

# DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA GRUA FIJA ROTATORIA DE BRAZOS RIGIDOS USANDO LAS ESPECIFICACIONES AISC

## AUTORES

Javier Villacís Bermeo<sup>1</sup>, Alfredo Torres González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Mecánico 2000

<sup>2</sup>Director de Tesis, B.C. Ingeniería Mecánica, M.C. Mecánica Aplicada, M.C. Mecánica Estructural, University Rhode Island, University of Miami, USA

## RESUMEN

El dimensionamiento de la grúa de brazos rígidos presenta la oportunidad de introducir el diseño mecánico hacia máquinas elaboradas esencialmente de acero. Esta maquinaria es un sistema estructural relativamente simple de pocos componentes, muchos de los cuales resultará familiar para quienes hayan analizado sistemas de fuerzas simples en cursos de estática y dinámica. Aún así, la optimización del sistema requerirá un análisis cuidadoso para llevar a cabo los detalles de conexión y aún más, considerar los efectos originados por la transferencia o variación de la carga actuante en el sistema.

Durante el desenvolvimiento del proyecto<sup>1</sup> se estipula la metodología de análisis y consideraciones dentro del diseño del equipo en cuestión. Como apoyo en el estudio se cuenta

mayormente de recomendaciones y publicaciones de la AISC. El proyecto finaliza estableciendo las conclusiones respectivas y sugerencias para posteriores estudios del equipo.

## **INTRODUCCION**

La tesis tiene por objetivo el análisis y diseño estructural de una grúa fija rotatoria de brazos rígidos con alcance horizontal de 35 metros, para el manejo y traslado de cargas con capacidad neta de 65 toneladas métricas. El enfoque es dirigido al cálculo estructural de los componentes principales de la grúa, para el manejo de cargas elevadas con operación relativamente lenta, en donde el número de ciclos está usualmente debajo del rango de fatiga. El proyecto, una vez dadas las especificaciones técnicas, consta de tres etapas:

