

---

### Sobre la falla de los cables del Observatorio de Arecibo

Cuando un cable se rompe, es evidente que la carga (el peso propio de la estructura que ellos soportan) se va a redistribuir entre los que quedan. Por ejemplo, supongamos que una estructura que pesa  $W = 3,000$  kip, está soportada por tres cables simétricos. Cada cable soporta una fuerza  $F_{cable} = W/3 = 1,000$  kip.

Si uno de los cables se rompe, los que quedan va a soportar una carga  $F_{cable} = W/2 = 1,500$  kip. Sin embargo, esto solo es cierto si el cable que no está se hubiera quitado muy lentamente. Si el cable se corta súbitamente, como ocurre en la realidad, la estructura va a vibrar y durante un instante de tiempo la fuerza en los restantes cables va a ser mayor que 1,500 kip: ¡en un caso extremo podría llegar hasta casi el doble! Si no hay simetría la situación se complica todavía más porque no todos los cables que quedan van a tener la misma fuerza.

Vamos a explicar esto en más detalle usando un informe técnico de los consultores del Observatorio, la compañía Thornton Tomasetti, una de las compañías de ingeniería estructural más prestigiosas del mundo y luego vamos a presentar una simulación sencilla usando el programa SAP2000.

La siguiente figura muestra las fuerzas en los cables principales (identificados con la letra M) y los auxiliares identificados como Mxx\_AUX. También se muestra la capacidad (“strength”) y el Factor de Seguridad (SF) para cada cable. Los que están resaltados en color marrón claro son los llamados “backstays” (los cables que están del lado de atrás de las torres). La información presentada en la figura es el estado de los cables al 1ro de diciembre de 2020, luego de la rotura de un cable auxiliar en agosto y uno principal M4 en noviembre.

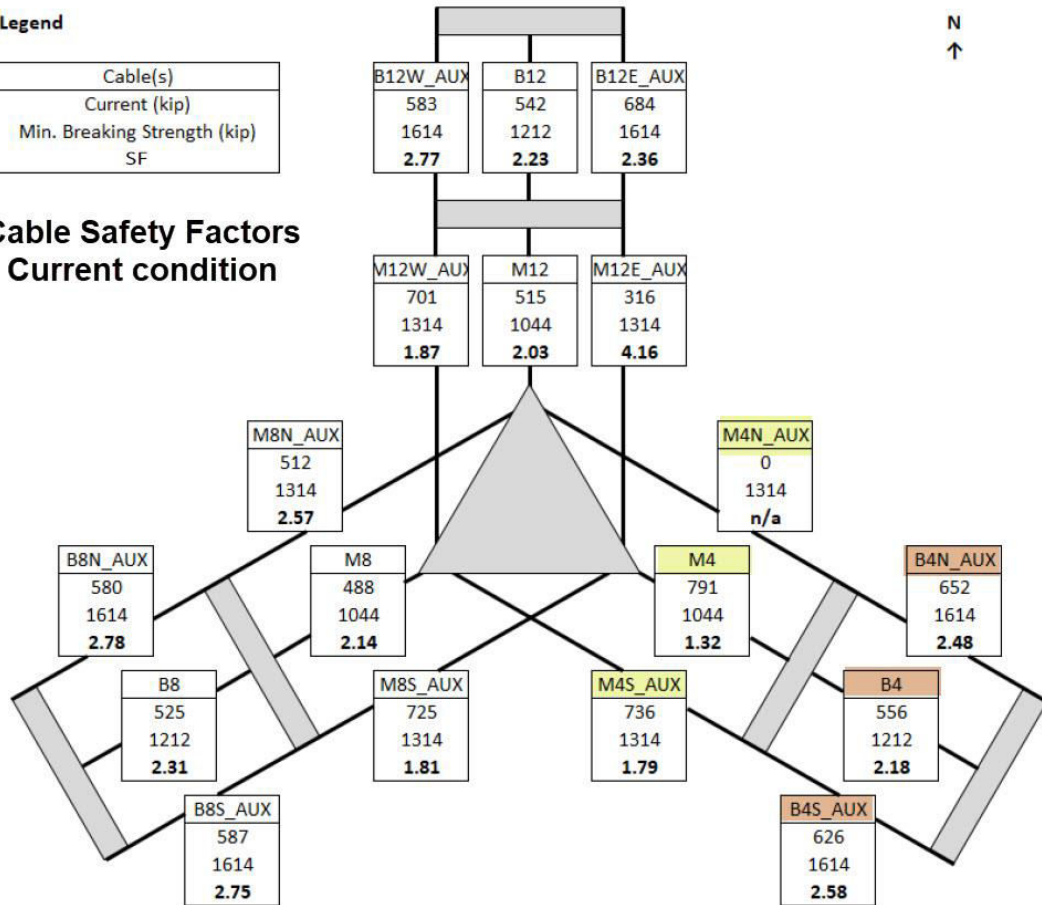
Para los que no lo saben, las torres se identifican mediante su posición en un reloj de manecillas. La que está al norte es la torre 12 y la que está a su derecha es la famosa torre 4, en donde todo comenzó.

