

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

ESCUELA DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**REPOTENCIACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE LA GRÚA
“SMITH RICE” DEL TERMINAL MARÍTIMO DEL PUERTO DE
BALAO**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**HERNÁN JAVIER PAREDES TOBAR
JORGE JAVIER RECALDE BENÍTEZ**

DIRECTOR: ING. CARLOS BALDEÓN

QUITO, AGOSTO DEL 2007

DECLARACIÓN

Nosotros, Hernán Javier Paredes Tobar y Jorge Javier Recalde Benítez, declaramos bajo juramento que el trabajo es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normativa institucional vigente.

Hernán Javier Paredes Tobar

Jorge Javier Recalde Benítez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Hernán Javier Paredes Tobar y Jorge Javier Recalde Benítez, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Baldeón.
DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Carlos Baldeón por su acertada guía y apoyo en la realización de este proyecto.

A los Ingenieros Juan Antonio Serrano, Patricio Estupiñan, Ricardo Soto, por su paciencia y colaboración.

A nuestros amigos y compañeros los cuales han formado parte importante de nuestra vida universitaria y a los que nunca olvidaremos.

Javier Paredes Tobar
Jorge Recalde Benítez

DEDICATORIA

A mis padres por todos los ejemplos que me han dado, y enseñarme el valor de la vida y responsabilidad.

A mis hermanos para que este logro sirva de inspiración y ejemplo para sus vidas.

A todos los integrantes de mi familia que han sido hermanos, padres, amigos, a todos ustedes va dedicado el presente proyecto, gracias por estar siempre conmigo y nunca haber perdido la confianza en mí.

A mis tíos Carlos y Ruth por todos los momentos compartidos, gracias por todos los consejos y el apoyo.

A mi abuelita Julia, que me dio todo el amor y las ganas de seguir adelante cada día, siempre estará en mi corazón.

A ti Elena, por ser mi compañía y apoyo durante todo este tiempo, Te Amo.

Javier Paredes Tobar

A mis padres.

Jorge Recalde Benítez

CONTENIDO

RESUMEN	i
PRESENTACION	ii

CAPÍTULO 1

TEORÍA DE GRÚAS Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 DEFINICIONES.....	1
1.2.1 GRÚA	1
1.3 SUS ORIGENES.....	2
1.3.1 LAS GRÚAS GRIEGAS.....	2
1.3.2 LAS GRÚAS ROMANAS.....	2
1.4 TIPOS DE GRÚAS.....	3
1.4.1 SEGÚN SU UTILIDAD.....	3
1.4.2 SEGÚN SU FORMA	4
1.4.3 SEGÚN SU MOVILIDAD	4
1.4.4 GRÚA TORRE.....	4
1.4.5 GRÚA TELESCÓPICA	5
1.4.6 GRÚA DE CARGA.....	5
1.4.7 GRÚA DE PÓRTICO	6
1.4.8 GRÚAS PUENTE	7
1.4.9 GRÚA FLOTANTE.....	8
1.4.10 GRÚAS EN CUBIERTA.....	8
1.4.11 GRÚAS SOBRE CAMIONES.....	9
1.5 LOS PRINCIPIOS MECÁNICOS.....	9
1.5.1 CAPACIDAD DE ELEVACIÓN	9
1.5.2 ESTABILIDAD DE LA GRÚA.....	11
1.6 ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN UNA GRÚA.....	11
1.6.1 CABLES	11
1.6.2 CERCHAS	11
1.6.3 VIGAS.....	12
1.6.4 PLACAS	12

1.7	MODOS DE FALLA EN COMPONENTES ESTRUCTURALES.....	13
1.7.1	DESCRIPCIÓN DE LOS MODOS DE FALLA.	13
1.7.1.1	Inestabilidad elástica (pandeo local o generalizado)	14
1.7.1.2	Excesiva deformación plástica	14
1.7.1.3	Inestabilidad plástica	14
1.7.1.4	Fatiga	14
1.7.1.5	Fractura rápida	15
1.8	ELEMENTOS MECÁNICOS GENERALES EN UNA GRÚA.....	15
1.8.1	GANCHO	15
1.8.2	POLEA.....	15
1.8.2.1	Polea fija.....	15
1.8.2.2	Polea móvil.....	16
1.8.2.3	Polipasto.....	16
1.9	NORMAS DE REFERENCIA	17
1.9.1	ASME / ANSI	17
1.9.2	ISO	18
1.9.3	API.....	18

CAPITULO 2

GRÚA BARCAZA "SMITH RICE"	19	
2.1	INTRODUCCIÓN	19
2.2	DEFINICIONES.....	20
2.2.1	ÁNGULO DE LA PLUMA	20
2.2.2	CARGA ESTÁTICA	20
2.2.3	CARGA LATERAL	20
2.2.4	CARGA NOMINAL.....	20
2.2.5	COEFICIENTE DINÁMICO.....	20
2.2.6	CABLE DE ACERO	20
2.2.7	COMPONENTE CRÍTICO	20
2.3	CRITERIOS GENERALES APLICADOS A LA GRÚA BARCAZA	
	"SMITH RICE"	21
2.3.1	GRÚA FLOTANTE.....	21
2.3.2	BASES.....	21

2.3.3	CARGA PERMITIDA	22
2.3.4	REGISTRO DE CARGAS	22
2.3.5	DE LO ESTRUCTURAL	23
2.3.6	CRITERIO DE OPERACIÓN	23
	2.3.6.1 Inclinación para operación.....	23
2.3.7	CARGA DE VIENTO	24
2.4	ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA GRÚA BARCAZA	
	"SMITH RICE"	25
2.4.1	APAREJO DE IZAJE	25
2.4.2	ARMADURA DE LA PLUMA.....	25
2.4.3	ARNÉS FLOTANTE (TAMBIÉN CONOCIDO COMO ESTRIBO)	25
2.4.4	BASE (DE MONTAJE).....	25
2.4.5	CABINA	25
2.4.6	CABLE DE IZAJE DE LA PLUMA.....	26
2.4.7	COJINETE DE GIRO	26
2.4.8	CONTRAPESO.....	26
2.4.9	EJE DE ROTACIÓN	26
2.4.10	EMBRAGUE	26
2.4.11	EMPALMES DE LA PLUMA	26
2.4.12	ENSAMBLE DE POLEAS EN LA PUNTA DE LA PLUMA.....	27
2.4.13	ENSAMBLE DE LA UNIÓN GIRATORIA.....	27
2.4.14	ESTRIBO	27
2.4.15	FRENO	27
2.4.16	GANCHO AUXILIAR.....	27
2.4.17	LÍNEA COLGANTE.....	27
2.4.18	LÍNEA DE CARGA.....	27
2.4.19	MECANISMO DE GIRO	27
2.4.20	MECANISMO DE IZAJE DE LA CARGA.....	28
2.4.21	MECANISMO DE IZAJE DE LA PLUMA	28
2.4.22	PEDESTAL.....	29
2.4.23	PIVOTE DE LA PLUMA.....	29
2.4.24	PLUMA	29
2.4.25	PUENTE (TAMBIÉN CONOCIDO COMO MARCO O MÁSTIL) ..	29

2.4.26	POSTE CENTRAL.....	29
2.4.27	PUNTO DE CARGA	29
2.4.28	TOPE DE LA PLUMA	30
2.5	ZONAS DE LA GRÚA BARCAZA SMITH RICE.....	32
2.6	ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	33
2.6.1	ELEMENTOS ESTRUCTURALES "PUENTE"	33
2.6.2	ELEMENTOS ESTRUCTURALES "GOZNE"	33
2.6.3	ELEMENTOS ESTRUCTURALES "PRIMER CUERPO".....	33
2.6.4	ELEMENTOS ESTRUCTURALES "SEGUNDO CUERPO".....	34
2.6.5	ELEMENTOS ESTRUCTURALES "PENOL".....	34
2.7	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GRÚA BARCAZA "SMITH RICE"	34
2.7.1	GENERAL.....	34
2.7.2	PLUMA	35
2.7.3	GANCHO PRINCIPAL	35
2.7.4	GANCHO AUXILIAR.....	35
2.7.5	UNIDAD DE GIRO.....	36
2.7.6	CONTROL E INSTRUMENTACIÓN	36
2.7.7	CONDICIONES CLIMATOLOGICAS.....	36
2.8	ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL	37
2.9	MANTENIMIENTO DE LA GRÚA BARCAZA "SMITH RICE"	43
2.9.1	CORROSIÓN EN LA GRÚA BARCAZA "SMITH RICE"	44
2.9.2	TIEMPO DE HUMEDECIMIENTO.....	46
2.9.3	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.	46
2.9.4	CORROSIÓN BIMETÁLICA (O "GALVÁNICA").	47
2.9.5	CORROSIÓN POR PICADURAS.....	47
2.9.6	CORROSIÓN POR GRIETAS.....	47
2.9.7	TIPOS DE CORROSIÓN EN LA GRÚA BARCAZA "SMITH RICE"	48
2.10	RECUBRIMIENTO	48
2.10.1	MECANISMOS DE ACCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN	49
2.10.1.1	Protección por barrera.....	49
2.10.1.2	Protección anódica.....	49

2.10.1.3 Protección catódica	49
2.10.2 PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES	50

CAPÍTULO 3

SITUACIÓN ACTUAL	52
3.1 INTRODUCCIÓN	52
3.2 GENERALIDADES	52
3.3 INSPECCIONES GENERALES REALIZADAS EN GRÚAS	54
3.3.1 INSPECCIONES INICIALES	54
3.3.2 ZONIFICACIÓN	55
3.3.3 INSPECCIONES REGULARES	56
3.3.4 INSPECCIÓN DE CABLES DE ACERO	56
3.3.4.1 Inspecciones frecuentes	57
3.3.4.2 Inspecciones periódicas	57
3.3.4.3 Aspectos Generales	57
3.3.4.4 Criterios de Inspección de los cables de acero	57
3.3.5 INSPECCIÓN DE CABLES EN LA GRÚA BARCAZA "SMITH RICE"	61
3.3.6 INSPECCIONES ESPECIALES O DIRIGIDAS	62
3.3.6.1 Ultrasonido industrial	62
3.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	64
3.4.1 ESFUERZOS EN EL PRIMERO Y SEGUNDO CUERPO	64
3.4.2 ESPECIFICACIONES PARA MIEMBROS A TRACCIÓN	65
3.4.2.1 Criterios de cálculo	66
3.4.3 ESPECIFICACIONES PARA MIEMBROS EN COMPRESIÓN ...	66
3.4.3.1 Criterios de cálculo	66
3.4.4 ESTABILIDAD	66
3.4.5 ESFUERZOS EN EL PENOL	70
3.4.5.1 Criterios de cálculo	70
3.4.5.2 Procedimiento de cálculo	71
3.5 DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL	72
3.5.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES DETERIORADOS	72
3.5.2 ELEMENTOS ESTRUCTURALES CRÍTICOS.	72

3.5.3	CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ACTUAL	78
3.5.4	ELEMENTOS CON DISMINUCIÓN DE ESPESORES.....	79
3.5.5	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.....	80
3.5.5.1	Obtención de Fuerza axial.....	80
3.5.5.2	Datos requeridos para el cálculo de la capacidad de cada perfil	81
3.5.5.3	Determinación del Esfuerzo Real (fa).....	82
3.5.5.4	Índice de Trabajo.....	82
3.5.5.5	Determinación de la carga admisible.....	83

CAPITULO 4

REPOTENCIACIÓN	84	
4.1	INTRODUCCIÓN	84
4.2	DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS DETERIORADOS.....	85
4.2.1	ANÁLISIS DE ELEMENTOS CON DISMINUCIÓN DE ÁREA.....	85
4.2.1.1	Elementos deteriorados.....	85
4.2.2	ANÁLISIS DE PLACAS CON DISMINUCION DE AREAS	87
4.2.2.1	Flexión.....	88
4.2.2.2	Calculo de esfuerzos en la placa con elementos desgastados.....	90
4.2.2.3	Análisis de placa por cortante.....	91
4.2.2.4	Análisis del pin por aplastamiento	92
4.2.2.5	Análisis de pin y placas por resistencia del material.....	92
4.2.3	SELECCIÓN DEL MATERIAL	93
4.3	PROCEDIMIENTO DE REPARACION DE ELEMENTOS	95
4.3.1	VERIFICACION DE MATERIAL	97
4.3.1.1	Criterios de Ejecución.....	97
4.3.1.2	Personal	97
4.3.1.3	Equipos.....	97
4.3.2	DESMONTAJE DE ELEMENTOS	98
4.3.2.1	Criterios de Ejecución.....	98
4.3.2.2	Procedimiento.....	98
4.3.2.3	Personal	98