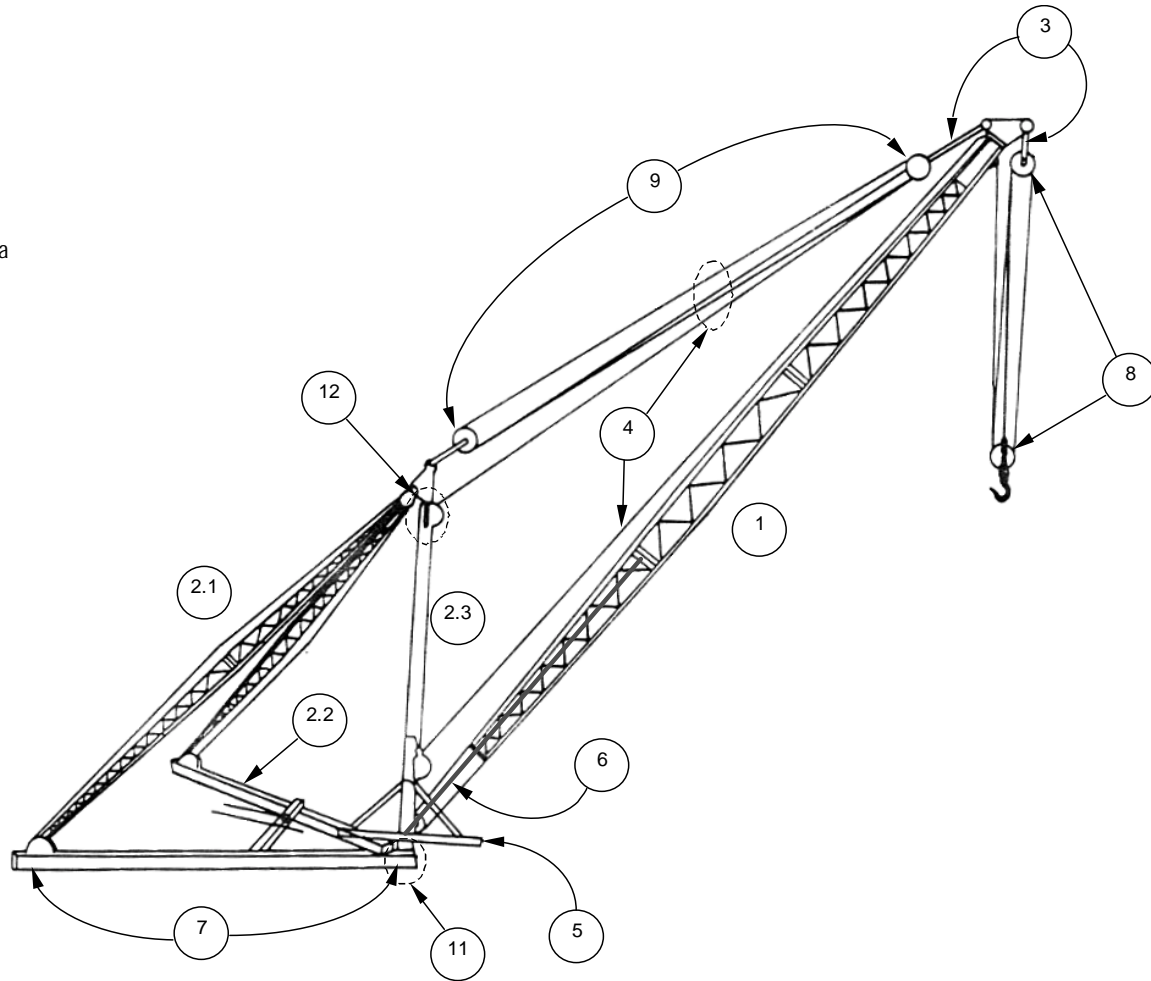
- Planteamiento de las cargas actuantes. Basándose en datos obtenidos de manuales adicionales con objeto de hallar la combinación de carga más crítica.
- Análisis global de la grúa de brazos rígidos. Se determinan las fuerzas axiales y reacciones principales al observar la interacción de los miembros como conjunto.
- Análisis y diseño de los elementos principales. Al desarrollar un estudio más específico se determinan las fuerzas y momentos de diseño.

## **CONTENIDO**

### **1. DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.**



1. Pluma
2. Estructura de Brazos Rígidos
  - 2.1. Brazos Rígidos
  - 2.2. Largueros
  - 2.3. Mástil, estructura principal
3. Estribos de sistema de amantillar y de carga
4. Cables de sistema de amantillar y de carga
5. Rueda Giratoria
6. Tirantes
7. Cimentación
8. Bloque de poleas, sistema de carga
9. Bloque de poleas, sistema de amantillar
10. Elevador
11. Portamástil
12. Cabecera del mástil



**Figura 1.** Componentes de la Grúa de Brazos Rígidos

La conformación estructural de la grúa fija de brazos rígidos resulta ser la combinación de una armadura espacial simple fija (brazos rígidos, largueros, mástil) y una armadura planar (mástil, pluma, sistema de amantillo) de geometría variable la cual es empleada para mover la carga. Como guía se presenta la figura 1. Los elementos a diseñarse son los brazos rígidos, pluma, mástil, largueros, estribos (barras de ojal y placas conectoras) del sistema de amantillo y de carga además de las placas de asiento en los apoyos de los brazos rígidos.

