

Reporte breve

Interpretation of load charts for mobile cranes and its application for the design of lifting processes in the construction industry

Interpretación de tablas de carga en grúas móviles y su aplicación en el diseño de izajes en la construcción.

Mario Alberto Moreno Morales ¹  <https://orcid.org/0000-0002-9696-3260>, Elvia Pérez Soto ¹ 
<https://orcid.org/0000-0002-5673-0825>, Germán Pichardo Villalón ¹ 
<https://orcid.org/0000-0002-4585-3571>, Francisco Javier Barrón Santos ¹ 
<https://orcid.org/0000-0002-4594-086X>

¹ Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía, Instituto Politécnico Nacional

Correo electrónico de contacto: mmoreno2101@alumno.ipn.mx

Fecha de envío: 06-05-23
Fecha de aprobación: 23-10-23

Abstract

Introduction: The lifting, or hoisting, by using mobile cranes is one of the most hazardous processes in the construction industry, is a critical procedure for the safety and logistics in construction projects. The most frequent failure scenarios are those regarding to the misinterpretation of the load charts, causing the overload of the crane, and consequently, several human and material losses.

Method: The proposed method is an alternative for the calculation of the boom length in mobile cranes. While one of the cited authors, proposes more analytical methods based on theoretical criteria, or crane specifications, the method proposed in this paper is set from an operative perspective, where the field variables are not under control of the user. The proposed method could be adapted to different field conditions and cranes.

Keywords: Lifting, Mechanical lifting of loads, Boom length, Load capacity,

Resumen

Introducción: El levantamiento, o izado, mediante el uso de grúas móviles es uno de los procesos más peligrosos en la industria de la construcción, es un procedimiento crítico para la seguridad y logística en los proyectos de construcción. Los escenarios de falla más frecuentes son aquellos relacionados con la mala interpretación de las tablas de carga, provocando la sobrecarga de la grúa y, en consecuencia, diversas pérdidas humanas y materiales.

Método: El método propuesto es una alternativa para el cálculo de la longitud de pluma en grúas móviles. Mientras que uno de los autores citados propone métodos más analíticos basados en criterios teóricos o especificaciones de grúa, el método propuesto en este artículo se plantea desde una perspectiva operativa, donde las variables de campo no están bajo control del usuario. El método propuesto podría adaptarse a diferentes condiciones de campo y grúas.

Palabras clave: Izaje, Elevación mecánica de cargas, Longitud de pluma, Capacidad de carga.

Reporte breve

Introducción.

Elevación mecánica de cargas y escenarios de fallo

La elevación mecánica de cargas mediante grúa móvil, o izaje, es un proceso cuyas prestaciones representan grandes beneficios en cuanto a tiempo y costos dentro de la industria de la construcción. De forma general, consiste en el desplazamiento de materiales, equipos y herramientas de gran peso y dimensiones, e incluso trabajadores, desde un punto a otro del centro de trabajo. Sin embargo, también es necesario considerar los altos niveles de exposición y severidad que estos procesos representan para los trabajadores involucrados.

En términos de seguridad en el trabajo, estos procesos, suponen una problemática compleja al introducir la evaluación de diferentes variables para determinar la viabilidad de cada maniobra: Altura máxima a la cual se elevará la carga, velocidad del desplazamiento, peso de la carga, el radio de operación de la grúa, ángulo mínimo y máximo que alcanzará la pluma, capacidad de carga de la grúa, entre otras más.

Los diversos escenarios de fallo regularmente se orientan a la evaluación deficiente de las condiciones de la maniobra, como estabilidad del terreno, cercanía con líneas eléctricas, características físicas de las instalaciones, proximidad con otros procesos y trabajadores, falta de capacitación del personal involucrado, e incluso la evaluación imprecisa de los riesgos producidos.

Sin embargo, uno de los escenarios más críticos es el cálculo y diseño incorrectos del proceso, o la falta de este procedimiento. Condición que deja fuera la configuración y capacidad de carga de la grúa móvil como factores

centrales, e introduce el fallo desde el diseño del proceso, ya que afectará gravemente la precisión necesaria de la elevación, su estabilidad y capacidad estructural.

