

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA



12no SIMPOSIO INTERNACIONAL DE ESTRUCTURAS,
GEOTECNIA Y MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Análisis de estructuras de soporte para la señalización vial

Support structures analysis for the highways signaling

**César A. Chagoyen Méndez¹, Sergio A. Rojas Pérez¹, Ernesto L. Chagoyen Méndez²
Constantina Álvarez Peña³, Carlos G. Díaz Sáenz⁴**

1- César Alberto Chagoyen Méndez, Sergio Alejandro Rojas Pérez. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. E-mail: cachagoyen@uclv.edu.cu srperez@uclv.cu

2- Ernesto Luciano Chagoyen Méndez. Facultad de Construcciones. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. E-mail: chagoyen@uclv.edu.cu

3- Constantina Álvarez Peña. Universidad de Oviedo, Campus de Viesques. Dpto. Ing. Eléctrica, - Bloque 3.1.10 - (33204), Gijón – Asturias, España. E-mail: tina@uniovi.es

4- Carlos Gabriel Díaz Sáenz. Universidad Autónoma del Caribe. Facultad de Ingeniería. Calle 90 # 46-112, Bloque G. Barranquilla, Atlántico. Colombia. E-mail: diaz.saenz@gmail.com

Resumen:

En el presente trabajo se desarrolla el análisis de una estructura de soporte para la señalización vial. En la actualidad para el cálculo de estas estructuras existe la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) denominada "Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries and Traffic Signals, 6ta edición del 2013. Con esta norma se realiza fundamentalmente el chequeo a Fatiga, pero no se pueden obtener parámetros tan importantes como las tensiones von Mises, las tensiones tangenciales y los desplazamientos en cualquier punto de la estructura. Este problema fue resuelto por dos vías: se realizó el cálculo analítico a través de la norma y los métodos establecidos para

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA



ello y además se confecciona un modelo numérico para complementar los cálculos realizados y a la vez validar los resultados del cálculo analítico.

Fue necesario determinar las cargas que actúan sobre la estructura de soporte y las combinaciones más críticas para su análisis. Se automatizó la metodología analítica en una hoja de cálculo la cual fue aplicada a una estructura real. Se comprobaron las tensiones provocadas por galopeo y ráfagas de viento (naturales e inducidas por camiones) así como las tensiones de fatiga en las soldaduras. Finalmente, se determinó el comportamiento completo de la estructura realizando la simulación numérica de la misma. Se llegaron a conocer los parámetros que no fueron determinados por la vía analítica, por lo que la simulación complementó la metodología empleada.

Palabras Clave: Estructuras de Soporte; Señalización Vial; Simulación Numérica.

Abstract:

Presently work the analysis of a support structure for road signaling is developed. Currently for the calculation of these structures there is the AASHTO standard (American Association of State Highway and Transportation Officials) denominated "Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries and Traffic Signals, 6th edition of 2013. With this standard is performed fundamentally the Fatigue checkup, but parameters so important as von Mises stress, shear stress and displacements at any point of the structure cannot be obtained. This problem was solved by two ways: was carried out the analytic calculation through the standard and methods established for it and a numeric model is also made to complement the calculations made and at the same time to validate the results of the analytic calculation.

The loads that act on the support structure and the most critical combinations for its analysis were determined. The analytical methodology was automated in a spreadsheet which was applied to a real structure. The stress caused by gallop and wind gusts (natural and induced by trucks) as well as the fatigue stresses in the welds were checked. Finally, the complete behavior of the structure was determined by performing the numerical simulation of the same. Ended up knowing the parameters that were not determined by the analytical way, so the simulation complemented the used methodology.

Keywords: Support Structures; Highway Signaling; Numeric Simulation.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**



1. 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.

Este código de orientación se complementaba con el primer mapa de carreteras conocido. 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 se avanza poco en este sentido.

Los patrones básicos de las señales de tráfico se establecieron en el 1908 en el Congreso Internacional de Carreteras, en Roma. Ya 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. 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 Búfalo 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 e Indiana recorrieron varios Estados con la intención de desarrollar una base uniforme de

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**



signos y marcas viales. En 1935, se publicó la primera guía de normas de tráfico a nivel interestatal la cual ha crecido y revisado aproximadamente cada diez años.

