



Universidad de Chile
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.
Departamento de Ingeniería Mecánica.

ME56B-1

INFORME DE PROYECTO

Diseño de una Grúa portuaria, para graneles.

Alumnos: Damián Guzmán Campos, Sebastián Sanhueza Flores.

Curso: ME56B

Profesor: Alejandro Font F.

Auxiliar: Javier Pérez Ramírez.

Fecha: 2 de julio de 2008.

Índice de contenidos.

1	Introducción.....	2
1.1	Introducción.....	2
1.2	Objetivos.....	3
2	Antecedentes.....	4
2.1	Datos relevantes sobre la actividad portuaria.....	4
2.2	Características de los materiales a granel.....	7
2.3	Buques graneleros.....	10
2.4	Tipos de grúas.....	13
2.5	Tipos de cucharas.....	17
3	Parámetros de diseño.....	22
4	Criterios de selección de la grúa.....	23
4.1	Selección de la cuchara.....	23
4.2	Selección del tipo de grúa.....	24
4.3	Selección del sistema de giro de la grúa.....	24
4.4	Selección del sistema de traslación de la grúa.....	26
5	Layout de la grúa.....	28
6	Memoria de Cálculos.....	30
6.1	Calculo de las Potencias de motores.....	30
6.2	Calculo de la cuchara.....	31
6.3	Cálculo del mecanismo de traslación de la grúa.....	32
6.4	Estructura de la grúa.....	36
6.5	Estabilidad y contrapeso.....	37
6.6	Rango de operación de la grúa.....	37
7	Conclusiones y Comentarios.....	41
8	Bibliografía.....	42

1 Introducción.

1.1 Introducción.

Los puertos son las interfaces de una compleja cadena logística, donde además de contenedores y cargas generales, se mueven también materiales a granel, como carbón y mineral en terminales marítimos y fluviales. Allí los materiales permanecen almacenados temporalmente y son transportados a centrales eléctricas, explotaciones agrícolas e industriales con la ayuda de cintas transportadoras, trenes o camiones.

Tan distintos como las funciones de los puertos y terminales son los sistemas y equipos para el movimiento de cargas, los cuales, a su vez, forman parte de una compleja infraestructura configurada individualmente en función del tipo, ubicación y función del puerto. La configuración de dicha infraestructura requiere la observancia de un sinnúmero de condiciones marco que influyen en la selección de los sistemas de trasbordo. Al fin y al cabo, los equipos de manipulación no se llegarán a utilizar casi nunca de forma aislada.

Por el contrario, estos equipos forman parte de un complejo sistema de manipulación que, además del barco y de la grúa, incluye otros componentes, tales como tolvas de descarga, cintas transportadoras y vehículos de transporte terrestre.

El presente proyecto, aborda el tema de las grúas para graneles. Se estudiarán las típicas grúas que operan en los principales puertos de Chile y el extranjero, que se encuentren dentro de esta categoría, para luego diseñar una grúa de tales características.

1.2 Objetivos.

Los fines del presente informe pretenden entregar los posibles objetivos que se plantea el grupo de trabajo para la realización del diseño de la grúa, estos son:

- Conocer el funcionamiento de las principales faenas portuarias.
- Conocer en detalle el funcionamiento de las grúas de puerto, que tipo de grúas existen, y las principales características como lo son la carga máxima a transportar etc.
- Seleccionar basándose en un buen criterio y con buenos fundamentos, los distintos aspectos que conforman las operaciones de una grúa de graneles.
- Diseñar una grúa para granel, ayudándose de las grúas ya existentes en el mercado.
- Realizar una posible visita a terreno a algún puerto del país, para conocer en persona el funcionamiento de las faenas portuarias, y principalmente ver en detalle las características físicas y mecánicas de las grúas tipo granel.

2 Antecedentes.

2.1 Datos relevantes sobre la actividad portuaria.

Debido a las extensas costas que posee Chile, son de gran importancia las instalaciones portuarias, debido a que son el instrumento del comercio de Chile con el exterior, y este comercio se ha visto favorecido debido a la serie de tratados que ha firmado nuestro país en los últimos años. De ahí es que se ha presenciado un sostenido crecimiento de las toneladas transportadas a lo largo del tiempo.

El siguiente gráfico da cuenta de los niveles de toneladas de participación en el mercado Regional de Puertos de Uso Público.

Año	San Antonio	Valparaiso	Ventanas
2007	12.640.889	9.713.720	4.394.034

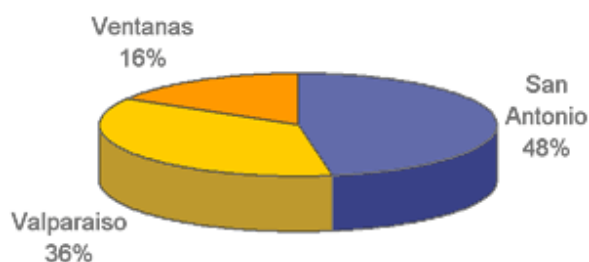


Gráfico n°1: Evolución del volumen de Carga en el Puerto de San Antonio

2.1.1 Composición y evolución del tipo de carga.

Los tipos de carga que se comercializan en los puertos es de gran variedad, destacando sobre todos la descarga y carga de containers, y en segundo lugar de graneles.

La siguiente tabla muestra los tipos de carga movilizadas durante el año 2007, en el puerto San Antonio (en toneladas):

Tabla n°1: Tipos de carga movilizados en San Antonio (año 2007).

Tipo	2007
Contenedor	6.564.856
Fraccionada	1.027.002
Granel Sólido	4.062.086
Granel Líquido	986.945
	12.640.889

El gráfico siguiente resume lo anterior.

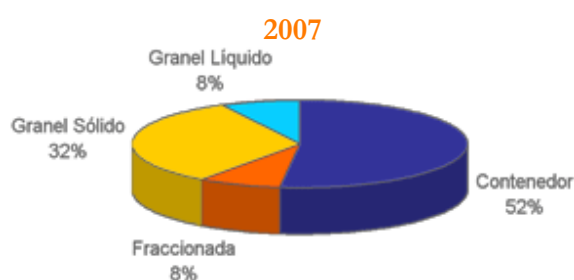


Gráfico n°2: Resumen de los tipos de carga movilizados en puerto San Antonio.

La evolución por tipo de carga del Puerto Ventanas es para el año 2007, entre descargas y embarques:

Tabla n°2: Resumen de movimiento de naves y sus cargas.

RESUMEN POR TIPO DE CARGA

DESCARGAS (Agrupadas por tipo)		
Graneles Sucios		
Carbón	1.199.028	Ton.
Bauxita	42.457	Ton.
Clínker - Slag	216.141	Ton.
Graneles Limpios		
Soya (derivados)	88.688	Ton.
Cebada	10.178	Ton.
Maíz	307.434	Ton.
Trigo	73.803	Ton.
Graneles Líquidos		
Químicos	14.122	Ton.
Combustibles	546.868	Ton.
Asfalto	57.132	Ton.
Carga General		
Pig Iron	43.563	Ton.
Big Bag de cemento	47.041	Ton.
Otros	40.318	Ton.
TOTAL DESCARGAS	2.686.773	TON.

EMBARQUES (Agrupadas por tipo)		
Graneles Sucios		
Concentrados minerales	902.684	Ton.
Graneles Líquidos		
Ácido	306.905	Ton.
Combustibles	421.439	Ton.
Carga General		
Combustible	61.826	Ton.
Maíz	3.500	Ton.
TOTAL EMBARQUES	1.696.354	TON.

Tabla n°3: Movimiento de cargas en el puerto Ventanas.

■ **MOVIMIENTO DE CARGAS EN PUERTO VENTANAS S.A.**

Miles de Toneladas (Movimientos / Años)																		
DESCARGAS	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Totales
Carbón	376	51	599	847	1.034	1.572	964	1.064	1.213	919	652	355	399	866	791	976	1.199	13.877
Bauxita	-	-	-	33	66	-	42	76	-	39	44	40	44	45	41	-	43	513
Clinker - Slag	-	50	76	-	-	217	474	267	40	116	152	118	-	42	126	204	216	2.098
Concentrado	-	-	23	34	11	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92
Girasol (Pellet)	-	-	-	-	-	14	23	3	-	5	-	-	-	-	-	-	-	45
Soya (Pellet, Harina, Poroto)	-	-	-	-	9	25	53	34	41	-	21	39	68	101	80	20	89	580
Sorgo	-	-	-	-	15	46	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	116
Trigo	-	-	-	-	33	77	-	-	-	-	-	10	97	-	6	228	74	525
Gluten	-	-	-	-	-	-	7	4	3	-	-	5	29	-	-	-	-	48
Cebada	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	9	12	-	4	10	38
Maíz	-	-	-	-	34	81	231	365	412	440	393	318	376	407	373	348	307	4.085
Generales (Fog Iron, Cemento, Anzós, Otros)	-	1	-	-	-	-	17	72	18	-	49	-	96	43	129	68	131	624
Químicos	-	-	-	-	-	-	2	11	12	19	16	13	11	12	16	8	14	134
Combustibles	-	-	-	-	-	-	-	-	99	201	241	243	260	269	399	368	547	2.627
Asfalto	-	-	-	-	-	-	-	-	37	95	99	106	30	74	151	60	57	709
TOTAL DESCARGA	376	102	698	914	1.202	2.056	1.868	1.899	1.875	1.834	1.667	1.247	1.419	1.871	2.112	2.284	2.687	26.111

