de ambos tipos de estructuras, tanto de aluminio como de acero, ya que proveen a la estructura:

- Buena resistencia a la flexión en torno a cualquier eje.
- Secciones eficientes para cargas de compresión.
- Bajos coeficientes de arrastre y cargas de viento asociadas.
- Buena resistencia a la torsión.

#### **1.4 Efecto de las cargas**

Las cargas de diseño para las estructuras incluyen: cargas muertas y vivas, cargas de hielo, y cargas de viento, siendo estas últimas las que mayor influencia tienen en el diseño.

La carga muerta incluye el peso propio del soporte estructural, así como también el peso de las señales, las luminarias y semáforos, carteles informativos y cualquier otro dispositivo o accesorios permanentemente conectado a la estructura. Las cargas temporales que pueden ocurrir durante el mantenimiento también deben ser consideradas como cargas muertas.

Las cargas de hielo se tienen en cuenta considerando un espesor de hielo equivalente a 0.60 pulgadas aplicado a todas las superficies, pues las estructuras localizadas en zonas donde nieva se consideran vulnerables a esta carga.

Los tres fenómenos de cargas del viento principales que pueden conducir a la vibración y la fatiga son: las ráfagas naturales, las ráfagas inducidas por camiones, y el galopeo. Cada tipo de estructura puede ser susceptible a una o varias de estas cargas, como son mostradas en la Tabla 1.4. La interacción de una estructura de soporte con el viento depende de su rigidez y su forma. Por ejemplo, el galopeo puede ocurrir en estructuras voladizas y no en estructuras con forma de puente.

**Tabla 1.4 Susceptibilidad de distintos tipos de estructuras de soporte a varios fenómenos de cargas de viento.**

Type of Structure	Galloping	Natural Wind	Truck Gusts
Cantilevered Sign (one- or two-chord)	X	X	X
Cantilevered Sign (four-chord)		X	X
Bridge Support (Sign or Signal)		X	X
Cantilevered Signal	X	X	X
Luminaires		X	

#### **1.4.1 Ráfagas naturales viento**

Las vibraciones más comúnmente inducidas en las estructuras de soporte son debido a las ráfagas naturales de viento. Estas son llamadas ráfagas naturales para distinguirlas de las ráfagas inducidas por camiones. Las ráfagas naturales ejercen una fuerza fluctuante que es principalmente horizontal, por lo que el movimiento resultante del brazo también lo es, aunque también puede aparecer un movimiento vertical igualmente significativo. La presión de las ráfagas naturales es aplicada horizontalmente en el área frontal proyectada por todas las superficies, incluyendo los miembros estructurales y las señales.

En casos donde el agrietamiento por fatiga ocurre debido a ráfagas naturales, este se desarrolla en un período de tiempo relativamente corto. En los voladizos las grietas usualmente se manifiestan en la conexión del brazo con el poste con grietas que se forman a lo largo de la conexión. Como se muestra en Tabla 1.4, todos los tipos de estructura son potencialmente susceptibles a las ráfagas naturales de viento ya que estas actúan sobre todos los miembros de la estructura.

Las estructuras son más susceptibles a las vibraciones en áreas donde hace mucho viento. Estos son lugares donde el término medio de la velocidad del viento anual es mayor que 5 m/s (10 millas por hora). En estos lugares donde hay vientos frecuentemente constantes, las estructuras de soporte corren riesgo de fallar por fatiga. En los lugares donde la velocidad del viento alcanza valores máximos, pero no constantes, la posibilidad de falla por fatiga es mínima.

#### **1.4.2 Ráfagas inducidas por camiones**

El paso de camiones bajo las estructuras de soporte induce cargas horizontales y verticales, estas no crean un movimiento primordialmente vertical, sino que

también pueden incluir un componente horizontal igualmente significativo. Debido al gran tamaño de los carteles y señales, las estructuras de soporte son más susceptibles para la fatiga inducida por ráfagas de camiones ya que le donan una gran área en el plano horizontal, como es visto en la Figura 1.3.



**Figura 1.3 Camión pasando por debajo de una estructura de soporte.**

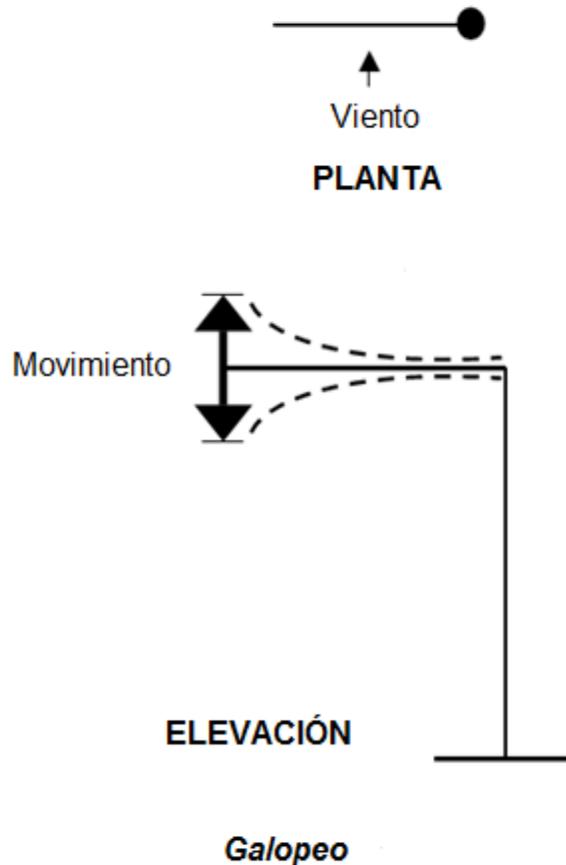
En la fatiga causada por ráfagas inducidas por camiones usualmente las grietas se desarrollan en la conexión del brazo con el poste y en la base del poste (unión soldada de la chapa en la base del poste), esto ocurre en un período de varios años.

La presión producida por el camión es proporcional a la velocidad que este lleve. Por lo que las señalizaciones localizadas en carreteras principales son más susceptibles que las que se encuentran donde los camiones viajan a menores velocidades.

### **1.4.3 Galopeo**

Las acciones del galopeo provocan la aparición de oscilaciones en dirección perpendicular a la del flujo del viento como se muestra en Figura 1.4. A diferencia de otros efectos este ocurre en miembros asimétricos (señales, letreros y otros anexos). Por

consiguiente, el brazo es más susceptible al galopeo que el poste. En ocasiones el galopeo ha causado que brazos de ciertas estructuras se muevan de arriba abajo con un rango mayor que 1 metro.



**Figura 1.4 Efectos del viento.**

El galopeo depende del número de carteles y señales, su configuración, su área, los detalles de la conexión y la dirección del flujo del viento tienen una significativa influencia en la susceptibilidad de las estructuras a fallar por esta causa. Para que este fenómeno ocurra se requieren vientos estables y uniformes en vez de ráfagas fuertes e inestables. Las cargas galopantes son realmente severas, por lo que cuando se tienen en cuenta, prácticamente gobernarán el diseño por fatiga. Por consiguiente, los dispositivos de amortiguación tienen un costo-beneficio significativo al reducir los efectos del galopeo, contrario a sus efectos ante las

ráfagas de viento natural o de camiones.

En la mayoría de los casos que han sido investigados, las grietas de fatiga provocadas por galopeo se desarrollan durante una larga temporada de un año o más donde ocurrieron varios días de vientos hostigadores.

**Conclusiones Parciales:**

- Existe una gran variedad de estructuras de soporte para señalizaciones divididas en dos grupos principales: altas y bajas. En este trabajo se realizará el cálculo de una estructura elevada.
- Los materiales más empleados en estas estructuras son a base de aluminio debido al bajo peso que poseen. La rigidez se busca con la geometría de la estructura.
- Las cargas que se tienen en cuenta fundamentalmente en estas estructuras son las cargas muertas, las vivas, de hielo y debido al viento. Las cargas muertas se refieren al peso propio mientras que las de viento provocan vibraciones y fatiga debido a: las ráfagas naturales, las ráfagas inducidas por los camiones y el galopeo.



## Capítulo 2: Cálculo analítico de la estructura

### Introducción

En este capítulo se describe la metodología de cálculo de manera analítica según *AISC*. En la medida que se exponen las expresiones de cálculo se evalúa una estructura de soporte de señalizaciones de tránsito localizada en Chicago, Illinois, USA, que permite la comprobación de dichas expresiones las cuales fueron programadas en una hoja de cálculo Excel.

La estructura presenta tres semáforos y cuatro señales. La geometría, posición y peso de los semáforos y señales son provistos a lo largo del capítulo. En la localización de la estructura ocurren vientos frecuentes por lo que el estado de fatiga límite debe ser comprobado. La estructura está localizada en una autopista donde el límite de velocidad es de 45 mph.

### 2.1 Contenido

#### ***Cálculos Generales:***

- Definiciones y suposiciones.
- Cargas muertas.
- Cargas de viento – Extremo I
- Cargas factoradas y chequeo de resistencia en el Brazo.
- Soldaduras de la Base del Brazo.
- Cargas factoradas y chequeo de resistencia en el Poste.
- Diseño Base Chapa.
- Diseño a Fatiga, definiciones y suposiciones.
- Fatiga por Galopeo.
- Fatiga por ráfagas naturales de viento en la Base del Brazo.
- Fatiga por ráfagas naturales de viento en la Base del Poste.
- Fatiga por ráfagas inducidas por camiones en la Base del Brazo.
- Fatiga por ráfagas inducidas por camiones en la Base del Poste.
- Conexión en la Base del Brazo, detalles y definiciones.
- Conexión en la Base del Poste, detalles y definiciones.
- Chequeo a Fatiga de la Base del Brazo.

- Chequeo a Fatiga de la Base del Poste.

En la Figura 2.1 aparecen las dimensiones geométricas de la estructura a calcular.

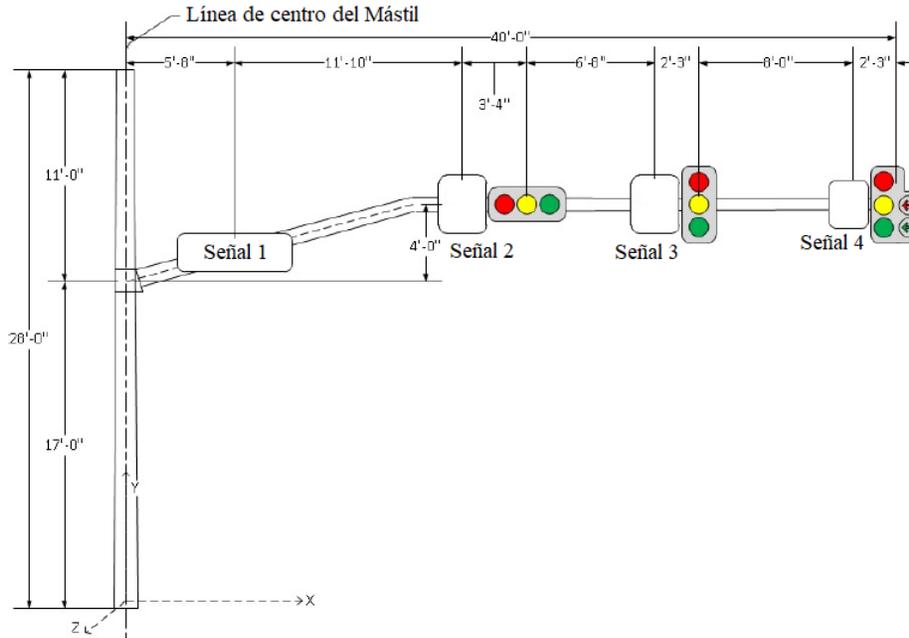


Figura 2.1 Dimensiones geométricas de la estructura a calcular.

## 2.2 Definiciones y suposiciones

**Definición de las propiedades conocidas:**

**Características del Material:**

$$E_s = 29000 \text{ ksi} \quad F_y = 48 \text{ ksi} \quad \gamma_{steel} = 490 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3} \quad \gamma_{ice} = 56.8 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

**Datos Geométricos y peso propio:**

$$\text{Arm\_taper} = 0.14 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \quad t_{\text{arm}} = 0.3125 \text{ in} \quad t_{\text{pole}} = 0.3125 \text{ in}$$

$$\text{Arm\_base\_diameter} = 12 \text{ in} \quad t_{\text{ice}} = 0.75 \text{ in}$$

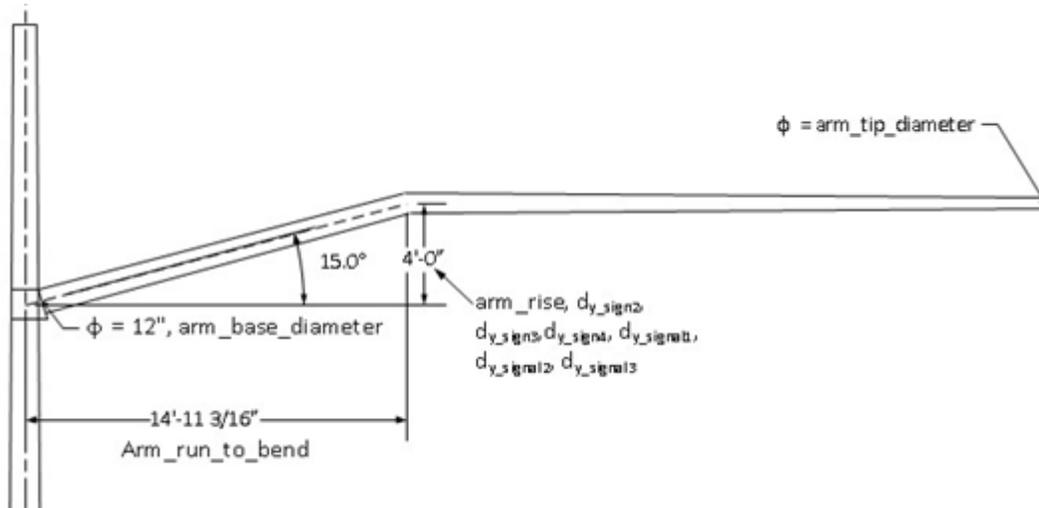
$$d_{\text{arm\_base\_out}} = \text{Arm\_base\_diameter} + t_{\text{arm}} = 12.31 \text{ in}$$

$$d_{\text{arm\_base\_out\_ice}} = \text{Arm\_base\_diameter} + t_{\text{arm}} + 2 \cdot t_{\text{ice}} = 13.81 \text{ in}$$

$$\text{Arm\_end\_mast\_CL\_length} = 39.05 \text{ ft} \quad d_{\text{arm\_base}} = \text{Arm\_base\_diameter} = 1 \text{ ft}$$

$$\text{Arm\_angle} = 15 \text{ deg}$$

$$\text{Arm\_rise} = 4.00 \text{ ft}$$



**Figura 2.2 Características geométricas de brazo de la estructura.**

Se adiciona 1 pie al momento del brazo debido al espesor de la conexión y al diámetro del mástil.

$$t_{\text{connection}} = 1 \text{ ft} \quad h_{\text{arm}} = 17 \text{ ft}$$

Los datos se guardan en un vector para la conveniencia computacional y la claridad de lectura.

$$\text{Signals} = 1..3$$

$$P_{\text{signals}} = \begin{pmatrix} 50 \\ 50 \\ 80 \end{pmatrix} \text{ lbf} \quad d_{x_{\text{signals}}} = \begin{pmatrix} 20.83 \\ 29.75 \\ 40 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{y_{\text{signals}}} = \begin{pmatrix} 4.0 \\ 4.0 \\ 4.0 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad A_{\text{signals}}$$

$$= \begin{pmatrix} 8.7 \\ 8.7 \\ 13.0 \end{pmatrix} \text{ ft}^2$$

$$d_{x_{\text{signals\_pole}}} = d_{x_{\text{signals}}} + t_{\text{connection}} = \begin{pmatrix} 21.83 \\ 30.75 \\ 41 \end{pmatrix}$$

$$d_{y_{\text{signals\_pole}}} = d_{y_{\text{signals}}} + h_{\text{arm}} = \begin{pmatrix} 21 \\ 21 \\ 21 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

Signs = 1..4

$$P_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 22 \\ 15 \\ 15 \\ 10 \end{pmatrix} \text{ lbf} \quad d_{x_{\text{signs}}} = \begin{pmatrix} 15.67 \\ 17.5 \\ 27.5 \\ 37.75 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{y_{\text{signs}1}} = d_{x_{\text{signs}1}} \cdot \tan(15 \text{ deg}) = 1.52 \text{ ft}$$

$$d_{y_{\text{signs}}} = \begin{pmatrix} 1.52 \\ 4.0 \\ 4.0 \\ 4.0 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad A_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 12 \\ 7.5 \\ 7.5 \\ 5.0 \end{pmatrix} \text{ ft}^2$$

$$d_{x_{\text{signs\_pole}}} = d_{x_{\text{signs}}} + t_{\text{connection}} = \begin{pmatrix} 6.67 \\ 18.5 \\ 28.5 \\ 38.75 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad l_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 72 \\ 30 \\ 30 \\ 24 \end{pmatrix} \text{ in}$$

$$d_{y_{\text{signs\_pole}}} = d_{y_{\text{signs}}} + h_{\text{arm}} = \begin{pmatrix} 18.52 \\ 21 \\ 21 \\ 21 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad w_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 24 \\ 36 \\ 36 \\ 30 \end{pmatrix} \text{ in}$$

$$l_{\text{luminaire\_arm}} = 20 \cdot d_{\text{luminaire\_arm}} := 3.8 \text{ in} \quad A_{\text{luminaire}} = 3.3 \text{ ft}^2$$

$$d_{\text{pole\_base}} = 15 \text{ in} \quad \text{Pole\_taper} = 0.14 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \quad h_{\text{pole}} = 28 \text{ ft}$$

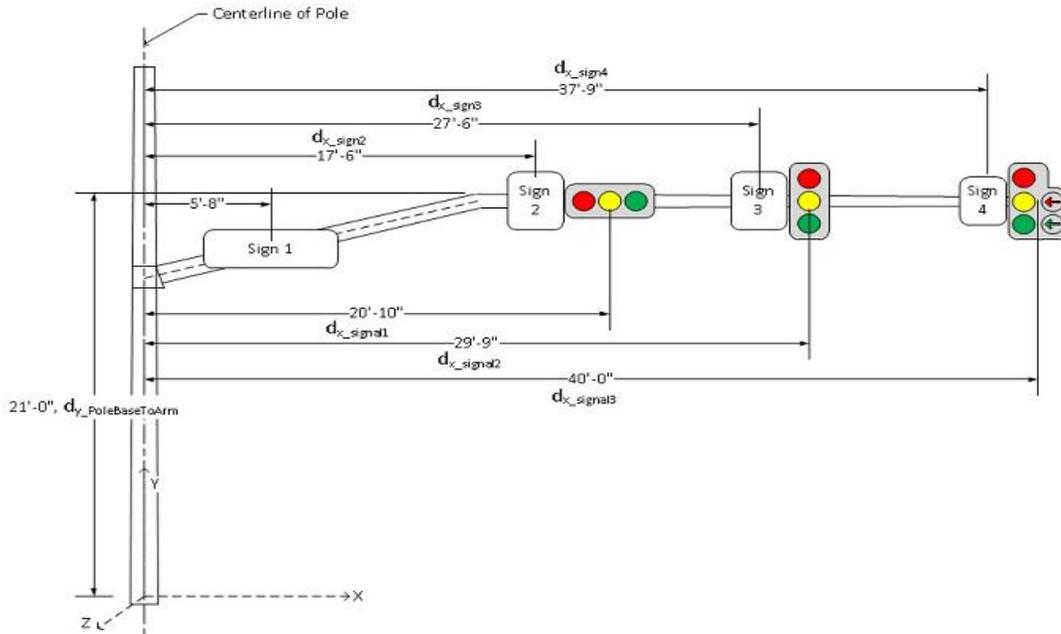
$$d_{\text{pole\_tip}} = d_{\text{pole\_base}} - (\text{Pole\_taper} \cdot h_{\text{pole}}) = 11.08 \text{ in}$$

$$d_{\text{pole\_base\_out}} = d_{\text{pole\_base}} + t_{\text{pole}} = 15.31 \text{ in}$$

$$d_{\text{pole\_tip\_out}} = d_{\text{pole\_tip}} + t_{\text{pole}} = 11.39 \text{ in}$$

$$h_{\text{luminaire}} = 31.75 \text{ ft}$$

$$d_{y_{\text{PoleBaseToArmBase}}} = 17 \text{ ft}$$



**Figura 2.3 Ubicación de los anexos.**

**Datos de las cargas:**

Cargas de viento:

MRI = 700      Intervalo de recurrencia media para una estructura típica.