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 diseñadas 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 [5], [6], [7]. Se clasifican en Postes y Estructuras, de estas últimas aparecen las rigidizantes y las de soporte tipo voladizo, tipo bandera, tipo bandera doble y tipo puente. Estos junto a los tableros, elementos de sujeción, tornillos y anclas deben ser de acero galvanizado. Para el cálculo de las estructuras existe la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) denominada “Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries and Traffic Signals, 6ta edición del 2013 [12]. Con esta norma se realiza fundamentalmente el chequeo a Fatiga, pero no se llega a las tensiones von Mises, a las tensiones tangenciales y los desplazamientos en cualquier punto de la estructura.

Para determinar el comportamiento completo de la estructura de soporte para la señalización vial, que es lo que se presenta en este trabajo, fue necesario inicialmente determinar las cargas que actúan sobre la estructura (viento natural y ráfagas producidas por los camiones) y las combinaciones más críticas para su análisis. Posteriormente, se realizó el cálculo analítico a través de las normas (AASHTO) establecidas para ello, elaborando un diagrama de bloque o de flujo de los cálculos y confeccionando una hoja de cálculo Excel. Finalmente, se confeccionó un modelo de elementos finitos y se simuló numéricamente, con un programa de elementos finitos, la estructura de soporte bajo las cargas determinadas. De forma tal que con ambos resultados se obtenga el comportamiento completo de la estructura.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA



2. Metodología

2.1. Tipos y efectos principales de las cargas

Las cargas de diseño para estas estructuras incluyen: cargas muertas y vivas, cargas de hielo, y cargas de viento, siendo estas últimas las que mayor influencia tienen en el diseño. Las cargas muertas incluyen 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 más importantes producidos por las cargas del viento que pueden conducir a la vibración y la fatiga son: las ráfagas naturales, las ráfagas inducidas por camiones y el galopeo. 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.

Ráfagas naturales de viento: aportan las vibraciones más comúnmente inducidas en las estructuras de soporte. Ejercen una fuerza fluctuante que es principalmente horizontal, por lo que el movimiento resultante del Brazo también lo es, aunque 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.

El agrietamiento por fatiga es la falla que se produce y 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. En los lugares donde la velocidad del viento alcanza valores máximos, pero no constantes, la posibilidad de falla por fatiga es mínima.

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

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**



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. Las grietas de la fatiga causada se desarrollan en la conexión del Brazo con el Poste y en la base del Poste, esto ocurre en un período de varios años.

Galopeo: Las acciones del galopeo provocan la aparición de oscilaciones en dirección perpendicular al flujo del viento. 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. 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. [8]

Como se ha podido apreciar en la descripción de los tipos y efectos principales de las cargas todos apuntan a la fatiga como falla principal. Es por ello que, cuando se emplean las normas AASHTO se realizan los chequeos de fatiga principalmente en la base del Brazo y del Poste bajo estos tipos de cargas.

2.2. Cálculo analítico de estructuras mediante las normas AASHTO

Una descripción simplificada del cálculo de estructuras elevadas de soporte de señalización vial mediante las normas AASHTO se puede apreciar en el Diagrama de Bloque o de Flujo que aparece representado en la Figura 1 el cual constituyó una guía para el trabajo posterior.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA

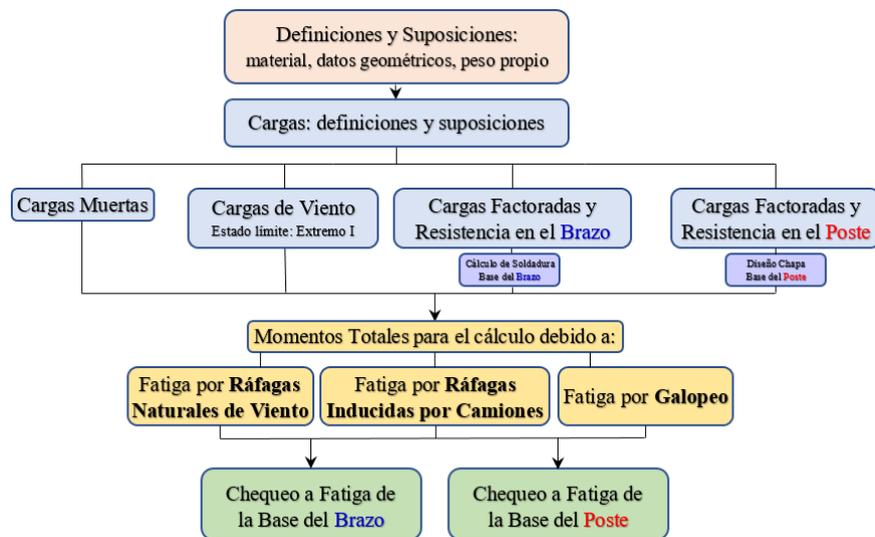


Figura 1 Diagrama de Bloque o de Flujo para el cálculo analítico (norma AASHTO) de estructuras elevadas de soporte de señalización vial. Fuente: elaboración propia.

El cálculo comienza con las **Definiciones y Suposiciones** tales como las características del material de la estructura, los datos geométricos y el peso propio, entre otros. Luego se definen las **Cargas** y las suposiciones consideradas. Pueden ser: *Cargas Muertas*: para las cuales hay que definir el peso y las acciones tanto en el Brazo como en el Poste, considerando básicamente las Señales (semáforos) y los Letreros. *Cargas de Viento*: estado límite: Extremo I. *Cargas Factoradas* y Chequeo de Resistencia tanto en Brazo como en el Poste. Posteriormente a estos dos cálculos se realiza el cálculo de la Soldadura en la Base del Brazo y el Diseño de la Chapa Base del Poste. A continuación, se calculan los **Momentos Totales para el Cálculo a Fatiga** en cada uno de los ejes correspondientes (tanto en la Base del Brazo como en la Base del Poste) debido a: Fatiga por ráfagas naturales de viento; Fatiga por ráfagas inducidas por camiones y Fatiga por galopeo. Ya con los momentos Totales, se puede realizar el **Chequeo a Fatiga** de la Base del Brazo y de la Base del Poste. A partir del Diagrama de Bloque descrito anteriormente se elaboraron 15 hojas de cálculo en Excel enlazadas que facilitaron el procesamiento de toda esta información y los cálculos en forma matricial, debido a la existencia de varias señales y semáforos, de tamaño y dimensiones diferentes (170 datos y 450 expresiones). Un ejemplo de estas hojas de cálculo es la que se muestra en la Figura 2 con el Chequeo a Fatiga en la Base del Brazo.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**

Conexión de la Base del Brazo, Detalles y Definiciones				Chequeo de Fatiga			
$A_{botz}(in)=$	12			Rango de tensión en la soldadura de la placa con la base del brazo		Rango de tensión en los pernos de la conexión de la placa con la base del brazo	
$B_{botz}(in)=$	20			$\sigma_{FAT_gal_weid}(ksi)=$	7.2	$A_{bot}(in)=$	12
$\Delta F_{TH_arm}(ksi)=$	7			GallopingRatio=	0.72	$B_{bot}(in)=$	20
$t_{arm_plate}(in)=$	2			ArmWeldCheck _{gal} =		area _{botz} (in ²)=	1.41
$A_{arm_fatigue}(ksi^3)=$	2200000000					$n_{bot}(in)=$	4
$D_f(in)=$	12.31			$\sigma_{FAT_NW_weid}(ksi)=$	2.86	$I_{long}(in^4)=$	564
$D_{bc}(in)=$	24			NaturalGustRatio=	0.29	$I_{short}(in^4)=$	203.04
$N_g=$	4			ArmWeldCheck _{NW} =		$\sigma_{FAT_gal_bolt}(ksi)=$	2.71
$t_f(in)=$	0.31					GallopingBoltRatio=	0.39
$t_{fp}(in)=$	2			$\sigma_{FAT_TG_weid}(ksi)=$	0.82	ArmBoltCheck _{gal} =	
$D_{cpf}(in)=$	3			TruckGustRatio=	0.08		
$C_{cp}=$	0.24			ArmWeldCheck _{TG} =	ok	$\sigma_{FAT_NW_bolt}(ksi)=$	4.23
$C_{bc}=$	1.95					NaturalGustBoltRatio=	0.60

Figura 2 Hoja Excel para el Chequeo a Fatiga en la Base del Brazo. Fuente: elaboración propia.

