

DISEÑO DE TORRE RETRÁCTIL PARA UMBILICALES DE SEGUNDA ETAPA DE COHETES

Andrés Martínez del Pezzo, Asdrubal Bottani, Gonzalo Galarraga, Facundo Pasquevich,
Marcos Actis.

UIDET – GEMA, Departamento de Aeronáutica, Facultad de Ingeniería de La Plata
Calle 48 y 116 La Plata. CP 1900. Contacto: facundo.pasquevich@ing.unlp.edu.ar

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas de umbilicales son manojos de cables que funcionan como conexiones eléctricas que vinculan el vehículo lanzador con el centro de operaciones del sitio de lanzamiento. Estas conexiones deben mantenerse vinculadas al vehículo hasta unos instantes posteriores al encendido del motor principal del cohete. Cuando este comienza a despegar, las conexiones deben desvincularse y liberar la zona lo más rápido posible para no representar un obstáculo en la trayectoria del vehículo.

Para liberar la zona de restricción de los cables de umbilicales, se utiliza un sistema de torre retráctil. El movimiento de la torre se inicia al comenzar el ascenso del cohete, consecuentemente los cables umbilicales son arrastrados por la torre fuera de la zona de la trayectoria del vehículo. El diseño de la torre se basa en una estructura reticulada con un contrapeso excéntrico a su eje de rotación. Al ser liberada, el movimiento rotacional se logra debido al momento producido por dichos contrapesos.

2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO

El diseño de la torre retráctil debe contemplar que el accionamiento y posterior frenado de la torre se produzca de forma autónoma sin necesidad de señales de control. Así mismo, la torre debe salir del área de restricción lo suficientemente rápido para no presentar un obstáculo para el vehículo en su trayectoria ascendente.

La torre posee dos configuraciones: una denominada “supervivencia”, en la cual el sistema permanece inmovilizado y la otra llamada “lanzamiento”.

En el estado supervivencia, la torre se vincula a su base, imposibilitada de todo movimiento. La estructura debe ser capaz de soportar las cargas gravitacionales y de viento especificadas por la reglamentación vigente para la zona de emplazamiento.

En la configuración de lanzamiento, la vinculación de la torre con su base permite la rotación al momento del accionamiento. Durante esta fase, los esfuerzos en la estructura se deben principalmente a la aceleración del sistema y a las fuerzas gravitacionales.

En consecuencia, la torre debe resistir las cargas dinámicas y estáticas presentes en ambas configuraciones y su altura que determinada por los enchufes de los cables umbilicales ubicados en la segunda etapa del cohete. Un aspecto importante a la hora del diseño es la masa y la rigidez del conjunto ya que se encuentra sometido a grandes aceleraciones.

3. DISEÑO DE LA TORRE RETRÁCTIL

3.1. Tipología Estructural

En atención a los requerimientos de diseño señalados, el desarrollo de la torre se plantea como una estructura reticulada, compuesta por tres tramos de diferentes secciones transversales. La tipología estructural elegida obedece a obtener rigidez suficiente con una relativa baja masa y baja superficie expuesta al viento. El primer y tercer tramo de la torre son de sección transversal cuadrada. Utilizando tubo estructural cuadrado para la construcción del primer caso y hierro ángulo para el tercero. Mientras que el segundo tramo presenta una sección transversal variable de transición entre el primer y último tramo, construido con hierro ángulo con cordones reforzados.

La torre se apoya en una estructura metálica denominada “pie metálico”, conformada con perfiles laminados en caliente y fija mediante anclajes a una base de hormigón armado. El eje de rotación de la torre se vincula al pie mediante un conjunto de rodamientos que permiten la acción retráctil de la torre.

3.2. Funcionamiento

La retracción de la torre se logra mediante unos contrapesos de desequilibrio, los cuales generan una fuerza excéntrica al eje de rotación de la torre.

Para mantener el equilibrio del sistema en el estado de lanzamiento, se vincula la torre, mediante un cable de acero, a un dispositivo de liberación ubicado en la base del cohete. Al iniciar el vehículo su movimiento ascendente, se acciona el dispositivo de lanzamiento y se libera la torre. Luego, el frenado se logra mediante un sistema de frenos previamente presurizado. En la configuración de supervivencia, el grado de libertad de rotación de la torre alrededor de su eje se suprime mediante unas ménsulas de sujeción que generan un vínculo rígido entre torre y el pie metálico.