EMBARQUES	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	Totales
Concentrado de Cobre	252	375	328	294	376	426	392	315	504	684	997	657	812	1.159	1.126	888	903	10.488
Concentrado de Zinc	5	-	-	2	6	-	7	-	3	-	-	3	6	5	-	-	-	37
Concentrado de Oro	-	-	-	-	-	6	12	9	8	6	9	-	-	-	-	-	-	50
Ácido Cadeico Ventanas	41	109	62	92	104	119	128	250	303	300	285	319	347	302	315	316	307	3.699
Cobre Metálico	-	-	3	2	13	54	20	4	12	7	34	-	-	28	-	9	65	251
Combustibles	-	-	-	-	-	-	-	-	29	200	220	254	251	263	329	363	421	2.330
TOTAL EMBARQUES	298	484	393	390	499	605	559	578	859	1.197	1.545	1.233	1.416	1.757	1.770	1.576	1.696	6.855

TOTAL MOVIMIENTO PUERTO (Embarque-Descarga)	674	586	1.091	1.304	1.701	2.661	2.427	2.477	2.734	3.031	3.212	2.480	2.835	3.628	3.882	3.860	4.383	29.966
Movimiento Terrestre Despecho-Recepción	14	15	136	78	80	88	101	136	286	730	1.125	959	1.235	1.423	1.120	1.243	1.179	9.948
TOTAL MOV. PUERTO Y TERRESTRE	688	601	1.227	1.382	1.781	2.749	2.528	2.613	3.020	3.761	4.337	3.439	4.070	5.051	5.002	5.103	5.562	52.914

Como dato anexo, para el año 2003, el rendimiento promedio de transferencia fue el siguiente:

Graneles: 818.8 ton/hr.

Ácido sulfúrico: 800 m3/hr.

Químicos: 168 m3/hr.

2.2 Características de los materiales a granel.

Debido a que la grúa estudiada, trabajara solamente con carga graneles, hay que estudiar en primera instancia este tipo de carga, para ver como deberá comportarse la grúa al momento de operar con este tipo de carga.

Existen diversos tipos de graneles, tanto sólidos como líquidos; Áreas de especial experiencia e interés corresponden al transporte de concentrados (básicamente cobre, zinc y plomo), cátodos de cobre, celulosa, productos forestales, carbón, fertilizantes y granos.

La carga a granel es un producto que es embarcado suelto en la bodega. En ocasiones se habla que los automóviles son embarcados a granel, lo que significa que el buque tiene una sola carga o tiene cierta carga como predominante. Este tipo de carga lo constituyen grandes volúmenes o tonelajes homogéneos que no requieren de embalaje.



Figura n°1: Manejo de graneles.



Figura n°2: Apilamiento de un tipo de granel específico.

La densidad de la cargas tipo granel, varia para cada tipo de granel; en la tabla siguiente se muestran algunas densidades para los graneles mas comunes, en las operaciones de puerto.

Tabla n°4: Densidad de graneles agrícolas.

PRODUCTOS AGRICOLAS SOLIDOS	DENSIDAD (kg/m3)
Alfalfa, granos	750 - 800
Algodón, granos con su fibra	420
Algodón, granos no apretados	100 - 120
Arroz cáscara	500 - 630
Arroz de embarque (descascarado)	700 - 750
Avena	500 - 540
Cacao (granos frescos)	900
Cacao (granos secos)	635
Café (granos frescos)	620
Café comercial	715
Café (granos secos)	450
Cebada	550 - 690
Frijoles o habichuelas, granos	750 - 850
Guisantes	800- 880
Lino	600- 680
Maíz, granos	700- 820
Maíz, mazorcas peladas	450
Malta	530- 600
Mijo	700
Soja, granos	720 - 800
Sorgo, granos	670 - 760
Trigo	750 - 840
Harina	500 - 800

Ahora bien el manejo de graneles en el caso de apilamiento, es de gran importancia el **ángulo de talud**, que corresponde a la pendiente máxima de una porción de granel hasta donde es posible su estabilidad sin que se produzcan deslizamientos. Se lo denomina también Ángulo de Reposo. En la siguiente tabla se muestran los ángulos de talud para algunos graneles agrícolas:

Tabla n°5: Ángulos de talud.

ANGULO DE TALUD NATURAL Y COEFICIENTE DE FROTAMIENTO EN LAS PAREDES		
MATERIA ENSILADA	ANGULOS DE TALUD	COEFICIENTE DE
	NATURAL	FROTAMIENTO
Arroz	24° a 26°	0,394 a 0,601
Avena	26° a 28°	0,359 a 0,466
Cacahuete con cáscara	38°	
Cacahuete sin cáscara	26° a 30°	
Café comercial	24° a 26°	
Cebada	25° a 29°	0,325 a 0,456
Guisantes	24° a 26°	0,268 a 0,445
Lino	23° a 26°	0,308 a 0,414
Maíz	26° a 29°	0,308 a 0,424
Malta	21° a 23°	0,325 a 0,445
Sorgo	33°	
Trigo	24° a 26°	0,361 a 0,466
Harina	35° a 45°	0,577 a 0,840

Para el caso del carbón su densidad es una magnitud difícil de medir. Se definen varios tipos de densidad, pero la necesaria para los posteriores cálculos es la que se define como sigue:

- Densidad a granel o en masa: Es el peso en Kg/m³ del conjunto del carbón en trozos, comprendiendo los espacios vacíos que quedan entre éstos. Esta magnitud del carbón es importante de cara al almacenamiento del carbón y su uso en hornos de coque. El valor numérico para la densidad del carbón es cercano a los 830 Kg/m³.



Figura n°3: Carbón a granel apilado.

Otro tipo de granel manejado en los puertos es el clinker, que corresponde a la materia que luego de ser mezclada con yeso y otro tipo de aditivos, conforma el cemento tipo Pórtland o de construcción. La densidad de este tipo de granel de alrededor a los 1100 Kg/m³.

2.3 Buques graneleros.

Los buques de transporte de carga sólida a granel, también conocidos como *bulkcarriers* son barcos que se dedican al transporte de cargas secas a granel. Suelen ser de gran tamaño (hasta 200.000TPM), superando en algunos casos los 300m de eslora. Normalmente navegan a baja velocidad.



Figura n°4: Buque tipo carguero a granel.

Son fácilmente identificables por tener una única cubierta corrida con varias escotillas (normalmente impares) y unas correderas a uno o ambos lados por donde corren la tapa o tapas de las escotillas.

Los graneleros tipo Panamax, como el resto de familias de este tipo de buques, tienen el máximo tamaño permitido para pasar por el canal de Panamá, con una serie de limitaciones de calado y manga, lo que equivale a un peso muerto de 60/70.000 tn.

Pueden transportar cereales, minerales o cargas mixtas (*oil/bulk/ore carrier*) (cargas secas y crudo). En el caso del transporte de cargas pesadas, sus bodegas están reforzadas para resistir golpes.

Los cementeros y alumineros son un tipo especial de *bulkcarrier*, ya que son muy especializados. Suelen ser pequeños (6.000 TPM) y tienen medios propios de carga y descarga mediante tuberías por medios neumáticos.

Los barcos graneleros son barcos mercantes diseñados para transportar carga no empacada como granos, minerales, cementos, carbón, entre otros, así como graneles líquidos, los que se almacenan en bodegas de los distintos barcos. Debido al avance en el comercio entre naciones, y la pujante economía mundial, han favorecido la creación de barcos cada vez más grandes y avanzados, los que hoy en día se han especializado para maximizar su capacidad, seguridad y eficiencia.

Los barcos graneleros componen un 40% de la flota mercante mundial, y pueden transportar cargas dentro de un amplio rango, hasta 365000 DWT¹. La mayoría de estos barcos son contruidos en Asia, y muchos son de bandera panameña, china y japonesa. La descarga y carga puede tomar varias horas, incluso días, si es que la carga es grande, además de los movimientos propios de la carga y descarga para equilibrar el barco en todo momento son complejos, y toman tiempo; las grúas para estos movimientos son las del propio puerto, o incluso algunos barcos traen sus propias grúas.

Existe una variada gama de tipos de barcos, sin embargo existen varias clases de barcos en las que se pueden clasificar según sus dimensiones y capacidades

- Handymax o Supramax es una clase de arquitectura naval típica entre 35000 y 60000 DWT. Es un barco típico de largo 150-200 m (492-656 feet), aunque por varias restricciones portuarias, se construyen usualmente bajo los 190 m, y son diseñados entre 52000-58000 DWT. Con 5 bodegas, y 4 grúas de 30 ton de capacidad.

¹ DWT: metric tons of deadweight. Medida de cuanta masa puede transportar un barco, en “longs tons” o “metric tons” Abreviatura de la expresión inglesa “Dead- weight”, o peso muerto, usada internacionalmente para designar el peso total de la carga y pasajeros de un buque, incluidos sus equipajes, así como la dotación y pertrecho.

- Handysize se refiere a la clase más común, y aunque no está bien definido sus dimensiones, usualmente manejan entre 15000-35000 DWT. Este tipo es el barco más común y numeroso que se usa actualmente en el mundo, el cual puede atracar en la mayoría de los puertos. Usualmente tienen 5 bodegas, con puertas accionadas hidráulicamente, con 4 grúas de 30 toneladas de capacidad.
- Panamax se refiere a los barcos con las dimensiones tales que les permitan transitar por el canal de Panamá. Esto es: Eslora(largo): 294.1 m (965 ft); manga(ancho): 32.3 m (106 ft); calado(draft): 12.0 m (39.5 ft); altura(air draft): 57.91 m (190 ft) medida de la línea de agua hasta el punto más alto del barco. Aunque se estudia ampliar el canal, con lo que se tendrá una mayor capacidad, denominándose Panamax II. Aún insuficiente para los barcos Post Panamax u Over Panamax, con dimensiones aún mayores. Su carga varía desde 55000 a 80000 DWT.