Para validar estas hojas de cálculo se evaluó una estructura de soporte de señalizaciones de tránsito localizada en Chicago, Illinois, que permite la comprobación de las expresiones introducidas en las hojas. Esta estructura se encuentra resuelta analíticamente y publicada en el Apéndice C del Reporte NCHRP 796 [3] y [14], en [4] aparecen otros ejemplos de estructuras. Este análisis se basa en las normas AASHTO [12].

La estructura es del tipo voladizo y soporta tres semáforos y cuatro señales (anexos). Las dimensiones geométricas de la estructura, así como la posición de los semáforos y señales se puede apreciar en la Figura 3. La estructura está localizada en una autopista donde el límite de velocidad es de 45 mph y ocurren vientos frecuentes por lo que el estado de fatiga límite debe ser comprobado.

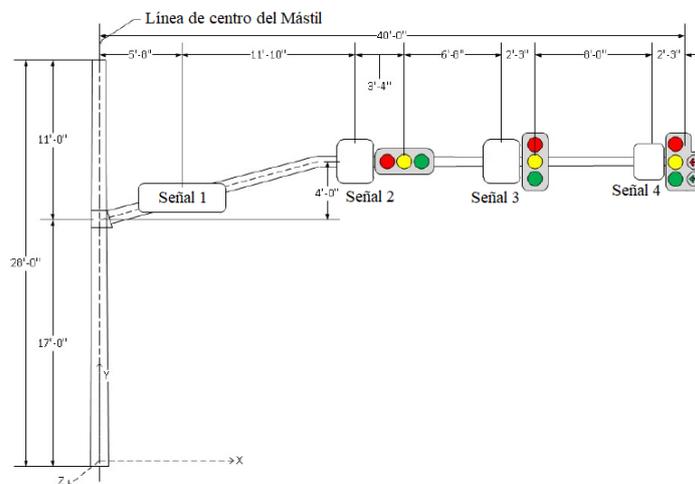


Figura 3 Dimensiones geométricas de la estructura a calcular y ubicación de los anexos. Fuente: [3].

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**



Finalmente 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, con resultados satisfactorios. Los chequeos de las tensiones de fatiga en las soldaduras de la Base del Poste y la Base del Brazo también arrojaron buenos resultados y muy similares a los del ejemplo del Reporte mencionado.

Una conclusión interesante de este cálculo es que 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.

Como se mencionó anteriormente con esta norma se realizan chequeos de fatiga en distintos puntos de la estructura, 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 las tensiones tangenciales que surgen, así como las deformaciones, entre otros.

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

Se emplea el software profesional SolidWorks [11], el cual es ampliamente utilizado internacionalmente en este tipo de tareas.

En la bibliografía revisada aparece el software “SABRE” (Sign bridge analysis and evaluation systems) de Bridge Engineering Software & Technology Center de la University of Maryland, USA, que permite realizar estos y otros cálculos, pero por su precio se encuentra fuera de nuestro alcance. [9]

2.3. Modelado de la Estructura de soporte. Invariante: Geometría

Como se mencionó anteriormente 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 4.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA



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. [10]

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 el mismo factor de reducción, 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 4. Esta unión posee una chapa de 15x23.85 in con un espesor de 2 in. Con dichos datos se construyó el modelo geométrico de la estructura el cual aparece representado en la Figura 4. En dicha figura aparece un detalle de la unión Brazo-Poste.

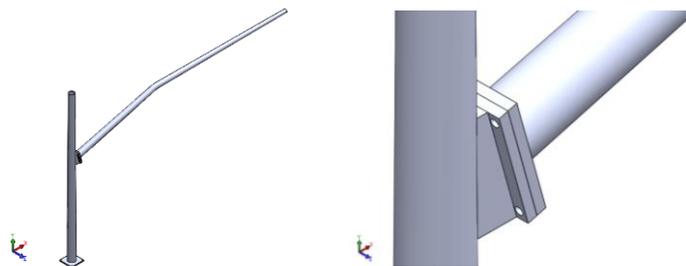


Figura 4 Modelo geométrico y detalle de la unión entre el Brazo y el Poste. Fuente: elaboración propia.