4.3.2.4	Equipos.....	99
4.3.3	ENSAMBLE DE ELEMENTOS	99
4.3.3.1	Criterios de Ejecución.....	99
4.3.3.2	Procedimiento.....	99
4.3.3.3	Personal	100
4.3.3.4	Equipos.....	100
4.3.4	MONTAJE DE CONJUNTO DE ELEMENTOS.....	100
4.3.4.1	Criterios de ejecución	100
4.3.4.2	Procedimiento.....	101
4.3.4.3	Personal	101
4.3.4.4	Equipos.....	101
4.3.5	COMPROBACION FUNCIONAL Y DIMENSIONAL	102
4.3.5.1	Criterios de Ejecución.....	102
4.3.5.2	Personal	102
4.3.5.3	Equipos.....	102
4.3.6	PROTOCOLO DE PRUEBAS.....	103
4.3.6.1	Pruebas de operación.	103
4.3.6.2	Prueba de carga.....	103
4.3.7	RECUBRIMIENTO.....	104
4.3.7.1	Criterios de Ejecución.....	104
4.3.7.2	Personal	105
4.3.7.3	Equipos.....	105
4.4	RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA REPOTENCIACION.....	105
4.4.1	RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA EL MONTAJE	105
4.4.1.1	Humedad y suciedad retenida.....	105
4.4.1.2	Contacto con otros materiales:	106
4.4.1.3	Otros.....	106
4.4.1.4	Factores Generales	106
4.4.2	RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE SOLDADURA	107
4.4.2.1	Tipos más frecuentes de juntas.....	108
4.4.2.2	Inspección de Uniones	111
4.4.3	RECOMENDACIONES PRÁCTICAS RECUBRIMIENTO	112
4.4.3.1	Sistema de recubrimiento.....	112

4.4.3.2 Sistema de recubrimiento recomendado	112
--	-----

CAPITULO 5

COSTOS	114
5.1 INTRODUCCIÓN	114
5.2 COSTOS	114
5.2.1 COSTOS DIRECTOS	114
5.2.2 COSTO DE MANO DE OBRA	114
5.2.3 MANO DE OBRA DIRECTA	115
5.2.4 MANO DE OBRA INDIRECTA	115
5.2.5 COSTO DE EQUIPOS	115
5.2.6 COSTOS DE MATERIALES	115
5.2.7 COSTOS INDIRECTOS	115
5.2.8 COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS	116
5.2.9 COSTOS POR IMPREVISTOS	116
5.2.10 COSTOS DE TRANSPORTE	116
5.2.11 DETALLE DE COSTOS	116
5.2.11.1 Inspección de la estructura	117
5.2.11.2 Análisis estructural y situación actual	118
5.2.11.3 Verificación del material	119
5.2.11.4 Desmontaje	120
5.2.11.5 Ensamble	121
5.2.11.6 Montaje	122
5.2.11.7 Refuerzos	123
5.2.11.8 Comprobación dimensional y funcional	124
5.2.11.9 Recubrimiento	125
5.2.12 COSTOS TOTALES	125

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	128
6.1 CONCLUSIONES	128
6.2 RECOMENDACIONES	129

BIBLIOGRAFIA	130
---------------------------	------------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Reconstrucción de un Polispasto romano.....	2
Figura 1.2.- Grúas torre.....	4
Figura 1.3.- Grúa telescópica que desmonta una grúa de torre.....	5
Figura 1.4.- Una grúa de carga, semiautomática	5
Figura 1.5.- Grúas de pórtico de Portainer en el puerto de Hamburgo.....	6
Figura 1.6.- Grúas de pórtico. Industria del acero.....	6
Figura 1.7.- Grúa Puente bi apoyada.....	7
Figura 1.8.- Grúa flotante. (Offshore)	8
Figura 1.9.- Grúa Pedestal, (Offshore).....	8
Figura 1.10.-Grúas móviles.....	9
Figura 1.11.-Principios Mecánicos. Sumatoria de momentos igual a 0.....	10
Figura 1.12.-Cables, elementos estructurales flexibles.....	11
Figura 1.13.-Elementos estructurales, cerchas (celosía)	12
Figura 1.14.-Cerchas en una estructura.....	12
Figura 1.15.-Viga, doblemente apoyada.....	12
Figura 1.16.-Placas, uniones emperrada.....	13
Figura 1.17.-Gancho.....	15
Figura 1.18.-Polea fija.....	16
Figura 1.19.-Polea móvil.....	16
Figura 1.20.-Polipasto también conocido como bloque de poleas.....	17
Figura 2.1.- Grúa Barcaza "SMITH RICE" Terminal marítimo del puerto de Balao, provincia de Esmeraldas.....	19
Figura 2.2.- Grúa Flotante	21
Figura 2.3.- Grúa Flotante (ángulo de inclinación)	23
Figura 2.4.- Aparejo de izaje	25
Figura 2.5.- Cabina.....	26
Figura 2.6.- Mecanismo de giro.....	28
Figura 2.7.- Ruedas del mecanismo de giro.....	28
Figura 2.8.- Cuarto de máquinas (Motor combustión interna)	28
Figura 2.9.- Pivote de la pluma	29
Figura 2.11.- Zonas de la grúa barcaza "Smith Rice".....	32

Figura 2.12.- Modelo de la pluma de la grúa.....	37
Figura 2.13.- Aparejo de izaje principal y auxiliar.....	37
Figura 2.14.- Modelo estático con 30Tn a 22,8 m.	37
Figura 2.15.- Modelo estático con 12Tn a 28,6 m.	38
Figura 2.16.- Modelo estático con 30Tn a 60 grados.	38
Figura 2.17.- Esquema tensión en el cable y fuerza en el cuerpo de la pluma carga 30Tn.....	39
Figura 2.18.- Esquema tensión en el cable y fuerza en el cuerpo de la pluma carga 12Tn.....	39
Figura 2.19.- Diagrama de momento de la pluma. Con 12Tn y 40°	39
Figura 2.20.- Tensión del cable a los diferentes ángulos	40
Figura 2.21.- Fuerza del cuerpo a los diferentes ángulos	40
Figura 2.22.- Fuerza del penol a los diferentes ángulos.....	40
Figura 2.23.- Momento actuante en el penol a los diferentes ángulos	41
Figura 2.24.- Herrumbre en los perfiles de la grúa.	44
Figura 2.25.- Mecanismo de corrosión.	45
Figura 3.1.- Procedimiento de Repotenciación.....	53
Figura 3.2.- Zonificación, zona primer cuerpo.	55
Figura 3.3.- Zonificación, zona segundo cuerpo.....	55
Figura 3.4.- Zonificación, zona segundo cuerpo, penol.....	56
Figura 3.6.- Fractura de alambres interiores en cables de acero	59
Figura 3.7.- Variaciones en las propiedades del material por UT.....	63
Figura 3.8.- Distribución de fuerzas en una armadura	65
Figura 3.9.- Diagrama esfuerzo - deformación	67
Figura 3.10.- Curva Esfuerzo - Relación de esbeltez	68
Figura 3.11.- Curvas comparativas del efecto de los apoyos.	69
Figura 3.12.- Fuerzas actuantes en la zona del penol.....	70
Figura 3.13.- Gráfico de fuerzas en el penol.	70
Figura 3.14.- Rango de operación de grúa barcaza "Smith Rice"	78
Figura 3.15.- Condiciones de carga (aparejo de izaje secundario) a 28,6m.....	79
Figura 3.16.- Condiciones de carga (aparejo de izaje principal) a 22,8m.....	79
Figura 3.17.- Criterio de cálculo estructural con disminución de área.	80
Figura 4.1.- Capacidad de carga nominal, real vs. Angulo de inclinación	84

Figura 4.2.- Sujeción de los cables a través de las placas del penol.	88
Figura 4.3.- SAP2000, placa sometida a fuerzas de flexión.....	88
Figura 4.4.- Diagrama de momento de la pluma a 50° (Momento máximo en la zona de la placa).....	89
Figura 4.5.- Sección transversal formada por 4 perfiles y 4 placas (en cm.).....	89
Figura 4.6.- Sujeción de los cables a la pluma.....	91
Figura 4.7.- Sujeción de los cables a la pluma.....	91
Figura 4.8.- Esquema de la sección por cortante.....	91
Figura 4.9.- Esquema de la sección por aplastamiento.....	92
Figura 4.10.- Esquema de la sección soportante del material.....	92
Figura 4.11.- Procedimiento de repotenciación.....	96
Figura. 4.12.-Sitios de reparación. Puerto de Balao, Esmeraldas - Ecuador	97
Figura 4.13.- Recomendaciones de montaje de elementos reparados	107
Figura 4.14.- Juntas soldadas utilizadas frecuentemente.	109
Figura 4.15.- Iniciar la unión desde el interior del ángulo	110
Figura 4.16.- Tamaño máximo del cordón de soldadura.....	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.- Tabla de carga máxima sistema de izaje principal grúa barcaza "Smith Rice"	22
Tabla 2.2.- Presión de viento para grúas en servicio.	24
Tabla 2.3.- Resumen de elementos estructurales	33
Tabla 2.4.- Resumen de elementos estructurales	33
Tabla 2.5.- Resumen de elementos estructurales	33
Tabla 2.6.- Resumen de elementos estructurales	34
Tabla 2.7.- Resumen de elementos estructurales	34
Tabla 2.8.- Resultados de fuerza, momentos y reacciones máximos, bajo el primer criterio de operación (30Tn a 22,8 m.)	42
Tabla 2.9.- Resultados de fuerza, momentos y reacciones máximos, bajo el segundo criterio de operación (12Tn a 28,6m.).....	42
Tabla 2.10.- Resultados de fuerza máxima.....	43
Tabla 2.11.- Resultados de momento máximo.....	43
Tabla 2.13- Factores que determinan la velocidad de corrosión	48
Tabla 2.14.- Sistemas de protección por pintura	51
Tabla 3.1.- Reemplazo de cables de acero basado en la cantidad de alambres rotos y en el equipo que es utilizado el cable.....	58
Tabla 3.2.- Recomendación de ASME B30.8 para reducción máxima del diámetro nominal.....	59
Tabla 3.3- Inspecciones de cables realizadas en la grúa barcaza "Smith Rice" ..	62
Tabla 3.4- Valores de K, AISC tabla C-C2.1	69
Tabla 3.5.- Esfuerzos de flexión y compresión en el penol	71
Tabla 3.6- Elementos con disminución de espesores zona Gozne	73
Tabla 3.7- Elementos con disminución de espesores zona Primer Cuerpo	75
Tabla 3.8- Elementos con disminución de espesores zona Segundo Cuerpo	76
Tabla 3.9- Elementos con disminución de espesores zona Penol	77
Tabla 3.10- Datos requeridos para el cálculo de la capacidad de cada perfil	81
Tabla 3.11.- Tabla de carga máxima real de la grúa barcaza "Smith Rice"	83
Tabla 4.1.- Elementos deteriorados de la zona del Primero y Segundo Cuerpo..	86
Tabla 4.2.- Esfuerzo de flexión nominal a diferentes ángulos de operación.	90

Tabla 4.3.- Esfuerzo de flexión real a diferentes ángulos de operación.....	90
Tabla 4.4.- Materiales, características, propiedades.....	94
Tabla 4.5.- Tareas recomendadas para el montaje.....	106
Tabla 4.6.- Posiciones de soldadura recomendadas.....	108
Tabla 4.7.- Amperaje recomendado	108
Tabla 4.8.- Recomendación juntas a tope.....	110
Tabla 4.9.- Tareas recomendadas para soldadura de perfiles.....	111
Tabla 4.10.- Tareas recomendadas para el recubrimiento.....	113
Tabla 6.1.- Costos unitarios para la Inspección.....	117
Tabla 6.2.- Costos unitarios para el análisis estructural	118
Tabla 6.3.- Costos unitarios para la verificación del material	119
Tabla 6.4.- Costos unitarios para el desmontaje	120
Tabla 6.5.- Costos unitarios para el desmontaje	121
Tabla 6.6.- Costos unitarios para el montaje	122
Tabla 6.7.- Costos unitarios para el refuerzo.....	123
Tabla 6.8.- Costos unitarios para la comprobación funcional.....	124
Tabla 6.9.- Costos unitarios para el recubrimiento.....	125
Tabla 6.10.- Cronograma valorado de actividades.....	127

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: LISTA DE MATERIALES	131
ANEXO 2: NORMA ASME B30.8	141
ANEXO 3: CUADRO DE CAPACIDAD DE CARGA DE LA GRÚA.....	179
ANEXO 4: PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURAS	182
ANEXO 5: ESPECIFICACIONES DE LA PINTURA ANTICORROSIVA.....	186
ANEXO 6: PROCEDIMIENTO DE REPOTENCIACION	203
ANEXO 7: PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO SEGÚN AWS D1.1.....	214
ANEXO 8: PLANOS GRUA BARCAZA “SMITH RICE”	228
ANEXO 9: TABLAS DE RESULTADOS SAP 2000	232

RESUMEN

El presente proyecto consta de un capítulo introductorio sobre aspectos generales aplicados en las grúas así como su clasificación, partes principales, principios y fundamentos de los diferentes tipos de grúas, en el cual se ubica a la grúa barcaza “Smith Rice” en su clasificación correspondiente.

El capítulo dos hace un estudio general de la grúa barcaza “Smith Rice”, donde constan sus partes principales así como las normas que se aplican para la operación de este tipo de grúas, también se analiza el ambiente de operación de la misma, en este capítulo se hace un análisis de las fuerzas y reacciones que afectan al sistema estructural de la grúa barcaza.

En el capítulo tres se establece la situación actual de la grúa tomando en cuenta la disminución de espesores debido a la corrosión que afecta a la grúa, con lo que se determina la capacidad a la que debe trabajar la grúa bajo estas condiciones.

Las medidas y los procedimientos recomendados para la repotenciación se analizan en el capítulo cuatro.

El capítulo cinco es un análisis de costos en el que se hace un estudio de costos unitarios de operaciones y los costos totales de repotenciación.

PRESENTACIÓN

La industria petrolera ecuatoriana encargada de la producción y exportación de crudo es uno de los principales generadores de ingresos económicos con los que cuenta el país. El transporte de petróleo a través de los diferentes oleoductos desde los campos de producción hasta los buques encargados de la exportación es manejado por la empresa Petroecuador con su filial Oleoducto, la misma que necesita de equipos y herramientas para llevar a cabo las operaciones para las que fue destinada. Dentro de estos equipos se cuenta con la grúa barcaza “Smith Rice”.

El puerto de Balao ubicado en la provincia de Esmeraldas es el más importante en la labor de exportación del crudo ya que los dos oleoductos ecuatorianos llegan a este puerto para el transporte del crudo hacia los buques petroleros. En este proceso la grúa barcaza “Smith Rice” cumple un papel importante, ya que siendo la única grúa con la que cuenta Petroecuador para realizar maniobras marítimas de mantenimiento de los componentes del oleoducto submarino, resulta imprescindible una operatividad óptima de ésta, una disminución de su capacidad de carga debido a la corrosión, ha dificultado su operación normal retrasando de esta manera las operaciones normales que venía cumpliendo.

El presente proyecto tiene como objetivo principal elaborar un procedimiento de repotenciación de esta grúa barcaza, que si se lo aplica correctamente devolverá la capacidad de carga inicial, con lo cual se podrá utilizar de una manera más eficiente en las labores antes mencionadas siendo un ahorro de dinero y tiempo.

CAPÍTULO 1

TEORÍA DE GRÚAS Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

INTRODUCCIÓN

Dentro de los sistemas de izaje empleados por el ser humano a través de la historia, la grúa ha sido el más utilizado en su campo debido a la importancia de ésta en las edificaciones que han ido creciendo cada vez más conforme el paso de los años en la historia, y; de acuerdo a las necesidades que se han presentado con la innovación de la ciencia, tecnología, y la industria éstas han ido creciendo y desarrollando más. En el presente capítulo se ha recopilado información acerca de las definiciones, clasificaciones, un poco de la historia, partes fundamentales, criterios científico técnicos, de todo lo que respecta a grúas y a la teoría que gobierna el comportamiento de las mismas.

DEFINICIONES

GRÚA

Una grúa es un dispositivo de elevación mecánico equipado con elementos como son cables, una estructura, poleas, ganchos que se utiliza para levantar y para bajar materiales, también para moverlos horizontalmente. Las grúas se emplean comúnmente en la industria de construcción y en el equipo pesado. Las grúas también tienen brazos telescópicos, entramados y plumas articuladas, que complementan su funcionamiento.

También se define como, *la máquina ideal para elevar o bajar materiales, que debido a su peso o también por su volumen, son imposibles de manipular y manejar manualmente para el hombre.*

SUS ORIGENES

LAS GRÚAS GRIEGAS¹

La grúa para levantar cargas pesadas *fue inventada por* los Griegos antiguos en el *sexto siglo A.C.* El expediente arqueológico, que no más allá del 515 A.C. reconoce los cortes distintivos de la utilización de pinzas de elevación en los bloques de piedra de los templos griegos que demuestran la existencia de grúas. Desde estos años se señala el uso de un dispositivo de elevación, y puesto que deben ser encontrados, *el centro de gravedad del bloque, o los pares equidistantes de un punto sobre el centro de gravedad de los bloques.* Los arqueólogos miran estas como la evidencia positiva requerida para la existencia de la grúa.

La primera evidencia literaria inequívoca para la existencia del sistema compuesto de la polea para elevación aparece en los problemas mecánicos “Mech. 18” atribuido a Aristóteles (384-322 AC). Alrededor del mismo tiempo, los tamaños de bloque en los templos griegos eran muy grandes de más de 20 Tn, indicando que la polea compuesta más sofisticada debe haber encontrado su manera para satisfacer la obra de los ciudadanos griegos para ese entonces.

LAS GRÚAS ROMANAS.



Figura 1.1.- Reconstrucción de un Polispastos romano de 10.4m alto en Bonn, Alemania.²

¹ <http://en.wikipedia.org/crane>

² www.wikipedia.com

El apogeo de la grúa en épocas antiguas vino con el imperio romano, cuando aumento la actividad de la construcción y los edificios alcanzaron dimensiones enormes.

La grúa romana más simple, *el Trispastos*, consistió en una viga, un rodete o carrete, una cuerda, y un bloque que contenía tres poleas. Teniendo así una ventaja mecánica de 3:1, se ha calculado que un solo hombre que trabajaba un cilindro podría levantar 150 kilogramos (3 poleas x 50 kilogramo = 150), si se asume que 50 kilogramos representan el esfuerzo máximo que un hombre puede ejercer sobre un período más largo. Tipos más pesados de la grúa ofrecieron cinco poleas (Pentaspastos) o, en caso el más grande, un sistema de tres por cinco poleas (Polipastos) y vinieron con dos, tres o cuatro mástiles, dependiendo de la carga máxima. El Polipastos, cuando era trabajado por cuatro hombres en ambos lados de la polea, podrían levantar 3000 kilogramos (3 cuerdas x 5 poleas x 4 hombres x 50 kilogramo = 3000 kilogramos). *Esto significó que, con respecto a la construcción de las pirámides egipcias, donde eran necesarios cerca de 50 hombres para mover un bloque de piedra de 2.5 toneladas encima de la rampa (50 kilogramos por persona), la capacidad de elevación del Polipastos romano demostró ser 60 veces más arriba (3000 kilogramos por persona).*³

TIPOS DE GRÚAS

Las grúas se pueden clasificar según varios parámetros sin embargo, se han tomado en cuenta los siguientes:

- Según su utilidad
- Según su forma
- Según su movilidad

SEGÚN SU UTILIDAD

- Grúas para la construcción
- Grúas para el transporte de materiales.

³ www.wikipedia.com

- Grúas Marinas (Para puertos y buques)

SEGÚN SU FORMA

- Grúas Torre
- Grúas de brazo móvil
- Grúas Puente

SEGÚN SU MOVILIDAD

- Grúas Móviles
- Grúas Fijas

GRÚA TORRE



Figura 1.2.- Grúas torre. Ciudad del Cabo, Sudáfrica.⁴

La grúa torre es una forma moderna de una grúa de balance. Fijada a la tierra, las grúas de torre dan la mejor combinación de la altura y de la capacidad de elevación y se utilizan a menudo en la construcción de edificios altos. Para ahorrar el espacio y para proporcionar estabilidad la pieza vertical de la grúa se apoya a menudo sobre la estructura terminada que es normalmente el eje de elevación concreto en el centro del edificio. Una pluma horizontal se balancea asimétricamente a través del extremo superior de la torre. Su brazo corto lleva un contrapeso de bloques concretos, y su brazo largo lleva el mecanismo de elevación. La pluma se monta en un gran engrane y rota por medio de un motor. El gancho de elevación funciona por un sistema de poleas.

⁴ www.wikipedia.com

GRÚA TELESCÓPICA



Figura 1.3.- Una grúa telescópica que desmonta una grúa de torre de 40 m en Cambridge, Reino Unido.⁵

La grúa telescópica tiene una pluma que consiste en un número de tubos que quepan uno en el interior del otro que por medio de un mecanismo hidráulico u otro, accionado, amplía o contrae los tubos al aumento o disminución la longitud de la pluma. Este tipo de grúas se utilizan para proyectos de construcción, tareas de rescate, así como elevación de barcos dentro y fuera del agua. Este mecanismo realmente compacto, telescópico, lo hace muy adaptable a aplicaciones móviles.

GRÚA DE CARGA



Figura 1.4.- Una grúa de carga, semiautomática⁶

Éste es un brazo articulado accionado hidráulicamente acoplado a un camión o trailer, usado para mover mercancías sobre o bajo el nivel del acoplado del camión. Las secciones articuladas numerosas se pueden doblar en un espacio

⁵ www.wikipedia.com

⁶ www.wikipedia.com

pequeño cuando la grúa es enrollada. Una o más de las secciones pueden ser telescópicas. La grúa tendrá un alto grado de automatización y podía a menudo descargar o guardarse sin la instrucción de un operador.

GRÚA DE PÓRTICO



Figura 1.5.- Grúas de pórtico de Portainer en el puerto de Hamburgo

La grúa pórtico es un aparato de elevación compuesto por dos o cuatro postes que elevan una estructura puente por donde circula el mecanismo de elevación. El movimiento longitudinal se realiza al nivel del suelo a través de unos paquetes de rodadura situados en las partes inferiores de los postes. Normalmente, la rodadura es sobre carril metálico, aunque también existen realizaciones especiales sobre neumáticos.



Figura 1.6.- Grúas de pórtico. Industria del acero.⁷

El movimiento transversal se lleva a cabo en la viga puente, elevada, sobre unos carriles metálicos dispuestos a tal efecto. El movimiento vertical se realiza a través del mecanismo de elevación.

Estas grúas vienen en todos los tamaños, y algunas pueden mover cargas muy pesadas, particularmente los ejemplos extremadamente grandes usados en astilleros o las instalaciones industriales.

⁷ <http://www.ipandc.com/index.html>

GRÚAS PUENTE

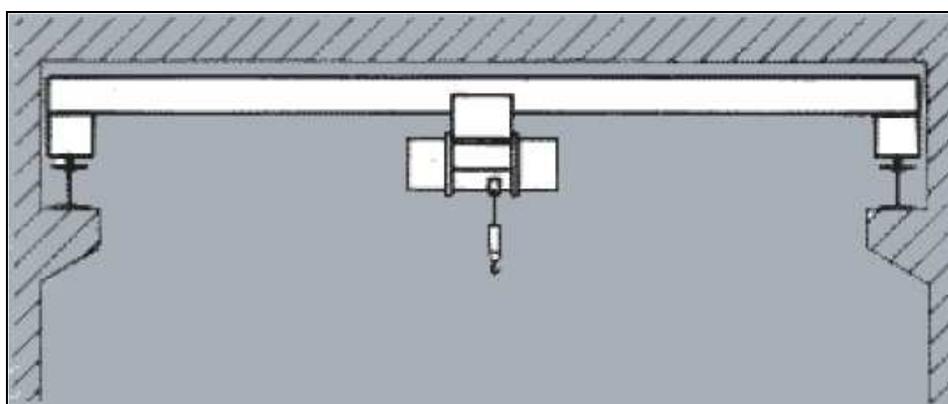
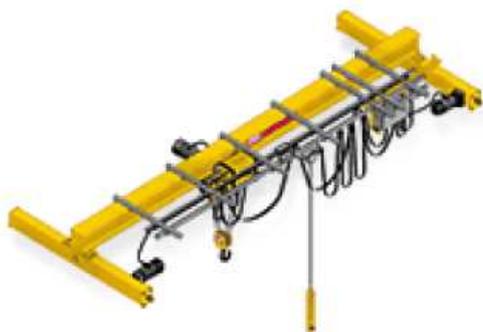


Figura 1.7.- Grúa Puente bi apoyada.⁸

El puente grúa es un tipo de aparato de elevación compuesto por una viga, simple o doble, bi-apoyada sobre dos carriles elevados sobre unos postes, dispuestos a tal efecto o componentes de la estructura resistente de la nave o edificación.

El movimiento longitudinal se lleva a cabo mediante la translación de la viga principal o puente a través de los carriles elevados. En la práctica, o en totalidad de los casos, la rodadura es por ruedas metálicas sobre carriles metálicos.

El movimiento transversal se realiza mediante el desplazamiento de un polipasto o carro sobre uno o dos carriles dispuestos sobre la viga principal. Como en el caso anterior la rodadura es para todos los casos de tipo acero – acero.

El movimiento vertical se ejecuta a través del mecanismo de elevación: polipasto o también llamado carro.

⁸ <http://www.ipandc.com/index.html>

GRÚA FLOTANTE



Figura 1.8.- Grúa flotante. (Offshore)

Las grúas flotantes se utilizan principalmente en la edificación de puentes y la construcción de puertos, pero también se utilizan para el cargamento y descarga ocasionales de las naves marítimas especialmente pesadas. Algunas grúas flotantes se montan en un pontón, otras son lanchas a remolque especializadas. Estas grúas tienen una gran capacidad de elevación, en algunos casos exceden 10.000 toneladas y se han utilizado para transportar secciones enteras de puentes. Ésta grúa es de uso frecuente en la construcción costa afuera (offshore).

GRÚAS EN CUBIERTA



Figura 1.9.- Grúa Pedestal, (Offshore)

Localizadas en las naves marítimas y son utilizadas para las operaciones de carga y descarga de container, esta modalidad permite reducir los costes evitando el uso de las grúas de la orilla. También vital en los puertos pequeños donde no hay grúas de la orilla disponibles. Son sobre todo eléctricos, hidráulico, electro-hidráulicos conducidos.

GRÚAS SOBRE CAMIONES.

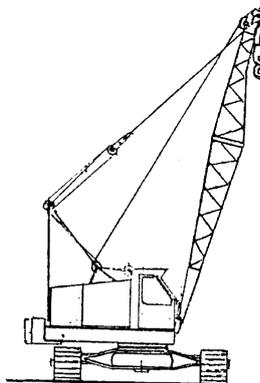


Figura 1.10.- Grúas móviles.

Una grúa montada en un camión proporciona la movilidad para este tipo de grúa. Generalmente, estas grúas se diseñan para poder viajar en las calles y las carreteras, eliminando la necesidad del equipo especial de transportar una grúa al sitio de trabajo. Al trabajar, los mástiles laterales se amplían horizontalmente del chasis entonces bajan verticalmente para nivelar y para estabilizar la grúa con respecto al piso, mientras la grúa trabaja subiendo y bajando carga. Muchos camiones grúas, tienen limitada la velocidad a la que viajan (apenas algunos kilómetros por hora) mientras que suspenden una carga. El gran cuidado se debe tomar para no hacer pivotar la carga de lado de la dirección del recorrido, pues la mayor parte de la estabilidad depende de la rigidez de la suspensión del camión.

LOS PRINCIPIOS MECÁNICOS

Hay dos consideraciones importantes en el diseño de grúas. El primer es que la grúa debe poder *levantar una carga de un peso especificado y una altura dada*, y el segundo es que *la grúa debe seguir siendo estable y no derribarse* cuando la carga se levanta y se mueve a otra localización.

CAPACIDAD DE ELEVACIÓN

Las grúas ilustran el uso de unas o más máquinas simples de crear ventaja mecánica.

- **La palanca.** Una grúa de balance contiene una viga horizontal (la *palanca*) girada alrededor de un punto llamado el pivote. El principio de la palanca permite una carga pesada unida al extremo más corto de la viga que se levantará por una fuerza más pequeña aplicada en la dirección opuesta al extremo más largo de la viga. El cociente del peso de la carga a la fuerza aplicada es igual al cociente de las longitudes del brazo más largo y del brazo más corto, y se llama la ventaja mecánica. Es decir una sumatoria de momentos igual a 0 (cero).

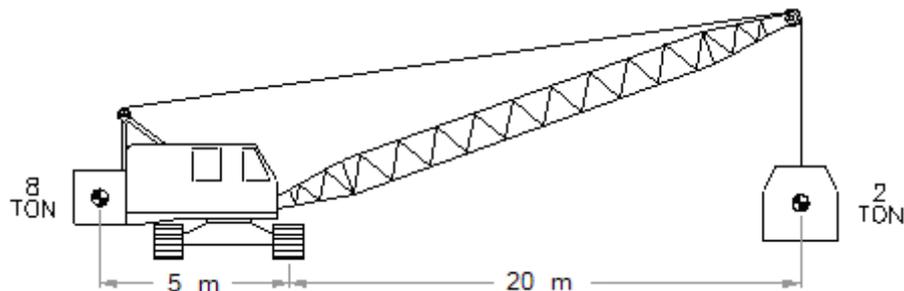


Figura 1.11.- Principios Mecánicos. Sumatoria de momentos igual a 0.

- **La polea.** Una grúa de pluma contiene un puntal inclinado (la pluma) que se apoya en un bloque de polea fijo. Los cables se envuelven en tambores múltiples alrededor del bloque fijo y rodean otro bloque unido a la carga. Cuando el extremo libre del cable es tirado a mano o por una máquina de la bobina, el sistema de la polea entrega una fuerza a la carga que es igual a la fuerza aplicada multiplicada por el número de las longitudes del cable que pasan entre los dos bloques. Este número es la ventaja mecánica.

Las grúas, como todas las máquinas, *obedecen el principio de la conservación de la energía*. Esto significa que la energía entregada a la carga no puede exceder la energía puesta en la máquina.

ESTABILIDAD DE LA GRÚA

Para que la grúa sea estable *la suma de todos los momentos sobre cualquier punto tal como la base de la grúa deba compararse a cero*, es decir se considera un sistema estático. En la práctica la magnitud y la combinación de cargas anticipadas se aumentan de modo que una grúa deba tener un factor de la seguridad adecuado.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES EN UNA GRÚA.⁹

CABLES

Los cables son estructuras flexibles debido a la pequeña sección transversal en relación con la longitud. Esta flexibilidad indica una limitada resistencia a la flexión, por lo que la carga se transforma en tracción y también hace que el cable cambie su forma según la carga que se aplique.

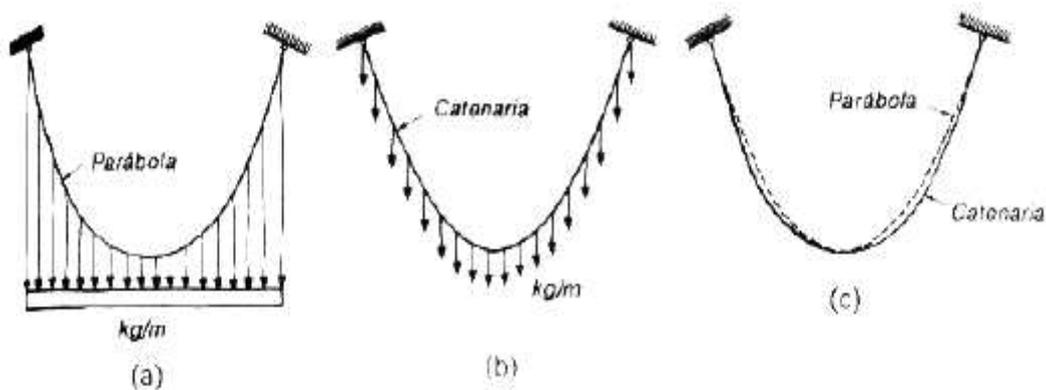


Figura 1.12.- Cables, elementos estructurales flexibles

CERCHAS

Existen diferentes tipos de cerchas de acuerdo con la solución estructural que se requiere. Su construcción o ensamble se lleva a cabo uniendo elementos rectos, que primordialmente trabajan a esfuerzos axiales, en puntos conocidos como nudos y conformando una geometría tal que el sistema se comporta establemente cuando recibe cargas aplicadas directamente en estos nudos.

Este tipo de sistemas tienen la característica de ser muy livianos y con una gran capacidad de soportar cargas. Se utilizan principalmente en construcciones con

⁹ <http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/jorgem/principal/guias/GuiaSEI.pdf>

luces grandes, como techos de bodegas, almacenes, iglesias y en general edificaciones con grandes espacios en su interior.

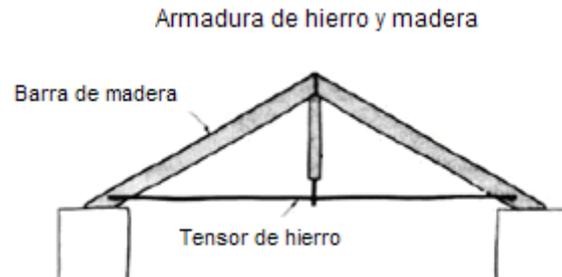


Figura 1.13.- Elementos estructurales, cerchas (celosía)

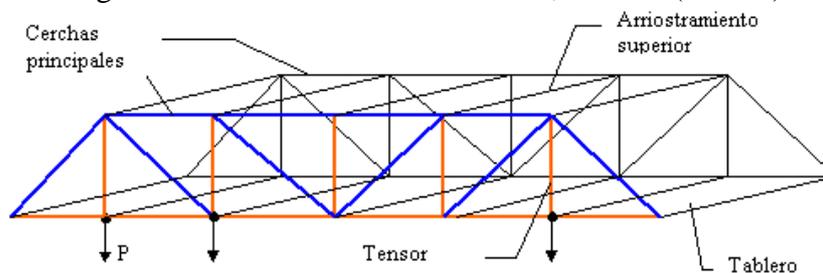


Figura 1.14.- Cerchas en una estructura¹⁰

VIGAS

Las vigas figuran entre los elementos estructurales más comunes, dado que la mayor parte de las cargas son verticales y la mayoría de las superficies utilizables son horizontales. Por consiguiente las vigas transmiten en dirección horizontal las cargas verticales, lo que implica una acción de flexión y corte.

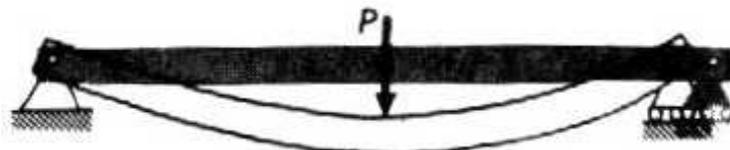


Figura 1.15.- Viga, doblemente apoyada.

PLACAS

Los sistemas de entramado son particularmente eficientes para transferir cargas concentradas y para lograr que toda la estructura participe en la acción soportante. Esta eficiencia se refleja no sólo en la mejor distribución de las cargas

¹⁰ <http://estructuras.eia.edu.co/estructurasI/cerchas/cerchas.htm>

sobre los apoyos, sino en la menor relación de espesor a luz de los entramados rectangulares.

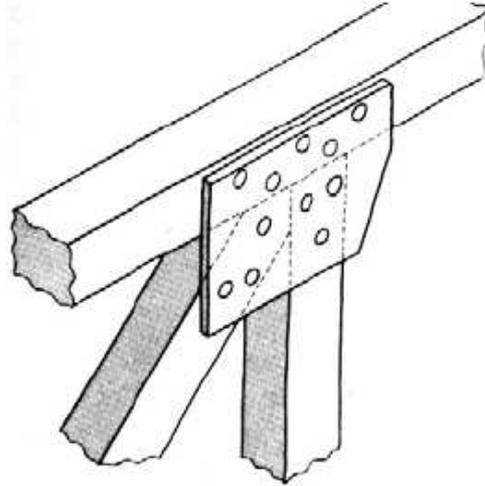


Figura 1.16.- Placas, uniones emperrada.

MODOS DE FALLA EN COMPONENTES ESTRUCTURALES

Se define como *falla* de un elemento estructural a cualquier situación *que impida que el elemento cumpla su función de transmisión de esfuerzos o de retención de presión* como se encuentra previsto en el diseño del elemento es decir la falla se produce cuando el elemento se torna incapaz de resistir los esfuerzos previstos en el diseño.¹¹

DESCRIPCIÓN DE LOS MODOS DE FALLA.¹²

Se identifica como *modo de falla* al fenómeno o mecanismo responsable del evento o condición de falla. En este sentido, los modos de falla que en general pueden afectar a un componente estructural, son:

- Inestabilidad elástica (pandeo local o generalizado)
- Excesiva deformación elástica
- Excesiva deformación plástica (fluencia generalizada)
- Inestabilidad plástica (estricción, pandeo plástico)
- Fatiga de alto ciclo y bajo ciclo

¹¹ http://www.fi.uba.ar/materias/6716/Modos%20de%20falla%20en%20componentes%20estructurales_1.pdf

¹² http://www.fi.uba.ar/materias/6716/Modos%20de%20falla%20en%20componentes%20estructurales_1.pdf

- Corrosión, erosión, corrosión-fatiga, corrosión bajo tensiones, etc.
- Fractura rápida (frágil, dúctil, mixta)

Los cuatro primeros modos de falla pueden ser atribuidos fundamentalmente a *fallencias en el diseño del elemento estructural* (excepto en el caso en que la falla se produzca como consecuencia de una carga superior a las máximas previstas en el diseño). Los tres modos mencionados en último término, *obedecen muchas veces a factores introducidos durante las etapas de fabricación* del elemento. En particular los problemas de fatiga, corrosión y fractura rápida suelen estar estrechamente relacionados con las operaciones de soldadura.

Inestabilidad elástica (pandeo local o generalizado)

Una deformación elástica que hace que aquellas excedan el valor admisible, conduciendo a problemas de interferencia tales como atascamiento o a deflexiones excesivas. La forma más común del modo de falla por inestabilidad elástica es la constituida por el fenómeno de pandeo.

Excesiva deformación plástica

Si por un incremento en las cargas las zonas plásticas se propagan hasta alcanzar una fracción significativa de la sección, se tiene una falla por excesiva deformación plástica.

Inestabilidad plástica

Un material que ha *alcanzado la condición plástica puede inestabilizarse y conducir rápidamente a un colapso plástico*. Un ejemplo conocido de este fenómeno es la estricción que precede a la rotura en el ensayo de tracción de un material dúctil.

Fatiga

Una discontinuidad que actúa como concentrador de esfuerzos puede iniciar bajo cargas cíclicas una fisura por fatiga que puede propagarse lentamente hasta alcanzar un tamaño crítico a partir del cual crece de manera rápida pudiendo conducir al colapso casi instantáneo de la estructura afectada.

Fractura rápida

Se puede definir la fractura como la culminación del proceso de deformación plástica. En general se manifiesta como la separación o fragmentación de un cuerpo sólido en dos o más partes bajo la acción de un estado de cargas.

El origen de la falla se debe muchas veces a factores ajenos al diseño que son introducidos durante fabricación, muy particularmente a través de las operaciones de soldadura, no siendo detectados como factores potenciales de riesgo por los responsables de la construcción e inspección del componente.

La fractura rápida constituye el modo de falla más catastrófico y letal de todos los mencionados.

ELEMENTOS MECÁNICOS GENERALES EN UNA GRÚA

GANCHO

Elemento mecánico que permite la conexión entre el sistema de izaje y la carga. Las formas y dimensiones son muchas, el material de un gancho depende del trabajo y las cargas a las que es sometido. Muchas veces el material, forma, tamaño están especificados en las normas correspondientes.

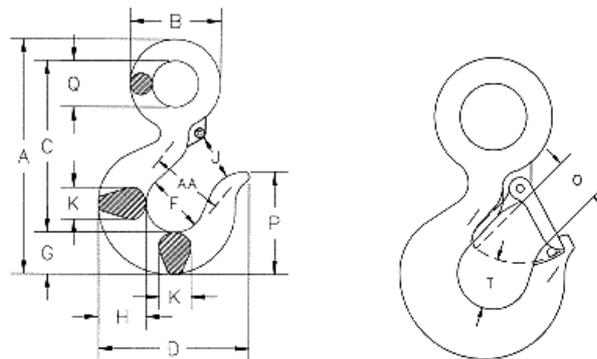


Figura 1.17.- Gancho.

POLEA

Polea fija

Esta polea se emplea para dos utilidades básicas: Transformar un movimiento lineal continuo en otro de igual tipo, pero de diferente dirección o sentido; reducir

el rozamiento de las cuerdas o cables en los cambios de dirección y obtener un movimiento giratorio a partir de uno lineal continuo¹³.

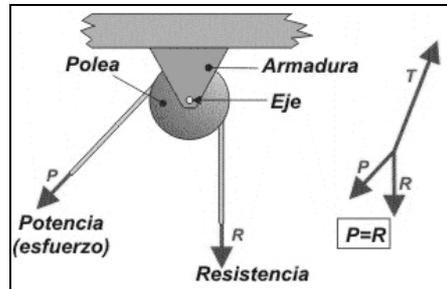


Figura 1.18.- Polea fija.¹⁴

Polea móvil

Es un mecanismo que tiene ganancia mecánica se emplea para reducir el esfuerzo necesario para la elevación de cargas.

Se suele encontrar en máquinas como grúas, montacargas, ascensores. Normalmente se encuentra formando parte de mecanismos más complejos denominados polipastos¹⁵.

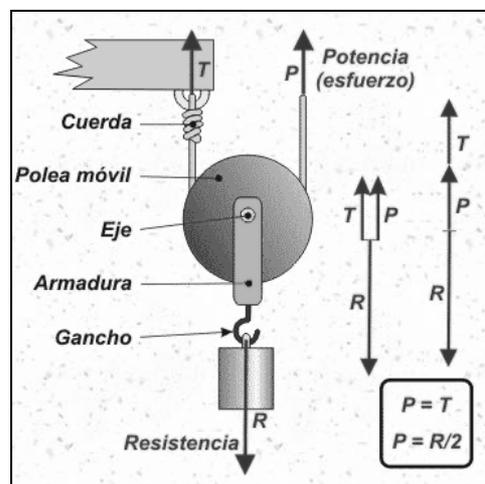


Figura 1.19.- Polea móvil.¹⁶

¹³http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_poleafija.htm

¹⁴ ["http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_poleafija.htm"](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_poleafija.htm)

¹⁵http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_poleamovil.htm

¹⁶ ["http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_poleamovil.htm"](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_poleamovil.htm)

Polipasto

Se emplea en la elevación o movimiento de cargas siempre que se quiera realizar un esfuerzo menor que el que se tendría que hacer levantando a pulso el objeto. Es una combinación de poleas fijas y móviles recorridas por una sola cuerda que tiene uno de sus extremos anclado a un punto fijo.

En este mecanismo la ganancia mecánica y el desplazamiento de la carga van en función inversa: cuanto mayor sea la ganancia conseguida menor será el desplazamiento¹⁷.

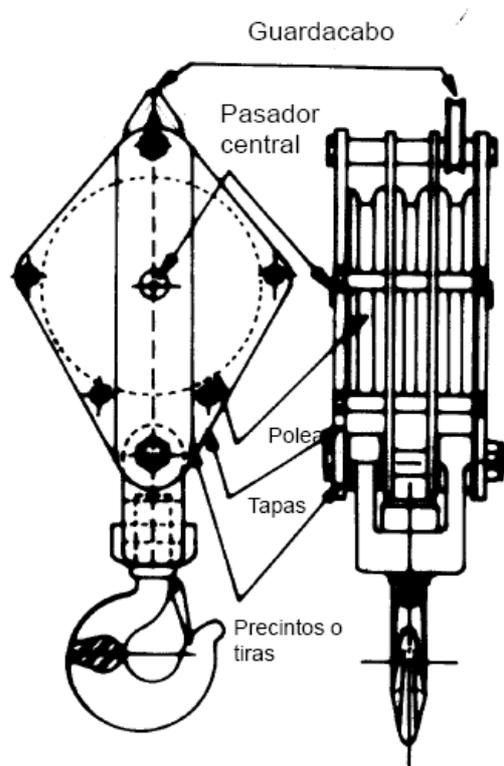


Figura 1.20.- Polipasto también conocido como bloque de poleas.

NORMAS DE REFERENCIA

Normas de referencia aplicables a grúas.

ASME / ANSI

B30.2 – 2001	Overhead and Gantry Cranes
B30.3 – 2004	Construction Tower Cranes
B30.4 – 2003	Portal Tower and Pedestal Cranes

¹⁷ “http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_polipasto.htm”

B30.5 – 2004	Mobile and Locomotive Cranes
B30.8 – 2004	Floating Cranes and Floating Derricks
B30.10 – 1999	Hooks
B30.18 – 2004	Stacker Cranes
B30.20 – 2003	Below-the-Hooks Lifting Devices
B30.22 – 2000	Articulating Boom Cranes
B30.25 – 2003	Scrap and Material Handlers

ISO

ISO 4301-1	Cranes and lifting appliances
ISO 4302	Cranes - Wind load assessment
ISO 4304	Cranes other than mobile and floating cranes - General requirements for stability
ISO 8686-1	Cranes - Design principles for loads and load combinations
	ISO/DIS 9925 Cranes and lifting appliances
ISO/DIS 9927-1	Cranes - Inspections
ISO 10972-1	Cranes - Requirements for mechanisms
ISO 10973	Cranes - Spare parts manual
ISO 13202	Cranes -Measurement of velocity and time parameters

API

API SPEC 2C	Specification for Offshore Pedestal Mounted Cranes
-------------	--

CAPITULO 2

GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”

INTRODUCCIÓN

La grúa barcaza “Smith Rice” es una grúa flotante para maniobras mar adentro utilizada por la Gerencia de Oleoducto de la empresa nacional de petróleos Petroecuador. La grúa barcaza “Smith Rice” es utilizada para diversas actividades, siendo su principal actividad la de brindar mantenimiento a los equipos del oleoducto marítimo, que se encuentran en las costas del puerto de Balao en la provincia de Esmeraldas. La grúa barcaza realiza las siguientes actividades:

- Maniobras de simulacro y control de derrames de crudo en el mar.
- Mantenimiento de monoboyas.
- Cambio y reparación de mangueras.
- Movilización de remolcadores y embarcaciones rápidas.
- Transporte de equipos y materiales mar adentro, etc.



Figura 2.1.- Grúa Barcaza “SMITH RICE” Terminal marítimo del puerto de Balao, provincia de Esmeraldas.

DEFINICIONES¹⁸

ÁNGULO DE LA PLUMA

Es el ángulo arriba o abajo de la horizontal, formado por el eje longitudinal de la base de la pluma y el nivel de la barcaza. Para el caso de la grúa barcaza “Smith Rice”, los ángulos de operación varían entre 10° y 80°, según datos recogidos del operador de la grúa.

CARGA ESTÁTICA

Es aquella que puede ser elevada sin que exista movimiento relativo entre la grúa y la carga, antes del izaje.

CARGA LATERAL

Es la carga aplicada en un ángulo al plano vertical de la pluma, un ejemplo de este tipo de carga, es la carga de viento.

CARGA NOMINAL

Es la carga máxima expresada en toneladas métricas, para la cual la grúa debe ser diseñada y construida.

COEFICIENTE DINÁMICO

Es el factor que al multiplicarlo por la carga máxima, se obtiene la carga de diseño.

CABLE DE ACERO

Es un elemento flexible, usualmente compuesto por un corazón (multifilar), alrededor del cual se enredan helicoidalmente un cierto número de cables multifilares.

COMPONENTE CRÍTICO

Es cualquier miembro de la grúa desprovisto de redundancia y/o accesorios auxiliares restrictivos, cuya falla podría resultar en un descenso incontrolado de la carga o una rotación incontrolada de la estructura.

¹⁸ ASME B30.8 (Grúas y Torres flotantes)

CRITERIOS GENERALES APLICADOS A LA GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”¹⁹

GRÚA FLOTANTE

ASME (American Society of Mechanical Engineers), la define como “una superestructura giratoria, con una planta de potencia y una pluma montada sobre una barcaza, su función es el manejo de cargas a diferentes radios.”

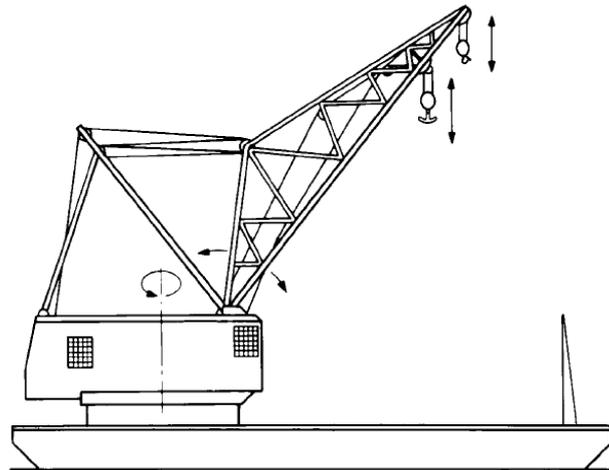


Figura 2.2.- Grúa Flotante

Siendo la grúa Smith Rice una grúa flotante estará sujeta a las especificaciones de la norma ASME B30.8 (Grúas y Torres flotantes), en la cual se encuentra especificado el mantenimiento, pruebas que se deben realizar a estas grúas para establecer su operatividad, construcción e instalación, la operación así como también las seguridades que se debe tener tanto en la construcción como en la operación de este tipo de grúas.

A continuación se listan algunas de las generalidades especificadas en la norma con respecto a este tipo de grúas.

BASES

La tasa de carga de una grúa depende de su capacidad estructural, capacidad de cable, capacidad de levantamiento y de la estabilidad de la bacaza o plataforma flotante donde la grúa este montada.

¹⁹ ASME B30.8 (Grúas y Torres flotantes)

CARGA PERMITIDA

La carga permitida debe ser la carga máxima de trabajo a diferentes radios determinado por el fabricante o una persona calificada considerando una desviación del ángulo entre la vertical y el nivel del mar para cada instalación.

La grúa utiliza dos sistemas de izaje de carga de 12Tn llamado secundario y 30Tn llamado principal, el sistema de izaje principal sufre una variación en su capacidad dependiendo del ángulo de operación la cual se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 2.1.- Tabla de carga máxima sistema de izaje principal grúa barcaza “Smith Rice”

Radio (m)	Ángulo (grados)	Carga máx (Tn)
22,8	0	11,58
22,45	10	12,64
21,42	20	13,98
19,74	30	15,32
17,46	40	16,89
14,65	50	18,2
11,4	60	21,08
7,79	70	25,12
3,95	80	30,15

REGISTRO DE CARGAS

Un cuadro que incluya letras y figuras debe ser provisto con cada grúa reparada que sea visible para el operador mientras este sentado en la estación de control. Estos datos e información deben incluir, lo siguiente:

- Un completo rango de las cargas permitidas a sus respectivos radios de operación, y para todas las longitudes de castillo de izaje permitidos.
- La condición de desviación del ángulo en el cual el cuadro de tasas de carga esta basado.
- Las precauciones esenciales o notas de peligro relativo a las limitaciones del equipo, procedimientos de operación, los factores de estabilidad, condiciones climáticas, deben ser mostradas en el cuadro de tasas de carga o en el manual de operación.