Clase	Panamax	Panamax II
Eslora (largo)	1050 ft (320.04 m)	1400 ft (426.72 m)
Manga(ancho)	110 ft (33.53 m)	180 ft (54.86 m)
Calado	41 ft (12.50 m)	60 ft (18.29 m)

- Capesize, se refiere a aquellos cargueros demasiados grandes que no pueden transitar por el canal de Suez, que realizan viajes por los cabos de Hornos o Buena Esperanza, y que pueden transportar sobre las 150000 DWT, usualmente 175000 DWT, aunque pueden llegar hasta las 400000 DWT, en el caso de algunos cargueros de minerales.

Las siguientes son las capacidades de un buque granel del tipo Panamax.

Constructor: Universal Shipbuilding Corporation

Tonelaje grueso: 101,953 tons

Tonelaje de peso muerto: 203,200 tons

Longitud: 299.95 metros

Ancho: 50.00 metros

De acuerdo a los antecedentes recopilados y las capacidades con que opera el Puerto Ventanas, tomando como referencia el sitio n° 5, que posee mayor capacidad, de 700000 DWT, con un calado máximo de 14.3 m, y una eslora de 240 m. se puede tomar en consideración estos datos para referir el diseño de la grúa destinado para barcos del tipo Supramax y Panamax principalmente.

2.4 Tipos de grúas.

En el mercado de las grúas existen diversos tipos; uno de los principales fabricantes de grúas es la empresa GOTTWALD; Como primer fabricante mundial de grúas móviles de puerto, la empresa Gottwald Port Technology dispone de una extensa gama de productos con capacidades de carga de hasta 120 t y alcances de hasta 56 m, incluyendo una serie completa de grúas con cuchara de 4 cables para el movimiento especializado de materiales a granel – para rendimientos de trasbordo de hasta 1.500 t/h.

Dentro de los tipos de grúas mas utilizados en puertos, se encuentran los siguientes 3 tipos:

2.4.1 Grúas fijas.

Este tipo de grúas presenta las características de una grúa fija con la capacidad de girar en un eje en 360°.



Figura n°5: Grúa fija.

Algunas Características de las grúas fijas (HMK).

Tipo	Máx. rendimiento de trasbordo [t/h]	Capacidad de carga [t] / hasta alcance máx. [m]	
		Clasificación según FEM 1.001	
		A7	A8
HMK / HSK 170 EG	750	32 / 25	25 / 29
HMK / HSK 260 EG	1.000	40 / 31	34 / 30
HMK / HSK 330 EG	1.200	50 / 31	40 / 32
HMK / HSK 360 EG	1.500	–	50 / 44

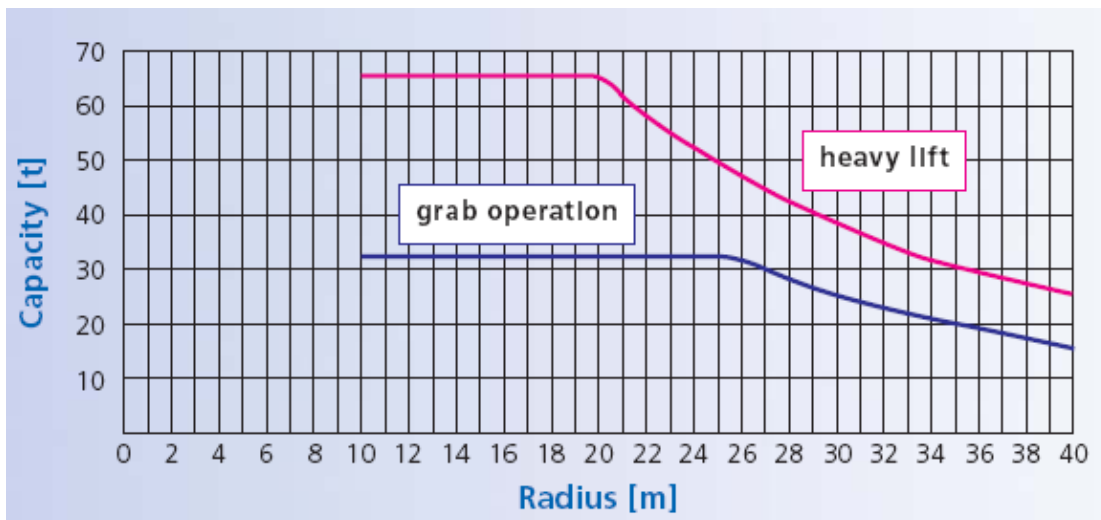


Figura n°6: Prestaciones de grúas fijas.

2.4.2 Grúas Móviles.

Además de poseer la capacidad de girar en 360°, como el tipo anterior, esta grúa también puede desplazarse a lo largo del puerto, lo que está determinado por rieles en los cuales está montada la grúa.

Este tipo de grúa ha de ser estable al momento de trasladarse a lo largo del muelle, tanto si está con o sin carga, se necesita para un momento de la carga dado y un contrapeso de dimensiones adecuadas, una base de apoyo firme y un ancho de vía mínimo.

Estas grúas principalmente se mueven por ruedas del tipo llanta más neumático, o por medio de llantas del tipo ferrocarril (acero fundido). El carro de la grúa se construye generalmente de perfiles laminados.

Cuando la traslación de la grúa es poco frecuente o cuando la traslación pasa a ser un punto secundario en el trabajo de la misma, se utiliza algún tipo de remolque que movilice a la grúa. Cuando la traslación pasa a ser un factor fundamental en la operación de la grúa, esta se mueve por medio de motores eléctricos propios de la grúa.



Figura nº 7: Grúa tipo móvil o portal.

Algunas características de las grúas móviles son las siguientes:

Operating Radius [m]	Heavy lift	Grab
	on ropes [t] (75%)	on ropes [t] (50%)
10-18	65.7	32.0
19	65.7	32.0
20	65.7	32.0
21	63.7	32.0
22	59.7	32.0
23	55.9	32.0
24	52.7	32.0
25	49.7	32.0
26	46.7	31.6
27	44.2	29.8
28	42.3	28.0
29	40.2	26.8
30	38.3	25.2
31	36.5	24.0
32	35.0	22.8
33	33.5	21.6
34	32.1	20.8
35	30.7	20.0
36	29.5	19.2
37	28.4	18.2
38	27.2	17.5
39	26.3	16.8
40	25.4	16.0

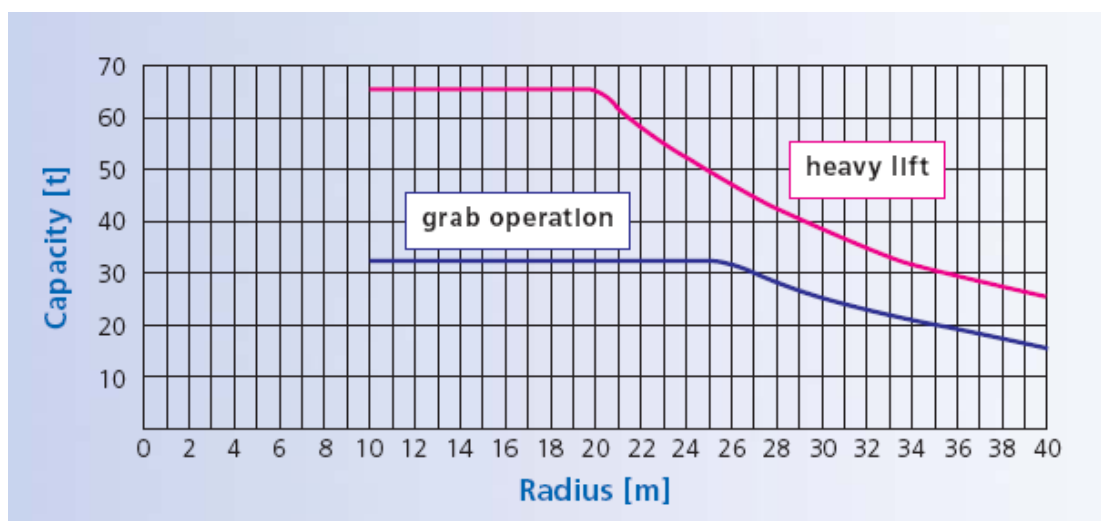


Figura n°8: Características de algunas grúas móviles.

2.4.3 Grúas de pórtico.

Este tipo de grúa es usado principalmente para carga y descarga de ferrocarriles, y equipos de carga situados en tierra.



Figura n°9: Grúa tipo pórtico.

2.5 Tipos de cucharas.

El mecanismo principalmente usado para levantar graneles, corresponde a las cucharas o almejas. Este dispositivo es especial para la carga y almacenaje de materias a granel sensibles a las “remociones”, como lo son el carbón, minerales, alimentos a granel (maíz, arroz, etc).

A grandes rasgos el mecanismo de trabajo de una cuchara es el siguiente:
La cuchara se llena de los depósitos de carga, en este caso como el puerto solamente descargará buques, de los depósitos propios del buque. El vaciado se realiza por medio de los cables o accionamiento motorizado de los costados móviles de la cuchara.