En la Figura 1 se presenta una ilustración del conjunto de la torre retráctil en su configuración lanzamiento y en la Figura 2 se observa la vinculación de la torre en su configuración supervivencia.

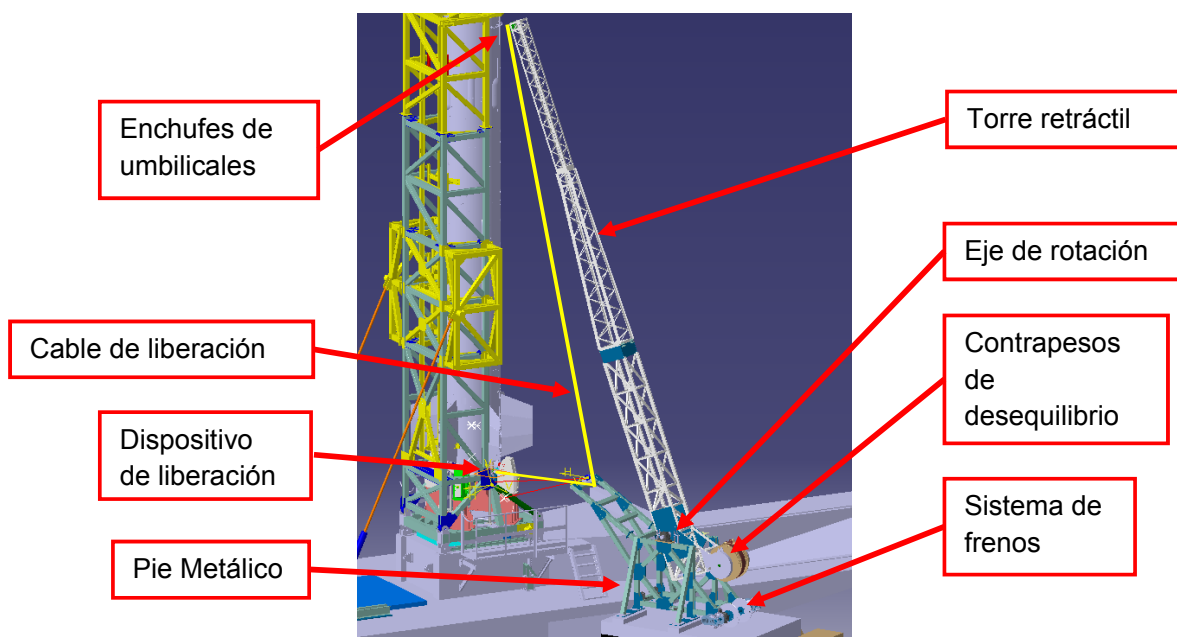


Figura 1. Conjunto de torre retráctil en configuración lanzamiento.

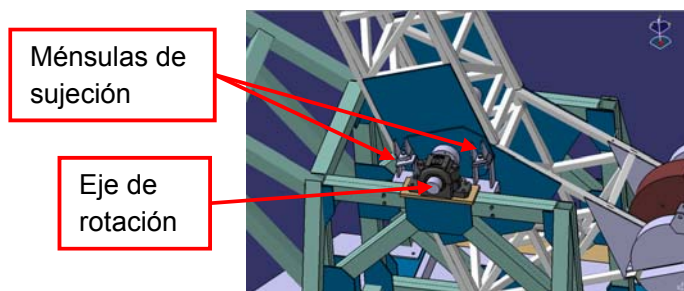


Figura 2. Vinculación de la torre en configuración supervivencia.

4. ANALISIS ESTRUCTURAL

4.1. Normativa de aplicación

- Cargas actuantes: CIRSOC 102-05 Acción del Viento en las Construcciones.
- Verificación estructural: ANSI/AISC 360-10 (Método ASD).

4.2. Determinación de las cargas actuantes

La torre debe tener la capacidad de soportar las cargas debidas a la acción del viento, los esfuerzos dinámicos y las cargas gravitatorias. A continuación se presentan los lineamientos establecidos para determinar las diferentes cargas actuantes.