2.4. Invariantes: Restricciones y Cargas

Las restricciones impuestas al modelo son del tipo “Geometría Fija” y fueron colocadas en el interior de los cuatro agujeros de la placa base, donde van los tornillos de fijación. En la Figura 5 se pueden observar las restricciones y un detalle de las restricciones.

Esta estructura será simulada con los mismos tipos de carga que fue calculado el ejemplo del Reporte, es decir, cargas muertas y 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 5 se

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
 CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA

observa un esquema de las cargas que actúan en el modelo. Las cargas señaladas en color lila son las cargas de viento sobre los semáforos y los letreros (2'006, 1'179, 1'468, 1'179, 1'468, 787 y 2'193 N). Las de color rojo son las cargas de peso propio de los mismos (98, 67, 222, 67, 222, 44 y 356 N), mientras que las de color azul son la resultante del viento en el Poste y en el Brazo de la estructura (443 y 2'339.77 N). La de color marrón es el peso propio de toda la estructura (10'676.83 N). El efecto de estas cargas se manifiesta en el resto de la estructura como fuerzas y momentos. En la Figura 6 se muestra el efecto de las cargas de viento y peso propio en el Poste.

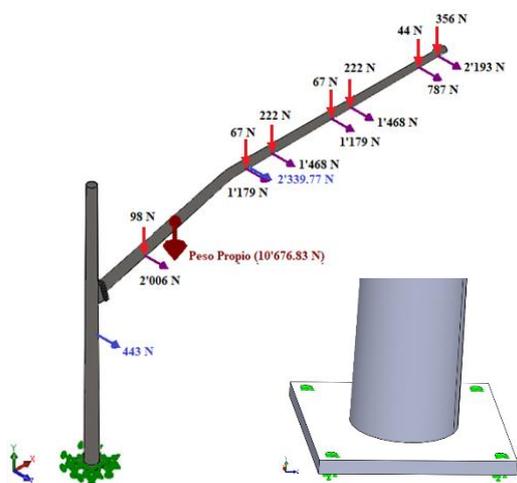


Figura 5 Estructura con Restricciones y Cargas: de viento (eje Z) y peso propio (eje Y) en Newton y detalle de las Restricciones.

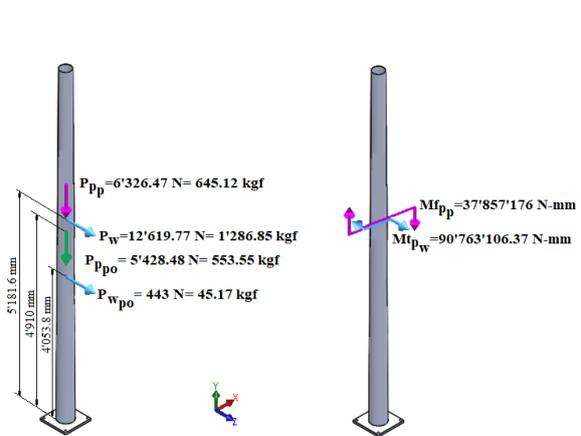


Figura 6 Efectos en el Poste provocados por las cargas de viento (P_w) y el peso propio (P_p).
 Fuente: elaboración propia.

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 7 aparecen estos gráficos.

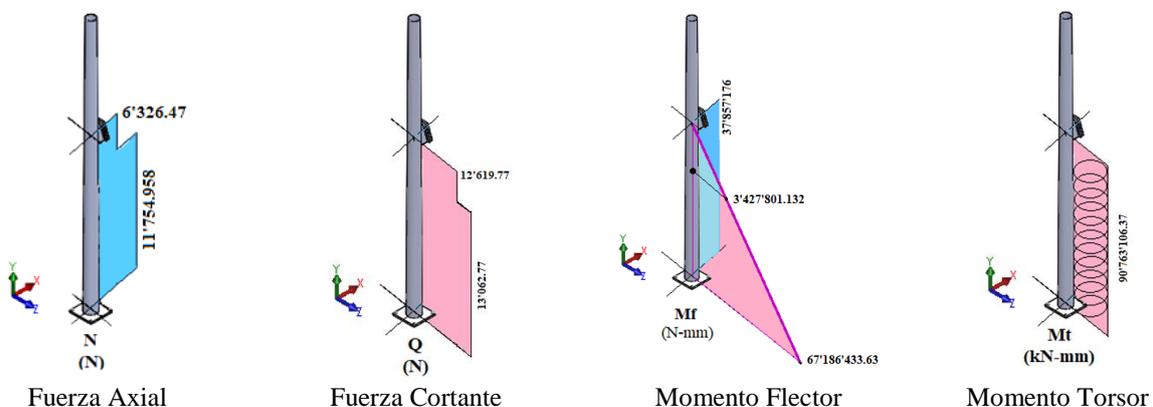


Figura 7 Fuerzas Internas en el Poste. Fuente: elaboración propia.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA

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

Momento Flector Resultante:

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

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

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

Momento Reducido:

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

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

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

Módulo de la sección:

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

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

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

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 8. Los mismos fueron tomados en el nodo 114 de la unión entre el Poste y su base de apoyo (136.7 MPa).

Con el valor del momento torsor y el módulo de la sección calculados anteriormente se determina el valor de la Tensión Tangencial máxima ($\tau_{M\acute{a}x}$):

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

En la Figura 8 se puede apreciar también el valor de tensión tangencial obtenido de la simulación en el nodo 120 de la unión entre el Poste y su Base de apoyo (57.6 MPa).

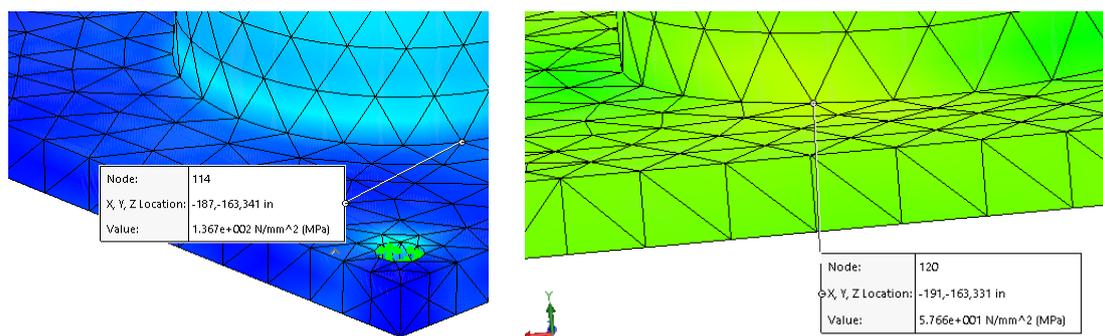


Figura 8 Tensión von Mises (nodo 114) y Tensión Tangencial (nodo 120) ambas en la unión Poste-Base. Fuente: elaboración propia.

2.5. Invariantes: Malla (validación) y Características del Material

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

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
"II CCI UCLV 2019"**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**

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 9 se muestran más detalles. Esta malla de elementos finitos fue validada, es decir, se realizaron 3 mallas: una fina, una media y una gruesa y se ejecutó la simulación para cada una de ellas. Se eligió un lugar geométrico en el cual se obtuvo el valor de la tensión von Mises para cada corrida. La diferencia entre dichos valores de tensión entre dos análisis consecutivos no sobrepasó el 5%, indicando esto que la precisión es adecuada. Por lo tanto, en este caso particular de análisis, se empleó la malla media que es, además, la propuesta por el software.

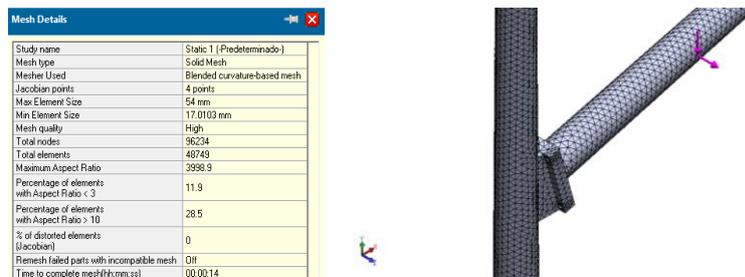


Figura 9 Detalles de la Malla. Fuente: elaboración propia.