G = 1.14      Factor efecto de las ráfagas, valor mínimo.

V = 115      Velocidad básica del viento.

K<sub>d</sub> = 0.85      Factor direccional.

**Tabla 2.1 Factor Direccional, K<sub>d</sub>.**

Support Type	Directionality Factor
High-mast and Pole	
Round	0.95
Square	0.9
Octagonal	0.95
Dodecagonal	0.95
Hexdecagonal	0.95
Traffic Signal	0.85
Dynamic Message Sign	0.85
Overhead Frame/Truss	0.85
Support with horizontal arms or members supporting sign and/or signals	0.85

**Cargas y factores de resistencia:**

**Tabla 2.2 Combinaciones y factor de carga**

Load Combination Limit State	Description	Reference Articles	Permanent		Transient			Fatigue			
			Dead Components (DC)	Live Load (LL)	Wind (W)	Truck Gust (TrG)	Natural Wind Gust Vibration (NWG)	Vortex-Induced Vibration (VIV)	Combined Wind on High-level Towers	Galloping Induced Vibration (GVV)	
			Max/Min	Mean							Apply separately
Strength I	Gravity	3.5, 3.6, and 3.7	1.25		1.6						
Extreme I	Wind	3.5, 3.8, 3.9	1.1/0.9			1.0 <sup>a</sup>					
Service I	Translation	10.4		1.0		1.0 <sup>b</sup>					
Service III	Crack control for Prestressed Concrete			1.0		1.00					
Fatigue I	Infinite-life	11.7		1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Fatigue II	Evaluation	17.5		1.0			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0

a. Use Figures 3.8-1, 3.8-2, or 3.8-3 (for appropriate return period)  
b. Use wind map 3.8-4 (service)

**Fatiga:**

$$v_{\text{mean}} = 12.9 \text{ mph} \quad I_{\text{Fnw}} = 0.80 \quad \text{Factor de Importancia de Velocidad del Viento Natural}$$

$$I_{\text{Ftg}} = 0.85 \quad \text{Factor de Ráfagas inducidas por camiones}$$

$$\gamma_{\text{DC\_E\_I}} = 1.10 \quad \gamma_{\text{DC\_Fatigue}} = 1.00 \quad \gamma_{\text{wind\_E\_I}} = 1.0$$

**Factores de resistencia:**

$$\phi_{\text{flexure}} = 0.90 \quad \phi_{\text{shear}} = 0.90 \quad \phi_{\text{weld}} = 0.75 \quad \phi_{\text{torsion}} = 0.95$$

$$\phi_{\text{axial}} = 0.90 \quad \phi_{\text{bolt\_tension}} = 0.75 \quad \phi_{\text{bolt\_shear}} = 0.33$$

**2.3 Cargas muertas**

**Peso y acciones del brazo:**

$$\text{Arm\_length\_to\_bend} = \frac{\text{Arm\_rise}}{\sin(\text{Arm\_angle})}$$

$$\text{Arm\_length\_to\_bend} = 15.45 \text{ ft}$$

$$\text{Arm\_run\_to\_bend} = \text{Arm\_length\_to\_bend} \cdot \cos(\text{Arm\_angle})$$

$$\text{Arm\_run\_to\_bend} = 14.93 \text{ ft}$$

$$\text{Arm\_length} = \text{Arm\_end\_mast\_CL\_length} + \text{Arm\_length\_to\_bend} - \text{Arm\_run\_to\_bend}$$

$$\text{Arm\_length} = 39.58 \text{ ft}$$

$$\text{Arm\_tip\_diameter} = \text{Arm\_base\_diameter} - \text{Arm\_length} \cdot (\text{Arm\_taper})$$

$$d_{\text{arm\_tip\_out}} = \text{Arm\_tip\_diameter} + t_{\text{arm}} = 6.77 \text{ in}$$

$$d_{\text{arm\_tip\_out\_ice}} = \text{Arm\_tip\_diameter} + t_{\text{arm}} + 2 \cdot t_{\text{ice}} = 8.27 \text{ in}$$

$$\text{Arm\_tip\_diameter} = 6.46 \text{ in}$$

$$\text{Average\_diameter} = (\text{Arm\_base\_diameter} + \text{Arm\_tip\_diameter}) / 2.0$$

$$\text{Average\_diameter} = 9.23 \text{ in}$$

Cálculo del centro de gravedad del brazo del mástil. Se asume que es un trapecio, sin considerar la curvatura del brazo.

$$h_{\text{trap}} = \text{Arm\_length} \quad a_{\text{trap}} = \text{Arm\_tip\_diam} \quad b_{\text{trap}} = \text{Arm\_base\_diameter}$$

$$x_{\text{bar}}_{\text{arm}} = \frac{b_{\text{trap}} + 2 \cdot a_{\text{trap}}}{3(a_{\text{trap}} + b_{\text{trap}})} \cdot h_{\text{trap}} = 17.81 \text{ ft}$$

$$A_{\text{arm\_average}} = \frac{\pi}{4} [(\text{Average\_diameter})^2 - (\text{Average\_diameter} - t_{\text{arm}} \cdot 2)^2]$$

$$A_{\text{arm\_average}} = 8.75 \text{ in}^2$$

$$P_{\text{arm}} = A_{\text{arm\_average}} \cdot \text{Arm\_length} \cdot \gamma_{\text{steel}} \quad P_{\text{arm}} = 1.18 \text{ kip}$$

$$M_{\text{dead\_arm}} = P_{\text{arm}} \cdot x_{\text{bar}}_{\text{arm}} \quad M_{\text{dead\_arm}} = 21 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

### Peso y acciones de las señales:

$$P_{\text{signals}} = \begin{pmatrix} 50 \\ 50 \\ 80 \end{pmatrix} \text{ lbf} \quad d_{x_{\text{signals}}} = \begin{pmatrix} 20.83 \\ 29.75 \\ 40 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$M_{z_{\text{dead\_signals}}} = \frac{\overrightarrow{(P_{\text{signals}} \cdot d_{x_{\text{signals}}})}}{(P_{\text{signals}} \cdot d_{x_{\text{signals}}})} = \begin{pmatrix} 1.04 \\ 1.49 \\ 3.2 \end{pmatrix} \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

### Peso y acciones de los letreros:

$$P_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 22 \\ 15 \\ 15 \\ 10 \end{pmatrix} \text{ lbf} \quad d_{x_{\text{signs}}} = \begin{pmatrix} 5.67 \\ 17.5 \\ 27.5 \\ 37.75 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$M_{z\_dead\_signs} = \frac{\longrightarrow}{(P_{signs} \cdot d_{x\_signs})} = \begin{pmatrix} 0.12 \\ 0.26 \\ 0.41 \\ 0.38 \end{pmatrix} \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

### Acciones en la base del poste:

$$d_{x\_signals\_pole} = \begin{pmatrix} 21.83 \\ 30.75 \\ 41 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{x\_signals\_pole} = \begin{pmatrix} 6.67 \\ 18.5 \\ 28.5 \\ 38.75 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$M_{z\_dead\_signals\_p} = \frac{\longrightarrow}{(P_{signals} \cdot d_{x\_signals\_pole})} = \begin{pmatrix} 1.09 \\ 1.54 \\ 3.28 \end{pmatrix} \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$M_{z\_dead\_signs\_p} = \frac{\longrightarrow}{(P_{signs} \cdot d_{x\_signals\_pole})} = \begin{pmatrix} 0.15 \\ 0.28 \\ 0.43 \\ 0.39 \end{pmatrix} \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

$$d_{pole\_base} = 15 \text{ in} \quad h_{pole} = 28 \text{ ft} \quad Pole\_taper = 0.14 \frac{\text{in}}{\text{ft}} \quad d_{pole\_tip} = 11.08 \text{ in}$$

$$d_{pole\_average} = \frac{d_{pole\_base} + d_{pole\_tip}}{2} = 1.09 \text{ ft} \quad t_{pole} = 0.03 \text{ ft}$$

$$P_{pole} = \pi \cdot d_{pole\_average} \cdot t_{pole} \cdot h_{pole} \cdot \gamma_{steel} = 1.22 \text{ kip}$$

### Acción total de las cargas muertas en la base del brazo:

$$P_{dead\_total} = P_{arm} + \sum P_{signals} + \sum P_{signs} = 1.42 \text{ kip}$$

$$M_{dead\_total} = M_{dead\_arm} + \sum M_{z\_dead\_signals} + \sum M_{z\_dead\_signs} = 27.9 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

### Acción total de las cargas muertas en la base del poste:

$$P_{dead\_total\_p} = P_{arm} + P_{pole} + \sum P_{signals} + \sum P_{signs} = 2.64 \text{ kip}$$

$$M_{dead\_total\_p} = M_{dead\_arm} + \sum M_{z\_dead\_signals} + \sum M_{z\_dead\_signs} = 27.9 \text{ kip}\cdot\text{ft}$$

## 2.4 Cargas de viento – Extremo I

Ver Tabla 3.4.1 –Extremo I Estado límite para viento máximo. Usar un término medio de intervalo de recurrencia de 700 años.

### Presión del viento método principal:

$$z = 28 \text{ ft}$$

Altura para el cálculo de presión.

$$z_g = 900 \text{ ft}$$

Constante basada en la condición de exposición.

$$\alpha = 9.5$$

Constante basada en la condición de exposición.

$$\text{Factor} = \frac{\text{hr}^2 \cdot \text{lbf}}{27878400 \cdot \text{ft}^4}$$

Este factor de unidades es necesario para unidades coherentes en las ecuaciones de presión del viento.

$$K_z = 2.00 \left( \frac{z}{z_g} \right)^\alpha$$

$$K_z = 0.96$$

Altura y factor de exposición para una estructura de 28 pies.

$$G = 1.14$$

Factor efecto de las ráfagas, valor mínimo.

$$V = 115 \text{ mph}$$

Velocidad básica del viento, intervalo medio de 700 años.

$$K_d = 0.85$$

Factor direccional.

**Coefficientes de retardo de los letreros basados en sus proporciones dimensionales:**

$$l_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 72 \\ 30 \\ 30 \\ 24 \end{pmatrix} \text{ in} \quad w_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 24 \\ 36 \\ 36 \\ 30 \end{pmatrix} \text{ in} \quad \text{ratio}_{\text{signs}} = \frac{l_{\text{signs}}}{w_{\text{signs}}}$$

$$\text{ratio}_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 3 \\ 0.83 \\ 0.83 \\ 0.8 \end{pmatrix} \quad C_{d\_signs} = \begin{pmatrix} C_{d\_sign}(\text{ratio}_{\text{signs}_1}) \\ C_{d\_sign}(\text{ratio}_{\text{signs}_2}) \\ C_{d\_sign}(\text{ratio}_{\text{signs}_3}) \\ C_{d\_sign}(\text{ratio}_{\text{signs}_4}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.19 \\ 1.12 \\ 1.12 \\ 1.12 \end{pmatrix}$$

**Presión del viento en los letreros:**

$$P_{z\_signs\_E1} = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_d \cdot G \cdot V^2 \cdot C_{d\_signs} \cdot \text{Factor} = \begin{pmatrix} 36.61 \\ 35.39 \\ 35.39 \\ 35.39 \end{pmatrix} \text{ psf}$$

**Acciones del viento en los letreros, en la base del brazo:**

$$A_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 12 \\ 7.5 \\ 7.5 \\ 5 \end{pmatrix} \text{ ft}^2 \quad d_{x\_signs} = \begin{pmatrix} 5.7 \\ 17.5 \\ 27.5 \\ 37.8 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{y\_signs} = \begin{pmatrix} 1.52 \\ 4.00 \\ 4.00 \\ 4.00 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$P_{w\_signs\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{z\_signs\_E1} \cdot A_{\text{signs}})} = \begin{pmatrix} 451 \\ 265 \\ 265 \\ 177 \end{pmatrix} \text{ lbf}$$

$$M_{wx\_signs\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signs\_E1} \cdot d_{y\_signs})} = \begin{pmatrix} 0.69 \\ 1.06 \\ 1.06 \\ 0.71 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

$$M_{wy\_signs\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signs\_E1} \cdot d_{x\_signs})} = \begin{pmatrix} 2.56 \\ 4.65 \\ 7.3 \\ 6.68 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

**Las acciones del viento en los letreros, en la base del poste:**

$$A_{signs} = \begin{pmatrix} 12 \\ 7.5 \\ 7.5 \\ 5 \end{pmatrix} \text{ ft}^2 \quad d_{x\_signs\_pole} = \begin{pmatrix} 6.7 \\ 18.5 \\ 28.5 \\ 38.8 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{y\_signs\_pole} = \begin{pmatrix} 18.5 \\ 21.0 \\ 21.0 \\ 21.0 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$P_{w\_signs\_pole\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{z\_signs\_E1} \cdot A_{signs})} = \begin{pmatrix} 451 \\ 265 \\ 265 \\ 177 \end{pmatrix} \text{ lbf}$$

$$M_{wx\_signs\_pole\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signs\_pole\_E1} \cdot d_{y\_signs\_pole})} = \begin{pmatrix} 8.36 \\ 5.57 \\ 5.57 \\ 3.72 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

$$M_{wy\_signs\_pole\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signs\_pole\_E1} \cdot d_{x\_signs\_pole})} = \begin{pmatrix} 3.01 \\ 4.91 \\ 7.57 \\ 6.86 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

**Coefficiente de retardo de las señales:**

$$C_{d\_signal} = 1.2$$

**Presión del viento en las señales:**

$$K_z = 0.96 \quad G = 1.14 \quad K_d = 0.85$$

$$P_{z\_signal\_E1} = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_d \cdot G \cdot V^2 \cdot C_{d\_signal} \cdot \text{Factor} = 37.9 \text{ psf}$$

**Acciones del viento en las señales, en la base del brazo:**

$$A_{signals} = \begin{pmatrix} 8.7 \\ 8.7 \\ 13 \end{pmatrix} \text{ ft}^2 \quad d_{x\_signals} = \begin{pmatrix} 20.83 \\ 29.75 \\ 40 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{y\_signals} = \begin{pmatrix} 4.00 \\ 4.00 \\ 4.00 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$P_{w\_signals\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{z\_signal\_E1} \cdot A_{signals})} = \begin{pmatrix} 330 \\ 330 \\ 493 \end{pmatrix} \text{ lbf}$$

$$M_{wy\_signals\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signals\_E1} \cdot d_{x\_signals})} = \begin{pmatrix} 6.87 \\ 9.82 \\ 19.72 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

$$M_{wx\_signals\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signals\_E1} \cdot d_{y\_signals})} = \begin{pmatrix} 1.32 \\ 1.32 \\ 1.97 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

### Las acciones del viento en las señales, en la base del poste:

$$A_{signals} = \begin{pmatrix} 8.7 \\ 8.7 \\ 13 \end{pmatrix} \text{ ft}^2 \quad d_{x\_signals\_pole} = \begin{pmatrix} 21.83 \\ 30.75 \\ 41 \end{pmatrix} \text{ ft} \quad d_{y\_signals\_pole} = \begin{pmatrix} 21.00 \\ 21.00 \\ 21.00 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$P_{w\_signals\_pole\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{z\_signal\_E1} \cdot A_{signals})} = \begin{pmatrix} 330 \\ 330 \\ 493 \end{pmatrix} \text{ lbf}$$

$$M_{wy\_signals\_pole\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signals\_pole\_E1} \cdot d_{x\_signals\_pole})} = \begin{pmatrix} 7.2 \\ 10.15 \\ 20.21 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

$$M_{wx\_signals\_pole\_E1} = \frac{\longrightarrow}{(P_{w\_signals\_pole\_E1} \cdot d_{y\_signals\_pole})} = \begin{pmatrix} 6.93 \\ 6.93 \\ 10.35 \end{pmatrix} \text{ ki}\cdot\text{ft}$$

### Coefficiente de retardo del brazo:

$$\text{TableValueMax} = V \cdot \text{Arm\_base\_diameter} = 115 \text{ mph}\cdot\text{ft}$$

$$\text{TableValueMin} = V \cdot \text{Arm\_tip\_diameter} = 61.9 \text{ mph}\cdot\text{ft}$$

$$C_{d\_arm\_base} = C_{d\_cylindrical}(V, d_{arm\_base\_out}) = 0.45$$

$$C_{d\_arm\_tip} = C_{d\_cylindrical}(V, d_{arm\_tip\_out}) = 0.57$$

Como los saltos superiores e inferiores para Cd no difieren por mucho, y la porción exterior de brazo contribuirá más para el momento del diseño, se usa 2/3 de la diferencia entre el máximo y el mínimo

$$C_{d\_diff} = C_{d\_arm\_tip} - C_{d\_arm\_base}$$

$$C_{d\_arm} = C_{d\_arm\_base} + \left(\frac{2}{3}\right) C_{d\_diff} = 0.53$$

### Presión el viento en el brazo:

$$P_{z\_arm\_E1} = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_d \cdot G \cdot V^2 \cdot C_{d\_arm} \cdot \text{Factor} = 16.72 \text{ psf}$$

### Fuerza del viento en el brazo:

$$\text{Area}_{arm} = \text{Arm\_length} \cdot \left(\frac{d_{arm\_base\_out} + d_{arm\_tip\_out}}{2}\right) = 31.5 \text{ ft}^2 \quad \text{El área proyectada por el brazo se asume trapezoidal}$$

$$P_{w\_arm\_E1} = P_{z\_arm\_E1} \cdot Area_{arm} = 526 \text{ lbf}$$

**Momento del viento en el brazo en torno al eje y:**

$$M_{wy\_arm\_E1} = P_{w\_arm\_E1} \cdot x_{bar\_arm} = 9.37 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento del viento en el poste en torno al eje y:**

$$M_{wy\_pole\_E1} = P_{w\_arm\_E1} \cdot (x_{bar\_arm} + t_{connection}) = 9.89 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento del viento en el brazo en torno al eje x:**

$$M_{wx\_arm\_E1} = P_{w\_arm\_E1} \cdot 3.0\text{ft} = 1.578 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento en la base del poste a partir del viento en el brazo en torno al eje x:**

$$M_{wx\_arm\_base} = P_{w\_arm\_E1} \cdot (3.0\text{ft} + d_{y\_PoleBaseToArmBase}) = 10.522 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