Los modelos dinámicos y estáticos se realizan con el software ABAQUS.

4.2.1. Cargas gravitatorias

Las cargas de peso propio se contabilizan en el propio modelo.

4.2.2. Acción del viento

En el estado supervivencia, la torre se comporta como una construcción fija. Por lo tanto, las cargas de viento se evalúan de acuerdo a la norma CIRSOC 102-05 "Acción del Viento Sobre las Construcciones", contemplando los parámetros de diseño de acuerdo a la zona de emplazamiento.

Siguiendo el procedimiento descrito en dicha norma, se establecen las cargas actuantes. Luego, considerando las posibles direcciones de actuación de las mismas, se definen tres estados de carga para realizar los análisis, con el agregado de un análisis de frecuencia para verificar el encuadre en lo que la norma CIRSOC 102-05 define en su Cap.2 como estructuras rígidas, esto es con una frecuencia natural igual o mayor que 1 Hz.

- Estado 0: Frecuencia natural.
- Estado de carga 1: Peso propio (D) + Vto dirección transversal (WT).
- Estado de carga 2: Peso propio (D) + Vto dirección longitudinal negativa (WL(-)).
- Estado de carga 3: Peso propio (D)+Vto dirección longitudinal positiva (WL(+)).

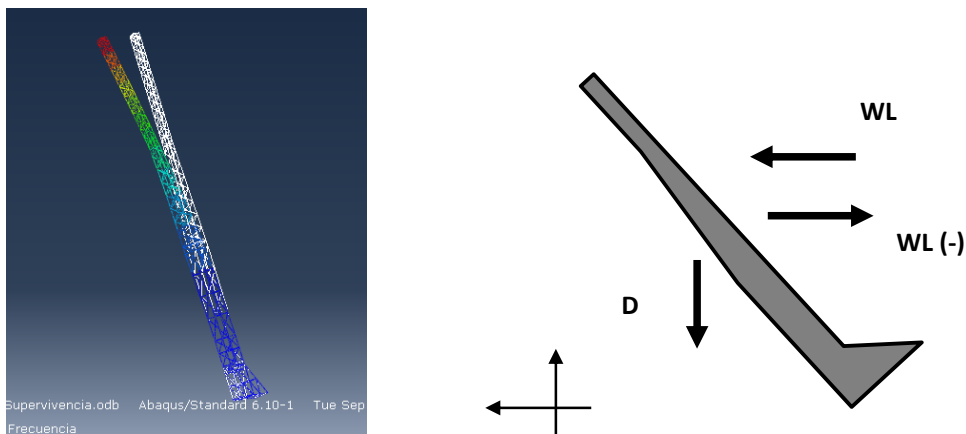


Figura 3. Frecuencia natural y estados de carga.

4.2.3. Cargas dinámicas

Para establecer estas cargas, se evalúa la dinámica de la torre haciendo uso de un modelo dinámico en base al mismo modelo estructural que se utiliza para los cálculos de la torre solicitada por las cargas de viento.

En el modelo, al liberar la torre y producto del efecto de la gravedad sobre los contrapesos, se logra simular la acción retráctil. Como parámetro de referencia se agregó la envolvente de seguridad y el cohete en forma esquemática, a este último se le imprime la aceleración correspondiente, referenciando el movimiento relativo de la torre al vehículo. En la Figura 4 se visualiza la cinemática de la torre y del cohete para tres instantes de tiempo. El primero representa el momento de liberación de la torre, el segundo el inicio de la acción de frenado y el tercero la torre frenada totalmente.