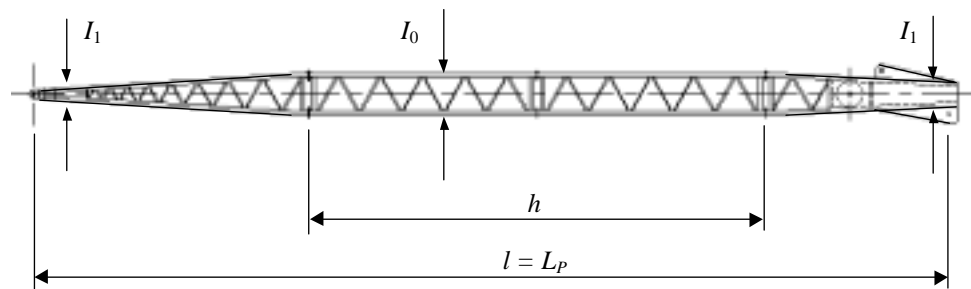
## 2. ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA PLUMA

Una vez establecidas las fórmulas que gobiernan las fuerzas axiales en cada elemento, mediante el empleo de curvas de influencia se determina las posiciones más críticas para cada uno de ellos en función de la posición de la carga en el gancho,  $P$ . En el análisis de la pluma se examina la misma bajo el efecto de cargas verticales ( $P$ ,  $\omega_p$ ) y cargas horizontales<sup>2</sup> (carga de viento, de sismo, de oscilación) y se halla la combinación más crítica de carga axial y de momentos al alcance  $D = 8$  metros.

**Tabla I.** Fuerzas y momentos actuantes en la pluma

$P$ , Ton	73.625
$F_p$ , Ton	191
$V_{x\text{-max}}$ , Ton	2.087
$V_{y\text{-max}}$ , Ton	2.32
$M_{DL\text{-max}}$ , Ton-m	9.71
$M_e$ , Ton-m	31.04
$M_{y\text{-max}}$ , Ton-m	40.02

Puesto que la pluma posee inercia variable (figura 2) se emplea el criterio dado por Timoshenko<sup>3</sup> en función de  $I_0/I_1$  y de  $h/l$  para obtener el radio de giro efectivo,  $r_{av}$ . Empleando las fórmulas dadas en las Especificaciones AISC<sup>4</sup> se encuentra que las secciones más adecuadas para los nervios y celosías componentes de la pluma son tubos cuadrados 7x7x□ y 4x2x3/16.



**Figura 2.** Variación de inercia en la pluma

### 3. DISEÑO DE BRAZOS RÍGIDOS Y LARGUEROS

Similar análisis se ejecuta para el diseño de los brazos rígidos. En este caso la posición crítica, para el conectado en al apoyo A se observa cuando la carga nominal (65 Tons) está al alcance de 15 metros y a un ángulo de rotación de  $0^\circ$  o  $180^\circ$ . En este punto se encuentra que la carga axial soportada es de 74.75 Ton. Se seleccionan ángulos 5x5x5/8 y 2x2x3/16 para los nervios y celosías de los brazos respectivamente.

El larguero conectado al apoyo A tiene su carga axial crítica en la misma posición de P obtenido para el brazo rígido. Asumiendo conexión de pasador entre el larguero y el portamástil se puede obviar la transmisión de momentos por parte este último. Con el uso de las tablas y recomendaciones

de las Especificaciones AISC se selecciona una viga W14x132. El momento ejercido sobre los brazos rígidos y largueros es el ocasionado por el peso propio de los elementos.

#### 4. SELECCIÓN DE CABLES Y POLEAS

La selección de cables y poleas para los sistemas de la línea de amantillo y de carga se basa en la guía provista por el fabricante<sup>5</sup> y el factor de seguridad empleado se extrae de estándares existentes<sup>6</sup>. Por tanteo se llega a que la selección final se orienta al empleo de cable  $d = 1\frac{1}{2}$ " IWRC de acero extra (EIP mejorado) y construcción 6 x 37 SFW. El diámetro de paso de las poleas es 29".