Nota: esto conservadoramente justifica el área de las partes traseras del brazo los letreros y las señales

**Coficiente de retardo del poste:**

$$TableValueMax = V \cdot d_{pole\_base} = 143.8 \text{ mph} \cdot \text{ft}$$

$$TableValueMin = V \cdot d_{pole\_tip} = 106.2 \text{ mph} \cdot \text{ft}$$

$$C_{d\_pole\_base} = C_{d\_cylindrical}(V, d_{pole\_base\_out}) = 0.45$$

$$C_{d\_pole\_tip} = C_{d\_cylindrical}(V, d_{pole\_tip\_out}) = 0.45$$

$$C_{d\_pole} = C_{d\_pole\_tip}$$

**Presión del viento en el poste:**

$$P_{z\_pole\_E1} = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_d \cdot G \cdot V^2 \cdot C_{d\_pole} \cdot Factor = 14.22 \text{ psf}$$

**Fuerza del viento en el poste:**

$$Area_{pole} = h_{pole} \cdot \left( \frac{d_{pole\_base\_out} + d_{pole\_tip\_out}}{2} \right) = 31.2 \text{ ft}^2$$

$$P_{w\_pole\_E1} = P_{z\_pole\_E1} \cdot Area_{pole} = 443 \text{ lbf}$$

**Momento del viento en el poste en torno al eje x:**

$$y_{bar\_pole} = h_{pole} \cdot \left[ \frac{h_{pole}}{3} \cdot \frac{(2 \cdot d_{pole\_base} + d_{pole\_tip})}{(d_{pole\_base} + d_{pole\_tip})} \right] = 13.3 \text{ ft}$$

$$M_{wx\_pole\_E1} := y_{bar\_pole} \cdot P_{w\_pole\_E1} = 5.89 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Acción total del viento en la base del brazo:**

$$V_{wz\_E1} = \sum P_{w\_signs\_E1} + \sum P_{w\_signals\_E1} + P_{w\_arm\_E1} = 2.84 \text{ kip}$$

$$M_{wy\_E1} = \sum M_{wy\_signs\_E1} + \sum M_{wy\_signals\_E1} + M_{wy\_arm\_E1} = 67 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{wx\_E1} = \sum M_{wx\_signs\_E1} + \sum M_{wx\_signals\_E1} + M_{wx\_arm\_E1} = 9.71 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### Acción total del viento en la base del poste:

$$V_{wzp\_E1} = \sum P_{w\_signs\_E1} + \sum P_{w\_signals\_E1} + P_{w\_arm\_E1} + P_{w\_pole\_E1} = 3.28 \text{ kip}$$

$$M_{wyp\_E1} = \sum M_{wy\_signs\_pole\_E1} + \sum M_{wy\_signals\_pole\_E1} + M_{wy\_pole\_E1} = 69.8 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{wxp\_E1} = \sum M_{wx\_signs\_pole\_E1} + \sum M_{wx\_signals\_pole\_E1} + M_{wx\_pole\_E1} + M_{wx\_arm\_base}$$

$$M_{wxp\_E1} = 63.8 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### 2.5 Cargas factoradas y chequeo de resistencia en el Brazo

$$\phi_{\text{flexure}} = 0.90 \quad \phi_{\text{shear}} = 0.90 \quad \phi_{\text{weld}} = 0.75 \quad \phi R_n \geq \sum \eta_i \cdot \gamma_i \cdot Q_i$$

#### Extremo I

$$\gamma_{DC\_E1} = 1.10 \quad \gamma_{wind\_E1} = 1.0$$

Acciones en la base del brazo:

$$V_{wz\_E1} = 2.84 \text{ kip} \quad M_{wy\_E1} = 67.0 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad M_{wx\_E1} = 9.71 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$P_{dead\_total} = 1.42 \text{ kip} \quad M_{dead\_total} = 27.9 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{uy\_E1} = \gamma_{wind\_E1} \cdot M_{wy\_E1} = 67.0 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{uz\_E1} = \gamma_{wind\_E1} \cdot M_{dead\_total} = 30.7 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_u\_E1 = \sqrt{M_{uy\_E1}^2 + M_{uz\_E1}^2} = 73.7 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$T_u\_E1 = \gamma_{wind\_E1} \cdot M_{wx\_E1} = 9.71 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$V_u\_E1 = \gamma_{wind\_E1} \cdot V_{wz\_E1} + \gamma_{DC\_E1} \cdot P_{dead\_total} = 4.4 \text{ kip}$$

Acciones en la base del poste:

$$V_{wzp\_E1} = 3281 \text{ lbf} \quad M_{wyp\_E1} = 69.8 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad M_{wxp\_E1} = 63.8 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$P_{dead\_total\_p} = 2.64 \text{ kip} \quad M_{dead\_total\_p} = 27.9 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$P_u\_E1 = \gamma_{DC\_E1} \cdot P_{dead\_total\_p} = 2.9 \text{ kip}$$

$$T_u\_base\_E1 = \gamma_{wind\_E1} \cdot M_{wyp\_E1} = 69.8 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{ux\_base\_E1} = \gamma_{wind\_E1} \cdot M_{wxp\_E1} = 63.8 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

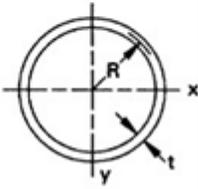
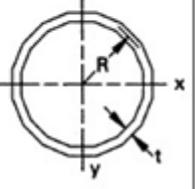
$$M_{uz\_base\_E1} = \gamma_{DC\_E\_I} \cdot M_{dead\_total\_p} = 30.7 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{u\_base\_E1} = \sqrt{M_{ux\_base\_E1}^2 + M_{uz\_base\_E1}^2} = 70.8 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$V_{u\_base\_E1} = \gamma_{wind\_E\_I} \cdot V_{wzp\_E1} = 3.28 \text{ kip}$$

### Propiedades de la sección del acople del tubo del brazo con el poste:

Tabla 2.3 Propiedades estimadas para secciones con formas tubulares comunes

Property	Round Tube	Hexdecagonal Tube
Moment of inertia, $I$	$3.14R^3t$	$3.22R^3t$
Section modulus, $S$	$3.14R^2t$	$3.22R^2t$
Area, $A$	$6.28Rt$	$6.37Rt$
Shape factor, $K_p = Z/S$	1.27	1.27
Radius of gyration, $r$	$0.707R$	$0.711R$
Cross-sectional constant, $C$	3.14	3.22
Pictorial representation		

$$r_{base} = 0.707 \cdot \left( \frac{\text{Arm\_base\_diameter}}{2} \right) = 4.24 \text{ in}$$

$$\text{Arm\_base\_radius} = \frac{\text{Arm\_base\_diameter}}{2} = 6 \text{ in}$$

$$I_{base} = \pi \cdot \text{Arm\_base\_radius}^3 \cdot t_{arm} = 212 \text{ in}^4$$

$$A_{base} = \pi \cdot \left( \frac{t_{arm} + \text{Arm\_base\_diameter}}{2} \right)^2 - \pi \cdot \left( \frac{\text{Arm\_base\_diameter} - t_{arm}}{2} \right)^2 = 11.78 \text{ in}^2$$

$$A_{base} = 11.78 \text{ in}^2$$

$$k_{arm} = 2.1 \quad kl\_over\_r_{arm} = \frac{2.1 \cdot d_{x\_signals_3}}{r_{base}} = 238$$

$$L_t = \pi \cdot \text{Arm\_base\_diameter} = 37.7 \text{ in}$$

### Resistencia del brazo:

$$d_o = \text{Arm\_base\_diameter} + t_{arm} = 12.31 \text{ in} \quad d_i = \text{Arm\_base\_diameter} - t_{arm} = 11.69 \text{ in}$$

$$A_{arm} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_o^2 - d_i^2) = 11.78 \text{ in}^2$$

$$S_{arm} = 0.098175 \cdot \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} = 34.47 \text{ in}^3$$

$$Z_{\text{arm}} = \frac{d_o^3}{6} - \frac{d_i^3}{6} = 45.01 \text{ in}^3$$

**Tabla 2.4 Proporciones de espesor para secciones tubulares**

Shape	Ratio	$\lambda_p$	$\lambda_r$	$\lambda_{\text{max}}$
Round	$D/t$	$0.07 \frac{E}{F_y}$	$0.11 \frac{E}{F_y}$ (compression)	$0.45 \frac{E}{F_y}$
			$0.31 \frac{E}{F_y}$ (flexure)	

$$\lambda_{\text{arm}} = \frac{\text{Arm\_base\_diameter}}{t_{\text{arm}}} = 38.4$$

$$\lambda_p = 0.13 \cdot \frac{E_s}{F_y} = 78.54$$

La sección del brazo es compacta.

**Tabla 2.5 Resistencia nominal a la flexión para miembros tubulares**

Shape	Compact	NonCompact	Slender
	$\lambda \leq \lambda_p$	$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$	$\lambda > \lambda_r$
Round	$M_n = M_p = Z_s F_y$	$M_n = M_p \left[ 0.77 + \frac{0.016(E/F_y)}{D/t} \right]$	$M_n = M_p \left[ \frac{0.25(E/F_y)}{D/t} \right]$

$$M_n = M_{n\_roundTube}(\text{Arm\_base\_diameter}, t_{\text{arm}}, E_s, F_y, Z_{\text{arm}}, S_{\text{arm}}) = 180.0 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$A_{\text{shear}} = \frac{A_{\text{arm}}}{2.0} = 5.89 \text{ in}^2 \quad L_{v\_arm} = d_{x\_signals_3} = 40 \text{ ft}$$

$$V_n = V_{n\_roundTube}(A_{\text{shear}}, \text{Arm\_base\_diameter}, t_{\text{arm}}, E_s, F_y, L_{v\_arm}) = 46.5 \text{ kip}$$

$$J_{\text{base}} = 2 \cdot I_{\text{base}} = 424.12 \text{ in}^4 \quad Q_{\text{arm}} = 1.0$$

$$F_{nt} = F_{nt\_roundTube}(F_y, E_s, \text{Arm\_base\_diameter}, t_{\text{arm}}, L_{v\_arm}) = 28.8 \text{ ksi}$$

$$T_n = A_{\text{arm}} \cdot F_{nt} \cdot \frac{\text{Arm\_base\_diameter}}{2} = 169.6 \text{ ft} \cdot \text{kip}$$

$$P_n = P_{n\_roundTube}(A_{\text{arm}}, F_y, kl_{\text{over\_r\_arm}}, E_s, Q_{\text{arm}}) = 52.4 \text{ kip}$$

### Chequeo de resistencia para la interacción Resistencia IV Extremo I:

Extremo I:

$$M_{u\_E1} = 73.7 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad V_{u\_E1} = 4.4 \text{ kip} \quad T_{u\_E1} = 9.71 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad P_{u\_E1} = 2.9 \text{ kip}$$

$$\frac{P_{u\_E1}}{P_n} = 0.6 \quad \frac{T_{u\_E1}}{T_n} = 0.02 \frac{1}{\text{ft}}$$

$$\text{InteractionValue} = \frac{P_{u,E1}}{\phi_{\text{axial}} \cdot P_n} + \left( \frac{M_{u,E1}}{\phi_{\text{flexure}} \cdot M_n} \right) + \left[ \left( \frac{V_{u,E1}}{\phi_{\text{shear}} \cdot V_n} \right) + \left( \frac{T_{u,E1}}{\phi_{\text{torsion}} \cdot T_n} \right) \right]^2 = 0.54$$

*InteractionCheck*<sub>Arm\_E1</sub> = if (InteractionValue ≤ 1.0, "OK", "No Good") = "OK"

## 2.6 Soldaduras de la Base del Brazo

### Resistencia de la soldadura en la base del brazo:

Extremo I:

$$t_{\text{weld}} = 0.50 \text{ in} \qquad \text{radius}_{\text{base}} = \frac{\text{Arm\_base\_diameter}}{2} = 6 \text{ in}$$

$$S_{\text{weld}} = \pi \cdot r_{\text{base}}^2 = 56.53 \text{ in}^2 \qquad L_{\text{weld}} = 2 \cdot \pi \cdot \text{radius}_{\text{base}} = 37.7 \text{ in}$$

$$\phi_{\text{weld}} = 0.75 \qquad F_{\text{EXX}} = 70 \text{ ksi} \qquad F_{n,\text{weld}} = 0.60 \cdot F_{\text{EXX}} = 42 \text{ ksi}$$

$$M_{u,E1} = 73.7 \text{ kip} \cdot \text{ft} \qquad V_{u,E1} = 4.4 \text{ kip}$$

$$V_{u,\text{weld},E1} = \sqrt{\left( \frac{M_{u,E1}}{S_{\text{weld}}} \right)^2 + \left( \frac{V_{u,E1}}{L_{\text{weld}}} \right)^2} = 15.64 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$V_{n,\text{weld}} = F_{n,\text{weld}} \cdot t_{\text{weld}} = 21.0 \frac{\text{kip}}{\text{in}}$$

$$\text{WeldDesignRatio} = \frac{V_{u,\text{weld},E1}}{V_{n,\text{weld}}} = 0.74$$

*WeldCheck* = if ( $V_{u,\text{weld},E1} < \phi_{\text{weld}} \cdot V_{n,\text{weld}}$ , "OK", "No Good") = "OK"

## 2.7 Cargas Factoradas y Chequeo de Resistencia en el Poste

### Propiedades de la sección del tubo del poste:

$$\text{radius}_{\text{pole\_base}} = \frac{d_{\text{pole\_base}}}{2} = 7.5 \text{ in} \qquad r_{\text{GYpole\_base}} = 0.707 \cdot \text{radius}_{\text{pole\_base}} = 5.3 \text{ in}$$

$$I_{\text{pole\_base}} = \pi \cdot \text{radius}_{\text{pole\_base}}^3 \cdot t_{\text{pole}} = 414 \text{ in}^4 \qquad K_{\text{pole}} = 2.1$$

$$A_{\text{pole\_base}} = \pi \cdot \left( \frac{t_{\text{pole}} + d_{\text{pole\_base}}}{2} \right)^2 - \pi \cdot \left( \frac{d_{\text{pole\_base}} - t_{\text{pole}}}{2} \right)^2 = 4.73 \text{ in}^2 \qquad A_{\text{pole\_base}} = 14.73 \text{ in}^2$$

$$d_o = d_{\text{pole\_base}} + t_{\text{pole}} = 15.31 \text{ in} \qquad d_i = d_{\text{pole\_base}} - t_{\text{pole}} = 14.69 \text{ in}$$

$$S_{\text{pole}} = 0.098175 \cdot \frac{d_o^4 - d_i^4}{d_o} = 54.1 \text{ in}^3 \qquad kl_{\text{over}} r_{\text{pole}} = \frac{K_{\text{pole}} \cdot h_{\text{pole}}}{r_{\text{GY\_pole\_base}}} = 133.1$$

$$Z_{\text{pole}} = \frac{d_o^3}{6} - \frac{d_i^3}{6} = 70.32 \text{ in}^3 \qquad L_{t_{\text{pole}}} = \pi \cdot d_{\text{pole\_base}} = 47.12 \text{ in}$$

$$\lambda_{\text{pole}} = \frac{d_{\text{pole\_base}}}{t_{\text{pole}}} = 48$$

$$\lambda_p = 0.07 \cdot \frac{E_s}{F_y} = 42.29 \quad \lambda_r = 0.11 \cdot \frac{E_s}{F_y} = 66.46$$

La sección del poste no es compacta.

$$M_n = M_{n\_roundTube}(d_{\text{pole\_base}}, t_{\text{pole}}, E_s, F_y, Z_{\text{pole}}, S_{\text{pole}}) = 273 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$A_{\text{shear}} = \frac{A_{\text{pole\_base}}}{2.0} = 7.36 \text{ in}^2$$

$$L_{v\_pole} = h_{\text{pole}} = 28 \text{ ft}$$

$$V_n = V_{n\_roundTube}(A_{\text{shear}}, d_{\text{pole\_base}}, t_{\text{pole}}, E_s, F_y, L_{v\_pole}) = 94.4 \text{ kip}$$

$$J_{\text{base}} = 2 \cdot I_{\text{pole\_base}} = 828.35 \text{ in}^4 \quad Q_{\text{pole}} = 1.0$$

$$F_{nt} = F_{nt\_roundTube}(F_y, E_s, d_{\text{pole\_base}}, t_{\text{pole}}, L_{v\_pole}) = 28.8 \text{ ksi}$$

$$T_n = A_{\text{pole\_base}} \cdot F_n \cdot \frac{d_{\text{pole\_base}}}{2} = 265 \text{ ft} \cdot \text{kip}$$

$$P_n = P_{n\_roundTube}(A_{\text{pole\_base}}, F_y, k_l\_over\_r_{\text{pole}}, E_s, Q_{\text{pole}}) = 209 \text{ kip}$$

### Chequeo Extremo I:

$$M_{u\_base\_E1} = 70.84 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad V_{u\_base\_E1} = 3.28 \text{ kip}$$

$$T_{u\_base\_E1} = 69.8 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad P_{u\_E1} = 2.9 \text{ kip}$$

$$\frac{P_{u\_E1}}{\Phi_{\text{axial}} \cdot P_n} = 0.02 \quad \frac{T_{u\_base\_E1}}{\Phi_{\text{torsion}} \cdot T_n} = 0.28$$

$$\text{Interaction Value} = \frac{P_{u\_E1}}{2 \cdot \Phi_{\text{axial}} \cdot P_n} + \left( \frac{M_{u\_base\_E1}}{\Phi_{\text{flexure}} \cdot M_n} \right) + \left[ \left( \frac{V_{u\_base\_E1}}{\Phi_{\text{shear}} \cdot V_n} \right) + \left( \frac{T_{u\_base\_E1}}{\Phi_{\text{torsion}} \cdot T_n} \right) \right]^2 = 0.40$$

*InteractionCheck*<sub>pole\_E1</sub> := if (InteractionValue ≤ 1.0, "OK", "No Good") = "OK"

## 2.8 Diseño base de la chapa

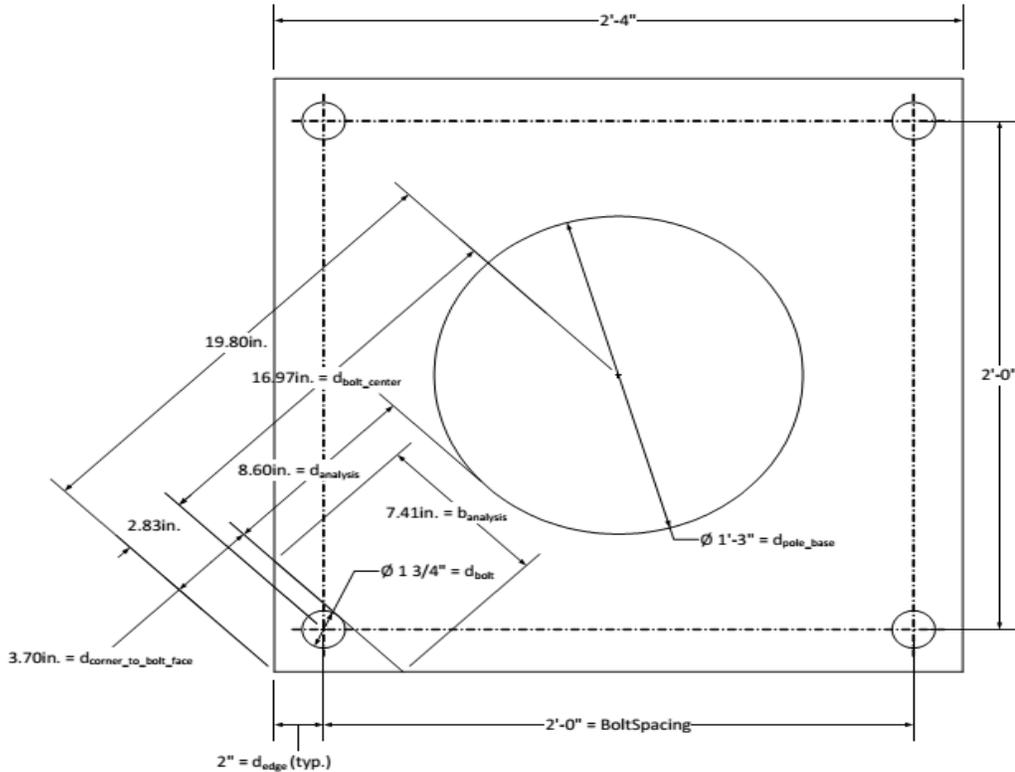


Figura 2.4 Detalles de la chapa base.