Las fuerzas de tensión en los cables que se presentan en la siguiente figura se obtuvieron de una simulación con un modelo creado en SAP2000 que hizo Thornton Tomasetti.

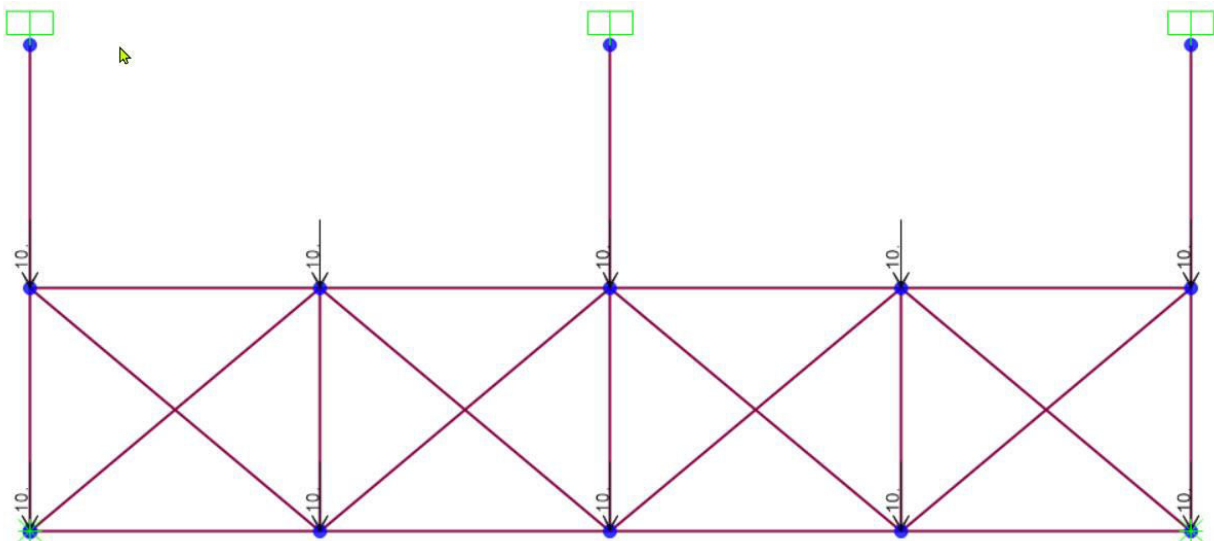
**Legend**

Cable(s)
Current (kip)
Min. Breaking Strength (kip)
SF

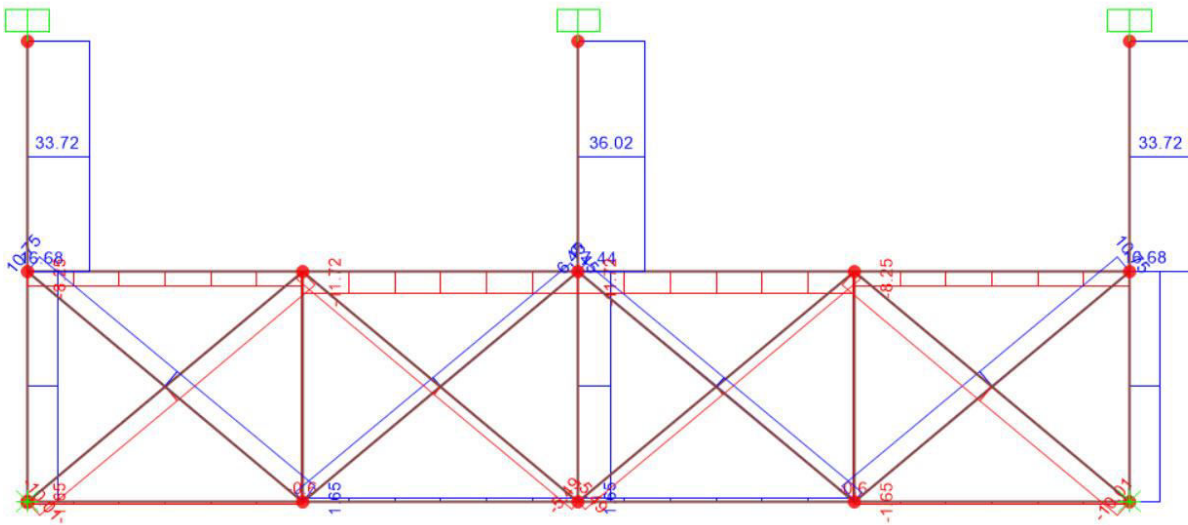
**Cable Safety Factors  
Current condition**



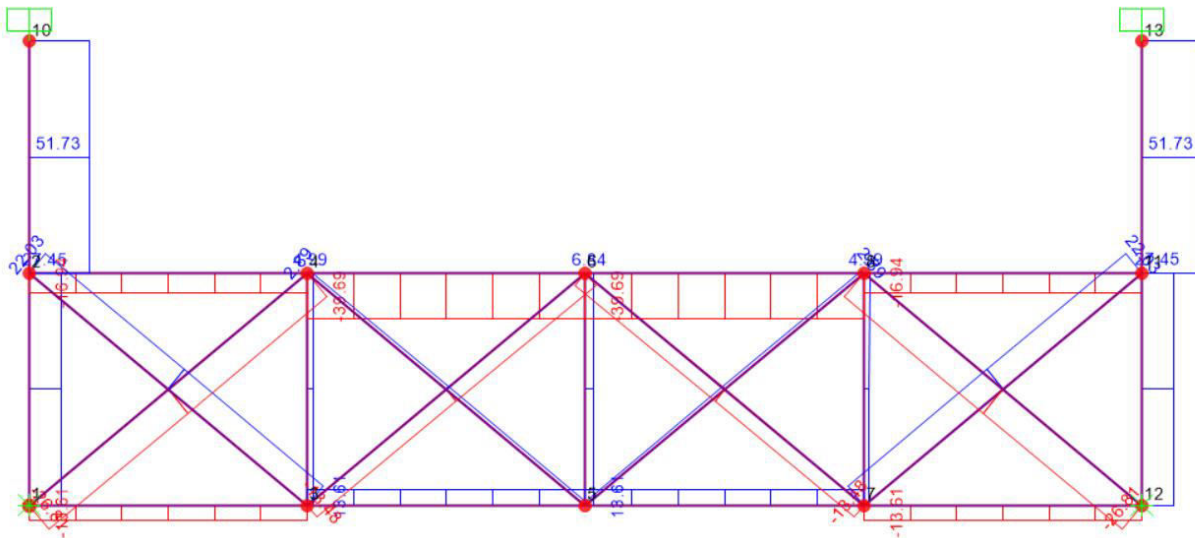
A continuación, se muestra un modelo muy sencillo de una cercha de acero sostenida por tres cables de acero de 0.5 in de diámetro. Las cargas que actúan en la estructura son 10 fuerzas de 10 kip (10,000 libras) aplicadas en cada junta de la cercha más el peso propio de las barras.



El diagrama de fuerzas axiales que se muestra en la figura de abajo dice que la fuerza en los dos cables extremos es 33.72 kip y es de 36.02 kip en el del medio.