Debido a las características de las cargas desplazadas, así como al procedimiento del izaje, los accidentes producidos por estos fallos presentan altos niveles de severidad, en algunos casos fatales. Estos incluyen la mutilación de miembros contusiones, descargas eléctricas y/o electrocución, volcadura o colapso de la estructura de la grúa, la caída de la carga sobre los trabajadores, las instalaciones y la grúa misma.

En Estados Unidos, los impactos de vehículos, equipos pesados y otros objetos, son la causa principal de lesiones y la segunda causa de muerte de trabajadores en la construcción. Uno de los peligros más importantes en esta industria tiene relación con equipos en movimiento, peligros cuyos efectos producen lesiones por golpes con grúas o partes de ellas. Este tipo de eventos registra más de 800 defunciones por año. (Occupational Safety and Health Administration, s/f).

Tabla de cargas y sus variables

Las tablas de carga son documentos emitidos por el fabricante de la grúa, donde se especifica la configuración del equipo, así como sus capacidades de carga bruta. Al respecto Fullman detalla lo siguiente.

La capacidad neta de una grúa depende de la naturaleza de la elevación y de las deducciones de capacidad que deben restarse de la capacidad bruta. Los ejemplos de deducciones de capacidad pueden incluir el peso de la pasteca, el peso de la bola, el peso de la extensión o "jib", el peso de los

Reporte breve

cables de carga, el peso de todos los elementos de izaje y el peso de la carga (Fullman, 2022)

Estas contienen datos como: longitud de pluma, radio de operación, grado de estabilización necesario, ángulos y capacidades de la pluma, longitud y capacidad de la extensión o “jib”, cantidad, así como peso y número de contrapesos necesarios (Ver figura 1).

Una tabla de cargas ayuda al operador a calcular las capacidades de elevación de una grúa. Esta tabla asegura que la grúa en operación no exceda su capacidad de carga. Las tablas de cargas muestran cómo varía la capacidad de carga de la grúa en función de la distancia (radio) y el ángulo de la pluma. La longitud de la pluma, el ángulo de la pluma y el radio de carga son tres factores críticos para la operación (Fullman, 2022)

Regularmente el diseño del izaje surge de valores y necesidades planteadas por el usuario: El peso de la carga, dimensiones, altura máxima, distancia entre la base de la pluma y el punto de descarga. El problema reside en tratar al menos 2 de estos valores: Altura máxima de la elevación y radio de operación; y utilizarlos en los términos establecidos en la tabla de cargas, ya que estos documentos determinan la capacidad de carga, a partir del radio de operación y longitud de pluma (Ver figura 1).

Figura 1: Tabla de cargas de la grúa Terex-Demag AC35L.

Ambos recuadros muestran la información provista por el fabricante: Radio de operación y longitud de pluma. Fuente:

Lifting capacities main boom
Tragfähigkeiten Hauptausleger
Capacités de levage flèche principale