Cálculo de la distancia entre la cara del poste y la cara de un perno.

$$\text{BoltSpacing} = 24 \text{ in}$$

Distancia entre pernos.

$$d_{\text{bolt\_center}} = \sqrt{2.0 \cdot \left(\frac{\text{BoltSpacing}}{2.0}\right)^2} = 19.97 \text{ in} \quad d_{\text{bolt}} = 1.75 \text{ in} \quad d_{\text{edge}} = 2 \text{ in} \quad t_{\text{plate}} = 2 \text{ in}$$

$$d_{\text{analysis}} = d_{\text{bolt\_center}} - \frac{d_{\text{bolt}}}{2} - \frac{d_{\text{pole\_base}}}{2} = 8.6 \text{ in} \quad I_{\text{bolts}} = 1 \cdot d_{\text{bolt\_center}}^2 = 288 \text{ in}^2$$

$$d_{\text{corner\_to\_bolt\_face}} = \sqrt{2.0 \cdot d_{\text{edge}}^2 + \frac{d_{\text{bolt}}}{2}} = 3.70343 \text{ in}$$

$$b_{\text{analysis}} = 2.0 \cdot d_{\text{corner\_to\_bolt\_face}} = 7.41 \text{ in} \quad S_{\text{plate}} = \frac{b_{\text{analysis}} \cdot t_{\text{plate}}^2}{6.0} = 4.99 \text{ in}^3$$

$$M_{u\_base\_E1} = 850.08 \text{ kip} \cdot \text{in}$$

$$P_{\text{bolt}} = \frac{M_{u\_base\_E1}}{2.0 \cdot d_{\text{bolt\_center}}} - \frac{P_{u\_E1}}{4} = 24.3 \text{ kip}$$

Fuerza en el perno debido al momento en la base del poste

$$M_{u\_plate} = P_{\text{bolt}} \cdot d_{\text{analysis}} = 12.42 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{n\_plate} = F_y \cdot S_{\text{plate}} = 19.75 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$\text{BasePlateBendingRatio} = \frac{M_{u\_plate}}{\phi_{flexure} \cdot M_{n\_plate}} = 0.98$$

*BasePlateBendingCheck* = if (*BasePlateBendingRatio* ≤ 1.0, “OK”, “No Good”) = “OK”

## 2.9 Diseño a Fatiga, definiciones y suposiciones

$$I_{Fgal} = 0.65$$

Galopeo.

$$I_{Fnw} = 0.80$$

Viento Natural.

$$I_{Ftg} = 0.85$$

Ráfagas inducidas por los camiones.

$$d_{y\_PoleBaseToArm} = 21\text{ft}$$

## 2.10 Fatiga por Galopeo

### **Galopeo:**

$$w_{gallouping} = 21 \text{ psf} \cdot I_{Fgal} = 13.65 \text{ psf}$$

$$I_{Fgal} = 0.65$$

### **Acciones de los letreros:**

$$A_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 12 \\ 7.5 \\ 7.5 \\ 5 \end{pmatrix} \text{ft}^2 \quad d_{x\_signs} = \begin{pmatrix} 5.67 \\ 17.5 \\ 27.5 \\ 37.75 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$P_{g\_signs} = \frac{\longrightarrow}{(w_{gallouping} \cdot A_{\text{signs}})} = \begin{pmatrix} 163.8 \\ 102.4 \\ 102.4 \\ 68.3 \end{pmatrix} \text{lbf} \quad M_{g\_signs} = \frac{\longrightarrow}{(P_{g\_signs} \cdot d_{x\_signs})} = \begin{pmatrix} 929 \\ 1792 \\ 2815 \\ 2576 \end{pmatrix} \text{lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{g\_signs\_pole} = \frac{\longrightarrow}{[P_{g\_signs} \cdot (d_{x\_signs} + t_{conection})]} = \begin{pmatrix} 1093 \\ 1894 \\ 2918 \\ 2645 \end{pmatrix} \text{lbf} \cdot \text{ft}$$

### **Acciones de las señales:**

$$A_{\text{signals}} = \begin{pmatrix} 8.7 \\ 8.7 \\ 13 \end{pmatrix} \text{ft}^2 \quad d_{x\_signals} = \begin{pmatrix} 20.8 \\ 29.8 \\ 40.0 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$P_{g\_signals} = \frac{\longrightarrow}{(w_{gallouping} \cdot A_{\text{signals}})} = \begin{pmatrix} 118.8 \\ 118.8 \\ 177.5 \end{pmatrix} \text{lbf}$$

$$M_{g\_signals} = \frac{\longrightarrow}{(P_{g\_signals} \cdot d_{x\_signals})} = \begin{pmatrix} 2474 \\ 3533 \\ 7098 \end{pmatrix} \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{g\_signals\_pole} = \frac{\longrightarrow}{[P_{g\_signals} \cdot (d_{x\_signals} + t_{conection})]} = \begin{pmatrix} 2592 \\ 3652 \\ 7275 \end{pmatrix} \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

### Acciones de galopeo en la base del brazo:

$$P_{g\_arm} = \sum P_{g\_signs} + \sum P_{g\_signals} = 852 \text{ lbf}$$

$$M_{g\_arm} = \sum M_{g\_signs} + \sum M_{g\_signals} = 21.2 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### Acciones de galopeo en la base del poste:

$$M_{g\_pole} = \sum M_{g\_signs\_pole} + \sum M_{g\_signals\_pole} = 22.1 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

## 2.11 Fatiga por ráfagas naturales de viento en la Base del Brazo

### Ráfagas naturales de viento:

El término medio de velocidad máxima anual del viento en Estaciones Meteorológicas Nacionales en Chicago, Illinois, es 12.9 mph.

$$C_{d\_signs} = \begin{pmatrix} 1.19 \\ 1.12 \\ 1.12 \\ 1.12 \end{pmatrix} \quad C_{d\_signal} = 1.2$$

$$C_{d\_arm} = C_{d\_cylindrical} \cdot (V_{mean}, \text{Arm\_base\_diameter}) = 1.10$$

$$V_{mean} = 12.9 \text{ mph}$$

$$P_{NW\_arm} = 5.2 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_arm} \cdot \left(\frac{V_{mean}}{11.2 \cdot \text{mph}}\right)^2 \cdot I_{FNW} = 6.07 \text{ psf}$$

$$P_{NW\_signs} = 5.2 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_signs} \cdot \left(\frac{V_{mean}}{11.2 \cdot \text{mph}}\right)^2 \cdot I_{FNW} = \begin{pmatrix} 6.57 \\ 6.18 \\ 6.18 \\ 6.18 \end{pmatrix} \text{ psf}$$

$$P_{NW\_signal} = 5.2 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_signal} \cdot \left(\frac{V_{mean}}{11.2 \cdot \text{mph}}\right)^2 \cdot I_{FNW} = 6.62 \text{ psf}$$

### Fuerza del viento en los letreros (Fatiga):

$$A_{signs} = \begin{pmatrix} 12 \\ 7.5 \\ 7.5 \\ 5 \end{pmatrix} \text{ ft}^2 \quad P_{NWw\_signs} := \frac{\longrightarrow}{(P_{NW\_signs} \cdot A_{signs})} = \begin{pmatrix} 78.8 \\ 46.4 \\ 46.4 \\ 30.9 \end{pmatrix} \text{ lbf}$$

### Momento en los letreros:

$$d_{x\_signals} = \begin{pmatrix} 5.67 \\ 17.5 \\ 27.5 \\ 37.75 \end{pmatrix} \text{ft} \quad d_{y\_signals} = \begin{pmatrix} 1.52 \\ 4.00 \\ 4.00 \\ 4.00 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$M_{NWwy\_signals} = \frac{\longrightarrow}{(P_{NWw\_signals} \cdot d_{x\_signals})} = \begin{pmatrix} 0.45 \\ 0.81 \\ 1.27 \\ 1.17 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{NWwx\_signals} = P_{NWw\_signals} \cdot d_{y\_PoleBaseToArm} = \begin{pmatrix} 1.65 \\ 0.97 \\ 0.97 \\ 0.65 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

### Fuerza del viento en las señales:

$$A_{signals} = \begin{pmatrix} 8.7 \\ 8.7 \\ 13 \end{pmatrix} \text{ft}^2 \quad P_{NWw\_signals} = P_{NW\_signal} \cdot A_{signals} = \begin{pmatrix} 57.6 \\ 57.6 \\ 86.1 \end{pmatrix} \text{lbf}$$

### Momento del viento en las señales:

$$d_{x\_signals} = \begin{pmatrix} 20.8 \\ 29.8 \\ 40.0 \end{pmatrix} \text{ft} \quad d_{y\_PoleBaseToArm} = 21 \text{ ft}$$

$$M_{NWwy\_signals} = \frac{\longrightarrow}{(P_{NWw\_signals} \cdot d_{x\_signals})} = \begin{pmatrix} 1.2 \\ 1.71 \\ 3.44 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{NWwx\_signals} = P_{NWw\_signals} \cdot d_{y\_PoleBaseToArm} = \begin{pmatrix} 1.21 \\ 1.21 \\ 1.81 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

### Fuerza en el brazo:

$$P_{NWw\_arm} = P_{NW\_arm} \cdot \text{Area}_{arm} = 191 \text{ lbf}$$

### Momento del viento en el brazo entorno al eje y:

$$M_{NWwy\_arm} = P_{NW\_arm} \cdot x_{bar\_arm} = 3402 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

### Momento del viento en el brazo entorno al eje x:

$$M_{NWwx\_arm} = P_{NW\_arm} \cdot 3.0 \cdot \text{ft} = 573 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

Para fatiga no se considera el área del brazo detrás de los letreros y las señales.

### Letreros:

$$l_{\text{signs}} = \begin{pmatrix} 6 \\ 2.5 \\ 2.5 \\ 2 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$d_{\text{arm\_signs}} = \text{Arm\_base\_diameter} - \text{Arm\_taper} \cdot (d_{\text{x\_signs}}) = \begin{pmatrix} 0.93 \\ 0.8 \\ 0.68 \\ 0.56 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$\text{area}_{\text{signs}} = \frac{\quad}{(l_{\text{signs}} \cdot d_{\text{arm\_signs}})} = \begin{pmatrix} 5.6 \\ 1.99 \\ 1.7 \\ 1.12 \end{pmatrix} \text{ft}^2$$

$$M_{\text{y\_signs\_adjust}} = \frac{\quad}{(\text{area}_{\text{signs}} \cdot P_{\text{NW\_arm}} \cdot d_{\text{x\_signs}})} = \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.21 \\ 0.28 \\ 0.26 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{x\_signs\_adjust\_Pole}} = \text{area}_{\text{signs}} \cdot P_{\text{NW\_arm}} \cdot d_{\text{y\_PoleBaseToArm}} = \begin{pmatrix} 0.71 \\ 0.25 \\ 0.22 \\ 0.14 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

### Señales:

$$l_{\text{signals}} = \begin{pmatrix} 2.00 \\ 2.00 \\ 1.25 \end{pmatrix} \text{ft} \quad d_{\text{x\_signals}} = \begin{pmatrix} 20.83 \\ 29.75 \\ 40 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$d_{\text{arm\_signals}} = \text{Arm\_base\_diameter} - \text{Arm\_taper} \cdot (d_{\text{x\_signals}}) = \begin{pmatrix} 0.76 \\ 0.65 \\ 0.53 \end{pmatrix} \text{ft}$$

$$\text{area}_{\text{signals}} = \frac{\quad}{(l_{\text{signals}} \cdot d_{\text{arm\_signals}})} = \begin{pmatrix} 1.51 \\ 1.31 \\ 0.67 \end{pmatrix} \text{ft}^2$$

$$M_{\text{y\_signals\_adjust}} = \frac{\quad}{(\text{area}_{\text{signals}} \cdot P_{\text{NW\_arm}} \cdot d_{\text{x\_signals}})} = \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.24 \\ 0.16 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{x\_signals\_adjust\_Pole}} = \text{area}_{\text{signals}} \cdot P_{\text{NW\_arm}} \cdot d_{\text{y\_PoleBaseToArm}} = \begin{pmatrix} 0.19 \\ 0.17 \\ 0.08 \end{pmatrix} \text{kip} \cdot \text{ft}$$

### Momento restado:

$$M_{y\_adjustment} = \sum M_{y\_signs\_adjust} + \sum M_{y\_signals\_adjust} = 1.53 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{x\_adjustment\_Pole} = \sum M_{x\_signs\_adjust\_Pole} + \sum M_{x\_signals\_adjust\_Pole} = 1.77 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### Momento de fatiga total entorno al eje y:

$$M_{NWfat\_total} = M_{NWwy\_arm} + \sum M_{NWwy\_signals} + \sum M_{NWwy\_signs} - M_{y\_adjustment} = 11.93 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

## 2.12 Fatiga por ráfagas naturales de viento en la Base del Poste

### Momento en la base del poste debido ráfagas naturales de viento:

Se añade 1 pie al momento del brazo debido al espesor de la conexión y el diámetro del mástil.

$$t_{connection} = 1 \text{ ft}$$

### Letreros:

$$d_{x\_signs} = \begin{pmatrix} 5.67 \\ 17.5 \\ 27.5 \\ 37.75 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$d_{y\_signs} = \begin{pmatrix} 1.52 \\ 4.00 \\ 4.00 \\ 4.00 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$M_{NWwy\_signs\_Pole} = \frac{\longrightarrow}{[P_{NWw\_signs} \cdot (t_{connection} + d_{x\_signs})]} = \begin{pmatrix} 0.53 \\ 0.86 \\ 1.32 \\ 1.2 \end{pmatrix} \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{NWwx\_signs\_Pole} = \frac{\longrightarrow}{[P_{NWw\_signs} \cdot (t_{connection} + d_{y\_signs})]} = \begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.23 \\ 0.23 \\ 0.15 \end{pmatrix} \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### Señales:

$$d_{x\_signals} = \begin{pmatrix} 20.83 \\ 29.75 \\ 40 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$d_{y\_signals} = \begin{pmatrix} 4.0 \\ 4.0 \\ 4.0 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$M_{NWwy\_signals\_Pole} = \frac{\longrightarrow}{[P_{NWw\_signals} \cdot (t_{connection} + d_{x\_signals})]} = \begin{pmatrix} 1.26 \\ 1.77 \\ 3.53 \end{pmatrix} \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{NWwx\_signals\_Pole} = \frac{\longrightarrow}{[P_{NWw\_signals} \cdot (t_{connection} + d_{y\_signals})]} = \begin{pmatrix} 0.29 \\ 0.29 \\ 0.43 \end{pmatrix} \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

### Momento del viento en el brazo entorno al eje y:

$$M_{NWwy\_arm\_Pole} = P_{NWw\_arm} \cdot (x\_bar_{arm} + 1.0ft) = 3593 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{NWx\_arm\_Pole} = P_{NWw\_arm} \cdot (21ft) = 4.01 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento ajustado para el brazo por detrás de los letreros:**

$$M_{y\_signs\_adjust\_Pole} = \frac{\text{[area}_{sings} \cdot P_{NW\_arm} \cdot (t_{connection} + d_{x\_signs})]}{\begin{pmatrix} 0.23 \\ 0.22 \\ 0.29 \\ 0.26 \end{pmatrix}} \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento ajustado para el brazo por detrás de las señales:**

$$M_{y\_signals\_adjust\_Pole} = \frac{\text{[area}_{singals} \cdot P_{NW\_arm} \cdot (t_{connection} + d_{x\_signals})]}{\begin{pmatrix} 0.2 \\ 0.24 \\ 0.17 \end{pmatrix}} \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento restado:**

$$M_{y\_adjustment\_Pole} = \sum M_{y\_signs\_adjust\_Pole} + \sum M_{y\_signals\_adjust\_Pole} = 1.62 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento total de Fatiga entorno al eje “y” y la base del poste debido ráfagas naturales de viento:**

Este es el momento entorno al eje “y” debido a las fuerzas horizontales en el brazo del poste y sus anexos. Esta es una torsión en la base del poste.

$$M_{NWfat\_total\_Pole} = M_{NWwy\_arm\_Pole} + \sum M_{NWwy\_signals\_Pole} + \sum M_{NWwy\_signs\_Pole} - M_{y\_adjustment\_Pole}$$

$$M_{NWfat\_total\_Pole} = 12.44 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento total de Fatiga entorno al eje “x” y la base del poste debido ráfagas naturales de viento:**

Este es el momento entorno al eje “x” debido a las fuerzas horizontales en el brazo del poste y sus anexos. El brazo de la palanca es la altura del brazo por encima de la base del poste.

$$l_{luminare\_arm} = 20.5 \text{ ft} \quad d_{luminare\_arm} = 3.8 \text{ in}$$

$$A_{luminare} = 3.3 \text{ ft}^2 \quad d_{pole\_base} = 15 \text{ in} \quad h_{pole} = 28 \text{ ft}$$

$$A_{luminare\_arm} = d_{luminare\_arm} \cdot l_{luminare\_arm} = 6.49 \text{ ft}^2$$

$$C_{d\_Pole} = 1.1$$

$$P_{NW\_Pole} = 5.2 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_Pole} \cdot \left(\frac{V_{mean}}{11.2 \text{ mph}}\right)^2 \cdot I_{Fnw} = 6.07 \text{ psf}$$

$$P_{luminare\_arm} = P_{NW\_Pole} \cdot A_{luminare\_arm} = 39.41 \text{ lbf}$$

$$M_{xluminare\_arm} = P_{luminare\_arm} \cdot h_{luminare} = 1.25 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$P_{\text{luminare}} = P_{\text{NW\_Pole}} \cdot A_{\text{luminare}} = 20.03 \text{ lbf}$$

$$M_{\text{xluminare}} = P_{\text{luminare}} \cdot h_{\text{pole}} = 0.56 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$d_{\text{pole\_top}} = d_{\text{pole\_base}} - h_{\text{pole}} \cdot (0.14 \frac{\text{in}}{\text{ft}}) = 11.08 \text{ in}$$

$$A_{\text{pole}} = \frac{1}{2} \cdot h_{\text{pole}} \cdot (d_{\text{pole\_base}} + d_{\text{pole\_top}}) = 30.43 \text{ ft}^2$$

$$y_{\text{bar\_pole}} = \frac{d_{\text{pole\_top}} + 2 \cdot d_{\text{pole\_base}}}{3 \cdot (d_{\text{pole\_base}} + d_{\text{pole\_top}})} \cdot h_{\text{pole}} = 14.7 \text{ ft}$$

$$P_{\text{pole}} = A_{\text{pole}} \cdot P_{\text{NW\_Pole}} = 184.71 \text{ lbf} \quad M_{\text{xpole}} = P_{\text{pole}} \cdot y_{\text{bar\_pole}} = 2.72 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{x\_signs\_signals}} = \sum M_{\text{NWwx\_signs\_Pole}} + \sum M_{\text{NWwx\_signals\_Pole}} = 1.82 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{x\_poles}} = M_{\text{xluminare\_arm}} + M_{\text{xluminare}} + M_{\text{xpole}} + M_{\text{NWx\_arm\_Pole}} - M_{\text{x\_adjustment\_Pole}}$$

$$M_{\text{x\_poles}} = 6.77 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{xNWfat\_total\_Pole}} = M_{\text{x\_signs\_signals}} + M_{\text{x\_poles}} = 8.59 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

## 2.13 Fatiga por ráfagas inducidas por camiones en la Base del Brazo

### ***Ráfagas provocadas por los camiones:***

Las ráfagas por camiones se aplican para los últimos 12 pies del brazo. Esto incluye las señales 2 y 3 y los letreros 3 y 4.