Dentro del mercado, y de las faenas portuarias existen una gran variedad de grúas para graneles, como ya se explico en párrafos anteriores, en la que la diferencia principalmente viene dada por el tipo de cuchara que estas posean. EL MODELO DE CUCHARA A ELEGIR DEPENDERÁ DEL MATERIAL A MANIPULAR, ADEMÁS, DEL TIPO Y CAPACIDAD DE LA GRÚA.

Se puede clasificar en cuatro grupos principales a las cucharas o almejas ocupadas en faenas portuarias, estas son:

- **Cucharas electro-hidráulicas:** Cuchara accionada por un grupo electro hidráulico, compuesto de: motor eléctrico, bomba y valvulería hidráulica, que proporcionan aceite a presión a las valvas de trabajo. Todo ello incorporado en el mismo cuerpo de la cuchara electro-hidráulica. Colgada del gancho de cualquier medio de elevación, tan solo es necesario conectarle la corriente eléctrica mediante una manguera flexible proveniente de un enrollado. Sus capacidades varían desde 1 a 15 m³.



Figura n°10: Cuchara electro-hidráulica.

- **Cucharas mecánicas:** Cucharas accionadas y suspendidas por cables metálicos. Existen tres gamas: monocables, bicables y cuatricables. La capacidad de este tipo de cuchara va desde los 2 a los 30 m³.



Figura n°11: Cuchara mecánica.

- **Cucharas anfibia:** Cuchara electro-hidráulica preparada para ser sumergida completamente. La capacidad de esta cuchara varia entre los 0.1 a 2 m³.



Figura n°12: Cuchara anfibia.

- **Cucharas hidráulicas:** Cucharas no autónomas. Accionadas hidráulicamente por un grupo ajeno a las cucharas. El aceite a presión debe llegar desde el exterior. Poseen capacidades cercanas a 1 m³.



Figura n°13: Cuchara con mecanismo hidráulico.

2.5.1 Capacidad de algunas cucharas.

La siguiente tabla muestra las capacidades, en m³ de algunas cucharas mecánicas.

Tabla n°6: Capacidades volumétricas de algunas cucharas mecánicas.

Modelo	Capa- cidad	Motor	Intensidad nominal 400V	Presión de trabajo	Tiempo de cierre	Tiempo de apertura	Grúa SWL	Dimensiones MM.					Peso kg
	m³							A	B	C	D	E	
CV2-3500-2,8	3,5	30	55,5	165	18	12	16	3170	3260	2500	2745	2150	5450
CV2-4000-2,8	4	37	67	190	18	12	20	3230	3275	2800	2860	2150	5630
CV2-5000-2,8	5	45	81	175	19	14	25	3400	3470	2900	2985	2490	7550
CV2-6300-2,8	6,30	55	98,5	170	20	15	32	3730	3855	3100	3110	2850	10750
CV2-8000-2,8	8	75	134	215	23	17	40	3910	3895	3500	3460	2850	11300

2.5.2 Disposición y medidas principales de una cuchara, según cargas.

Según el texto “manual del ingeniero” de HUTTE, se tiene la siguiente tabla con las medidas principales de una cuchara granelera, con respecto a las cargas y capacidades que operan en la cuchara.

Tabla n°7: Dimensiones de las cucharas.

Capacidad m3	Peso de la cuchara Kg	Fuerza de la grúa Kg	Dimensiones principales de la grúa [mm]				
			A	B	C	D	E
0,5	1000	1500	1530	940	1585	1805	1995
0,7	1100	1750	1640	1040	1680	1900	2120
1	1200	2000	1860	1040	2035	2370	2475
1,25	1500	2500	1860	1050	2055	2250	2500
1,5	1750	3000	2070	1200	2180	2600	2680
2 - 2,25	2250	4000	2370	1400	2650	2850	3000
2,5 - 2,75	2650	5000	2500	1600	2480	3000	3110
3 - 3,75	3200	6000	2700	1600	3000	3300	3700
4 - 5	3650	7500	3000	1800	3000	3400	3840
5 - 6	4100	8500	2980	2000	3400	4000	4000

Donde las dimensiones especificadas en la tabla, se pueden ver con mejor claridad en la siguiente figura:

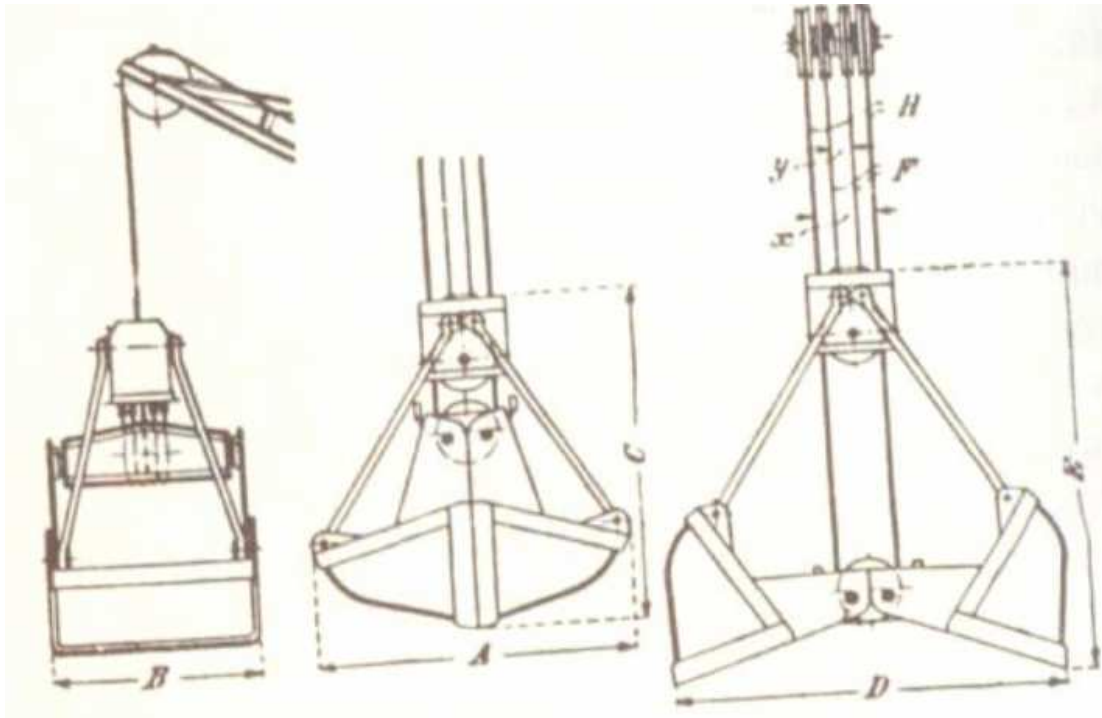


Figura n°14: Dimensiones principales de una cuchara respecto de la tabla n°4.

3 Parámetros de diseño.

Como parámetros de diseño para el diseño de la grúa, se han fijado los siguientes:

- Tipo de carga: la carga a transportar será graneles del tipo sólido (cereales, abonos, clínker, etc). Con un máximo de 1,1 tn/m³ de densidad.
- Amplia movilidad a lo amplio del muelle: la grúa debe operar de manera óptima en toda situación, por lo que debe poseer amplia movilidad y poder descargar un barco en distintas posiciones, a lo largo de todo su recorrido.
- Tipo de buques a descargar: Hasta buques del tipo Panamax y Supramax, que poseen un ancho de 36 metros como máximo.
- Tiempo de un ciclo de descarga: el tiempo que demora en que la cuchara se abra, cargue el producto, cierre la cuchara, transporte y descargue finalmente el producto será de un máximo de 1 minuto.
 - Velocidad de levante de carga: 0.5 m/s
 - RPM de giro de la grúa: 2
 - Tiempo de cierre y apertura de la cuchara: 26 segundos en total (13 de apertura + 13 de cierre).
- Rendimiento de carga: alcanzar un rendimiento máximo de 800 toneladas por hora de producto descargado.
- Disponibilidad de grúa: Para mayor disponibilidad de la grúa, el puerto dispondrá de **DOS** grúas gemelas que trabajen en paralelo, o cuando requiera una mantención, la otra opere sin dificultades.
- Ángulo de giro del brazo de la grúa: ángulo máximo de operación de 60°, con respecto al horizonte.
- Arco de giro: con un máximo de 180°.
- Radio de giro máximo: 35 metros.

4 Criterios de selección de la grúa.

4.1 Selección de la cuchara.

En primer lugar, se debe notar que las opciones a elegir son de tres tipos de cuchara, dada las solicitudes del puerto; se puede elegir entre cucharas electro-hidráulicas, cucharas hidráulicas o por último cucharas del tipo mecánica. La opción de cuchara tipo anfibio no es útil para este puerto, dado que no se dispondrá de material granel sumergido para ser transportado, además de que este último tipo de cuchara, por el hecho de poder sumergirse, se caracteriza por poca capacidad volumétrica.

Una cuchara mecánica, por tema de diseño, se caracteriza por un peso propio mucho menor al de una cuchara hidráulica, y aun más al de una cuchara motorizada. Por lo tanto, la cuchara mecánica ya del hecho de ser más liviana, va a caracterizarse por tener una mayor carga volumétrica, lo que al final en toneladas de carga será mucho más efectivo. Aun más es sabido que las cucharas mecánicas diseñadas, poseen tiempos de cierre más cortos, en comparación de las cucharas motorizadas o de dos cables. Por lo que tomando en cuenta además el parámetro de diseño del rendimiento de carga, se elige una cuchara del tipo mecánica.