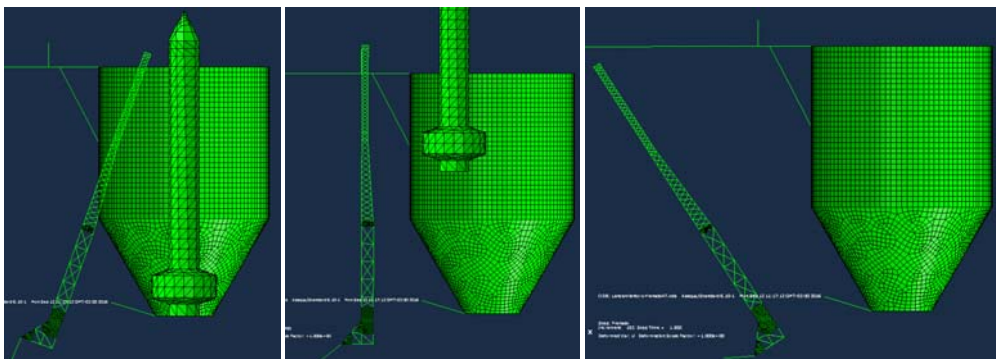


Figura 4. Cinemática de la torre retráctil.

En la Figura 5 se muestra el desplazamiento horizontal de tres puntos analizados en función del tiempo. En este gráfico se puede apreciar que por más que la posición horizontal del “vértice de la aleta” y de la “punta de la torre” coinciden, una vez que comienza el movimiento del cohete y de la torre, estos puntos no se cruzan. Se puede concluir que no hay riesgo que el cohete impacte la punta de la torre. En esta figura también se puede apreciar que la aleta sale de la envolvente a los 2,25 segundos.

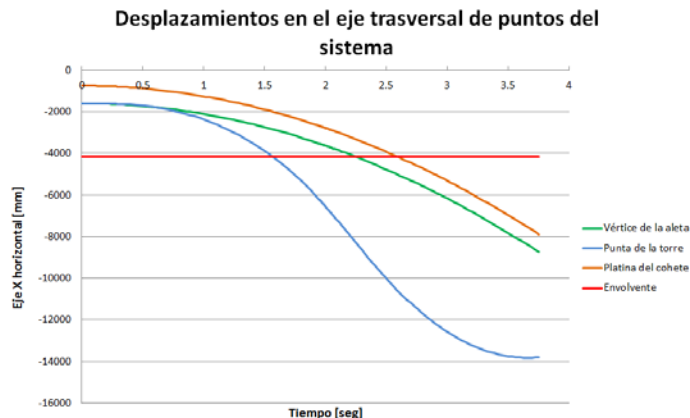


Figura 5. Desplazamiento horizontal de los puntos analizados en función del tiempo.

En la Figura 6 se muestra gráficamente la trayectoria de los tres puntos en análisis representados en el plano. Para poder apreciar la variación de la posición en función del tiempo, se divide la trayectoria de cada punto en dos tramos, el primero desde tiempo cero, coincidente con el comienzo del movimiento del cohete (lanzamiento), hasta los 2,43 segundos. En este instante la trayectoria del vértice de la aleta del cohete alcanza la altura correspondiente a la ubicación de la punta de la torre para $t=0$. El segundo tramo va desde los 2,43 segundos hasta la detención de la torre a los 3,75 segundos. De esta manera para el mismo valor de tiempo (2,43 seg.) se puede apreciar la ubicación de los tres puntos en análisis y ver que no hay riesgo que el cohete impacte la torre.

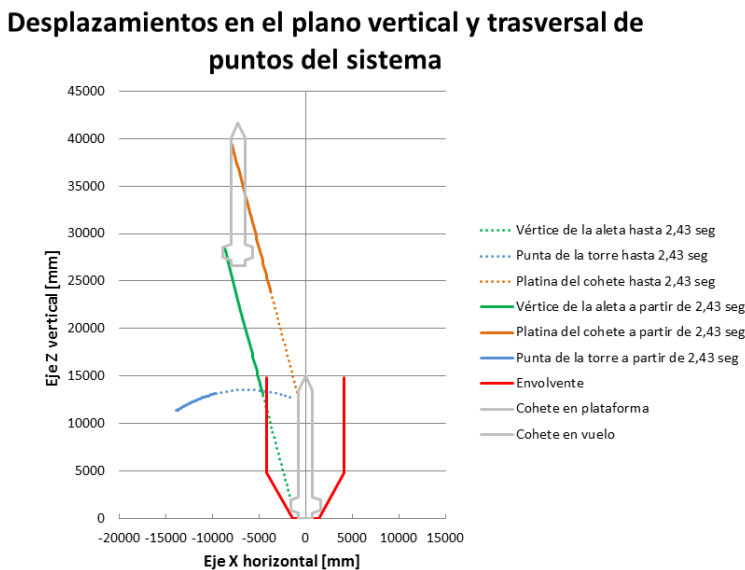


Figura 6. Trayectorias de los puntos del cohete y de la torre durante el despegue.