2,5 t		6,20 m x 5,95 m 360°										DIN/ISO	
Radius Ausladung Portée		Length of main boom - Hauptauslegerlänge - Longueur de flèche										Radius Ausladung Portée	
m		9,50 ¹⁾	9,50	13,00	16,50	19,80	23,50	26,80	30,50	34,10	37,40	m	
t		t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	t	
3	33,00	32,00	31,20	29,95	18,95	-	-	-	-	-	-	-	3
3,5	27,45	27,45	27,45	23,70	18,35	18,40	-	-	-	-	-	-	3,5
4	24,40	24,40	24,20	22,00	18,60	17,55	-	-	-	-	-	-	4
4,5	21,80	21,80	21,60	20,00	17,95	16,25	14,45	-	-	-	-	-	4,5
5	19,50	19,50	19,50	18,70	16,30	15,15	13,85	-	-	-	-	-	5
6	15,50	15,50	15,50	14,80	14,00	12,10	11,70	10,00	-	-	-	-	6
7	11,65	11,65	11,70	11,45	9,80	9,55	9,30	7,45	-	-	-	-	7
8	-	-	9,50	9,50	8,75	8,00	7,80	7,45	5,55	-	-	-	8
9	-	-	7,80	7,80	7,80	7,80	6,90	6,65	6,50	5,35	-	-	9
10	-	-	6,50	6,50	6,50	6,50	6,40	5,75	5,65	5,00	-	-	10
11	-	-	5,40	5,40	5,40	5,40	5,00	4,95	4,65	4,11	-	-	11
12	-	-	4,80	4,80	4,80	4,80	4,35	4,35	4,30	3,82	-	-	12
13	-	-	4,00	4,00	4,00	4,00	3,85	3,85	3,80	3,40	-	-	13
14	-	-	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,40	3,00	-	-	14
15	-	-	-	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,90	2,60	-	-	15
16	-	-	-	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	2,40	-	-	16
17	-	-	-	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,20	2,00	-	-	17
18	-	-	-	-	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	1,80	-	-	18
19	-	-	-	-	1,80	1,80	1,80	1,80	1,80	1,60	-	-	19
20	-	-	-	-	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,50	-	-	20
21	-	-	-	-	1,40	1,40	1,40	1,40	1,40	1,20	-	-	21
22	-	-	-	-	-	1,30	1,30	1,30	1,30	1,10	-	-	22
23	-	-	-	-	-	1,10	1,10	1,10	1,10	1,00	-	-	23
24	-	-	-	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	-	-	24
25	-	-	-	-	-	-	0,90	0,90	0,85	0,75	-	-	25
26	-	-	-	-	-	-	-	0,80	0,80	0,75	-	-	26
27	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,75	0,65	-	-	27
28	-	-	-	-	-	-	-	0,70	0,70	0,60	-	-	28
29	-	-	-	-	-	-	-	-	0,60	-	-	-	29

(TEREX DEMAG AC 35 L, 2021)

El objetivo del presente trabajo es describir y aplicar el método de resolución del triángulo rectángulo propuesto en el Teorema de Pitágoras, calcular el valor de longitud de pluma, y determinar las capacidades de carga específica (bruta y neta). Posteriormente se analizará un caso práctico en el que se diseñó el izaje de un reactor anaeróbico dentro de un proyecto de construcción en el Estado de México.

Material y Métodos

De acuerdo con los 3 escenarios propuestos por (Olearczyk, 2010), el diseño de la elevación requiere que el usuario conozca los valores de, al menos, dos variables, para continuar con cálculo de una tercera e incluso una cuarta dentro del sistema (Ver tabla 1).

Reporte breve

Tabla 1: 3 escenarios con variables específicas para el cálculo de la elevación. Fuente: (Olearczyk, 2010)

Escenario	Equipo	Variables conocidas	Variables por calcular
1	Pluma principal	Longitud de pluma, radio de operación	Ángulo de pluma, altura de la punta
2	Pluma principal, extensión	Pluma + longitud de extensión, radio de operación	Ángulo de pluma, altura de la punta
3	Pluma principal, extensión	Pluma + longitud de extensión, ángulo de pluma y extensión	Radio de operación, altura de la punta

Sin embargo, no se considera un cuarto escenario, en el cuál a partir del radio de operación de la grúa y la altura máxima de la pluma (incluyendo la carga y los elementos de izaje), es necesario calcular la longitud de la pluma, y así conocer la capacidad de carga específica (bruta) de la grúa, para posteriormente calcular su capacidad específica (neta).

El procedimiento establece que, para calcular el cuadrado de la hipotenusa, deberán sumarse los valores elevados al cuadrado del cateto opuesto y adyacente (Sparks, 2008).

$$A^2 + B^2 = C^2$$

- La variable “A”, el cateto opuesto; será sustituida por el valor de la altura “h”.
- La variable “B”, el cateto adyacente, será sustituida por el valor del radio de la pluma de la grúa “r”.
- La variable “C”, la hipotenusa, cuyo valor es desconocido para el usuario. (Véase figura 2a y 2b)