Las ráfagas por camiones son aplicadas verticalmente para la proyección horizontal del brazo y todos los anexos.

$$V_{\text{truck}} = 45 \text{ mph} \quad C_{d\_signs} = \begin{pmatrix} 1.19 \\ 1.12 \\ 1.12 \\ 1.12 \end{pmatrix} \text{ ft}$$

$$P_{\text{TG\_sign3}} = 18.8 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_signs_3} \cdot \left(\frac{V_{\text{truck}}}{65 \text{ mph}}\right)^2 \cdot I_{\text{Ftg}} = 8.58 \text{ psf}$$

$$P_{\text{TG\_sign4}} = 18.8 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_signs_4} \cdot \left(\frac{V_{\text{truck}}}{65 \text{ mph}}\right)^2 \cdot I_{\text{Ftg}} = 8.58 \text{ psf}$$

$$P_{\text{TG\_signal}} = 18.8 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_signal} \cdot \left(\frac{V_{\text{truck}}}{65 \text{ mph}}\right)^2 \cdot I_{\text{Ftg}} = 9.19 \text{ psf}$$

$$P_{\text{TG\_arm}} = 18.8 \cdot \frac{\text{lbf}}{\text{ft}^2} \cdot C_{d\_arm} \cdot \left(\frac{V_{\text{truck}}}{65 \text{ mph}}\right)^2 \cdot I_{\text{Ftg}} = 8.42 \text{ psf}$$

### **Fuerzas del viento en los letreros:**

$$A_{\text{sign3y}} = 0.1 \text{ ft}^2$$

$$A_{\text{sign4y}} = 0.1 \text{ ft}^2$$

$$P_{TGw\_sign3} = P_{TG\_sign3} \cdot A_{sign3y} = 0.86 \text{ lbf} \quad P_{TGw\_sign4} = P_{TG\_sign4} \cdot A_{sign4y} = 0.86 \text{ lbf}$$

**Momentos del viento en los letreros:**

$$M_{TGwy\_sign3} = P_{TGw\_sign3} \cdot d_{x\_signs3} = 23.6 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{TGwy\_sign4} = P_{TGw\_sign4} \cdot d_{x\_signs4} = 32.4 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**Fuerzas del viento en las señales:**

$$A_{signal2y} = 2 \text{ ft}^2 \quad A_{signal3y} = 2 \text{ ft}^2$$

$$P_{TGw\_signal2} = P_{TG\_signal} \cdot A_{signal2y} = 18.38 \text{ lbf}$$

$$P_{TGw\_signal3} = P_{TG\_signal} \cdot A_{signal3y} = 18.38 \text{ lbf}$$

**Momentos del viento en las señales:**

$$M_{TGwy\_signal2} = P_{TGw\_signal2} \cdot d_{x\_signals2} = 547 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{TGwy\_signal3} = P_{TGw\_signal3} \cdot d_{x\_signals3} = 735 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**Fuerza en el brazo:**

$$d_{arm12feet} = Arm\_tip\_diameter + 12\text{ft} \cdot 0.14 \frac{\text{in}}{\text{ft}} = 8.14 \text{ lbf}$$

$$Area_{armTG} = 12\text{ft} \cdot \left( \frac{d_{arm12feet} + Arm\_tip\_diameter}{2} \right) = 7.3 \text{ ft}^2 \quad \text{Se asume un trapecioide.}$$

$$P_{TGw\_arm} = P_{TG\_arm} \cdot Area_{armTG} = 61.5 \text{ lbf}$$

**Momento del viento en el brazo entorno al eje y:**

$$y\_bar_{armTG} = 34 \text{ ft} \quad M_{TGwy\_arm} = P_{TGw\_arm} \cdot y\_bar_{armTG} = 2.09 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**Momento total:**

$$M_{TG} = M_{TGwy\_sign3} + M_{TGwy\_sign4} + M_{TGwy\_signal2} + M_{TGwy\_signal3} + M_{TGwy\_arm} = 3.43 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**2.14 Fatiga por ráfagas inducidas por camiones en la Base del Poste**

***Momento en la base del poste:***

Se añade 1 pie al momento del brazo debido al espesor de la conexión y el diámetro del poste

$$t_{connection} = 1 \text{ ft}$$

**Momentos del viento en los letreros:**

$$M_{TGwy\_sign3\_Pole} = P_{TGw\_sign3} \cdot (d_{x\_signs_3} + t_{connection}) = 24.45 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{TGwy\_sign4\_Pole} = P_{TGw\_sign4} \cdot (d_{x\_signs_4} + t_{connection}) = 33.24 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**Momentos del viento en las señales:**

$$M_{TGwy\_signal2\_Pole} = P_{TGw\_signal2} \cdot (d_{x\_signals_2} + t_{connection}) = 565.24 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

$$M_{TGwy\_signal3\_Pole} = P_{TGw\_signal3} \cdot (d_{x\_signals_3} + t_{connection}) = 753.65 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**Momento del viento en el brazo entorno al eje y:**

$$M_{TGwy\_arm\_Pole} = P_{TGw\_arm} \cdot (y_{bar}_{armTG} + t_{connection}) = 2152.36 \text{ lbf} \cdot \text{ft}$$

**Momento total en la base del poste debido a las ráfagas provocadas por los camiones:**

Este es el momento entorno al eje “y” debido a la fuerza ascendente en el brazo y sus anexos

$$M_{TG\_Pole} = M_{TGwy\_sign3\_Pole} + M_{TGwy\_sign4\_Pole} + M_{TGwy\_signal2\_Pole} + M_{TGwy\_signal3\_Pole} + M_{TGwy\_arm\_Pole}$$

$$M_{TG\_Pole} = 3.53 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

**2.15 Conexión en la Base del Brazo, detalles y definiciones**

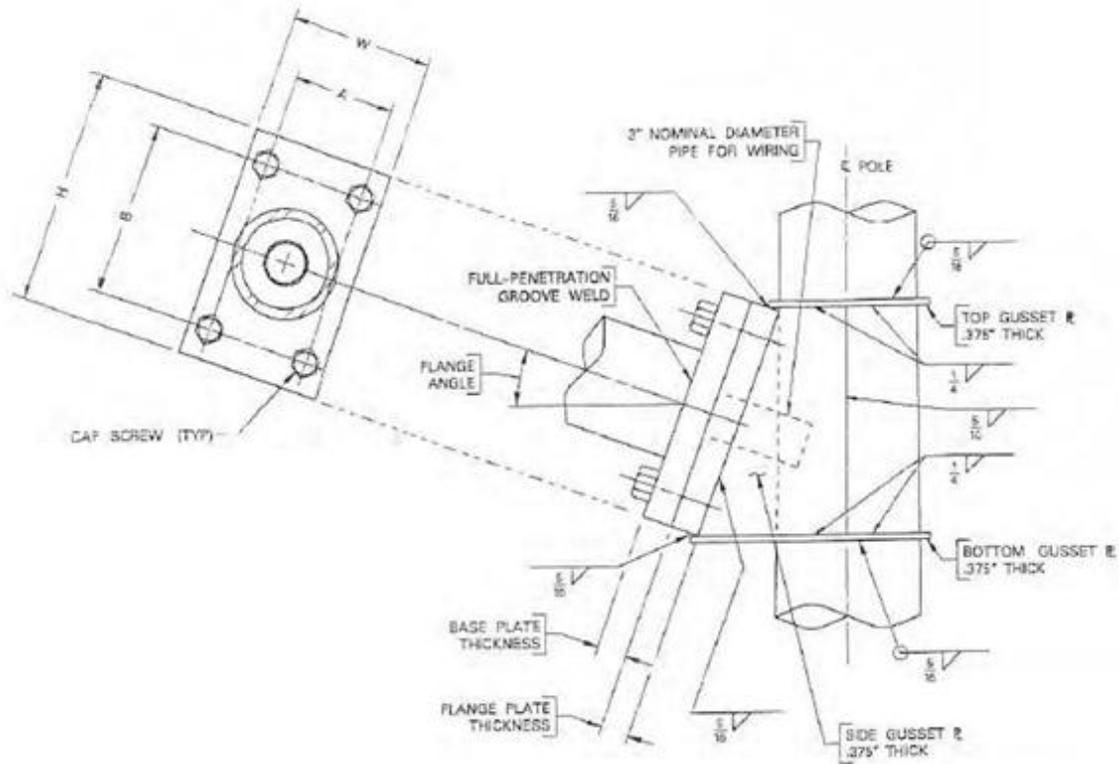
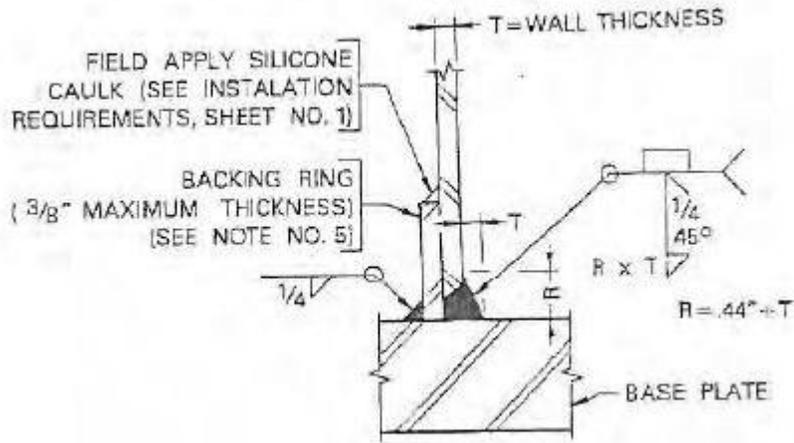


Figura 2.5 Detalles de la conexión del brazo con el poste.

$$A_{\text{bolts}} = 12 \text{ in} \quad B_{\text{bolts}} = 20 \text{ in} \quad \Delta F_{\text{TH\_arm}} = 7 \text{ ksi} \quad t_{\text{arm\_plate}} = 2 \text{ in}$$

$$A_{\text{arm\_fatigue}} = 2.20 \cdot 10^9 \text{ ksi}^3$$



**Figura 2.6 Detalles de la soldadura en la base del brazo.**

$D_T = D_{\text{arm\_base\_out}} = 12.31 \text{ in}$	Diámetro exterior de un tubo redondo
$D_{BC} = 24 \text{ in}$	Diámetro de un círculo a través de los sujetadores en el plato transversal
$N_B = 4$	Número de sujetadores en el plato transversal
$t_T = t_{\text{arm}} = 0.31 \text{ in}$	Espesor del tubo
$t_{TP} = t_{\text{arm\_plate}} = 2 \text{ in}$	Espesor del plato transversal
$D_{OP} = 3 \text{ in}$	Diámetro de la apertura concéntrica en el plato transversal. Abertura de la instalación eléctrica detallada en el ejemplo.
$C_{OP} = \frac{D_{OP}}{D_T} = 0.24$	
$C_{BC} = \frac{D_{BC}}{D_T} = 1.95$	
$t_{ST} = 0$	El espesor del refuerzo no es aplicable para este caso.
$N_{ST} = 0$	Número de refuerzos.
$h_{ST} = 0$	Altura de los refuerzos.
$N_S = 1$	Número caras para un tubo de varias caras.

$r_b = 0$  Dentro del radio de curvatura, para un tubo redondo

$$K_{F\_arm} = K_F(13, D_T, D_{BC}, N_B, t_T, t_{TP}, D_{OP}, t_{ST}, N_{ST}, h_{ST}, N_S, r_b) = 1.64$$

$$K_{I\_arm} = [(1.76 + 1.83 \cdot \frac{t_T}{in}) - 4.76 \cdot 0.22^{K_{F\_arm}}] \cdot K_{F\_arm} = 3.17$$

$$\Delta F_{TH\_arm\_weld} = \Delta F \cdot (K_{I\_arm}) = 10 \text{ ksi}$$

$$\Delta F_{TH\_arm\_bolts} = 7 \text{ ksi}$$

## 2.16 Conexión en la Base del Poste, detalles y definiciones

$D_T = D_{arm\_base\_out} = 15.31 \text{ in}$  Diámetro exterior de un tubo redondo

$D_{BC} = d_{bolt\_cenertr} = 33.94 \text{ in}$  Diámetro de un círculo a través de los sujetadores en el plato transversal

$N_B = 4$  Número de sujetadores en el plato transversal

$t_T = t_{pole} = 0.31 \text{ in}$  Espesor del tubo

$t_{TP} = t_{plate} = 2 \text{ in}$  Espesor del plato transversal

$D_{OP} = 4 \text{ in}$  Diámetro de la apertura concéntrica en el plato transversal. Se asume un valor

$$C_{OP} = \frac{D_{OP}}{D_T} = 0.2$$

$$C_{BC} = \frac{D_{BC}}{D_T} = 2.22$$

$t_{ST} = 0$  El espesor del refuerzo no es aplicable para este caso.

$N_{ST} = 0$  Número de refuerzos.

$h_{ST} = 0$  Altura de los refuerzos.

$N_S = 1$  Número caras para un tubo de varias caras.

$$K_{F\_pole} = K_F(13, D_T, D_{BC}, N_B, t_T, t_{TP}, D_{OP}, t_{ST}, N_{ST}, h_{ST}, N_S, r_b) = 1.87$$

$$K_{I\_pole} = [(1.76 + 1.83 \cdot \frac{t_T}{in}) - 4.76 \cdot 0.22^{K_{F\_pole}}] \cdot K_{F\_pole} = 3.84$$

$$\Delta F_{TH\_pole\_weld} = \Delta F \cdot (K_{I\_pole}) = 7 \text{ ksi}$$

$$\Delta F_{TH\_pole\_bolts} = 7 \text{ ksi}$$

## 2.17 Chequeo a Fatiga de la Base del Brazo

### Rango de tensión en la conexión de la placa con la base del brazo:

$$\text{Arm\_base\_radius} = 6 \text{ in}$$

$$I_{\text{base}} = 212.06 \text{ in}^4$$

$$M_{\text{NWfat\_total}} = 11.93 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{TG}} = 3.43 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$M_{\text{g\_arm}} = 21.22 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$\sigma_{\text{FAT\_Gal\_weld}} = \frac{M_{\text{g\_arm}} \cdot \text{Arm\_base\_radius}}{I_{\text{base}}} = 11.93 \text{ ksi}$$

$$\text{GallopingRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_Gal\_weld}}}{\Delta F_{\text{TH\_arm\_weld}}} = 0.72$$

$\text{ArmWeldCheck}_{\text{Gal}} = \text{if } (\text{GallopingRatio} \leq 1.0, \text{“OK”}, \text{“No Good”}) = \text{“OK”}$

$$\sigma_{\text{FAT\_NW\_weld}} = \frac{M_{\text{NWfat\_total}} \cdot r_{\text{base}}}{I_{\text{base}}} = 2.86 \text{ ksi}$$

$$\text{NaturalGustRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_NW\_weld}}}{\Delta F_{\text{TH\_arm\_weld}}} = 0.29$$

$\text{ArmWeldCheck}_{\text{NW}} = \text{if } (\text{NaturalGustRatio} \leq 1.0, \text{“OK”}, \text{“No Good”}) = \text{“OK”}$

$$\sigma_{\text{FAT\_TG\_weld}} = \frac{M_{\text{TG}} \cdot r_{\text{base}}}{I_{\text{base}}} = 0.82 \text{ ksi}$$

$$\text{TruckGustRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_TG\_weld}}}{\Delta F_{\text{TH\_arm\_weld}}} = 0.08$$

$\text{ArmWeldCheck}_{\text{TG}} = \text{if } (\text{TruckGustRatio} \leq 1.0, \text{“OK”}, \text{“No Good”}) = \text{“OK”}$

### Rango de tensión en los pernos de la conexión de la placa con la base del brazo:

$$A_{\text{bolts}} = 12 \text{ in}$$

$$B_{\text{bolts}} = 20 \text{ in}$$

$$\text{area}_{\text{bolts}} = 1.41 \text{ in}^2$$

$$n_{\text{bolts}} = 4$$

$$I_{\text{long}} = n_{\text{bolts}} \cdot \text{area}_{\text{bolts}} \cdot \left(\frac{B_{\text{bolts}}}{2.0}\right)^2 = 564 \text{ in}^4$$

$$I_{\text{short}} = n_{\text{bolts}} \cdot \text{area}_{\text{bolts}} \cdot \left(\frac{A_{\text{bolts}}}{2.0}\right)^2 = 203.04 \text{ in}^4$$

$$\sigma_{\text{FAT\_Gal\_bolts}} = \frac{M_{\text{g\_arm}} \cdot \frac{A_{\text{bolts}}}{2}}{I_{\text{long}}} = 2.71 \text{ ksi}$$

$$\text{GallopingBoltRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_Gal\_bolts}}}{\Delta F_{\text{TH\_arm\_bolts}}} = 0.39$$