En base a la cinemática de la torre y a la masa de los elementos que la componen se obtienen los esfuerzos que soporta cada segmento de la estructura. Para estimar las tensiones sobre cada componente se utiliza el modelo construido en ABAQUS, que por ser del tipo dinámico arroja valores de tensiones para cada posición en función del tiempo. Por lo tanto, para determinar los valores extremos se debe analizar toda la secuencia de movimiento de la estructura. En virtud de esto, se puede comprobar que la condición más desfavorable es cuando la torre comienza a desacelerarse por causa del sistema de frenado. En la Figura 7 se observa el instante de los máximos esfuerzos en la estructura.

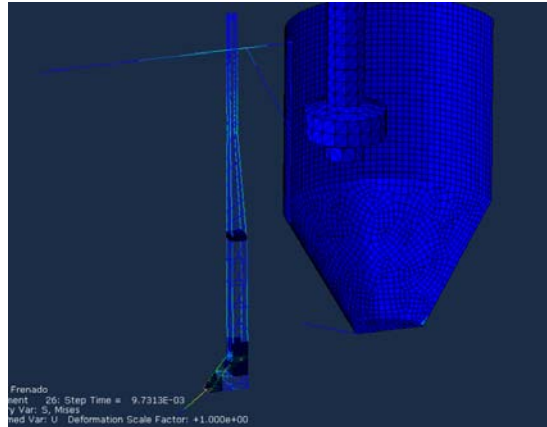


Figura 7. Máximos esfuerzos dinámicos.

En la Figura 8 se aprecia un detalle de las zonas de la torre que soportan los mayores valores de tensión. Estas zonas se corresponden con la porción de la torre donde se aplica la fuerza de frenado y se ubican los contrapesos. A consecuencia de los valores de tensiones predominantes en esta zona, se vio la necesidad de colocarle unas placas de refuerzo a la torre, que contribuyen a rigidizar la zona y distribuir las cargas en forma pareja.

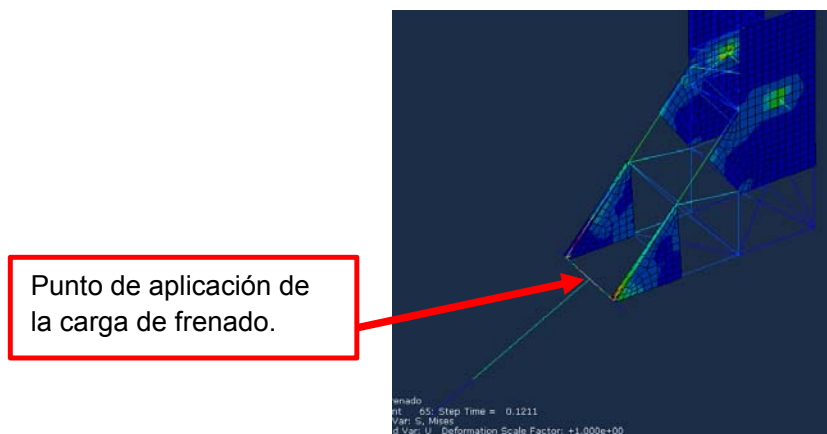


Figura 8. Detalle de las tensiones en la cercanía del eje de contrapesos.

5. CONCLUSIONES

La estructura de la torre retráctil sufre las mayores cargas en su configuración lanzamiento, más precisamente al momento de iniciarse el frenado. Es por ello que su diseño final contempla refuerzos y consideraciones de operación para minimizar las tensiones estructurales.

La solución a las especificaciones de diseño que brinda el accionamiento con contrapesos de desbalanceo, el dispositivo mecánico de liberación y uso de frenos pre-presurizados, es satisfactoria ya que cumple con la cinemática requerida y con el funcionamiento autónomo de la torre retráctil.