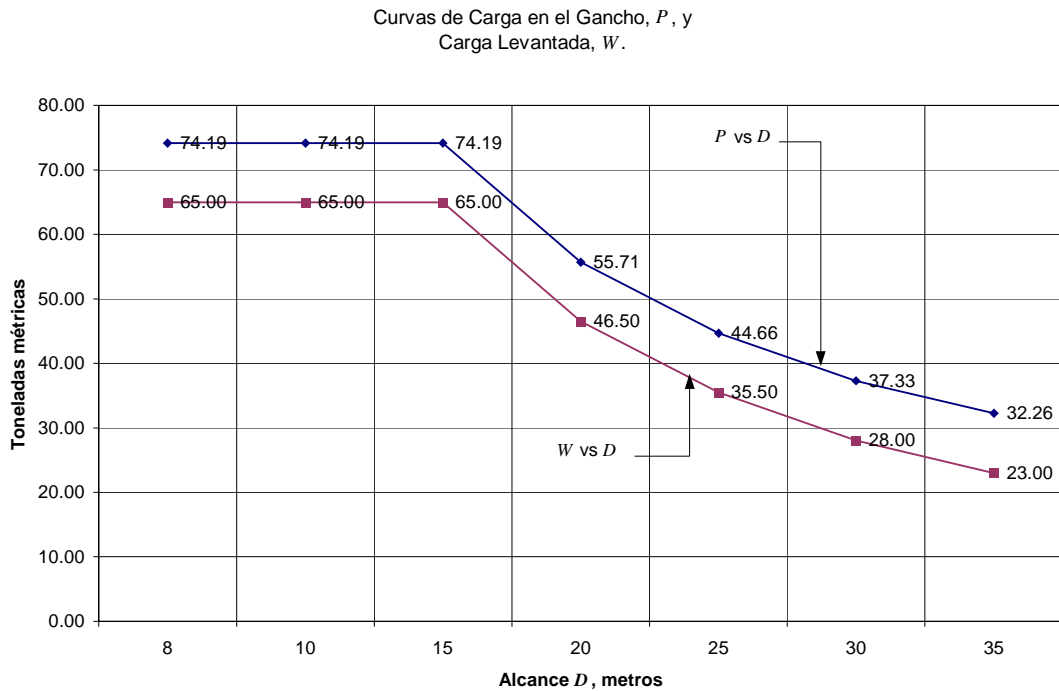
#### 5. CURVA DE CAPACIDAD DE LA GRÚA DE BRAZOS RÍGIDOS.

Tabla II. Cargas  $P$  y  $W$  a diferentes alcances  $D$ .

$D$ , metros	$\theta_v$ , grados	$F_{BA}$ , Ton	$T.S.$ , Ton	$P$ , Ton	$W$ , Ton
8	76.787	118.95	2.509	74.19	65.0
10	73.398	118.95	2.480	74.19	65.0
15	64.623	118.95	2.377	74.19	65.0
20	55.150	118.95	2.221	55.71	46.5
25	44.415	118.95	1.994	44.66	35.5
30	31.003	118.95	1.646	37.33	28.0
35	0.000	118.95	0.676	32.26	23.0

En el trazado de la curva de capacidad de la grúa se observa como factor limitante a la fuerza axial del brazo rígido ( $F_{BA}$ ) ya que posee la mayor amplitud de variación en todos los alcances al compararlos con el alcance de trabajo ( $D = 15$  m).

Los valores máximos de carga en el gancho  $P$  y de carga levantada  $W$  se determinan. La tabla II muestra los resultados,  $TS$  es el efecto de carga sísmica. Las curvas se muestran a continuación.



**Figura 3.** Curva de Capacidad ( $W$  vs  $D$ )

## 6. ANÁLISIS Y DISEÑO DEL MÁSTIL.

El análisis del mástil cubre todas las posiciones de la pluma y se halla que la combinación más crítica de fuerza axial y momentos se obtiene cuando la carga  $P$  está a un alcance  $D = 35$  m y se desarrolla un ángulo de rotación  $\theta_H = 135^\circ$  según se observa en la tabla a continuación.



**Tabla III.** Fuerzas y Momentos actuando a diferentes alcances  $D$

$D, m$	$P, \text{Ton}$	Fuerza en Mástil		$M_{max}, \text{Ton-m}$	
		$F_M, \text{Ton}$		$M_T$	$M_B$
		Tensión	Compresión		
8	74.19	142.684	32.266	76.534	86.37
10	74.19	150.256	13.354	68.165	72.97
15	74.19	167.110	-35.951	50.258	37.29
20	55.71	129.837	-73.224	23.522	-6.26
25	44.66	107.923	-95.138	5.161	-32.97
30	37.33	88.321	-114.740	-25.141	-55.47
35	32.26	51.852	-151.208	-60.880	-98.24

Empleando las especificaciones AISC se selecciona un tubo de acero cédula 100 y diámetro exterior 24".

## 7. DISEÑO DE ESTRIBOS Y PLACAS DE ASIENTO

Los estribos son los conectores sometidos a tensión y que conectan los bloques de poleas al resto de elementos. Siguiendo las especificaciones dadas en la sección 1.14.5 de la AISC se seleccionan barras de ojal para los conectores del bloque de poleas del sistema de amantillo. Estas tienen una sección de 17x3.5 cm en el cuerpo de la barra. El diámetro en la cabeza de la barra es de 40 cm y con agujero para el pasador de 16 cm. Simultáneamente se ejecuta el dimensionamiento de los conectores del bloque de poleas del sistema de carga. Se seleccionan placas conectoras de sección transversal 25x1.2 cm con agujero en los extremos de diámetro 10.5 cm. Las placas de refuerzo son de 22.5x16.5x0.8 cm.

Para los asientos de los largueros en los apoyos A y B y siguiendo las guías de la AISC se seleccionan placas de

70x70x5.5 cm asumiendo que se apoyan sobre un suelo compuesto de ladrillos y cemento ( $F_p = 0.25$  ksi).

### **CONCLUSIONES**

1. Se concluye que la estructura de la grúa puede ser construída localmente ya que existe la capacidad y técnica suficiente como para diseñar y fabricar el equipo proporcionando con toda seguridad el mismo servicio que cualquier otra importada. Así mismo no se requiere conseguir materiales importados puesto que perfiles de acero A36 pueden conseguirse fácilmente.
2. Una de las ventajas más reconocibles del empleo del manual se observa en la selección de las celosías tanto de la pluma como de los brazos rígidos (secciones 4.5.4, 4.5.5 y 4.6.1 respectivamente). En este caso la determinación de fuerzas en las cuerdas y celosías es reemplazada por un valor 0.02 del valor compresivo aplicado a la pluma.
3. Durante el desarrollo de la tesis se ha cubierto el dimensionamiento de los componentes principales de la grúa, mostrándose satisfactoriamente la naturaleza del sistema estructural. Se recomienda que se continúe con la etapa del diseño de mecánico que cubre la selección de rodamientos, lubricación y selección de motores para los movimientos vertical y horizontal de la pluma. Así mismo que se prosiga con la selección de la rueda de giro y el mecanismo de transmisión de potencia hacia la misma.
4. Con las recomendaciones presentadas en la Guía para el Análisis de Grúas de Brazos Rígidos y de Tirantes (AISC) se

cumplen con las normas técnicas, exigencias y estandarizaciones requeridas internacionalmente con bastante seguridad puesto que las normas dictadas en la Guía son obtenidas por experiencias y análisis.

### REFERENCIAS

1. J. Villacís, "Diseño Estructural de una Grúa Fija Rotatoria de Brazos Rígidos usando las Especificaciones AISC" (Tesis, Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral).
2. AISC, Guide for the Analysis of Guy and Stiffleg Derricks (Chicago: The Institute, 1974), pp.A1-A5.
3. Timoshenko & Gere, Theory of Elastic Stability (2da. Edición, New York, McGraw-Hill, 1961)
4. AISC, Manual of Steel Construction (AISC Manual) (AISC, Chicago, 1980).
5. Union Wire Rope Corporation Handbook "D", 1942.
6. SAE Standards, Volumen 2 (Society of American Engineers) SAE J959, p41.100.