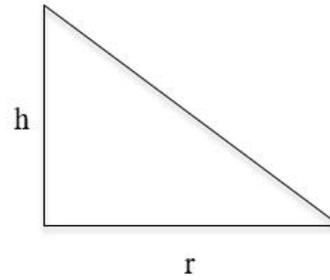


Figura 2a: Variables conocidas por el usuario. Fuente: Elaboración propia

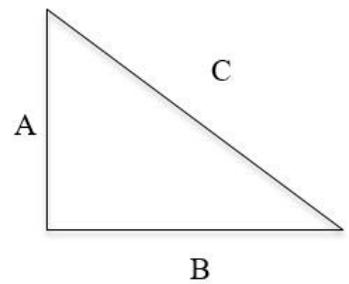


Figura 2b: Variables del teorema de Pitágoras. Fuente: Elaboración propia

- Elevar al cuadrado el valor de la altura (cateto opuesto).
- Elevar al cuadrado el valor del radio (cateto adyacente).
- Sumar ambas cantidades elevadas al cuadrado.
- Aplicar raíz cuadrada a esta cantidad, el valor resultante será la longitud de pluma (hipotenusa).
- El valor obtenido deberá interceptarse con el valor del radio de operación en la tabla de cargas para obtener la capacidad de carga específica (bruta) del equipo.
- A la capacidad de carga específica (bruta), deberá restarse el peso de los elementos de izaje para obtener la capacidad de carga específica (neta).

Resultados: Análisis de un caso práctico

El 8 de octubre de 2021, se realizó el izaje de un reactor anaeróbico de acero inoxidable. Este proceso se realizó en un proyecto de construcción, dentro de las instalaciones de una papelería en Ecatepec de Morelos, Estado de México. La planeación y diseño de la maniobra se realizó con el método antes mencionado, con los siguientes datos:

Datos de la carga

- Tipo
Reactor anaeróbico de acero inoxidable

Reporte breve

- Dimensiones
 - Diámetro: 9.6 m
 - Área de la base: 72.34 m²
 - Altura: 23 m
- Peso
 - 35,000 kg

Características de la grúa

- Tipo
 - Grúa sobre camión Mannesmann-Demag AC1600
- Longitud máxima de pluma
 - 50 m
- Peso de elementos de izaje
 - 2375.51 kg
- Capacidad de carga máxima (bruta)
 - 320,000 kg
- Capacidad de carga mínima (bruta)
 - 9,300 kg
- Contrapesos
 - 57,000 kg
- Límite de seguridad
 - 75%

- Datos de la elevación

- Radio de operación
 - 22 m
- Distancia de recorrido desde el punto de carga hasta el punto de descarga
 - 15 m
- Altura máxima de la pluma (altura de reactor + elementos de izaje + altura máxima de elevación) (Ver figura 3)
 - 40 m
- Altura mínima de la pluma durante el descenso de la carga (Ver figura 3)
 - 40 m
- Altura máxima de elevación de la carga desde el nivel de referencia
 - 5 m

Con estos datos, se procedió a realizar la solución del triángulo rectángulo descrita en el apartado de método, como se muestra a continuación.

$$A^2 + B^2 = C^2$$

- Sustitución
 - A= 40
 - B= 22
- Elevar al cuadrado ambos valores
 - A²= 40²
 - B²= 22²
- Resolver exponentes
 - A= 1600
 - B= 484
- Sumar las cantidades elevadas
 - 1600 + 484= 2084
- Al calcular la raíz cuadrada del valor de C², se eliminará el exponente de la expresión original
 - C= $\sqrt[2]{2084}$
 - C= 45.65 (Ver figura 3)

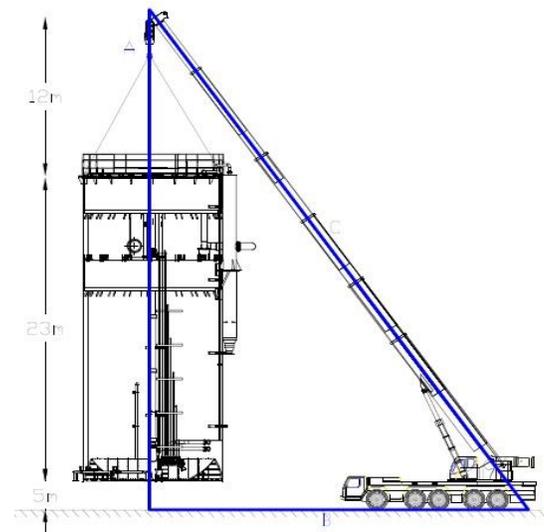


Figura 3: Variables del triángulo-rectángulo sustituidas en el proceso de elevación. Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenido el valor de la longitud de pluma, en este caso 45.65 ~ 50 m¹, se localizará en la fila correspondiente

tabla. A partir de este valor se realizará la intersección con el radio de pluma de la grúa.