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 [1], [2] y [13]. Sus características más importantes e imprescindibles para la simulación son:

	Tubos (ASTM A500, Grade B)	Placas de unión y Placa base ASTM A36 Steel, flange
Módulo de Elasticidad - E_s (ksi)	29'000	29'000
Límite de Fluencia - F_y (ksi)	48	36
Peso específico - γ_{steel} (lbf/ft ³)	490	480

3. Resultados y Discusión

3.1. Análisis de los resultados de la simulación. Tensiones y desplazamientos.

El comportamiento de las tensiones von Mises de toda la estructura puede ser apreciado en la Figura 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.

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

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA

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 que sobrepasan el límite del material (330.9 MPa). De esta misma manera ocurre con las tensiones tangenciales τ_{xz} que alcanzan un valor máximo de 329 MPa que también sobrepasa la tensión admisible a cortante del material del poste (198.57 MPa). En el resto de la estructura el comportamiento tensional es regular.

Como se muestra en la Figura 11 el mayor valor de desplazamiento se encuentra en la zona más alejada de la Base del Poste, es decir, en la punta del Brazo con 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 valores de carga de vientos 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.

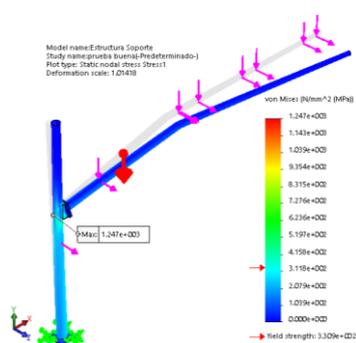


Figura 10 Tensiones Equivalente von Mises (MPa) y Tensiones Tangenciales máximas τ_{xz} (MPa).

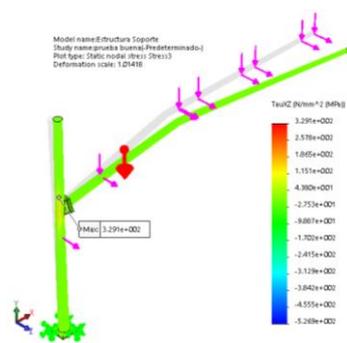


Figura 11 Desplazamientos resultantes (mm).

Fuente: elaboración propia.

3.2. Estudio de Estabilidad y Análisis Modal

Teniendo en cuenta que el Poste está sometido a una carga de compresión proveniente de los efectos de los pesos propios de la estructura, 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. Algunos resultados de este estudio se pueden observar en la Figura 12.

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA

De todo este estudio se muestra solamente la Amplitud Resultante (AMPRES) del 5to Modo y el Factor de Seguridad a Estabilidad (Buckling Factor of Safety) para cada Modo, el cual oscila alrededor 10, por lo que se puede afirmar que el Poste no tendrá problemas de estabilidad.

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 y realizar el análisis dinámico. Se calculan las frecuencias propias o naturales, cuyos valores en Hertz son: 0.92965, 1.1266, 3.2906, 3.6497 y 8.7762. En la Figura 13 se puede observar el primer modo de oscilación y un gráfico de Frecuencia (Hz) vs. Número de Modo.

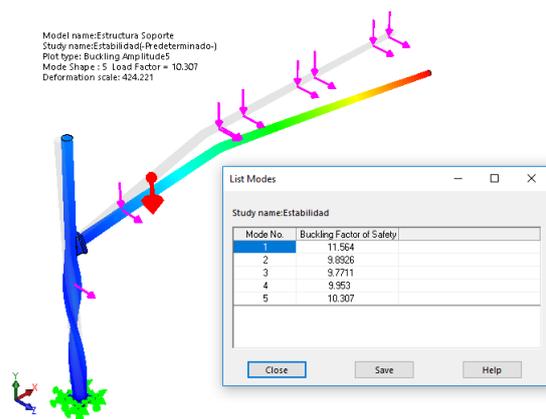


Figura 12 Algunos resultados del estudio de Estabilidad.

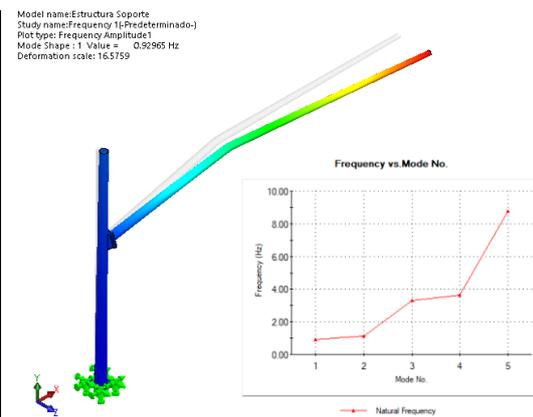


Figura 13 Primer modo de oscilación de la estructura y gráfico de Frecuencia (Hz) vs. Número de Modo.