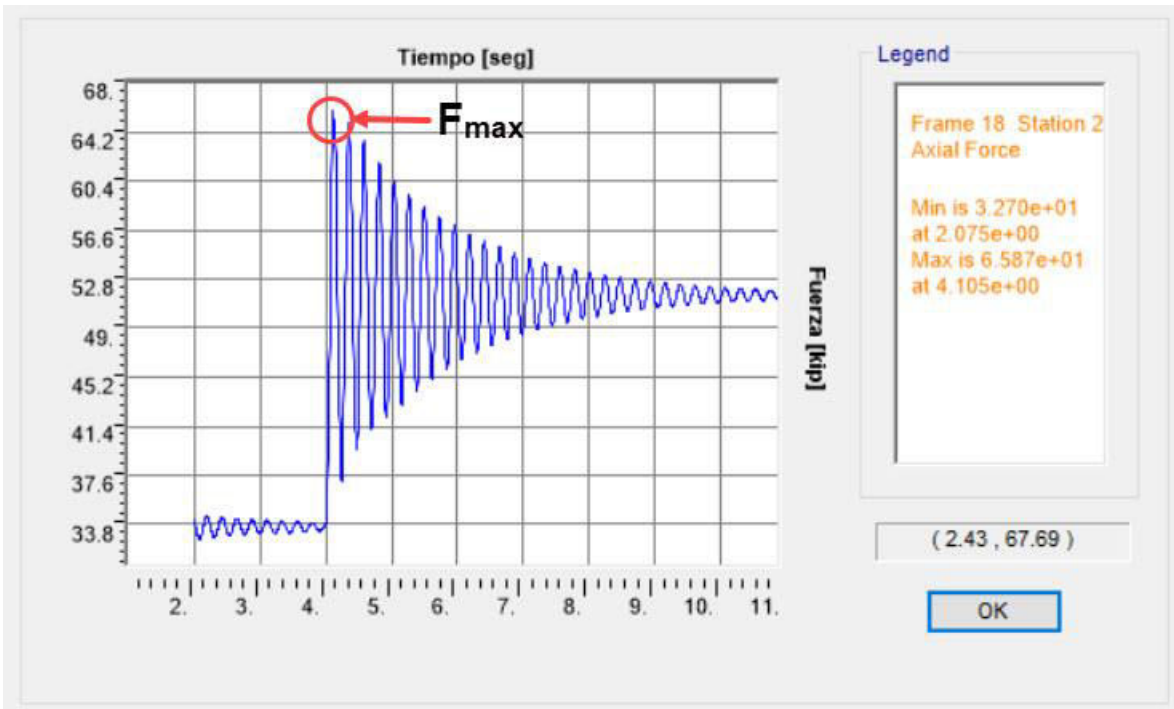


Si quitásemos el cable del medio *lentamente*, la fuerza de 36.02 kip se redistribuyen en los restantes y sus fuerzas axiales suben a  $F_{cable} = 33.72 + 36.02/2 = 51.73$  kip como se muestra en la figura que sigue:



**Pero esa no es la historia completa.** Si el cable del medio se quita *abruptamente*, la estructura va a comenzar a vibrar y luego de unos segundos va a volver a su estado estacionario. Pero al comienzo de las vibraciones, la fuerza en los dos cables va a ser mayor que los 51.73 kip que indica el diagrama anterior. Esta situación se muestra en la siguiente figura, en donde la máxima fuerza en los cables que quedaron es 65.87 kip. Esto es un 27% mayor que la fuerza

estática de 51.73 kip. Luego de unos segundos la fuerza baja a 51.73 kip y se queda con este valor.



Según el informe de Thornton Tomasetti, las fuerzas en los tres cables principales de la torre 4 tienen un factor de seguridad de 1.32, lo cual es muy bajo, pero en la realidad, como se mostró, la situación es aún peor. Si un tercer cable fallara, la fuerza de tensión en los que quedan va a alcanzar en un breve instante un valor mayor al que predice la Estática y es altamente probable que falle el más tensionado. Pero al fallar éste, se repite el proceso con los que quedan hasta que todo colapsa. El factor de seguridad no debería haberse calculado haciendo un análisis **estático** sino uno **dinámico**, pero como mencioné al comienzo, no todos lo saben.

Como conclusión, lamentablemente la estructura del Observatorio (los cables en particular) estaba condenada de antemano. Habría que haber colocado cables de emergencia, pero esto no es fácil de llevar a cabo, por varias razones:

- Habría que pedirle al fabricante que envíe de manera urgente cables de reemplazo, y esto en medio de una pandemia.
- Instalar estos cables hubiera sido un procedimiento sumamente riesgoso, posiblemente usando un helicóptero y operarios colgados del mismo.
- Todo esto se complica porque habría que haber atravesado numerosas capas de burocracia hasta llegar a los dueños del Observatorio, o sea la National Science Foundation, para que autorice este procedimiento riesgoso.