¹ Debido a que el valor exacto de longitud de pluma (45.65 m) no se encuentra especificado en la tabla de cargas, se tomará el valor inmediato superior (50 m) indicado en la escala de la

Reporte breve

y se interceptará con la columna del valor del radio de operación: 22 m. La cantidad interceptada será la capacidad de carga específica (bruta): 44,400 kg (Ver figura 4)

Figura 4: Tabla de cargas de grúa Mannesmann-Demag AC1600. Se muestra la intersección de valores de radio de operación y longitud de pluma, para obtener la capacidad de carga específica (bruta) de la grúa. Fuente: (Far East Crane & Transport, 2018)

57 t		360°								75%
Ausladung		Hauptausleger - Main boom - Flèche								
Radius	Portée	15,8 m	20,7 m	25,6 m	30,5 m	35,4 m	40,2 m	45,1 m	50,0 m	
m	t	t	t	t	t	t	t	t	t	
3	320,0 ⁰⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3,5	290,0	290,0	-	-	-	-	-	-	-	-
4	279,0	278,0	-	-	-	-	-	-	-	-
4,5	262,0	262,0	260,0	-	-	-	-	-	-	-
5	248,0	247,0	247,0	200,0	-	-	-	-	-	-
6	223,0	222,0	222,0	194,0	165,0	-	-	-	-	-
7	201,0	200,0	201,0	167,0	155,0	135,0	-	-	-	-
8	184,0	183,0	184,0	179,0	144,0	125,0	105,0	-	-	-
9	165,0	164,0	165,0	166,0	132,0	116,0	100,0	90,0	-	-
10	149,0	147,0	148,0	149,0	121,0	108,0	94,0	85,0	-	-
12	123,0	121,0	122,0	123,0	105,0	93,0	84,0	77,0	-	-
14	-	96,5	97,6	100,0	91,0	82,0	76,0	69,0	-	-
16	-	75,1	76,0	78,1	76,9	73,0	67,0	62,0	-	-
18	-	60,5	61,2	63,3	62,0	62,5	61,0	56,0	-	-
20	-	-	50,1	52,0	50,8	51,2	52,7	51,0	-	-
22	-	-	42,0	43,7	42,4	42,9	44,2	44,4	-	-
24	-	-	-	37,3	36,0	36,4	37,7	37,9	-	-
26	-	-	-	32,3	30,9	31,3	32,5	32,7	-	-
28	-	-	-	-	26,9	27,1	28,3	28,5	-	-
30	-	-	-	-	23,5	23,7	24,8	25,0	-	-
32	-	-	-	-	20,6	20,7	21,9	22,0	-	-
34	-	-	-	-	-	18,1	19,2	19,3	-	-
36	-	-	-	-	-	16,0	17,0	17,0	-	-
38	-	-	-	-	-	-	15,0	15,1	-	-
40	-	-	-	-	-	-	13,4	13,3	-	-
42	-	-	-	-	-	-	-	11,8	-	-
44	-	-	-	-	-	-	-	-	10,4	-
46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,3

Los valores obtenidos al final de los cálculos, y con los cuáles se realizó la elevación fueron los siguientes:

- Longitud de pluma
45.65 ~ 50 m
- Radio de operación de grúa
22 (Ver figura 4)
- Peso de elementos de izaje
2375.51 kg
- Capacidad de carga específica (bruta)
44,400 kg
- Capacidad de carga específica (neta)
42,024.49 kg
- Peso total de la carga
35,000 kg
- Porcentaje utilizado de la capacidad de carga neta
82.28%



Figura 5: Izaje de reactor anaerobio en proceso

Discusión

El alcance del presente trabajo es calcular sólo una de las variables que intervienen en el sistema de la elevación mecánica de cargas. La longitud de pluma, y con ello, evaluar la capacidad de carga específica del equipo. Sin embargo, existen múltiples escenarios y variables que podrán brindar mayor profundidad en el cálculo. Un ejemplo son los módulos que componen el método propuesto por (Olearczyk, 2010), que introduce diversas variables que interactúan de forma compleja, para el diseño y seguridad del proceso de la elevación.

Mientras en este trabajo se propone despejar el valor de la hipotenusa, (Olearczyk, 2010) propone despejar los catetos opuesto, adyacente; es decir, la altura y el radio de operación. E incluso los ángulos de operación de la pluma, variables que requieren el empleo de funciones trigonométricas para su cálculo.

Cabe aclarar que ambas propuestas surgen de contextos diferentes; el contexto operativo y otro teórico. En el primero se conocen las condiciones físicas del área de trabajo, y estas se evalúan para determinar la viabilidad de la elevación.

Reporte breve

En el contexto teórico, por otra parte, se diseñará la elevación a partir de las características y capacidades del equipo de elevación. Y a partir de ellas se evaluará las posibilidades de la maniobra, esta perspectiva podría comprometer la realización del proceso.

Conclusiones

Desde la perspectiva de la seguridad en el trabajo, el análisis del caso expuesto da cuenta de la importancia del correcto cálculo de las capacidades de carga en grúas móviles, y de cómo esta alternativa funciona como un elemento auxiliar en el análisis y control oportuno de los riesgos producidos por la elevación mecánica de cargas. La propuesta es disminuir la probabilidad de sobrecarga del equipo y, en consecuencia, prevenir accidentes relacionados con su volcadura o colapso estructural.

Este cálculo podrá también ser útil para determinar la viabilidad de la elevación, ya sea por el tipo de grúa que se pretende utilizar, el tipo de carga por elevar, así como por el uso de dispositivos auxiliares (equipo especial de aparejo o de carga), de acuerdo con las condiciones del área de trabajo.

La utilización de este método deberá ser evaluada por personal calificado para estos procesos, considerando siempre las instalaciones y condiciones específicas del centro de trabajo. Bajo ninguna circunstancia se pretende sustituir la capacitación especializada que deben recibir los trabajadores encargados de diseñar y ejecutar la elevación.

Referencias

Far East Crane y Transport. (2018). *Tragfähigkeiten Hauptausleger Lifting capacities main boom Capacitésd e levage flèche principale*. Far East Crane & Transport. <https://fecrane.com/v2/images/stories/loadchart/demag%20ac1600%20500t.pdf>

Fullman, B. (2022). *What is a crane load chart?* Total Equipment Training. <https://totalequipmenttraining.com/blog/what-is-a-crane-load-chart/>

Occupational Safety and Health Administration. (s/f). *Grúas en Movimiento. La Transcripción. Golpes Causados por Accidentes en Construcción/Grúas en Movimiento*. Occupational Safety and Health Administration. <https://www.osha.gov/vtools/construction/struck-by-crane-fnl-spa-web-transcript>

Olearczyk, J. (2010). *Crane lifting operation planning and lifted object spatial trajectory analysis*. University of Alberta.

Sparks, J. (2008). *The Pythagorean Theorem. Crown Jewel of Mathematics*. Ohio: Sparrow-Hawke Treasures. Obtenido de Sparks, J. (2008). *The Pythagorean Theorem. Crown Jewel of Mathematics*. Ohio.

TEREX DEMAG AC 35 L. (2021). Obtenido de: *Free Crane Load Chart*: <https://freecraneloadchart.com/load-chart/brands/terex/terex-ac-35-l/>

Declaración de conflicto de intereses

Los autores de este artículo expresan que no tuvieron ningún conflicto de intereses durante la preparación de este documento ni para su publicación.

Obra protegida con una licencia Creative Commons

Commons

Atribución - No comercial
No derivadas



Atribución - No comercial
No derivadas