Fuente: elaboración propia.

4. Conclusiones:

- Fue descrita la metodología de cálculo analítico mediante la norma AASHTO para las estructuras de soporte de las señalizaciones viales. La misma fue automatizada en hojas 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 y las tensiones von Mises, entre otros, en cualquier punto de la estructura.

II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL “II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA



- Se realizó el análisis estático del modelo creado de la estructura. 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 ejemplo del Reporte utilizado.
- Se realizó el cálculo de estabilidad del Poste ya que inicialmente se consideró 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 posteriormente efectuar el cálculo dinámico completo de la estructura.

5. Referencias Bibliográficas

- [1] ASTM A36, Standard Specification for Carbon Structural Steel, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 1996. MatWeb. Database of material properties. ASTM A36 Steel, flange. Blacksburg, USA. MatWeb, LLC. 2011. Available on: <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=9c95ae90f034430ca9c1461deb1cc1bb> Accessed: February 25, 2018.
- [2] ASTM A500 Grade B Standard Specification for Carbon Structural Steel, American Society for Testing Materials, West Conshohocken, PA, 1996. MatWeb. Database of material properties. ASTM A500 Steel, grade B, round structural tubing. Blacksburg, USA. MatWeb, LLC. 2011. Available on: <http://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=f95dd344761d40b48d19bc009c936b27> Accessed: February 25, 2018.
- [3] Development and calibration of AASHTO LRFD Specifications for structural supports for highway signs, luminaires and traffic signals. NCHRP Report 796. 123 p. Transportation Research Board, 2014.
- [4] Fatigue Resistant Design of Cantilevered Signal, Sign and Light Supports, NCHRP Report 469 Transportation Research Board, Washington, D.C.; 2002.
- [5] Guide for design of steel transmission pole structures. Standard ASCE/SEI 48-11. American Society of Civil Engineers, N.Y, 102 p. 2011.
- [6] Guidelines for the installation, inspection, maintenance and repair of structural supports for highway signs, luminaires and traffic signals. Publication FHWA NHI 05-036, March, 148 p., 2005.
- [7] Hyoung-Bo, Sim and Chia-Ming, Uang. Repair of damaged welded connections in cantilevered steel sign structures. Engineering Structures, Vol. 67, Mayo, pp. 19-28, 2014.
- [8] McDonald, J.R., Mehta, K.C; Oler, W., and Pulipaka, N. Wind load effects on signs, luminaires, and traffic signal structures. Report 1303-F, Texas Tech. University, Lubbock, 195 p., 1995.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019
CAYOS DE VILLA CLARA, CUBA**



- [9] SABRE (Sign bridge analysis and evaluation systems). Revision 5C, April. Bridge Engineering Software & Technology Center. University of Maryland. 135 p. Best Center, 2012.
- [10] Simpson, R. H. The hurricane disaster potential scale. Weatherwise. 27, p. 169-186. 1974.
- [11] SolidWorks Premium 2017 x64 Edition SP 3.0. 3D mechanical CAD and/or Simulation software. SolidWorks Corporation, Dassault Systèmes, S.A., Suresnes, Francia. Copyright 1995-2017. Available on: https://www.driveworks.co.uk/design-automation/?gclid=Cj0KCQjwsMDeBRDMARIsAKrOP7H4-ijUvkwAmnm5Dyu0-9NbolqfQVIFGvYwT4cwebqzLDt Jf5sFBYaAoUBEALw_wcB Accessed: February 25, 2018.
- [12] Standard Specifications for Structural Supports for Highway Signs, Luminaries and Traffic Signals, 6th ed., AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Washington, DC, 2013.
- [13] Steel stacks. ASME Standard STS-1-06. The American Society of Mechanical Engineers, N.Y., 108 p. ASME Steel Stacks Committee (2006).
- [14] Structural supports for highway signs, luminaires, and traffic signals. NCHRP Report 494. Washington, 59 p. Transportation Research Board, 2003.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu