

Análisis de Tornillo de Anclaje en Letrero de Señalización en Expreso PR – 53

Jorge E. Mercado Garcés
Maestría en Ciencia en Ingeniería Civil
Dr. Manuel Coll Borgo
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad Politécnica de Puerto Rico

Resumen — El 20 de Septiembre de 2017, Puerto Rico sufrió el embate del Huracán María afectando gran parte de la infraestructura de la Isla como plantas de tratamiento de agua potable, plantas de tratamiento de aguas servidas, subestaciones de bombeo de aguas potable y servidas, aeropuertos, plantas generatrices de electricidad, torres de transmisión de electricidad, torres de comunicaciones, escuelas, universidades, hospitales, carreteras, letreros de señalización en calles, carreteras, expresos, puentes, puertos, sub estaciones de energía eléctrica, transformadores y postes para líneas de electricidad.

Palabras Claves – Análisis, Tornillos Anclaje, Letreros, Huracán.

INVESTIGACIÓN

Se trabajó inmediatamente, en la etapa Post Huracán María, en toda el área este de Puerto Rico y llamó la atención ver que había letreros de señalización de Carreteras #3, #53 y #66, en el piso. Por esa razón se decidió hacer este trabajo analizando que pasó y porque, para así poder contribuir a buscar soluciones para ese problema.

Se pudo recopilar información de siete (7) diferentes postes afectados, pero se decidió analizar el localizado en el Expreso PR-53, en Humacao, Puerto Rico. Las coordenadas en el lugar son: Lat. 18.121280, Long. -65.820570, y allí se encontró un letrero el cual media 15' de largo por 11' de altura. La distancia de la cercha desde la base del poste hasta el centro del letrero es de 24'. Además, se utilizó como información para poder realizar el análisis una tubería de acero con las siguientes características:

- API-SL-X52, para la estructura principal con un ($F_y = 52$ ksi)
- ASTM A-53 grado B, para los miembros secundarios de la estructura, para la tubería

- AASHTO M-314-90, tornillos de anclaje grado 55.

Para lograr determinar la causa de estas fallas, se realizaron los siguientes pasos:

1. Recopilación de datos de campo de rótulos colapsados
2. Verificación del diseño del rotulo
3. Revisión del procedimiento de construcción e instalación de rótulos.

MÉTODO DE CÁLCULOS DEL DISEÑO

Se desarrollaron los siguientes análisis:

- definiciones y asunciones
- cargas muertas
- cargas de vientos
- cargas de vientos combinadas
- acciones factorizadas
- resistencia del cordón de cercha
- resistencia vertical del alma del miembro
- resistencia horizontal del alma del miembro
- efectos de segundo orden
- chequeo del diseño de la base del poste
- diseño de los tornillos de anclaje
- plato de base diseño de soldadura

Soporte de letrero aéreo en voladizo - Entramado con poste (*Cantilevered Overhead Sign Support - Truss With Post*) [1, 2]

- **Anchor Bolts Design**
 - Q bolt Tension = 0.75
 - N bolts = 12
 - F_u bolts = 70 ksi
 - bolt shear = 0.33
 - F_y bolts = 55 ksi
 - A bolt = 4.088 sq. in
 - D bolt = 30 in
 - C bolts = 15 in
 - I bolt 281.61 in 4

- **Tension Bolts, Extreme Event**
 - $P_u \text{ bolt} = 3.82 \text{ kip}$
- **Shear in bolts from Torsion, Extreme Event**
 - $T_u \text{ bolt} = 6.91 \text{ kip}$
- **Total Shear in bolts, Extreme Event**
 - $V_u \text{ bolt} = 7.29 \text{ kip}$
- **Bolt Resistance**
 - $P_n \text{ bolt} = 252.42 \text{ kip}$
 - $V_n \text{ bolt} = 111.06 \text{ kip}$
- **Combined Bolt Resistance**
 - $\text{Interaction Value Bolts} = 0.04326$
 - $\text{Interaction Check Bolts} = \text{Ok}$

CONCLUSIÓN

Una vez terminado el análisis completo se pudo determinar que el diseño estaba bien hecho y que no tuvo fallas en los cálculos. O sea que la causa para que se cayeran las estructuras no fue por cálculos incorrectos. Se decidió continuar investigando hasta poder determinar por qué se dañaron algunos letreros de señalización en carreteras principales y en expresos del área este de Puerto Rico.

PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN

Antes de proceder a construir se deben hacer *Shop Drawings*, para poder detectar cualquier otro error antes de proceder a la excavación, cortar e instalar los diferentes materiales antes del vaciado de hormigón.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se volvió a realizar el análisis más detenidamente, volviendo a visitar los (4) diferentes postes caídos, medir y observar bien. Pero ahora desde otro punto de vista en base a la experiencia o ingeniería forense, y entonces se pudo determinar qué fue lo que pasó. A continuación se describe los hallazgos de los siguientes lugares:

- Expreso 53 - Humacao - Fajardo. Humacao, PR, Lat.: 18.166343, Long: - 65.800380 (ver Figuras 1, 2, 3 y 4).

- Expreso 53 - Humacao - Yabucoa. Humacao, PR, Lat.: 18.121280, Long: - 65.820570 (ver Figura 5).



Figura 1

Expreso PR – 53 Lat. 18.166343, Long. -65.800380 – Foto 1



Figura 2

Expreso PR – 53 Lat. 18.166343, Long. -65.800380 – Foto 2



Figura 3

Expreso PR – 53 Lat. 18.166343, Long. -65.800380 – Foto 3



Figura 5

Expreso PR – 53 Lat. 18.121280, Long. -65.820570



Figura 4

Expreso PR – 53 Lat. 18.166343, Long. -65.800380 – Foto 4

Hallazgos

1. Se recomienda una mayor o mejor supervisión por parte del contratista en la fabricación de los pedestales debido a que los aros de refuerzo fueron colocados a diferentes distancias sin respetar el diseño. El primer aro de arriba hacia abajo debería arrancar a 2 pulgadas y los demás aros a 4 pulgadas de distancia centro a centro hasta las primeras 24 pulgadas. En lo observado eso no se cumplió, por lo tanto la fuerza del viento actuó directamente sobre los tornillos y estos fallaron.
2. Se recomienda una mejor inspección sobre el contratista, ya que en ingeniería civil la seguridad de las personas es lo primero y esto puede ocasionar un accidente grave, lo cual se debe evitar a toda costa.
3. Se sugiere que el diseño del pedestal sea corregido porque es la opinión del investigador que los aros deben ser # 4, actualmente son # 3. Así se anularía más el esfuerzo cortante generado por la fuerza de los vientos.
4. Se sugiere cambiar las dimensiones del pedestal, que actualmente es de 36'' x 36'' (ver Figura 6). Una vez colocados los tornillos, esto no deja suficiente espacio para realizar la

operación de vaciado de hormigón, porque los tornillos chocan con las varillas verticales.

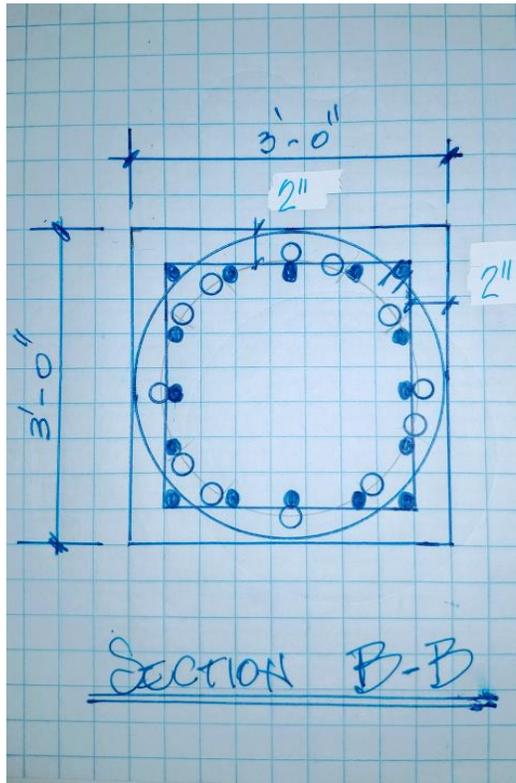


Figura 6
Pedestal Actual 36" x 36"

5. En algunos casos los tornillos fueron instalados a última hora y en forma inadecuada (véase la Figura 7). Canasto de varillas > diámetro de la ubicación de los tornillos $32" - 1" - 2 - 1/4" = 29 - 3/4" < 30" + 1-3/4" = 31 - 3/4"$

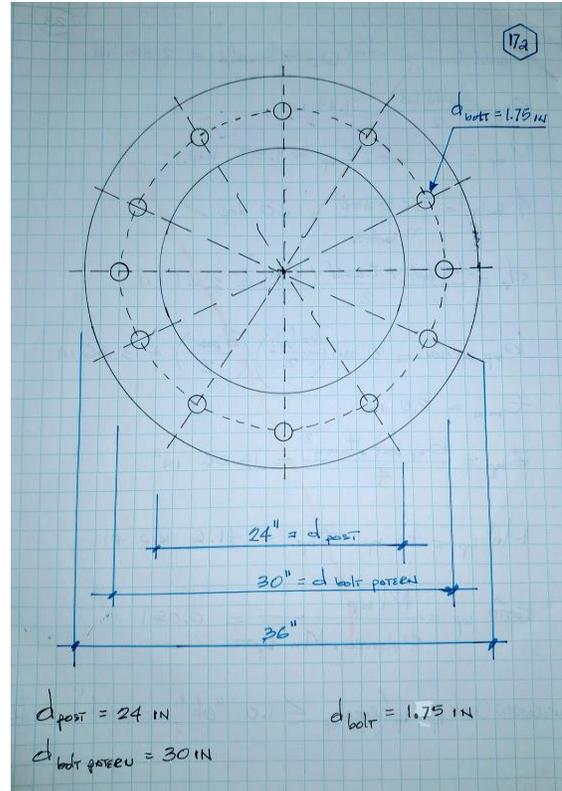


Figura 7
Distribución de Tornillos

6. Se recomienda incrementar las dimensiones del Pedestal a 48" x 48", con lo cual se tendría suficiente espacio para poder colocar los tornillos de forma adecuada y permitir el vaciado de hormigón sin contratiempos (ver Figuras 8 y 9). Canasto de varillas > diámetro de la ubicación de los tornillos $44" - 1" - 2 - 1/4" = 41 - 3/4" > 30" + 1-3/4" = 31 - 3/4"$.
7. Se recomienda instalar dos (2) platos de metal de 36" de diámetro dentro del hormigón, para así asegurar dos (2) cosas; que los tornillos están en sitio y dentro del canasto de varillas y no afuera como anteriormente se instaló y, que los tornillos de anclaje fueron instalados antes del vaciado del hormigón.

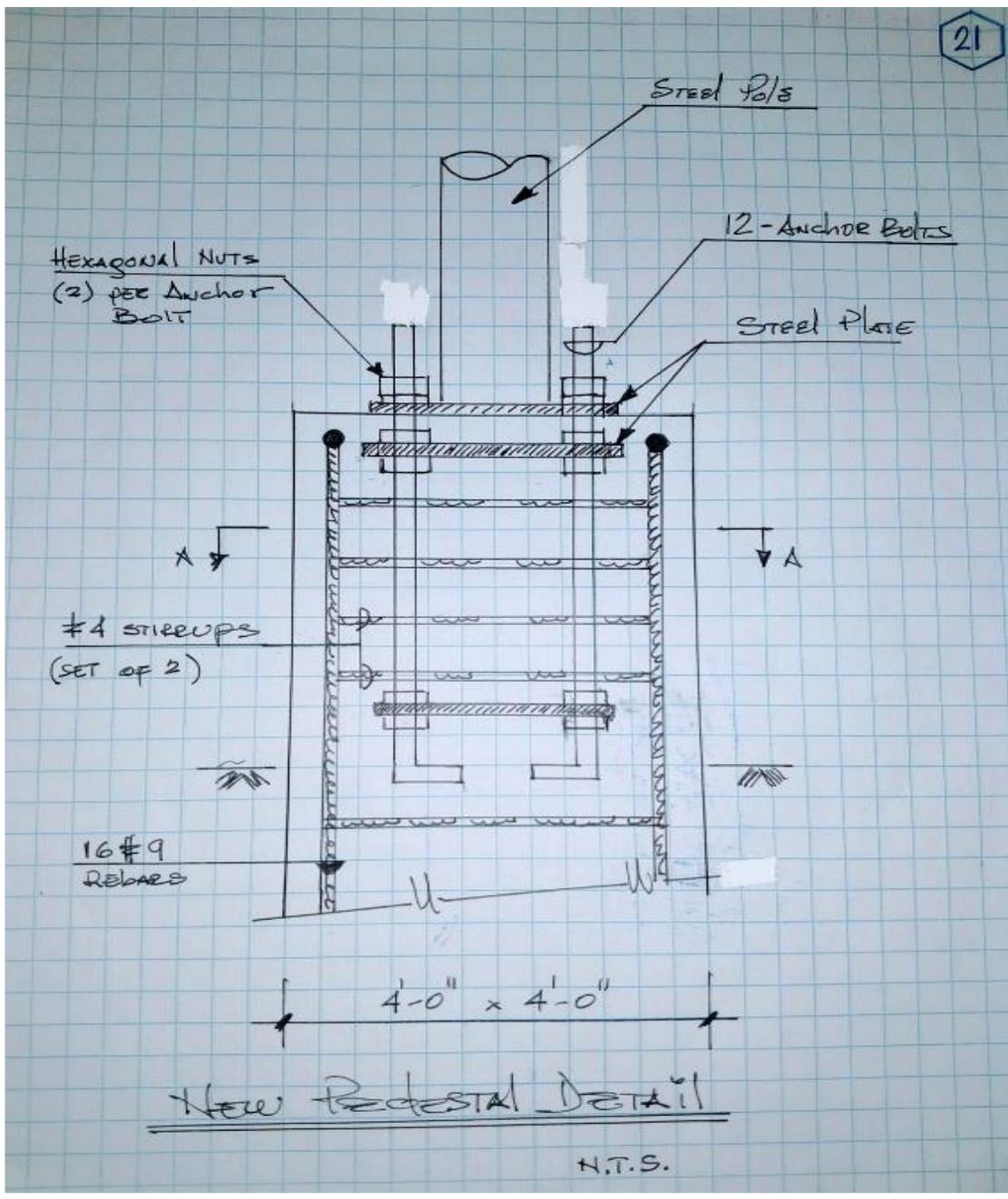


Figura 8
Pedestal Propuesto 48" x 48" vista lateral

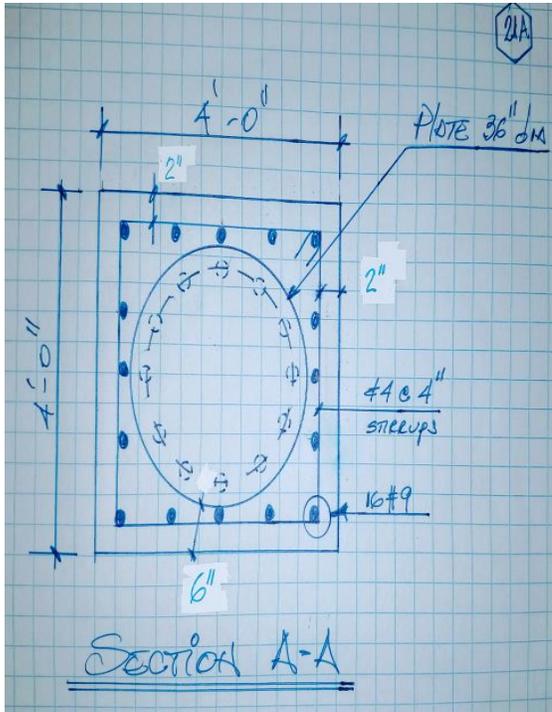


Figura 9
Pedestal Propuesto 48"x 48" base

8. Se pudo también observar que la soldadura estaba bien diseñada y no sufrió desperfectos en ninguno de los miembros.
9. El daño ocasionado por el huracán María siempre estuvo localizado en la misma área de los postes de señalización afectados, es decir en los tornillos de anclaje.
10. No importa cuán grande o pequeño sea el proyecto a realizar, se debe siempre realizar el *Shop Drawings* (dibujos de taller) para poder descubrir errores y corregirlos con el fin de remediar cualquier situación antes que sea demasiado tarde.

REFERENCIAS

- [1] *Sign structures manual*, Bureau of Bridges and Structures Division of Highways, Illinois Department of Transportation, Springfield, Illinois, 2012.
- [2] American Society of Civil Engineers, *Minimum design loads for buildings and associated criteria and other structures* ASCE – 7 – 16, 2016