El mecanismo de acción de una cuchara mecánica es principalmente como sigue:

La cuchara es cargada en los depósitos del buque, accionada por dos de los 4 cables, la cuchara puede abrir o cerrar sus costados móviles. El vaciado se realiza por medio de estos cables de apertura o cierre, los cuales son controlados en un tambor giratorio, siendo posible por medio de estos cables la descarga a cualquier altura, pero por disposiciones del puerto y por medidas preventivas, estas alturas estarán determinadas para que solamente la cuchara se pueda vaciar en alturas predeterminadas.

Los otros dos cables, son los que comandan la elevación de la cuchara, y trabajan de la misma manera que los anteriores, accionados por un tambor giratorio que enrolla y desenrolla las piolas o cables.

Los factores decisivos que han de determinar la decisión a favor de una grúa de 2 cables o con cuchara de 4 cables son:

- El rendimiento de trasbordo requerido en toneladas por hora o año,
- La proporción del trasbordo de material granel en relación con el volumen total de trasbordo.
- Las exigencias especiales del tipo de graneles.

Dada las solicitudes del puerto presentadas en los parámetros de diseño, se elige una cuchara mecánica o de 4 cables.

“El peso propio mucho más reducido de una cuchara de 4 cables y los tiempos de cierre más cortos en comparación con las cucharas motorizadas, hacen aumentar considerablemente la carga útil que la grúa

Gottwald con cuchara de 4 cables puede elevar en cada maniobra. Además del aumento de las velocidades de trabajo, se consiguen en total rendimientos de manipulación que superan hasta en un 30% a los alcanzados por las grúas móviles de 2 cables con cuchara motorizada.”

Este párrafo fue extraído del catalogo de grúas para graneles “Bulk_handling_E”, lo que corrobora la decisión de la toma de la cuchara. Este tipo de cucharas, alcanza satisfactoriamente las solicitudes de 800 tn/hr de rendimiento de carga, cuando se trabaja en conjunto dos grúas gemelas.

4.2 Selección del tipo de grúa.

Uno de los parámetros de diseño dice que las prestaciones de las grúas deben ser de amplia movilidad a lo largo del puerto para que no dificulte la descarga de los buques graneleros. Es por esto que el tipo de grúa que se utilizara es GRUA DEL TIPO MOVIL. El modelo para este tipo de grúas es el tipo HSK de GOTTWALD.



Figura nº15: Sistema de traslación de una grúa móvil.

4.3 Selección del sistema de giro de la grúa.

Dentro de los sistemas disponibles, está el del tipo planetario como el que se muestra en la siguiente figura:

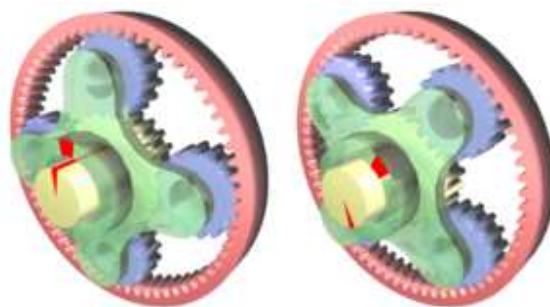


Figura n°16: Sistema de engranes planetarios.

El engranaje planetario se usa aquí para aumentar la velocidad de salida. El portasatélites (al centro, verde) es impulsado por un par de entrada. El planeta proporciona el par de salida, mientras la corona permanece fija.

Un engranaje planetario o engranaje epicicloidal es un sistema de engranajes (o *tren de engranajes*) consistente en uno o más engranajes externos o *satélites* que rotan sobre un engranaje central o *planeta*. Típicamente, los satélites se montan sobre un brazo móvil o *portasatélites* que a su vez puede rotar en relación al planeta. Los sistemas de engranajes planetarios pueden incorporar también el uso de un engranaje anular externo o *corona*, que engrana con los satélites.



Figura n°17: Base de giro de la grúa.

El sistema de giro estará montado en la parte entre la cabina de contrapeso y los soportes de la grúa.

Para el caso de esta grúa, la disposición es un poco distinta a la mostrada en los engranajes planetarios generales.

El accionamiento de las grúas giratorias de barco es generalmente mediante CA (motores tipo jaula de ardilla), pero también existen casos de motores de accionamiento CC. Se suelen emplear además el accionamiento hidráulico. El sistema a utilizar será mediante motores de CA, por tenerse una mayor disposición en el mercado hoy en la actualidad, y debido a que es usual dentro de este tipo de maquinaria, usar este tipo de motores.

4.4 Selección del sistema de traslación de la grúa.

Tenemos dos disposiciones de las ruedas de traslación para la grúa; de neumáticos o tipo llanta de ferrocarril. Por factores de desgaste y seguridad, dado que un neumático es menos resistente al desgaste, y puede sufrir “pinchazos”, con respecto a llantas de acero tipo ferrocarril, se elige la segunda configuración, es decir, llantas de ferrocarril, donde el carro de traslación de la grúa estará montado en 4 soportes, cada uno con ruedas sobre rieles.

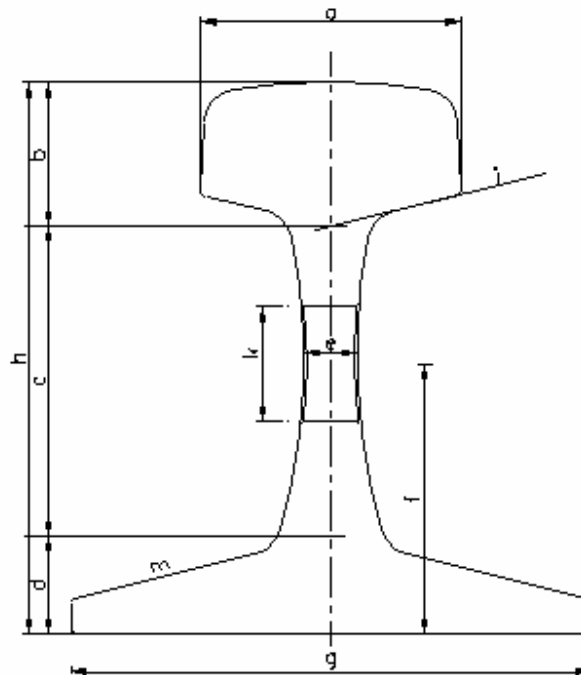


Figura n°18: Perfil de llanta tipo ferrocarril.



Figura nº19: Grúa soportada en 4 partes, cada una con ruedas sobre rieles.

5 Layout de la grúa.

Para tener una idea de cómo será la grúa definitiva, se procede a crear un layout de la misma; principalmente la grúa constará de:

- Una base de giro, la cual dará el movimiento de rotación a la grúa, por medio del sistema de rodamientos y engranes dispuestos de manera tal que la grúa gire en 150°. En esta base, para darle mayor estabilidad a la grúa se encuentra el **contrapeso**, que corresponde a una de las principales partes de la grúa.
- El pescante o brazo de la grúa, es el que permitirá movilizarse para que la cuchara o almeja alcance el material a descargar de los busques.
- 4 tipos de cables: 2 cables de apertura y cierre de la cuchara y 2 cables de levante de la misma.
- El cilindro de levante, el cual es de características hidráulicas. Será el encargado de ayudar a levantar el pescante y servir de soporte para la estructura pescante y cuchara. Principalmente se utilizará cuando la cuchara este con carga.
- La cuchara misma, la cual podrá ser desmontada de la grúa cuando se le necesite; es la que extrae el material a granel de los barcos.
- El carro de traslación de la grúa, el cual le permitirá a la grúa moverse a lo largo del muelle, dentro de un cierto rango determinado por los rieles.
- La cabina del operador, la cual estará montada a una altura adecuada para que la persona que maneje la grúa, tenga completa visibilidad de las operaciones que estará realizando con la maquina.
- La columna central, que es la que soporta la cabina del operador.

Se presenta en la figura siguiente el layout de las partes principales de la grúa a diseñar:

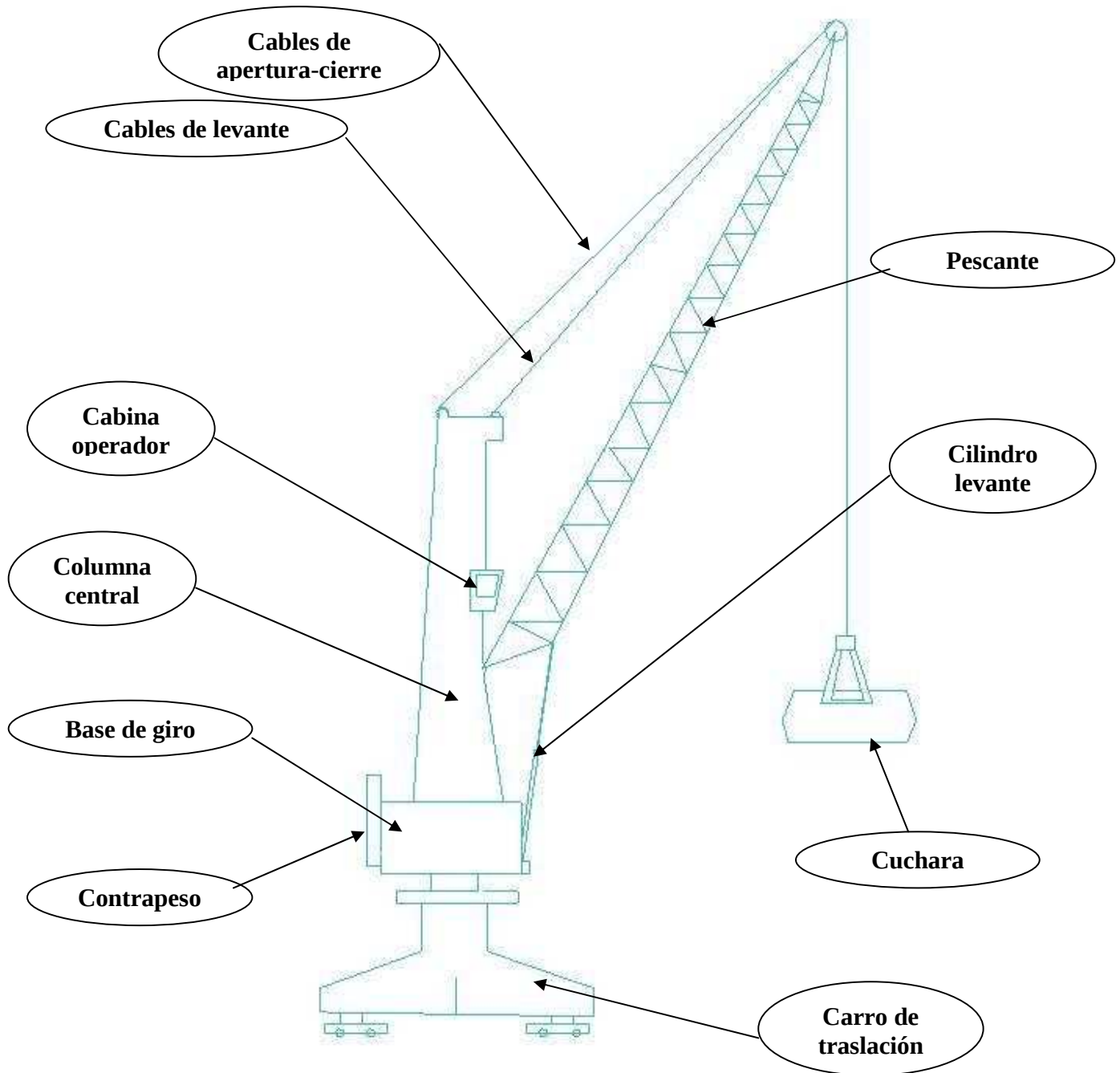


Figura n°20: Layout generalizado de la grúa.

6 Memoria de Cálculos.

6.1 Cálculo de las Potencias de motores.

6.1.1 Potencia del motor de levante.

El motor de levante será el que soportara el peso de la cuchara mas la carga que esta transporte.

Del rendimiento de carga, y del tiempo de 1 ciclo de carga de la grúa, además de la restricción del tipo de carga (densidad máxima), resulta que cada una de las dos grúas poseerá una capacidad máxima de 6,66 ton/ciclo, o de 6,06m3. Este resultado sumado al peso muerto de la cuchara nos da un total de 12 toneladas aproximadamente que debe soportar el motor de levante.

La potencia calculada sigue la siguiente fórmula:

$$N = (P * v) / (75 * \eta)$$

Donde v, corresponde a la velocidad de levante de la carga (0.5 m/s), y P corresponde al peso de la cuchara cargada totalmente, que equivale a la resistencia a la que se somete el motor (en kilogramos). Suponiendo rendimientos de levante del 80%, la potencia del motor de levante resulta igual a:

$$N = 78.53KW$$

6.1.2 Potencia del motor de giro.

Para calcular la potencia de diseño requerida para mover la grúa, primero consideramos la inercia de cada uno de los cuerpos que componen la grúa, para lo cual se estimó los momentos de inercia tanto de la carga, pluma, torre, base y contrapeso. Para el cálculo se supuso una distribución de masas uniforme, y una geometría asumida conocida, para aplicar el teorema de Steiner.

$$I = I_c + Md^2$$

En que M es la masa del cuerpo analizado, d es la distancia del centro de masas del cuerpo, al eje de giro, e Ic el momento de inercia en el centro de gravedad de cada cuerpo.

La tabla siguiente resume los resultados obtenidos:

Tabla n°8: Resultados de momento de inercia de los componentes de la grúa..

	Masa(ton)	d (m)	lados estructura (m)	lados estructura (m)	Ic (ton*m^2)	I (ton*m^2)
Carga	12	35			14700	14700
Pluma	1.5	17.5			153.125	153.125
Torre	35	0.5	2.32	2.295	0.67302083	9.42302083
Base	50	1	6.5	4	242.708333	292.708333
Contrapeso	15	2	2	3	60	76.25

De este modo, el torque necesario para girar la estructura está dado por:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

La aceleración angular es un parámetro definido de tal forma que se pueda cumplir el tiempo de ciclo de finido anteriormente, que es de 1 min. Para ello se considera el tiempo entre cargar la cuchara, realizar el viaje, abrir la cuchara, descargar, y volver de nuevo al punto de partida, así restando el tiempo de abrir y cerrar la cuchara, unos 26 s, según la cuchara seleccionada, se tiene que para cubrir un arco de al menos 180°, y recorrer un arco de 109 m, dentro del tiempo requerido, con una velocidad angular media de 2 rpm, se tiene que se cumple lo anterior, y el tiempo necesario para alcanzar esa velocidad se considera de 6 s.

Con lo anterior se tiene que $\omega=2$ [rpm]=0.209[rad/s], y $\alpha=0.034$ [rad/s²]. Luego se calculan el torque y potencia necesaria para girar la grúa.

$$\tau = I \cdot \alpha = 15231.5064[\text{ton} \cdot \text{m}^2] \cdot 0.034[1/\text{s}^2] = 517.8[\text{KNm}]$$

$$P = \tau \cdot \omega = 517.8[\text{KNm}] \cdot 0.209[1/\text{s}] = 108.23[\text{KW}]$$

6.2 Cálculo de la cuchara.

Como ya se menciona en párrafos anteriores, la cuchara soportará cargas de un máximo de 6 toneladas; basándonos en la siguiente tabla que proporciona el manual HUTTE, tenemos lo siguiente:

Tabla n°9: Dimensiones y prestaciones de una cuchara.

Capacidad m3	Peso de la cuchara Kg	Fuerza de la grúa Kg	Dimensiones principales de la grúa [mm]				
			A	B	C	D	E
0,5	1000	1500	1530	940	1585	1805	1995
0,7	1100	1750	1640	1040	1680	1900	2120
1	1200	2000	1860	1040	2035	2370	2475
1,25	1500	2500	1860	1050	2055	2250	2500
1,5	1750	3000	2070	1200	2180	2600	2680
2 - 2,25	2250	4000	2370	1400	2650	2850	3000
2,5 - 2,75	2650	5000	2500	1600	2480	3000	3110
3 - 3,75	3200	6000	2700	1600	3000	3300	3700
4 - 5	3650	7500	3000	1800	3000	3400	3840
5 - 6	4100	8500	2980	2000	3400	4000	4000

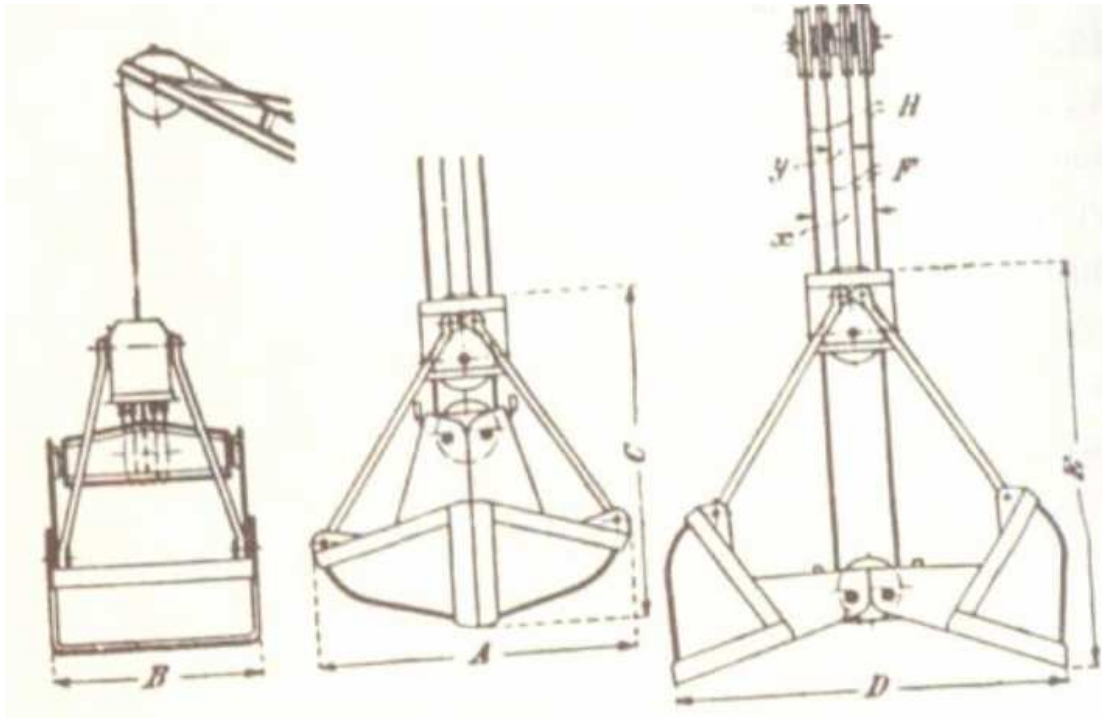


Figura n°21: Dimensiones principales de la cuchara.

De acuerdo a las prestaciones y solicitaciones que necesita la grúa, dado los parámetros de diseño; rendimiento de carga y tiempo de ciclo de descarga, y considerando que son dos grúas que trabajan en paralelo, la capacidad de cada cuchara aproximadamente resulta de 6,5 toneladas. Viendo la tabla n°5 las dimensiones principales de la grúa son las siguientes:

A=2980 [mm]

B= 2000 [mm]

C=3400 [mm]

D= 4000 [mm]

E= 4000 [mm]

De acuerdo a las estimaciones realizadas en la tabla, la cuchara tendrá un peso propio aproximado de 6 toneladas.

6.3 Cálculo del mecanismo de traslación de la grúa.

En primer lugar se debe ver que disposición tendrán el o los motores que impulsaran el movimiento de traslación de la grúa. Para que la torsión del árbol de transmisión sea aproximadamente la misma en los 4 soportes de la grúa, se dispone a colocar 2 motores de impulsión, uno en la parte delantera del carro de traslación y otro en la parte trasera, como lo indica la siguiente figura:



Figura n°22: Disposición de los motores en los apoyos del carro de traslación.

La adopción de esta configuración de los motores independientes, exige un sincronismo que puede conseguirse por conexiones apropiadas. Al pararse uno de los motores de marcha, es necesario que el otro quede desconectado automáticamente.

Ahora el tipo de rueda elegido era el de tipo llanta de ferrocarril. Se tiene el siguiente perfil:

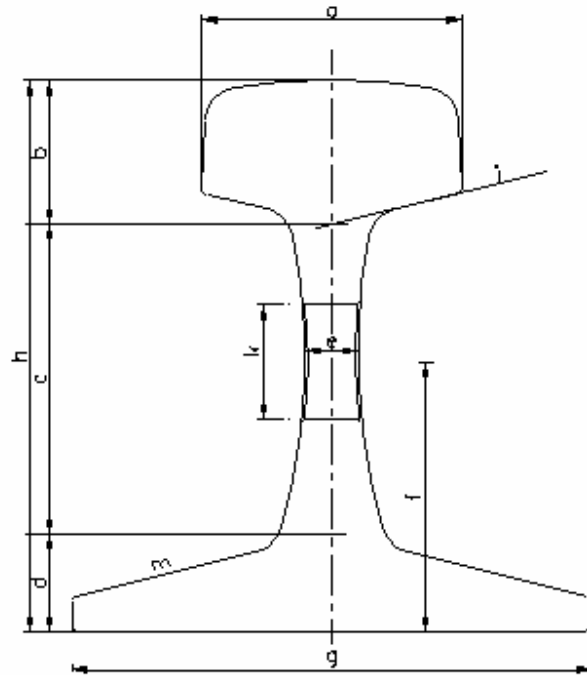


Figura n°23: Perfil de la rueda utilizada para la traslación de la grúa.

Cuando la presión máxima sobre una sola rueda sobrepasa las 20 toneladas, se emplean en lugar de 4, 8 ruedas montadas de dos en dos, en cada uno de los 4 soportes del carro de traslación. Debido a que la velocidad de traslación también será moderada, se usaran apoyos o ejes rígidos entre el par rueda.

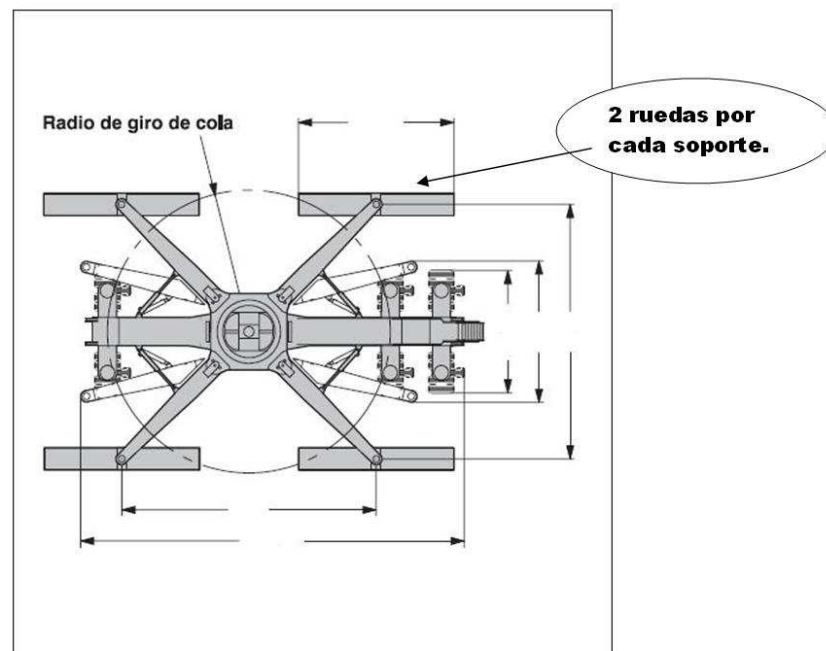


Figura n° 24: Disposición de las ruedas en el carro de traslación.

Perfil núm.	Dimensiones											Peso Kg/m
	a mm	h mm	c mm	d mm	g mm	l mm	s mm	t mm	u mm	v mm	r mm	
1	45	55	125	54	20	23,5	8	11	14,5	24	3	22,5
2	55	65	150	66	25	28,5	9	12,5	17,5	31	4	32,2
3	65	75	175	78	30	34,0	10	14	20	38	5	43,8
4	75	85	200	90	35	39,5	11	14,5	22	45	6	57,0

Figura n°25: Tabla de las dimensiones de las ruedas o carriles para el sistema de traslación de la grúa (Sacada del manual HUTTE).

Ayudándose del manual HUTTE, se elige la configuración o perfil numero 2 (vea en la figura anterior) las siguientes dimensiones principales para la rueda:

h= 65mm

a= 55 cm

g= 150mm

c= 31 mm (donde c corresponde a la cota sacada del perfil de la rueda, figura n°23).

Ahora para calcular el diámetro de la rueda total se utiliza la siguiente relación:

$$P = KbD$$

Donde P(kg) es la presión o carga máxima que soporta cada rueda (en las condiciones mas desfavorables de carga), K (Kg/cm²) es la presión máxima admisible, y D(cm) es el diámetro de la rueda.

Sabemos que en el caso mas desfavorable la grúa con su carga máxima además de su peso propio, posee una carga de 156 toneladas sobre las 8 ruedas (116 toneladas aproximadas del peso total de la grúa, mas, 40 toneladas de carga en el radio de alcance mínimo de operación). Luego dividiendo esto por el total de 8 ruedas, entrega que cada rueda soportara un P_{max} de 19.5 toneladas.

Admitiendo un K= 70 Kg/cm², resulta un diámetro de rueda igual a 89, 6 cm aproximadamente.

Por otro lado se tiene la resistencia a la traslación (en kilogramos) en marcha normal de la grúa, vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$W_r = \frac{(V + G_w)}{R} * (f + \mu * \frac{d}{2})$$

Donde:

V es la carga resultante de la parte giratoria de la grúa (Kg), G_w al peso del carro de traslación, R al radio de los rodillos de traslación (cm), f al brazo de palanca del rozamiento de rodadura (que es =0.05cm), μ corresponde al coeficiente de rozamiento de resbalamiento

=0.1, y d que corresponde al espesor de la rueda, que en este caso es igual al valor c de las dimensiones generales entregadas para la rueda tipo ferrocarril, anteriormente.

Luego reemplazando los siguientes valores:

V=116 toneladas (peso aproximado de la grúa)

Gw=40 toneladas (condición mas desfavorable de la carga máxima de levante de la grúa).

R=45 cm aproximadamente, resulta:

$$W_r = 11613.33 [Kg]$$

Para calcular la potencia N de los motores de impulso para la traslación se tiene la siguiente ecuación:

$$N = \frac{(W_r * v)}{75 * \eta}$$

Suponiendo un rendimiento η del 80% del mecanismo (sacado del rendimiento de otras grúas), y asumiendo del parámetro de diseño que la velocidad máxima de traslación será de 0.5 m/s, resulta que la potencia necesaria para la traslación de la grúa es de:

$$N = 193.55 Hp = 144.19 Kw$$

Luego como son dos motores de impulsión, se necesitaran dos motores eléctricos de aproximadamente 72 Kw de potencia, cada uno.

6.4 Estructura de la grúa.

La grúa está formada por una base, que permite dar estabilidad al conjunto, en la que está incluido el contrapeso, a la vez que le permite desplazarse, para lo cual va montada sobre un carro, y soporta el conjunto motriz de elevación del pescante, y de la carga. La torre está dimensionada principalmente para salvar la altura de diseño, y de soportar la pluma, poleas y otros equipos como la caseta del operario, cilindro hidráulico, entre otros. El pescante esta dimensionado según los requerimientos del alcance y carga a transportar.

El pescante o pluma tiene una estructura tipo celosía triangular que otorga un bajo peso al conjunto, y permite resistir los esfuerzos de flexión, Los tubos principales de la pluma son 3 tubos de acero de Ø 75x5 mm, a los cuales van soldados los refuerzos de patrón triangulares sobre la estructura principal del pescante, asimismo posee una escalera de servicio, para realizar mantenimiento en el extremo, el cual posee una serie de elementos como poleas, pasadores, etc. El peso estimado del pescante es de 45 Kg/m². Y teniendo un largo de 34 m, el peso estimado del pescante es de 1.53 ton.

² Estimado de: Memoria de Diseño de una grúa automontable, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Joaquín Costa Centena, Febrero 2004.

La base de la grúa, la cual soporta la torre y el conjunto motriz, tiene un peso estimado de 100 ton³, las cuales la mayor parte está concentrada en la base, con el conjunto de los motores de suspensión de la carga, levante del pescante y de giro de la grúa.

6.5 Estabilidad y contrapeso.

Para que la grúa portal sea estable, la resultante de todas las fuerzas verticales deben caer dentro de la base de sustentación, tanto si la grúa está cargada o descargada. Para obtener esta estabilidad se usa un contrapeso fijo (también puede ser móvil, aunque este diseño, para facilitar su construcción emplea un contrapeso fijo).

Así para la estabilidad de la grúa cargada, debe verificarse que:

$$x = \frac{QA + G_1e_1 + G_2e_2 + \dots + G_g e_g}{Q + G_1e + G_2 + \dots + G_g + G_w} \leq \frac{s}{2}$$

Con Q la carga a una distancia A, G_i los pesos de la estructura de la grúa, e_i sus respectivas distancias del centro de giro, G_g la masa del contrapeso, y s la distancia entre las ruedas del mismo eje, del carro.

Tomando en cuenta la carga de servicio máxima $Q = 6$ ton, a una distancia de 35 m, y el peso del pescante, 1.25 ton aplicada en el centro de gravedad de 18 m, y si se considera el peso de la estructura de la base (G_1) estimada en 50 ton aplicada a -1 m (c/r a l eje de giro), y el peso de la torre de 35 ton con un centro aplicado a 0.5 m del centro de giro, y el peso del carro estimado en 15 ton, cuya resultante se aplica sobre el mismo eje.

Así se tiene como resultado que con la carga Q, se tiene que $x = 1.39$ m. y sin carga $x = 1.39$ m, lo cual indica que la fuerza resultante se aplica en la región de la plataforma, lo que asegura una estabilidad.

6.6 Rango de operación de la grúa.

La siguiente tabla muestra las capacidades máximas de la grúa con respecto al radio de giro del pescante, que también es el radio de giro de la cuchara mas la carga. Cabe notar que a menor radio, la grúa soportara mas carga, y más aun, si la grúa opera sin la cuchara (es decir operar con gancho), podrá soportar mayores cargas aun, dependiendo del peso de la cuchara, que de la sección de cálculo de la cuchara, resulta que esta pesa aproximadamente 6 toneladas.

³ Tomado como referencia de la grua LHM 100, basado en un modelo similar.

Tabla n°10: Rango de operación de la grúa.

Radio [m]	Carga con cuchara	Carga sin cuchara
6,5	20	26
8	20	26
10	20	26
12	20	26
15	20	26
16	19,5	25,5
17	17,8	23,8
18	16,2	22,2
19	14,8	20,8
20	13,6	19,6
21	12,6	18,6
22	11,6	17,6
23	10,7	16,7
24	10	16
25	9,3	15,3
26	8,6	14,6
27	8,1	14,1
28	7,5	13,5
29	7	13
30	6,6	12,6
35	6	12

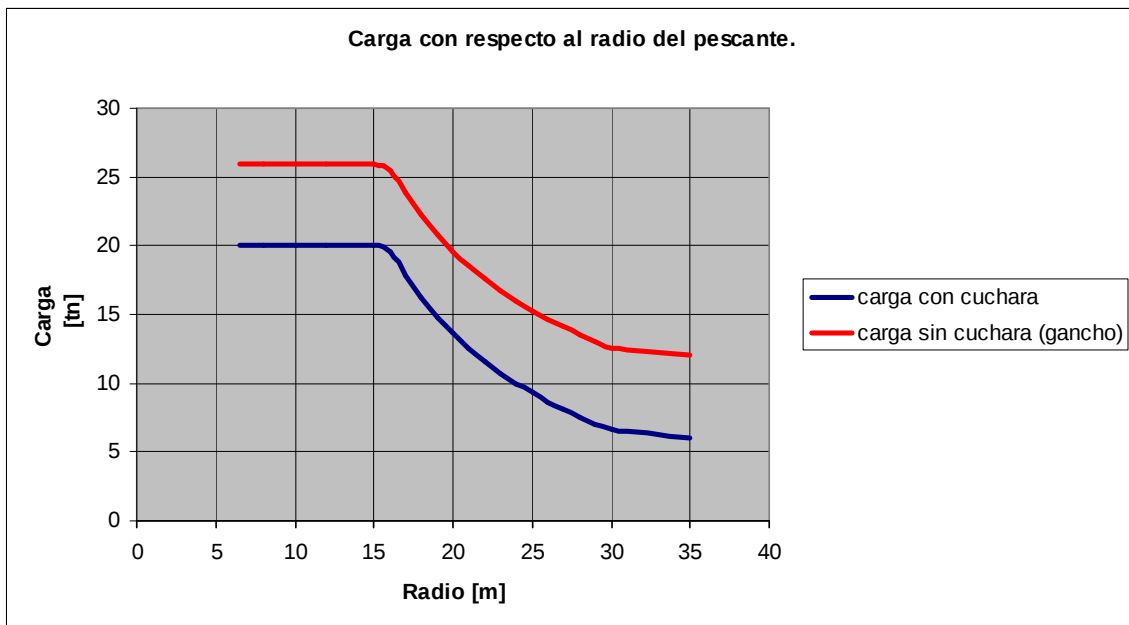


Gráfico n°3: Cargas operativas, con respecto al radio de giro de la cuchara.

6.7 Selección de motores.

Una vez calculado las potencias de los respectivos movimientos que necesitaran de ayuda motorizada para la grúa, se podrá seleccionar a partir de un catálogo determinado, el tipo de motor a utilizar en cada caso.

La siguiente tabla resume las potencias solicitadas:

Tabla n°11: Resumen de las potencias solicitadas.

movimiento	potencia[Kw]
levante	78,53
giro	108,23
traslación	144,19

Hay que notar que en el sistema de traslación se ocuparán dos motores, al igual que en el sistema de giro por lo que las potencias solicitadas para estos dos últimos casos, serán la mitad de lo que refleja la tabla anterior, dividido por la eficiencia mecánica de transmisión ($\eta=0.92$) por lo que se seleccionarán motores de 59 [kw] para el giro y 78 [Kw] para la traslación.

Luego seleccionando de catálogo para el sistema de levante se elige el siguiente motor eléctrico:

- **MOTOR DE LEVANTE:** Motor de acero, trifásico, tipo jaula de ardilla para aplicaciones industriales.
Motor ABB
Modelo: M2CA 315 MB 3GCA 314 320-A
Potencia: 90 KW.
RPM: 750
8 polos, 400V 50Hz



Figura n°26: Motor eléctrico tipo ABB de 70 KW hacia arriba.

Para el motor de giro se mencionó anteriormente que se usarán dos motores de 59 [KW] de potencia, luego el seleccionado para este caso es:

- **MOTOR DE GIRO:** Motor de acero, trifásico, tipo jaula de ardilla para aplicaciones industriales del tipo:
Motor ABB
Modelo: M2CA 315 SA 3GCA 314 110-A
Potencia: 60 KW.
RPM: 600
8 polos 400V 50Hz

Por último para el motor de traslación, al igual que el caso anterior se utilizaran 2 motores, los cuales cada uno necesitaran potencias del orden de 78 KW, luego el seleccionado es el siguiente:

- **MOTOR DE TRASLACIÓN:** Motor de acero, trifásico, tipo jaula de ardilla para aplicaciones industriales del tipo:
Motor ABB
Modelo: M2CA 315 SMA 3GCA 313 210-A
Potencia: 90 KW.
RPM: 1000
6 polos 400V 50Hz

7 Conclusiones y Comentarios.

El diseño de una grúa de estas características trae consigo una serie de complejos cálculos, sin embargo existen normativas asociadas al diseño y fabricación de este tipo de maquinarias, aunque es necesario adquirir esas normas para obtener un diseño más acabado.

Si bien el proyecto presentado no estuvo exento de dificultades, al momento de abordar los distintos problemas que se presentaron, se pudo avanzar lo suficiente para diseñar los elementos principales de la grúa, esto es diseñar las potencias mínimas para realizar los movimientos de traslación, rotación y suspensión de la carga, contrapesos, los que son la base para entrar en la ingeniería de detalle que procede a un proyecto de este tipo.

Durante el período de investigación y recopilación de antecedentes, la búsqueda de información apropiada fue algo difícil, sólo en libros de diseño y manuales de ingeniería algo antiguos fue posible encontrar algo al respecto, y había poca información actual con la cual comparar, y tener referencias.

Con respecto a la visita in situ, al Puerto Ventanas, fue de gran utilidad ver los mecanismos en presencia, y aunque no estaba operando, se pudo obtener una perspectiva de su funcionamiento y ordenes de magnitud, de su sistemas motrices y de accionamiento de las distintas partes que componen la grúa, aunque si bien el tipo de grúa es algo diferente al modelo seleccionado, comparten muchos equipos similares, en los cuales se basan muchas grúas.

También es de relevancia el resto de las instalaciones, en especial el sistema de transporte del concentrado de cobre y de carbón, así como el equipo de transporte de combustibles, y su distribución tanto a los barcos tanqueros (Pacsa) y al resto de los barcos mercantes.

8 Bibliografía.

- Manual del ingeniero tomo IV, HUTTE: Editorial Gustavo Pili.
- Manual del constructor de máquinas, Profesor H. Dubbel: Editorial Labor S.A.
- “Proyecto de una grúa portal”: Memoria de Raúl Tabeada L, año 1960.
- <http://www.liebherr.com>
- www.gottwald.com