$\text{ArmBoltCheck}_{\text{Gal}} = \text{if } (\text{GallopingBoltRatio} \leq 1.0, \text{“OK”}, \text{“No Good”}) = \text{“OK”}$

$$\sigma_{\text{FAT\_NW\_bolts}} = \frac{M_{\text{NWfat\_total}} \cdot \frac{A_{\text{bolts}}}{2}}{I_{\text{short}}} = 4.23 \text{ ksi}$$

$$\text{NaturalGustBoltRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_NW\_bolts}}}{\Delta F_{\text{TH\_arm\_bolts}}} = 0.6$$

$ArmBoltCheck_{NW} = \text{if (NaturalGustBoltRatio} \leq 1.0, \text{“OK”, “No Good”)} = \text{“OK”}$

$$\sigma_{FAT\_TG\_bolts} = \frac{M_{TG} \cdot \frac{A_{bolts}}{2}}{I_{short}} = 1.22 \text{ ksi}$$

$$TruckGustBoltRatio = \frac{\sigma_{FAT\_TG\_bolts}}{\Delta F_{TH\_arm\_bolts}} = 0.17$$

$ArmBoltCheck_{TG} = \text{if (TruckGustBoltRatio} \leq 1.0, \text{“OK”, “No Good”)} = \text{“OK”}$

## 2.18 Chequeo a Fatiga de la Base del Poste

### Rango de tensión en la soldadura de la placa base con el poste:

Selección de las propiedades del poste:

$$r_{pole\_base} = \frac{d_{pole\_base}}{2} = 7.5 \text{ in} \quad t_{pole} = 0.31 \text{ in} \quad I_{pole\_base} = 414 \text{ in}^4$$

### Tensión de fatiga:

$$M_{xNWfat\_total\_Pole} = 8.59 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad M_{TG\_Pole} = 3.53 \text{ kip} \cdot \text{ft} \quad M_{g\_arm} = 21.22 \text{ kip} \cdot \text{ft}$$

$$\sigma_{FAT\_Gal\_pole\_weld} = \frac{M_{g\_arm} \cdot r_{pole\_base}}{I_{pole\_base}} = 4.61 \text{ ksi}$$

$$GallopingWeldRatio = \frac{\sigma_{FAT\_Gal\_pole\_weld}}{\Delta F_{TH\_pole\_weld}} = 0.66$$

$PoleWeldCheck_{Gal} = \text{if (GallopingWeldRatio} \leq 1.0, \text{“OK”, “No Good”)} = \text{“OK”}$

$$\sigma_{FAT\_NW\_pole\_weld} = \frac{M_{xNWfat\_total\_Pole} \cdot r_{pole\_base}}{I_{pole\_base}} = 1.87 \text{ ksi}$$

$$NaturalGustsWeldRatio = \frac{\sigma_{FAT\_NW\_pole\_weld}}{\Delta F_{TH\_pole\_weld}} = 0.27$$

$PoleWeldCheck_{NW} = \text{if (NaturalGustsWeldRatio} \leq 1.0, \text{“OK”, “No Good”)} = \text{“OK”}$

$$\sigma_{FAT\_TG\_pole\_weld} = \frac{M_{TG\_Pole} \cdot r_{pole\_base}}{I_{pole\_base}} = 0.77 \text{ ksi}$$

$$TruckGustsWeldRatio = \frac{\sigma_{FAT\_TG\_pole\_weld}}{\Delta F_{TH\_pole\_weld}} = 0.11$$

$PoleWeldCheck_{TG} := \text{if (TruckGustsWeldRatio} \leq 1.0, \text{“OK”, “No Good”)} = \text{“OK”}$

### Rango de tensión en los pernos de la placa base:

$$A_{b\_bolts} = 19.67 \text{ in} \quad area_{b\_bolts} = 1.90 \text{ in}^2 \quad n_{b\_bolts} = 4$$

$$I_{b\_bolts} = n_{b\_bolts} \cdot area_{b\_bolts} \cdot \left(\frac{A_{b\_bolts}}{2.0}\right)^2 = 547.16 \text{ in}^4$$

$$\sigma_{\text{FAT\_Gal\_pole\_bolts}} = \frac{M_{\text{g\_arm}} \cdot \frac{A_{\text{b\_bolts}}}{2}}{I_{\text{b\_bolts}}} = 3.95 \text{ ksi}$$

$$\text{GallopingBoltRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_Gal\_pole\_bolts}}}{\Delta F_{\text{TH\_pole\_bolts}}} = 0.56$$

*PoleBoltCheck<sub>Gal</sub> = if (GallopingBoltRatio ≤ 1.0, “OK”, “No Good”)= “OK”*

$$\sigma_{\text{FAT\_NW\_pole\_bolts}} = \frac{M_{\text{xNWfat\_total\_Pole}} \cdot \frac{A_{\text{b\_bolts}}}{2}}{I_{\text{b\_bolts}}} = 1.6 \text{ ksi}$$

$$\text{NaturalGustBoltRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_NW\_pole\_bolts}}}{\Delta F_{\text{TH\_pole\_bolts}}} = 0.23$$

*PoleBoltCheck<sub>NW</sub> = if (NaturalGustBoltRatio ≤ 1.0, “OK”, “No Good”)= “OK”*

$$\sigma_{\text{FAT\_TG\_pole\_bolts}} = \frac{M_{\text{TG\_Pole}} \cdot \frac{A_{\text{b\_bolts}}}{2}}{I_{\text{b\_bolts}}} = 0.66 \text{ ksi}$$

$$\text{TruckGustBoltRatio} = \frac{\sigma_{\text{FAT\_TG\_pole\_bolts}}}{\Delta F_{\text{TH\_pole\_bolts}}} = 0.09$$

*PoleBoltCheck<sub>TG</sub> = if (TruckGustBoltRatio ≤ 1.0, “OK”, “No Good”)= “OK”*

## **2.19 Automatización de los cálculos para su comprobación y el fácil manejo de sus resultados.**

En las Figuras 2.7, 2.8 y 2.9 se muestran imágenes de la hoja de cálculo Excel que se creó para el fácil manejo de los resultados y para comprobar estos mismos, además de que queda como vía facilitadora para la resolución de otras estructuras similares a la aquí estudiada.

Definiciones y Suposiciones									
Características de los Materiales		Parámetros de Señales				Datos de las Cargas de Viento			
Es(ksi)=	29000	P <sub>signals</sub> (lbf)=	50	50	80	MRI <sub>(Tabla)</sub> =	700		
Fy(ksi)=	48	d <sub>x_signals</sub> (ft)=	20,83	29,75	40	G=	1,14		
γ <sub>steel</sub> (lbf/ft <sup>3</sup> )=	490	d <sub>y_signals</sub> (ft)=	4	4	4	V <sub>(Figura)</sub> (mph)=	115		
γ <sub>ice</sub> (lbf/ft <sup>3</sup> )=	56,8	A <sub>signals</sub> (ft <sup>2</sup> )=	8,7	8,7	13	Kd <sub>(Tabla)</sub> =	0,85		
Datos Geométricos y Peso propio		d <sub>x_signals_pole</sub> (ft)=	21,83	30,75	41	Fatiga			
Arm_taper(in/ft)=	0,14	d <sub>y_signals_pole</sub> (ft)=	21	21	21	V <sub>mean</sub> (mph)=	12,9		
Arm_base_diameter(in)=	12	l <sub>signals</sub> (ft)=	2	2	1,25	γ <sub>DC_E-I</sub> =	1,1		
t <sub>arm</sub> (in)=	0,3125	Parámetros de Letreros				γ <sub>wind_E-I</sub> =	1		
t <sub>pole</sub> (in)=	0,3125	P <sub>signs</sub> (lbf)=	22	15	15	10	γ <sub>DC_Fatigue</sub> =	1	
t <sub>ice</sub> (in)=	0,75	d <sub>x_signs</sub> (ft)=	5,67	17,5	27,5	37,75	I <sub>FW</sub> =	0,8	
Arm_end_mast_CL_length(ft)=	39,05	d <sub>y_signs</sub> (ft)=	1,52				I <sub>FTG</sub> =	0,85	
Arm_angle(deg)=	15	l <sub>signals</sub> (in)=	72	30	30	24	Factores de Resistencia		
Arm_rise(ft)=	4	w <sub>signs</sub> (in)=	24	36	36	30	φ <sub>flexure</sub> =	0,9	
t <sub>connection</sub> (ft)=	1	A <sub>signs</sub> (ft <sup>2</sup> )=	12	7,5	7,5	5	φ <sub>shear</sub> =	0,9	
h <sub>arm</sub> (ft)=	17	d <sub>x_signs_pole</sub> (ft)=	6,67	18,5	28,5	38,75	φ <sub>weld</sub> =	0,75	
d <sub>arm_base</sub> (ft)=	1	d <sub>y_signs_pole</sub> (ft)=	18,52	21	21	21	φ <sub>torsion</sub> =	0,95	
d <sub>arm_base_out</sub> (in)=	12,3125	l <sub>luminaire_arm</sub> (in)=	3,8				φ <sub>axial</sub> =	0,9	
d <sub>arm_base_out_ice</sub> (in)=	13,8125	A <sub>luminaire</sub> (ft <sup>2</sup> )=	3,3				φ <sub>bolt_tension</sub> =	0,75	
d <sub>pole_base</sub> (in)=	15						φ <sub>bolt_shear</sub> =	0,33	
Pole_taper(in/ft)=	0,14								

Figura 2.7 Hoja de cálculo Excel, Definiciones y Suposiciones.

Cargas Muertas									
Peso y Acciones del brazo del mástil		Peso de las señales y acciones				Acción total de las cargas muertas en la base del brazo			
Arm_length_to_bend(ft)=	15,45	M <sub>z_dead_signals</sub> (kip-ft)=	1,04	1,49	3,20	P <sub>dead_total</sub> (kip)=	1,42		
Arm_run_to_bend(ft)=	14,93					M <sub>dead_total</sub> (kip-ft)=	27,90		
Arm_length(ft)=	39,58	Peso de los letreros y acciones				Acción total de las cargas muertas en la base del poste			
Arm_tip_diameter(in)=	6,46	M <sub>z_dead_signs</sub> (kip-ft)=	0,12	0,26	0,41	0,38	P <sub>dead_total_p</sub> (kip)=	2,64	
d <sub>arm_tip_out</sub> (in)=	6,77	Acciones en la base del poste				M <sub>dead_total_p</sub> (kip-ft)=	27,90		
d <sub>arm_tip_out_ice</sub> (in)=	8,27	M <sub>z_dead_signals_p</sub> (kip-ft)=	1,09	1,54	3,28				
Average_diameter=	9,23	M <sub>z_dead_signs_p</sub> (kip-ft)=	0,15	0,28	0,43	0,39			
Cálculo del Centro de Gravedad del brazo del mástil		d <sub>pole_average</sub> (ft)=	1,09						
h <sub>trap</sub> (ft)=	39,58	P <sub>pole</sub> (kip)=	1,22						
a <sub>trap</sub> (ft)=	0,54								
b <sub>trap</sub> (ft)=	1								
x <sub>bar<sub>arm</sub></sub> (ft)=	17,81								
A <sub>arm_average</sub> (in <sup>2</sup> )=	8,75								
P <sub>arm</sub> (kip)=	1,18								
M <sub>dead_arm</sub> (kip-ft)=	21,00								

Figura 2.8 Hoja de cálculo Excel, Cargas Muertas.

Cargas de Viento-Extremo I												
Presión del viento método principal			Coeficientes de arrastre de los <b>Letreros</b>				Coeficientes de arrastre de las <b>Señales</b>					
z(ft)=	28		(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)			
z <sub>g</sub> (ft)=	900		ratio <sub>signs</sub> =	3	0,83	0,83	0,8	C <sub>d</sub> signals=	1,2	1,2	1,2	
α=	9,5		C <sub>d</sub> sign=	0,396666667	1,34939759	1,34939759	1,4					
Factor=	3,58701E-08		C <sub>d</sub> signs=	1,19	1,12	1,12	1,12					
Kz=	0,96											
Presión del viento en los <b>Letreros</b>			Presión del viento en las <b>Señales</b>									
			(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)			
			P <sub>z</sub> signs <sub>E1</sub> (psf)=	37,61	35,54	35,54	35,39	P <sub>z</sub> signals <sub>E1</sub> (psf)=	37,92	37,92	37,92	
Acciones del viento sobre los <b>Letreros</b> en la base del <b>Brazo</b>			Acciones del viento sobre las <b>Señales</b> en la base del <b>Brazo</b>									
			(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)			
			P <sub>w</sub> signs <sub>E1</sub> (lbf)=	451	267	267	177	P <sub>w</sub> signals <sub>E1</sub> (lbf)=	330	330	493	
			M <sub>wy</sub> signs <sub>E1</sub> (kip-ft)=	0,69	1,07	1,07	0,71	M <sub>wy</sub> signals <sub>E1</sub> (kip-ft)=	6,87	9,82	19,72	
			M <sub>wy</sub> signs <sub>E1</sub> (kip-ft)=	2,56	4,66	7,33	6,68	M <sub>wy</sub> signals <sub>E1</sub> (kip-ft)=	1,32	1,32	1,97	
Acciones del viento sobre los <b>Letreros</b> en la base del <b>Poste</b>			Acciones del viento sobre las <b>Señales</b> en la base del <b>Poste</b>									
			(1)	(2)	(3)	(4)	(1)	(2)	(3)			
			P <sub>w</sub> signs <sub>poie</sub> <sub>E1</sub> (lbf)=	451	267	267	177	P <sub>w</sub> signals <sub>poie</sub> <sub>E1</sub> (lbf)=	330	330	493	
			M <sub>wy</sub> signs <sub>poie</sub> <sub>E1</sub> (kip-ft)=	8,36	5,60	5,60	3,72	M <sub>wy</sub> signals <sub>poie</sub> <sub>E1</sub> (kip-ft)=	6,93	6,93	10,35	
			M <sub>wy</sub> signs <sub>poie</sub> <sub>E1</sub> (kip-ft)=	3,01	4,93	7,60	6,86	M <sub>wy</sub> signals <sub>poie</sub> <sub>E1</sub> (kip-ft)=	7,20	10,15	20,21	
Acción total del viento en la <b>Base Brazo</b>			Acción total del viento en la <b>Base Poste</b>									
			V <sub>wz</sub> <sub>E1</sub> (kip)=	2,84				V <sub>wsp</sub> <sub>E1</sub> (kip)=	3,28			

Figura 2.9 Hoja de cálculo Excel, Cargas de Viento-Extremo I.

### **Conclusiones Parciales:**

- De forma eficiente se comprobaron las tensiones provocadas por galopeo y ráfagas de viento (naturales e inducidas por camiones) en los tornillos de la unión brazo-poste y en los de la base del poste.
- Los chequeos de las tensiones de fatiga en las soldaduras de la base del poste y la base del brazo también arrojaron resultados satisfactorios.
- Las tensiones provocadas por galopeo tanto en las soldaduras como en los tornillos, aunque no llegan a fallar, alcanzan un valor mayor que las originadas por ráfagas de viento.
- Con esta metodología se realizan chequeos de fatiga, pero hay parámetros que no se llegan a conocer a través de ella, como son: los desplazamientos que ocurren en la estructura, las tensiones von mises y tangenciales que surgen, así como las deformaciones, entre otros. Surge así la necesidad de elaborar un modelo de elementos finitos que permita a través de la simulación obtener estos importantes parámetros.



## Capítulo 3: Modelado y simulación de la estructura de soporte

### Introducción

Teniendo en cuenta los criterios, conceptos y deficiencias detectadas en el procedimiento seguido y descrito en el capítulo anterior, se decide elaborar un modelo de elementos finitos para poder obtener a partir de la simulación, un conjunto de resultados tan importantes como los anteriores.

Se emplea el software profesional SOLIDWORKS, el cual es ampliamente utilizado internacionalmente en este tipo de tareas. En este capítulo se realiza una descripción completa del modelo y las invariantes para el análisis estático, de estabilidad y modal. También se exponen todos los resultados obtenidos teniendo en cuenta las cargas de viento y peso propio de la estructura y sus anexos.

### 3.1. Modelado de la Estructura de soporte: Invariante Geometría

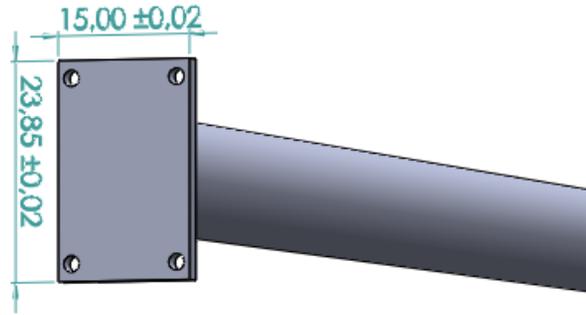
La estructura soporta tres semáforos y cuatro señales o avisos de tráfico de las cuales se conoce su posición y peso. Está formada por dos elementos principales: el poste y el brazo. El primero tiene una altura de 28 pies (8.53 m) mientras que el segundo posee 40 pies (12.19 m) de longitud. Un esquema de esta estructura fue mostrado en la Figura 2.1.

En el lugar donde se encuentra la estructura pueden existir vientos que alcanzan 115 mph (185 km/h), los cuales pueden representar un huracán de categoría 3 de acuerdo a la escala de Saffir/Simpson.

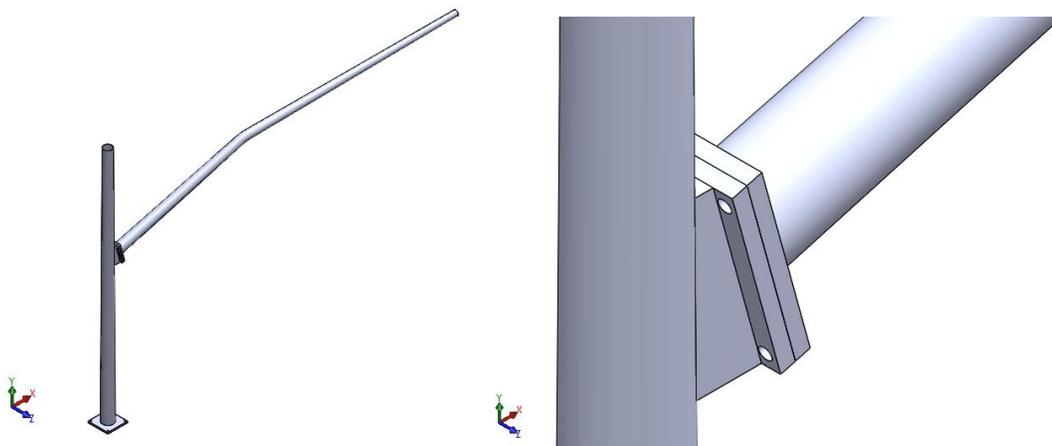
El Poste posee una forma cónica con un diámetro en la base de 15 in, este tiene un factor de reducción de 0,14 in/ft por lo que su diámetro en la punta es de 11,08 in. El Brazo al igual que el Poste es cónico con un factor de reducción de 0,14 in/ft, su diámetro en la base es de 12 in y en la punta 6,46 in, este tiene en su comienzo una ligera inclinación de 15 grados.

La unión entre el Brazo y el Poste se encuentra a 17ft de la base del Poste como se muestra en la Figura 2.1. Esta unión posee una chapa de 15x23.85 in con un espesor de 2 in (Figura 3.1).

Con dichos datos se construyó el modelo geométrico de la estructura el cual aparece representado en la Figura 3.2



**Figura 3.1 Detalles de la chapa de la unión en el Brazo**



**Figura 3.2 Modelo geométrico y detalle de la unión entre el brazo y el poste.**

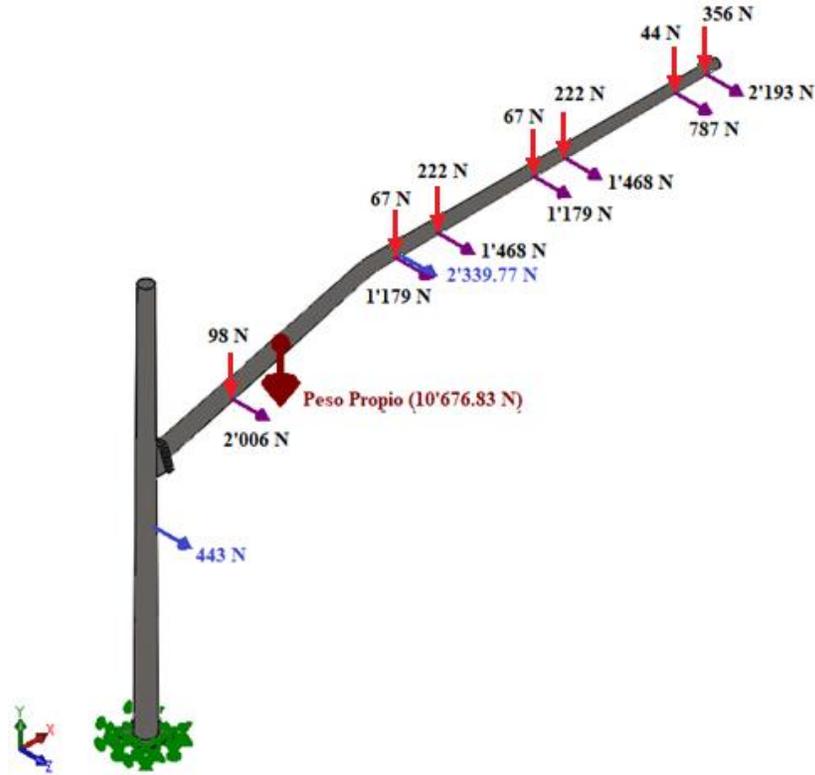
### **3.2. Modelado de la Estructura de soporte: Invariante Cargas**

En el modelo actúan dos tipos de cargas principales, las cargas muertas y las cargas de viento.

Las cargas muertas son provocadas por el peso propio de los elementos que intervienen en la estructura ya sea la estructura propiamente dicha o los elementos asociados a ella, que en este caso son tres semáforos y cuatro letreros. Estas cargas son normales al plano que contiene el apoyo de la estructura.

Las cargas de viento son las provocadas como su nombre lo dice por la incidencia del viento sobre el área de los elementos de la estructura y sobre el área de la estructura propiamente dicha. Estas fuerzas tienen la misma dirección del viento.

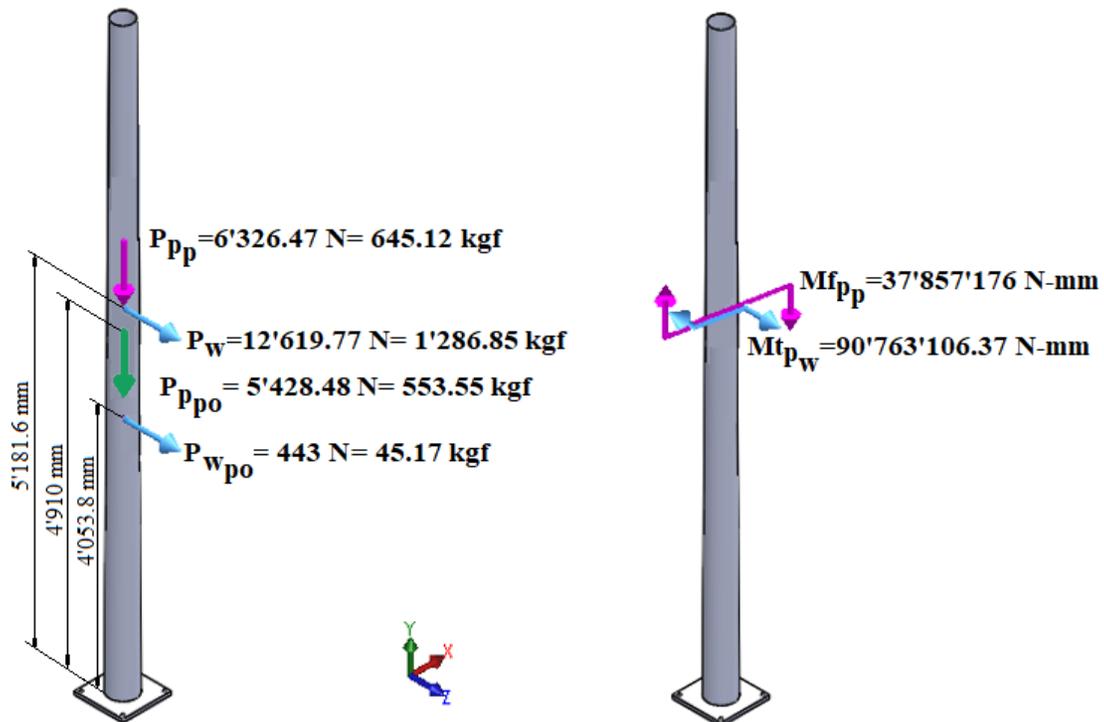
En la Figura 3.3 se observa un esquema de las cargas que actúan en el modelo.



**Figura 3.3 Cargas de viento (eje Z) y peso propio (eje Y) en Newton**

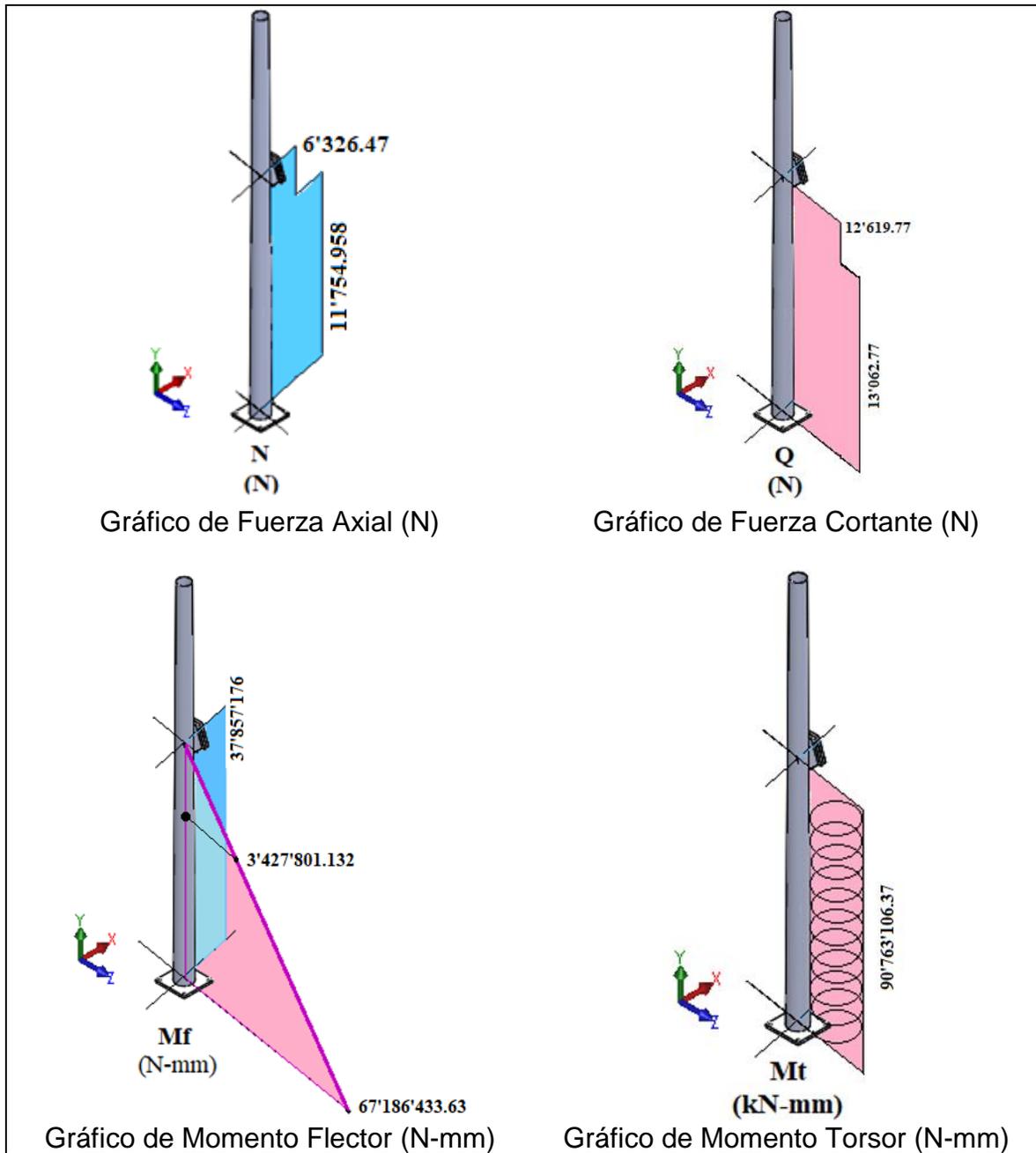
Las cargas señaladas en color lila son las cargas de viento sobre los semáforos y los letreros. Las de color rojo son las cargas de peso propio de los mismos, mientras que las de color azul son las de viento del Poste y del Brazo de la estructura. La de color marrón es el peso propio de toda la estructura.

El efecto de estas cargas se manifiesta en el resto de la estructura como fuerzas y momentos. En la Figura 3.4 se muestra el efecto de las cargas de viento y peso propio en el Poste.



**Figura 3.4 Efectos en el poste provocados por las cargas de viento ( $P_w$ ) y el peso propio ( $P_p$ )**

Para poder conocer las fuerzas internas que provocan estas cargas y sus efectos en el poste se construyeron los gráficos de fuerza normal, fuerza cortante, momento flector y momento torsor. En la Figura 3.5 aparecen estos gráficos.



**Figura 3.5 Fuerzas Internas en el poste**

A partir de estos momentos se calculan las tensiones equivalentes von Mises para posteriormente compararlas con las tensiones obtenidas en la simulación en la base del poste.

Momento Flector Resultante:

$$M = \sqrt{M_{f_{pp}}^2 + M_{f_{pw}}^2}$$

$$M = \sqrt{37'857'176^2 + 67'186'433,63^2}$$

$$M = 77'117'978.70 \text{ N-mm}$$

Módulo de la sección:

$$W_x = \frac{\pi \cdot D^3}{32} * \left(1 - \left[\frac{d}{D}\right]^4\right)$$

$$= \frac{\pi \cdot (381)^3}{32} * \left(1 - \left[\frac{365,125}{381}\right]^4\right)$$

$$= 849'512.48 \text{ mm}^3$$

Momento Reducido:

$$M_{red-VM} = \sqrt{0.75 M_{t_{pw}}^2 + M^2}$$

$$M_{red-VM} = \sqrt{[0.75(90'763'106,37)^2] + [(77'117'978.70)^2]}$$

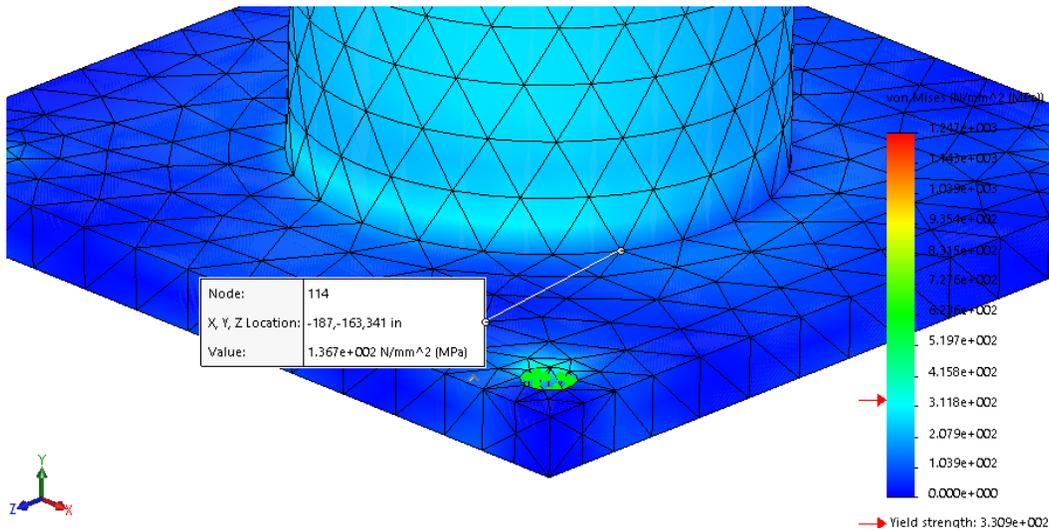
$$M_{red-VM} = 110'116'478.09 \text{ N-mm}$$

Tensión Equivalente en la base del Poste (según la Teoría de Von Mises):

$$\sigma_{EQ-VM} = \frac{M_{red-VM}}{W_x} = \frac{110'116'478.09}{849'512.48} =$$

$$\sigma_{EQ-VM} = 129.62 \text{ MPa}$$

Valores cercanos a estas tensiones calculadas se pueden apreciar en la Figura 3.6. Los mismos fueron tomados en el nodo 114 de la unión entre el poste y su base de apoyo (136.7 MPa).



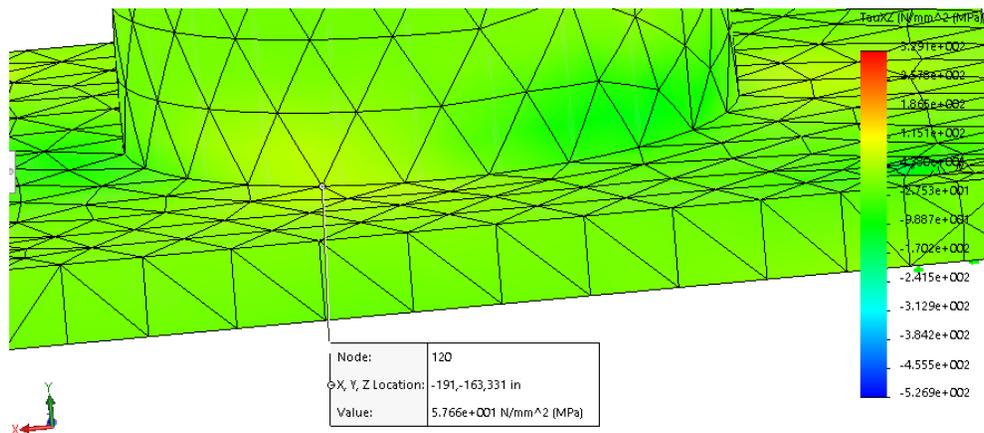
**Figura 3.6 Tensiones von Mises en el nodo 114 de la unión poste-base.**

Con el valor del momento torsor y el módulo de la sección calculados anteriormente se determina el valor de la tensión tangencial

Tensión Tangencial:

$$\tau_{Máx} = \frac{Mt}{W_p} = \frac{90'763'106.37}{2W_x} = \frac{90'763'106.37 \text{ N-mm}}{2(849'512.48)mm} = 53.42 \text{ MPa}$$

En la Figura 3.7 se observa el valor de tensión tangencial calculado por el software en el nodo 120 de la unión entre el poste y su base de apoyo (57.6 MPa).



**Figura 3.7 Tensiones tangenciales en el nodo 120 de la unión poste-base.**

### 3.3. Software empleado

El software utilizado para el modelado es el SOLIDWORKS, este es un software CAD (Diseño Asistido por Computadora) para modelado mecánico en 3D y 2D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una filial de Dassault Systèmes, S.A (Suresnes, Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows. Su primera versión fue lanzada al mercado en 1995 con el propósito de hacer la tecnología CAD más accesible.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellas tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistema CAD. El proceso consiste en trasladar la idea mental del diseñador al sistema CAD construyendo virtualmente la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera automatizada.

Este software es tan sencillo como potente y permite que cualquier empresa pueda hacer sus ideas realidad. Las soluciones de SOLIDWORKS se centran en la forma en que trabaja con un entorno de diseño en 3D integrado e intuitivo que abarca todos los aspectos del desarrollo del producto y que ayuda a maximizar la productividad del diseño y la producción. Más de 2 millones de diseñadores e ingenieros de todo el mundo usan este software.

### 3.4. Modelado de la Estructura de soporte: Invariantes Restricciones y Malla

Las restricciones impuestas al modelo son del tipo “Geometría Fija” y fueron colocadas en los cuatro agujeros de la placa base. En la Figura 3.8 se observa un detalle de las restricciones y un modelo listo para simular donde se puede apreciar la malla, las cargas y las restricciones.

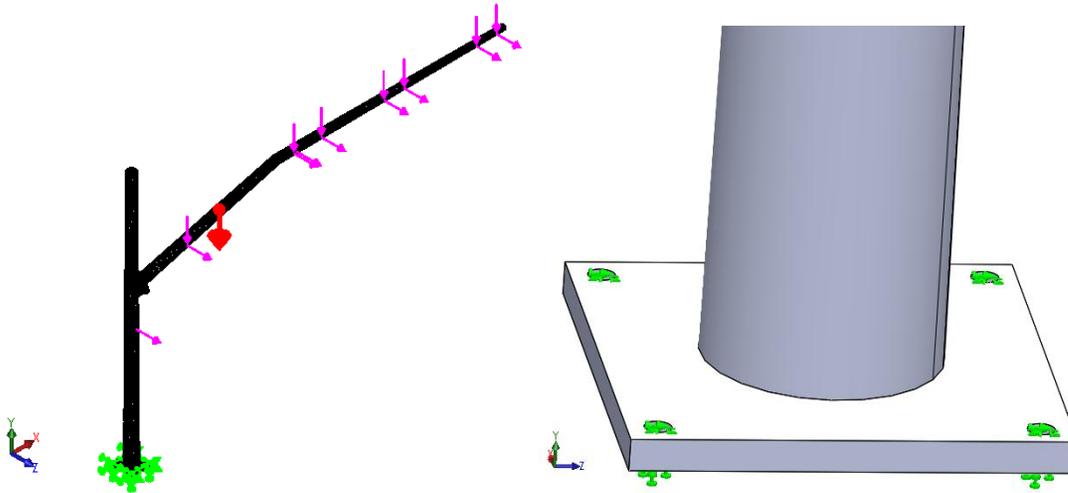


Figura 3.8 Modelo de Elementos Finitos y detalle de las restricciones.

La malla es uno de los elementos más importantes para la simulación por el método de elementos finitos, cada malla que se realice tiene sus propias características. La malla creada para la simulación en la estructura de soporte previamente referida es una malla solida de elementos tetraédricos parabólicos de 10 nodos con un total de 4 puntos Jacobianos. El tamaño de los elementos de dicha malla oscila entre 17 y 54 milímetros (mínimo y máximo) para un total de 48'749 elementos y 96'234 nodos. En la Figura 3.9 se muestran más detalles.

Mesh Details	
Study name	Static 1 (Predeterminado)
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	54 mm
Min Element Size	17.0103 mm
Mesh quality	High
Total nodes	96234
Total elements	48749
Maximum Aspect Ratio	3998.9
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	11.9
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	28.5
% of distorted elements (Jacobian)	0
Remesh failed parts with incompatible mesh	Off
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:14



Figura 3.9 Detalles de la Malla

### 3.5. Modelado de la Estructura de soporte: Invariante Material

La estructura de tubos posee un tipo de material mientras que las placas de unión entre el brazo y el poste y la placa base poseen otro material. Sus características más importantes e imprescindibles para la simulación son:

Material tubos (ASTM A500 Grade B):

$$E_s = 29000 \text{ ksi} \quad F_y = 48 \text{ ksi} \quad \gamma_{steel} = 490 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

Material de las placas de unión y la placa base (AISC A36):

$$E_s = 29000 \text{ ksi} \quad F_y = 36 \text{ ksi} \quad \gamma_{steel} = 480 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

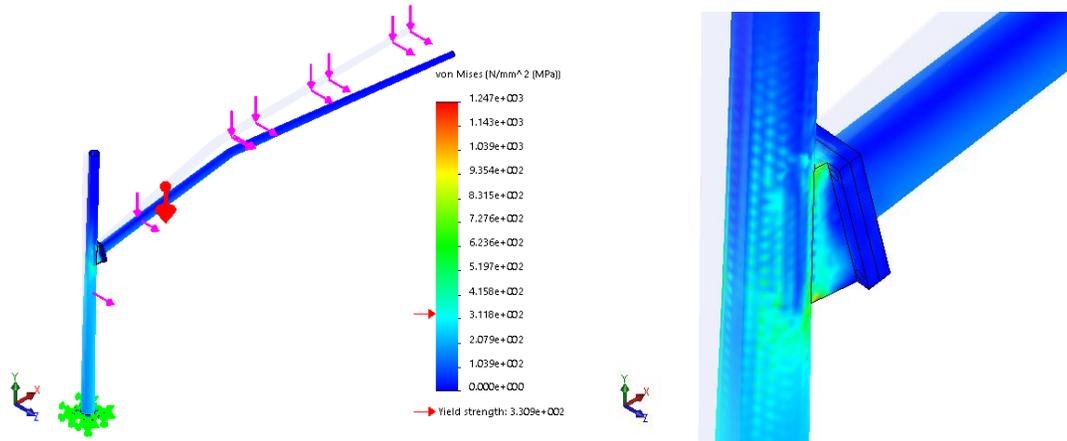
### 3.6. Análisis de los resultados de la simulación

#### Análisis de tensiones y deformaciones

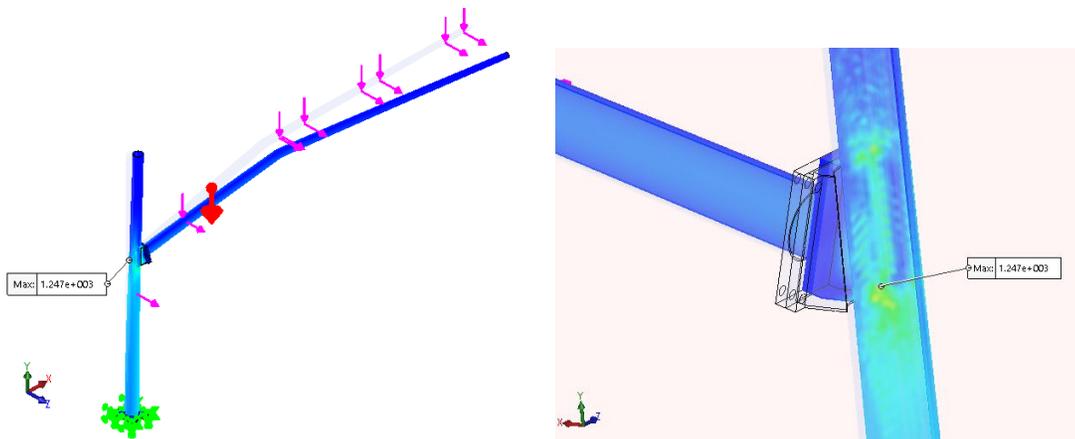
El comportamiento de las tensiones de Von Mises de toda la estructura puede ser apreciado en la Figura 3.10. El valor máximo de estas tensiones es de 1247 MPa y se encuentra en un punto situado en el interior del Poste en la zona de la unión Poste-Brazo como se muestra en la Figura 3.11.

Esa intersección geométrica compleja entre ambos tubos, unidos por dos placas de 2 pulgadas cada una, hacen que el comportamiento de esa zona sea como un empotramiento que soporta las cargas que actúan en el brazo y que llegan hasta dicho punto.

En esa zona, como se pudo apreciar previamente aparecen fuerzas normales, fuerzas cortantes, momentos flectores y torsores, siendo estos los que motivan que aparezcan puntos con esos valores de tensiones.



**Figura 3.10 Tensiones Equivalente Von Mises (MPa) y detalle exterior en la zona de unión**

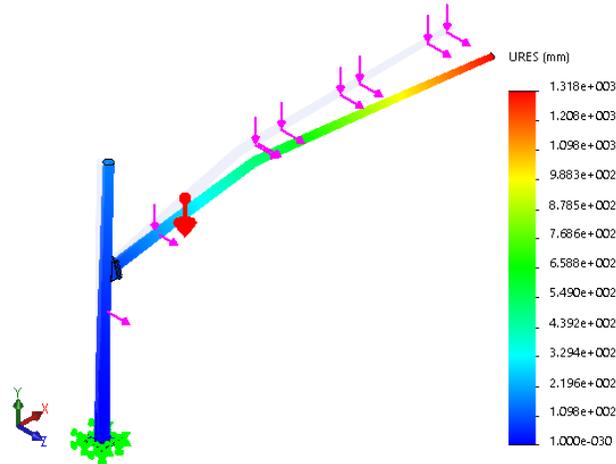


**Figura 3.11 Tensiones Von Mises máximas (MPa) en el interior del poste con el corte de toda la estructura.**

Los desplazamientos se comportan de una manera distinta por completo a las tensiones. Como se muestra en la Figura 3.12 los desplazamientos se van incrementando a lo largo de la estructura de forma que, mientras más lejos esté un punto de las restricciones (Base del Poste) mayor será su desplazamiento. Es así que el mayor valor de desplazamiento se encuentra en la zona más alejada de la Base del Poste (Punta del Brazo) con un valor de 1318 mm.

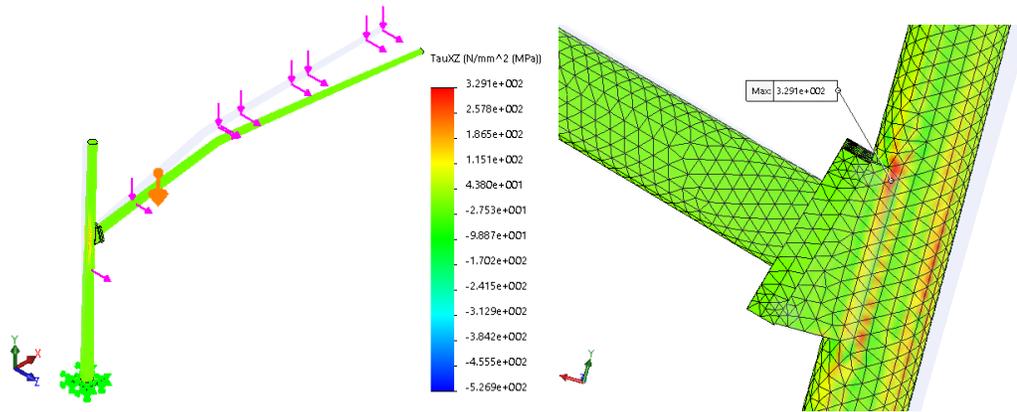
En estos desplazamientos tienen una mayor influencia las cargas de viento que actúan sobre la estructura.

Se debe tener en cuenta que esta simulación se realizó con datos de cargas de viento extremos, es decir, vientos con velocidades de 185 km/h y por otro lado la estructura posee un voladizo de 12.19 m, lo que justifica estos resultados del desplazamiento.



**Figura 3.12 Desplazamientos resultantes (mm)**

Las tensiones tangenciales, como se muestra en la Figura 3.13, tienen un valor máximo de 329 MPa ubicado en la zona de la unión Brazo-Poste. Estas tensiones tangenciales a diferencia de las de Von Mises tienen un comportamiento regular a lo largo de casi toda la estructura.

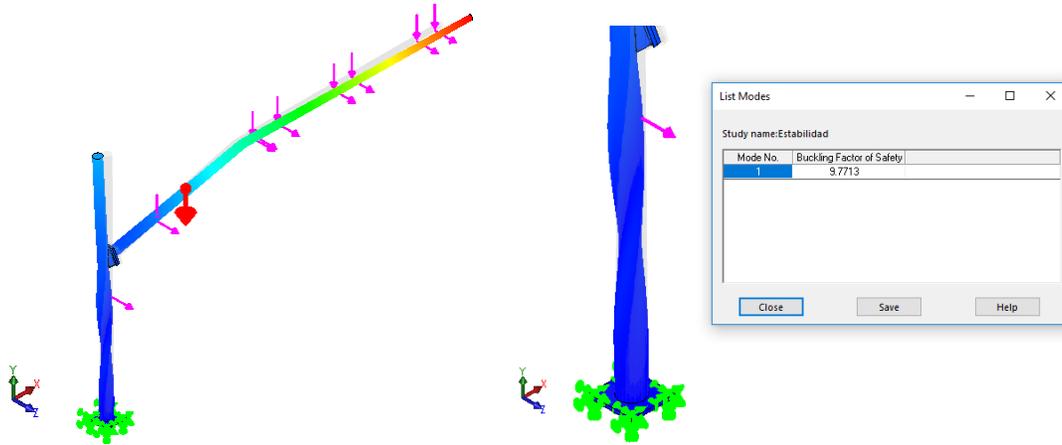


**Figura 3.13 Tensiones Tangenciales máximas  $\tau_{xz}$  y detalle exterior en la zona de unión**

### Estudio de Estabilidad

Teniendo en cuenta que el poste está sometido a una carga de compresión proveniente de los pesos propios de los semáforos y señales y que la sección transversal del mismo es anular con diámetro exterior de 381 mm y espesor de 7.9375 mm se decidió hacer la comprobación de la estabilidad de este elemento.

Los resultados de este estudio se pueden observar en la Figura 3.14



**Figura 3.14 Resultados del estudio de Estabilidad.**

De este estudio se observa que el Factor de Seguridad a Estabilidad (Buckling Factor of Safety) es de 9.7713 por lo que se puede afirmar que el poste no tendrá problemas de Estabilidad.

### Estudio de Frecuencias

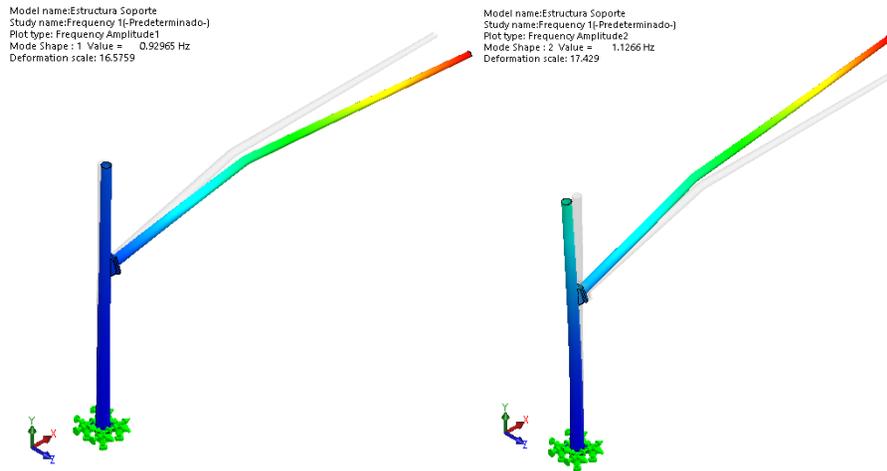
Como se mencionó anteriormente, en la zona donde se encuentra la estructura calculada pueden ocurrir vientos de 185 km/h, los cuales representan vientos huracanados de categoría 3 de acuerdo a la escala Saffir/Simpson. Bajo esta categoría los daños se consideran extensos. Por todo ello, se decide hacer el análisis modal de la estructura para posteriormente comprobar la ocurrencia o no del fenómeno de resonancia.

Se calculan las frecuencias propias o naturales, cuyos valores en Rad/seg y en Hertz, así como el período en segundos, aparecen en la Figura 3.15

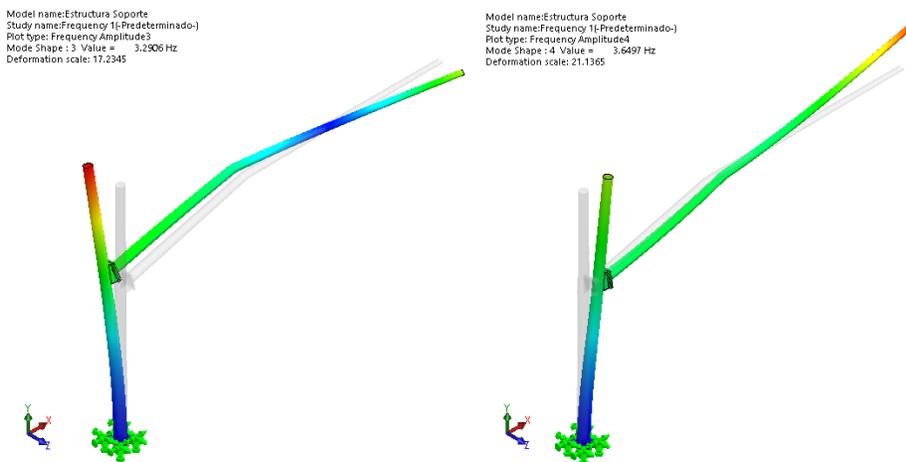
Mode No.	Frequency(Rad/sec)	Frequency(Hertz)	Period(Seconds)
1	5.8412	0.92965	1.0757
2	7.0786	1.1266	0.88763
3	20.675	3.2906	0.3039
4	22.932	3.6497	0.27399
5	55.143	8.7762	0.11394

**Figura 3.15 Valores de las Frecuencias naturales y el período**

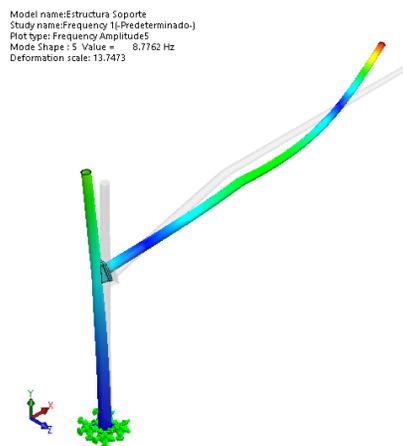
Los modos naturales de oscilación de la estructura aparecen en las Figuras 3.16-3.18.



**Figura 3.16 Modos 1 y 2 de oscilación de la estructura**



**Figura 3.17 Modos 3 y 4 de oscilación de la estructura**



**Figura 3.18 Modo 5 de oscilación de la estructura**

### **Conclusiones Parciales:**

- Se realizó el análisis estático del modelo creado de la estructura de soporte de señalizaciones viales. Las tensiones Von-Mises obtenidas son elevadas en algunos puntos debido a la compleja configuración geométrica de la unión brazo-poste. Sin embargo, el resto de la estructura presenta un adecuado comportamiento tensional.
- Los desplazamientos también son considerables debido a que la simulación se efectuó con elevadas cargas de viento, similares a las que ocurren en el lugar donde se encuentra la estructura.
- Se realizó el cálculo de estabilidad del poste ya que inicialmente se pensó que el peso propio de la estructura podía provocar la pérdida de estabilidad del mismo. El resultado de este cálculo fue satisfactorio.
- También se llevó a cabo el cálculo de las frecuencias naturales de oscilación y los modos de las mismas para en un futuro efectuar el cálculo dinámico completo de la estructura, que por motivos de tiempo no se llegaron a efectuar en este trabajo.

## Conclusiones Generales

- Fue descrita la metodología de cálculo analítico *AISC* para las estructuras de soporte para las señalizaciones viales. La misma fue automatizada en una hoja de cálculo Excel y comprobada con una estructura real de una ciudad de E. U. Esta metodología no permite conocer algunos parámetros importantes en las estructuras como el desplazamiento, las tensiones von mises y las deformaciones. Por lo que fue necesario acudir a otras vías de cálculo.
- Fueron determinadas las principales cargas que actúan en estas estructuras. Los mayores daños los provocan el viento natural, las ráfagas inducidas por camiones y las cargas muertas.
- Se determinó el comportamiento completo de la estructura realizando la simulación de la misma. Se llegó a conocer los parámetros que no fueron determinados por la metodología utilizada inicialmente, por lo que la simulación complementa la metodología empleada.

## **Recomendaciones**

- Realizar el análisis dinámico de la estructura con el empleo de un software adecuado para el mismo.
- Analizar otras variantes de la estructura, modificando la geometría de la misma, tratando de disminuir las tensiones que se provocan en la unión brazo-poste.

## Bibliografía

1. Beer, F.R.J., E., Jr., *Mecánica vectorial para ingenieros. Estática*. 1997, Mexico D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICADNA, S. A. DE C.V.
2. AASHTO, *Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs Luminaries and Traffic Signals*. 2013.
3. SA, *Manual de Workover Rigs*. 2010.
4. *Estructuras de soporte de señalización de tránsito* www.alacero.org. 2016.
5. Zeevaert W., L., *Interaccion suelo-estructura de cimentacion*. 1991: LIMUSA S.A. de C.V.
6. McDonald, J.R., Mehta, K.C; Oler, W., and Pulipaka, N Wind load effects on signs, luminaires, and traffic signal structures. 1995.
7. Luis, B., *Mecánica de los Suelos* I.o. bernal, Editor.
8. Chagoyén M., E.L. *Conferencia N°10 de Maestría de Estructuras*. 1996.
9. Méndez, E.C., *MODELO DE LA VIGA SOBRE APOYOS ELÁSTICOS. MÉTODO DE LOS PARÁMETROS DE ORIGEN*.
10. Chagoyén M., C.A., et al., *Estado actual y perspectivas de investigación de los cables metálicos de tiro e izaje para cargas medias y altas*.
11. Beer, F. and E. Russell Johnston, Jr., *Mecánica vectorial para ingenieros. Estática*. 1997, Mexico D.F.: McGRAW-HILL INTERAMERICADNA, S. A. DE C.V.
12. Castellón, O.F.R., Miguel L. Pino, *MODELACION MECANICA DE ESTRUCTURAS ISOSTATICAS*. 2011.
13. Encurred, [www.ecurred.cu](http://www.ecurred.cu).
14. William A. Thornton, C., *MANUAL OF STEEL CONSTRUCTION LOAD & RESISTANCE FACTOR DESIGN*. 1994.

15. Normalizacion, NC 285 *Carga de viento .Método de cálculo.* 2003.