DE LO ESTRUCTURAL

- Las grúas flotantes deben ser capaces de resistir la carga establecida en todos los componentes bajo condiciones normales de operación cuando las cargas instaladas no excedan las recomendadas por el fabricante. Los esfuerzos creados por aquellas cargas no excederán las limitaciones especificadas en el código o normas que gobiernan el diseño de grúas.
- Barcazas o pontones deben ser capaces de resistir la operación de cargas impuestas bajo condiciones especificadas por fabricante de la grúa. Los esfuerzos creados por esas cargas no deben exceder las limitaciones especificadas en el código o norma que gobierna el diseño de barcazas o pontones.
- Las soldaduras deberán estar en conformidad con lo expuesto por la AWS y establecido en ANSI/AWS D1.1 o ANSI/AWS D14.3 como aplicable.

CRITERIO DE OPERACIÓN

Inclinación para operación

El sistema de izaje, comprende la grúa montada en la barcaza, este debe ser analizado por una persona calificada para determinar la desviación del ángulo de la barcaza bajo la cual, las condiciones de operación no excedan lo siguiente:

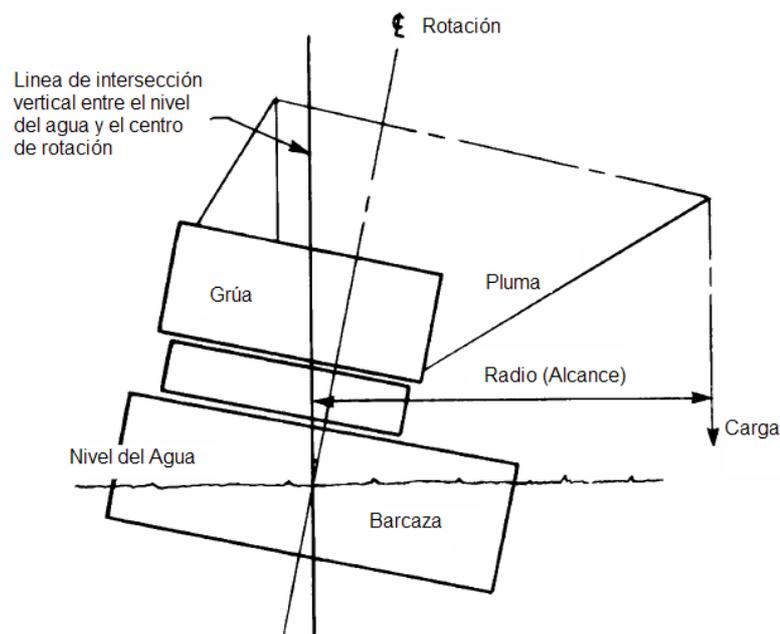


Figura 2.3.- Grúa Flotante (ángulo de inclinación)

- Para grúas de 25Tn de capacidad o menos, la desviación máxima debe ser de 5 grados.
- Para grúas sobre las 25Tn, la desviación máxima permitida debe ser de 7 grados; sin embargo 5 grados es lo recomendado por la norma ASME B30.8 (Grúas y torres flotantes)

CARGA DE VIENTO

Para el diseño de la capacidad de carga de una grúa, una carga de viento podría ser considerada. El cálculo de ésta carga se lo realiza mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$F = qA \quad (2.1)$$

Donde:

F Carga de viento expresada en N.

q Presión ejercida por el viento sobre la superficie de la grúa expresado en N/m².

A Área lateral de la grúa que soporta la fuerza del viento expresado en m²

Para el caso de la grúa Barcaza Smith Rice se utiliza una presión de viento de 500 N/m², que es la presión utilizada para grúas en servicio con una velocidad de viento de 28 m/s (100 km./h), la misma velocidad que se especifica en la norma ASME B30.8. Sin embargo para los cálculos no se ha tomado esta carga ya que su magnitud en comparación a la carga de operación resulta prácticamente despreciable.

Tabla 2.2.- Presión de viento para grúas en servicio.²⁰

Tipo de Aplicación	Presión del viento en servicio (N/m²)	Velocidad del viento en servicio (m/s)
Cargas protegidas contra el viento o diseñadas para uso exclusivo en viento suave.	125	14
Todas las grúas normales instaladas en campos abiertos con vientos moderados	250	20
Aplicaciones con trabajo continuo en vientos fuertes.	500	28

²⁰ Cranes, Design, practice and maintenance, Ing. J. Verschoof Segunda Edición,. Año 2002

ELEMENTOS PRINCIPALES DE LA GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”

APAREJO DE IZAJE

Dispositivo compuesto por el gancho principal / auxiliar y una o varias poleas ranuradas para uno o más cables (ver Fig. 2.10 parte 2) que son las encargadas de elevar la carga a la altura requerida.



Figura 2.4.- Aparejo de izaje

ARMADURA DE LA PLUMA

Miembros del armazón estructural en ángulo que soportan la pluma tipo celosía (ver Fig. 2.10 parte 3).

ARNÉS FLOTANTE (TAMBIÉN CONOCIDO COMO ESTRIBO)

Marco equipado con poleas y conectado a la pluma por cables fijos llamado generalmente pendientes (ver Fig. 2.10 parte 4).

BASE (DE MONTAJE)

Ver pedestal (ver Fig. 2.10 parte 5).

CABINA

Lugar destinado al operador de la grúa y donde se localizan los controles de la misma (ver Fig. 2.10 parte 7).



Figura 2.5.- Cabina

CABLE DE IZAJE DE LA PLUMA

Cable de acero que opera en un tambor controlando la posición del ángulo de la pluma (ver Fig. 2.10 parte 9).

COJINETE DE GIRO

Combinación de anillos de balines o rodillos, capaz de soportar cargas radiales, axiales y momentos, cuando la grúa está en operación.

CONTRAPESO

Es el peso usado para compensar al peso de la carga. Usualmente se fija en la parte trasera de la superestructura (ver Fig. 2.10 parte 17). Para el caso de la grúa barcaza “Smith Rice” el contrapeso es de 55Tn.

EJE DE ROTACIÓN

Eje vertical alrededor del cual, gira la superestructura de la grúa.

EMBRAGUE

Dispositivo que sirve para habilitar o interrumpir la transmisión de potencia.

EMPALMES DE LA PLUMA

Conexiones empalmadas para las secciones básicas de la pluma de la grúa y secciones adicionales del tipo empalme, plato, pasador o a tope (ver Fig. 2.10 parte 20).

ENSAMBLE DE POLEAS EN LA PUNTA DE LA PLUMA

Ensamble de poleas y pasadores como parte integral en la punta de la pluma (ver Fig. 2.10 parte 21).

ENSAMBLE DE LA UNIÓN GIRATORIA

Componente de conexión entre la superestructura giratoria de la grúa y el pedestal para grúas. Permite la rotación de la grúa y soporta el momento, cargas axiales y radiales generadas por la operación de la grúa. (Ver Fig. 2.10 parte 22).

ESTRIBO

Ver arnés flotante (ver Fig. 2.10 parte 23).

FRENO

Dispositivo que se usa para retardar o detener el movimiento.

GANCHO AUXILIAR

El peso sobre una sola línea de la parte utilizada para jalar el cable de acero fuera del tambor con la ayuda de la gravedad (ver Fig. 2.10 parte 25).

LÍNEA COLGANTE

Cable fijo sin operar, de longitud especificada con conexiones fijas en la punta (ver Fig. 2.10 parte 36).

LÍNEA DE CARGA

Durante las operaciones de izaje de la grúa se refiere al cable de izaje principal (ver Fig. 2.10 parte 37). El cable secundario de izaje se refiere al cable auxiliar de izaje.

MECANISMO DE GIRO

Engrane externo o interno, con el cual, el piñón de giro en la superestructura giratoria se acopla para dar movimiento rotatorio a ésta.



Figura 2.6.- Mecanismo de giro

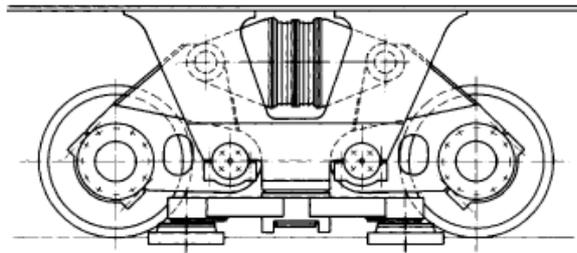


Figura 2.7.- Ruedas del mecanismo de giro

MECANISMO DE IZAJE DE LA CARGA

Sistema de tambor y cable, usados en las maniobras de carga. Se puede encontrar motores eléctricos como de combustión interna para izar las cargas. En el caso de la grúa barcaza “Smith Rice” se utiliza un motor de combustión interna con su respectivo mecanismo de transmisión.



Figura 2.8.- Cuarto de máquinas (Motor combustión interna)

MECANISMO DE IZAJE DE LA PLUMA

Medio que soporta la pluma y controla el ángulo de la misma (ver Fig. 2.10 parte 30). Este puede ser un motor de combustión interna o un motor eléctrico dependiendo de las especificaciones del mecanismo de izaje.

PEDESTAL

También conocido como base, es la subestructura que soporta y sobre la cual se monta la superestructura giratoria.

PIVOTE DE LA PLUMA

Es el pin de la pluma sobre la superestructura (ver Fig. 2.10 parte 32).



Figura 2.9.- Pivote de la pluma

PLUMA

Miembro principal de una estructura tipo celosía, (ver Fig. 2.10 parte 33). Que gira sobre su eje para aumentar o disminuir la altura de elevación, así como su ángulo y radio.

PUENTE (TAMBIÉN CONOCIDO COMO MARCO O MÁSTIL)

Bastidor estructural que se extiende por encima de la superestructura en el cual se pasan los cables soporte de la pluma (ver Fig. 2.10 parte 34).

POSTE CENTRAL

Pieza tubular, que sirve como eje de rotación y como miembro de conexión a la plataforma.

PUNTO DE CARGA

Cabezal de la pluma.

TOPE DE LA PLUMA

Dispositivo utilizado para evitar que el ángulo de la pluma sobrepase la posición límite establecida.

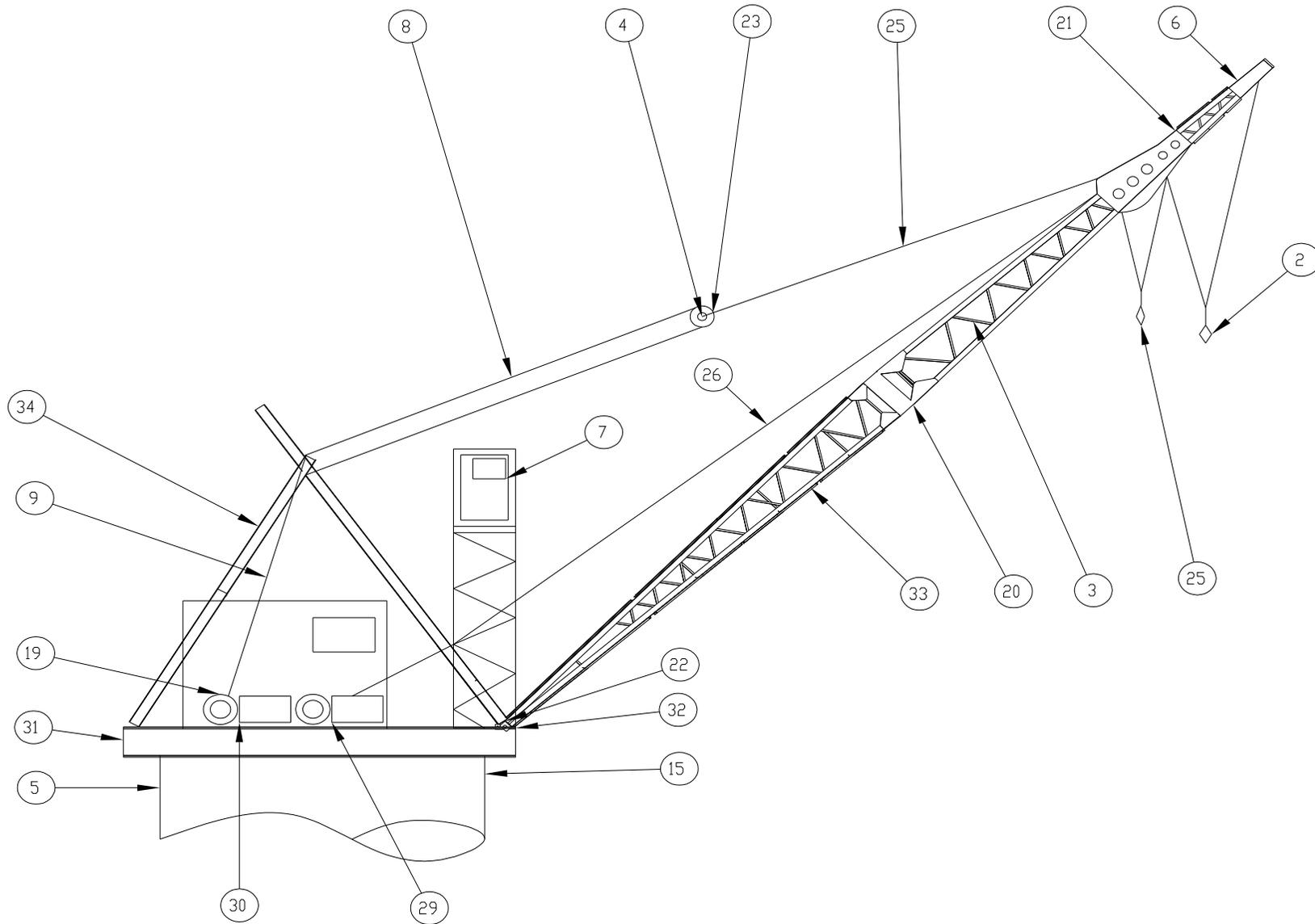


Figura 2.10.- Esquema, partes principales de la grúa barcaza “Smith Rice”
REALIZADO POR: J. Paredes – J. Recalde

ZONAS DE LA GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”.

Para el análisis estructural del castillo de izaje de la grúa barcaza, por facilidad se la ha dividido en cinco zonas estructurales, que son las siguientes:

1. Puente
2. Gozne
3. Primer Cuerpo
4. Segundo Cuerpo
5. Penol

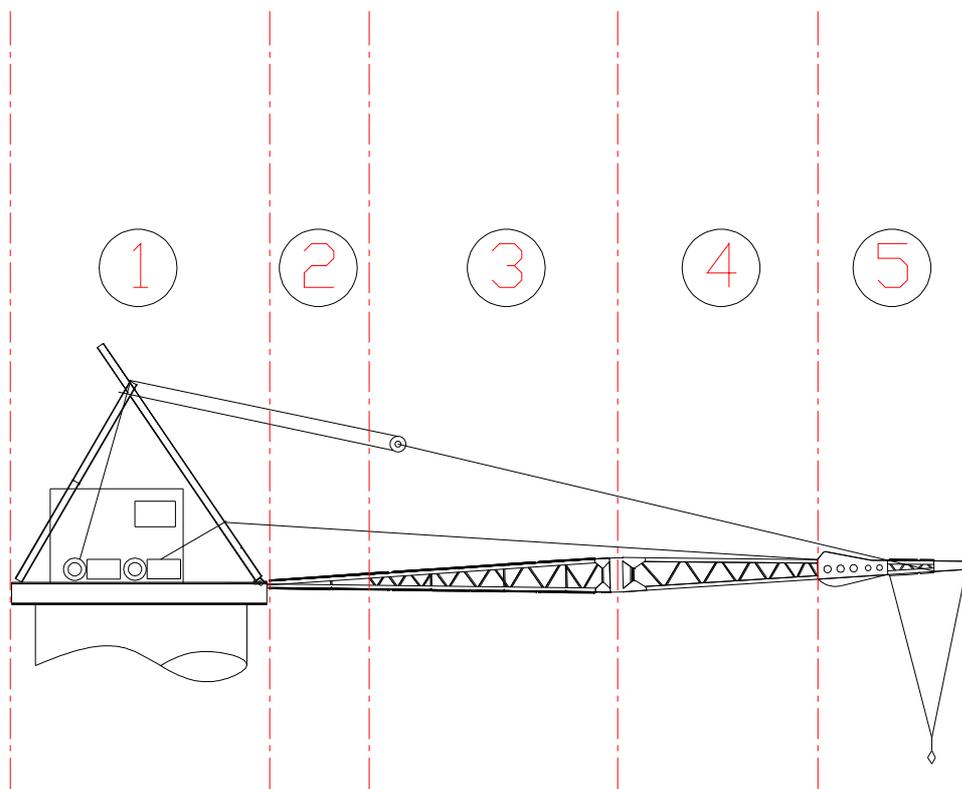


Figura 2.11.- Zonas de la grúa barcaza “Smith Rice”

Cabe señalar, que las palabras gozne y penol, son terminología del personal técnico del la barcaza, para identificar estas zonas del castillo de izaje de la grúa.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Los elementos estructurales que forman parte de la estructura han sido identificados, codificados y especificados, los detalles de cada uno de los elementos estructurales como su especificación, longitud, peso aproximado y código se encuentra en el anexo 1. A continuación, un resumen de los elementos:

ELEMENTOS ESTRUCTURALES “PUENTE”

Para elementos de la zona “Puente” código “P”

Tabla 2.3.- Resumen de elementos estructurales

Nº	Descripción	Peso Aprox. (kg.)
14	Perfiles AISC C 12 x 25	810,46
17	Perfiles AISC W 12 x 26	2981,9
10	Perfiles AISC L 3 x 3 x 1/4	156,96
<u>2</u>	Placas	40
	TOTAL	3989,32

ELEMENTOS ESTRUCTURALES “GOZNE”

Para elementos de la zona “Puente” código “G”

Tabla 2.4.- Resumen de elementos estructurales

Nº	Descripción	Peso Aprox. (kg.)
4	Perfiles AISC L 6 x 6 x 3/8	240
<u>6</u>	Placas	144,8
	TOTAL	384,8

ELEMENTOS ESTRUCTURALES “PRIMER CUERPO”

Para elementos de la zona “Puente” código “C”

Tabla 2.5.- Resumen de elementos estructurales

Nº	Descripción	Peso Aprox. (kg.)
6	Perfiles AISC L 6 x 6 x 3/8	1102,1
32	Perfiles AISC L 3 x 3 x 1/4	509,1
68	Perfiles AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	506,32
<u>16</u>	Placas	113,6
	TOTAL	2231,12

ELEMENTOS ESTRUCTURALES “SEGUNDO CUERPO”

Para elementos de la zona “Puente” código “D”

Tabla 2.6.- Resumen de elementos estructurales

N°	Descripción	Peso Aprox. (kg.)
10	Perfiles AISC L 6 x 6 x 3/8	833,65
4	Perfiles AISC L 4 x 4 x 5/16	347,27
50	Perfiles AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	366,49
12	Placas	146,66
	TOTAL	1693,42

ELEMENTOS ESTRUCTURALES “PENOL”

Para elementos de la zona “Puente” código “E”

Tabla 2.7.- Resumen de elementos estructurales

N°	Descripción	Peso Aprox. (kg.)
20	Perfiles AISC L 6 x 6 x 3/8	588,57
16	Perfiles AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	72,98
8	Placas	445,61
	TOTAL	1105,61

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GRÚA BARCAZA SMITH RICE

GENERAL

- Nombre de la grúa: Smith Rice
- Capacidad o Carga nominal (en toneladas): 30Tn
- Radio máximo desde el pedestal a línea de centro de la carga(m): 28
- Radio mínimo desde el pedestal a línea de centro de la carga(m): 4,86
- Marca: Washington Iron Works
- Modelo: 28H – 120BA
- Peso de la grúa (Kg.): 7,2Tn.

- Material ASTM A – 36
- Año de construcción 1938
- Contrapeso 55Tn

PLUMA

- Tipo: Celosía
- Longitud (m): 28
- Longitud de la extensión. 6m
- Ángulo mínimo de operación (°)
con respecto a la horizontal: 10°
- Ángulo máximo de operación (°)
con respecto a la horizontal: 75°
- Mecanismo de izaje de la pluma Tambor
- Tipo de motor: Motor Comb Interna
- Marca Cummis 6 cilindros
- Combustible Diesel
- Torque máximo (Lb – pie) 1010 a 1500rpm.

GANCHO PRINCIPAL

- Capacidad (t): 30Tn
- Velocidad de izaje (m/s): No se especifica
- Tipo de motor: Motor Comb Interna
- Marca Cummis 6 cilindros
- Combustible Diesel
- Torque máximo (Lb – pie) 1010 a 1500rpm.
- Número de líneas: 6

GANCHO AUXILIAR

- Capacidad (t): 12 Tn
- Velocidad de izaje (m/s): No se especifica

- Tipo de motor: Motor Comb Interna
- Marca Cummis 6 cilindros
- Combustible Diesel
- Torque máximo (Lb – pie) 1010 a 1500rpm.
- Número de líneas: 1

UNIDAD DE GIRO

- Tipo de motor: Motor Comb Interna
- Marca Cummis 6 cilindros
- Combustible Diesel
- Torque máximo (Lb – pie) 1010 a 1500rpm.
- Tipo de freno Hidráulico
- Velocidad de giro (rpm) 0,5

CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

- Indicador del ángulo y radio de la pluma: No existe

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

- Velocidad máxima del viento (km./h) en operación N/A

ANÁLISIS ESTÁTICO DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

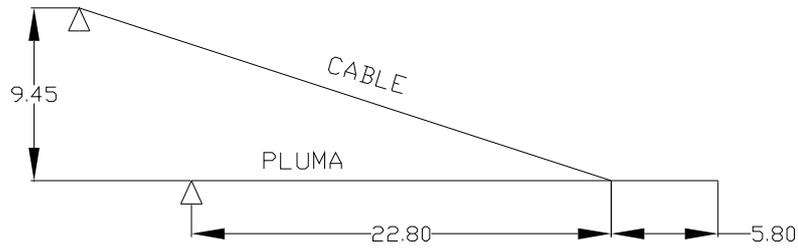


Figura 2.12.- Modelo de la pluma de la grúa.



Figura 2.13.- Aparejo de izaje principal y auxiliar.

La grúa barcaza "Smith Rice", opera de dos maneras diferentes de acuerdo a las necesidades de carga. La primera con el aparejo de izaje principal (también conocido como pateca principal) cuya capacidad máxima es de 30Tn, el diagrama de cuerpo libre según la distancia a la que se encuentra el aparejo de izaje es el siguiente:

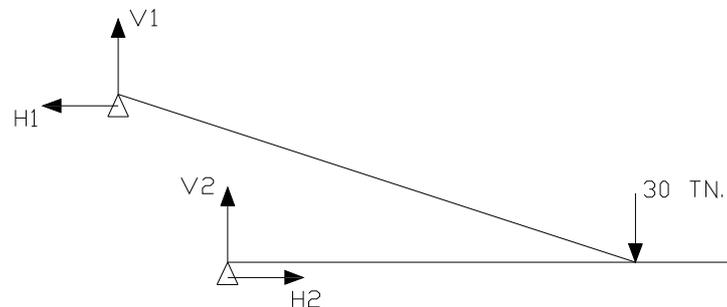


Figura 2.14.- Modelo estático con 30Tn a 22,8 m.

La segunda forma en que opera la grúa barcaza, es con el aparejo de izaje auxiliar cuya capacidad máxima es de 12Tn . El diagrama de cuerpo libre según la distancia a la que se encuentra el aparejo de izaje auxiliar es el siguiente.

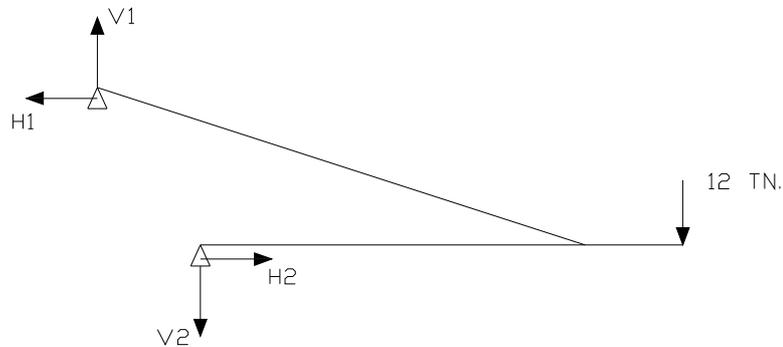


Figura 2.15.- Modelo estático con 12Tn a 28,6 m.

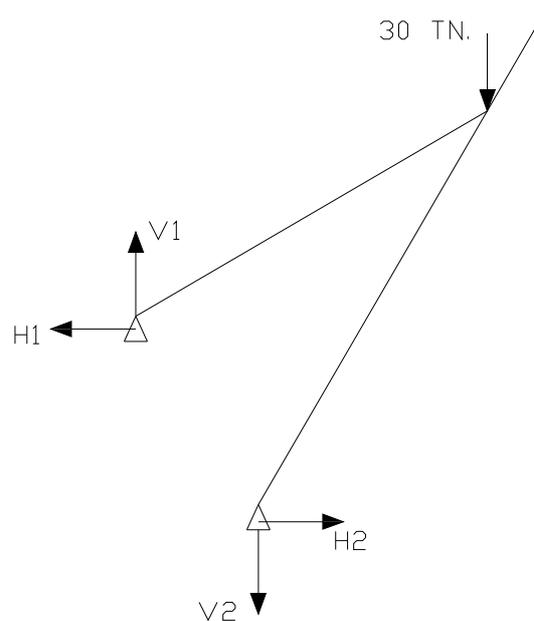


Figura 2.16.- Modelo estático con 30Tn a 60 grados.

Según estos dos criterios de operación de la grúa barcaza, se realiza un análisis estático general de las fuerzas y los momentos presentes en la estructura (Fig. 2.17 – 2.19), y se obtienen los resultados para cada posición de la grúa desde los 0° hasta los 80° presentados en las tablas 2.8 y 2.9.

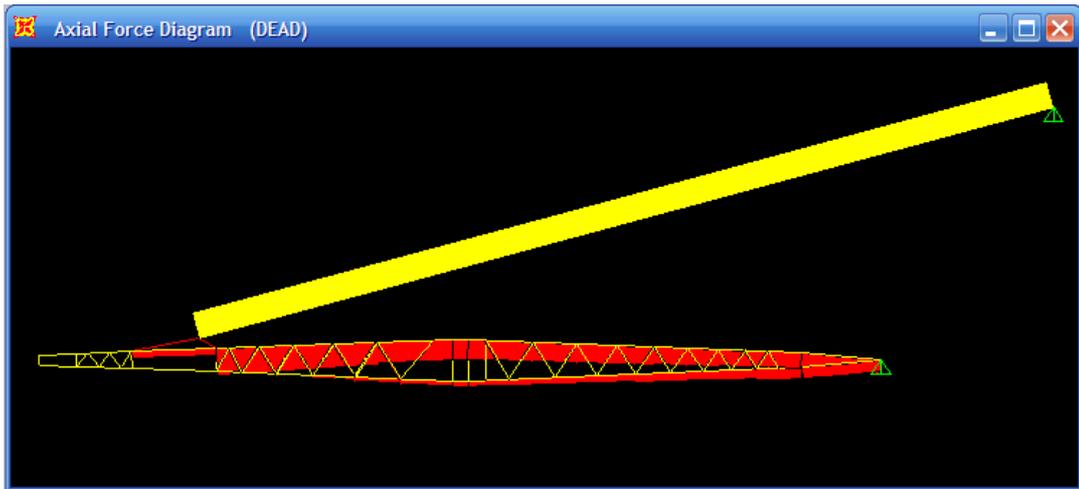


Figura 2.17.- Esquema tensión en el cable y fuerza en el cuerpo de la pluma carga 30Tn.

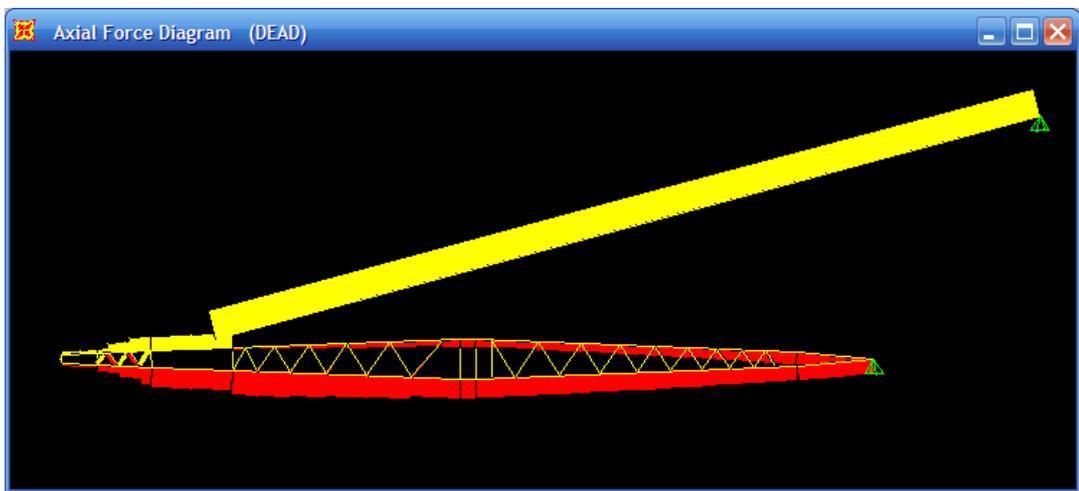


Figura 2.18.- Esquema tensión en el cable y fuerza en el cuerpo de la pluma carga 12Tn.

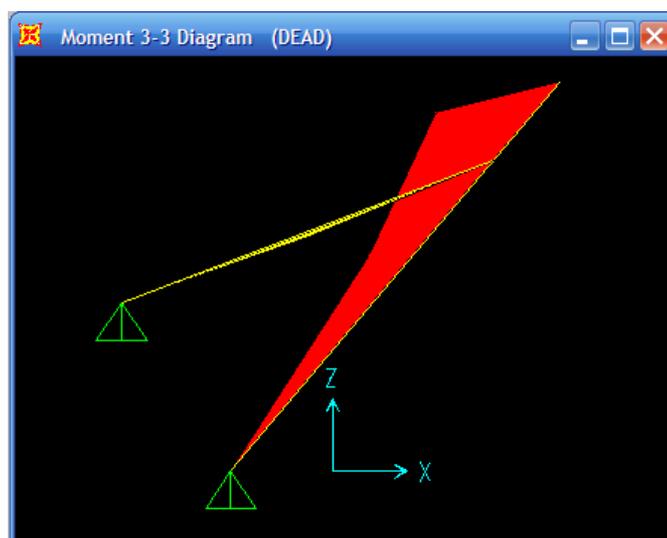


Figura 2.19.- Diagrama de momento de la pluma. Con 12Tn y 40°

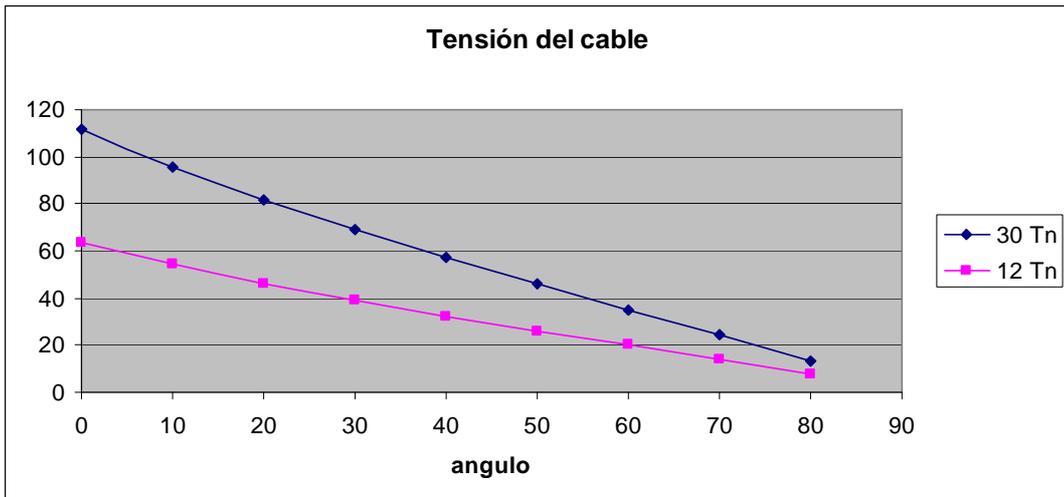


Figura 2.20.- Tensión del cable a los diferentes ángulos

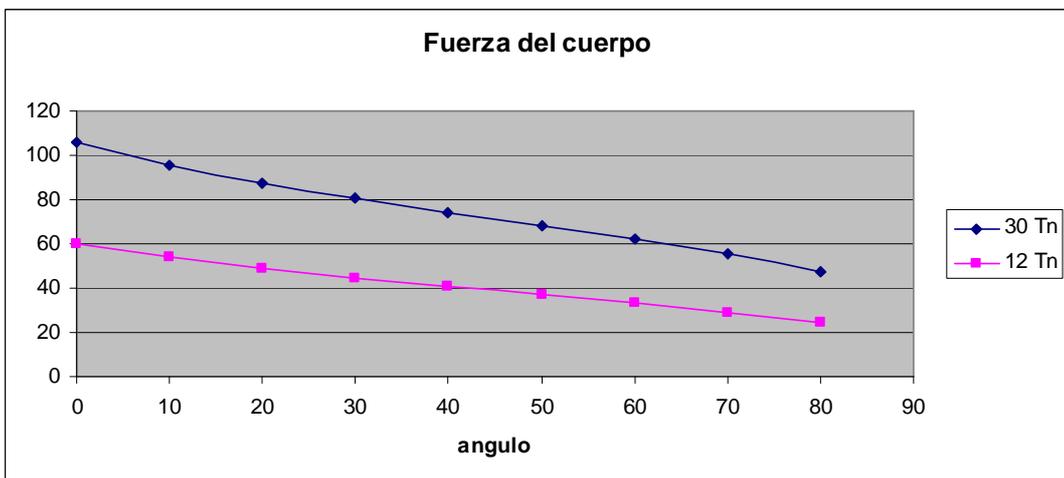


Figura 2.21.- Fuerza del cuerpo a los diferentes ángulos

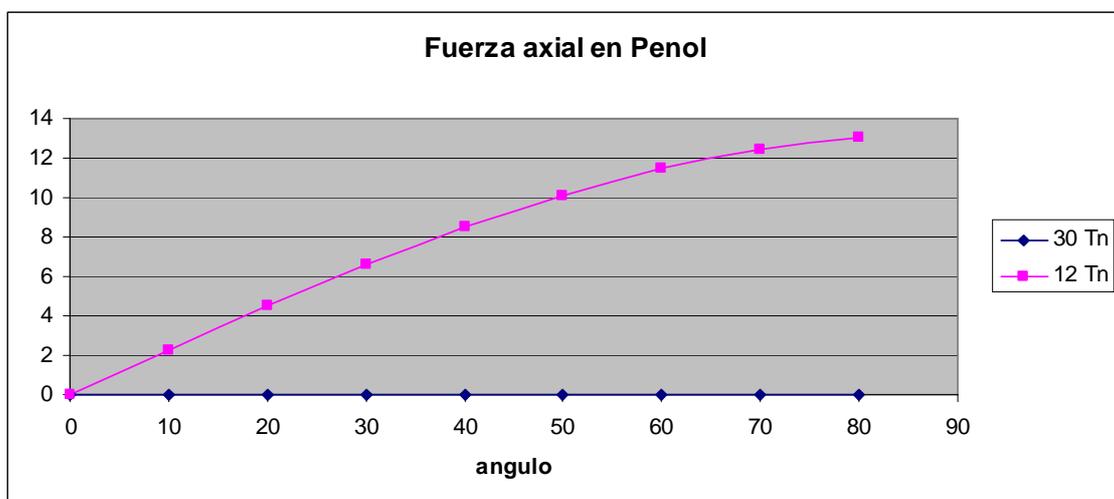


Figura 2.22.- Fuerza del penol a los diferentes ángulos

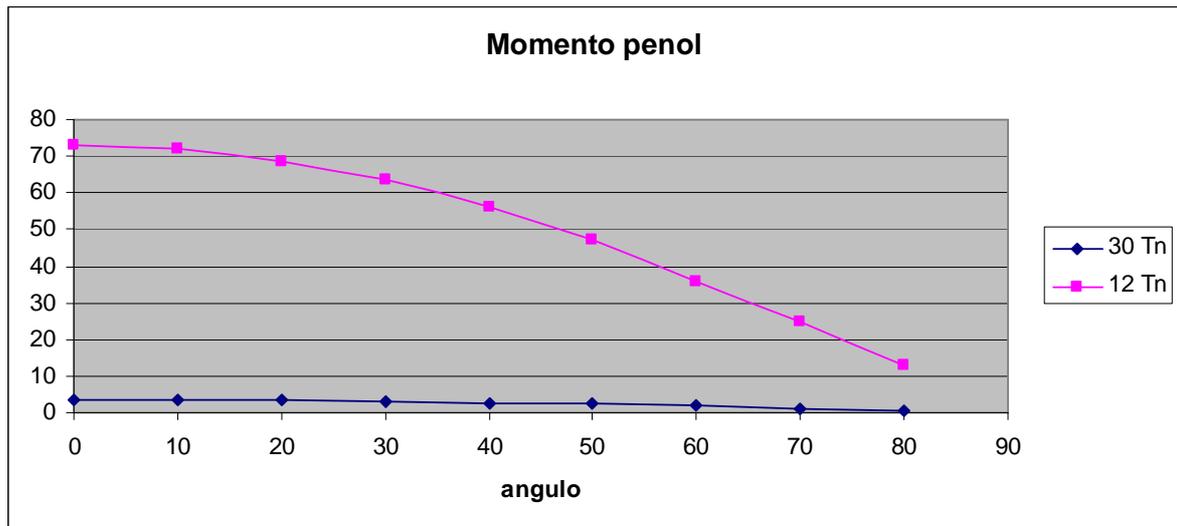


Figura 2.23.- Momento actuante en el penol a los diferentes ángulos

Tabla 2.8.- Resultados de fuerza, momentos y reacciones máximos, bajo el primer criterio de operación (30Tn a 22,8 m.)

Ángulo	Tensión Cable	Fuerza cuerpo (-)	Momento Cuerpo	Fuerza Penol (-)	Momento Penol (-)	V1	H1	R1	V2	H2	R2
0	111,56	105,8	12,05	0	3,56	35,39	-105,8	111,56	2,26	105,8	105,82
10	95,62	95,6	10,49	0	3,51	18,78	-93,76	95,62	18,79	93,76	95,62
20	81,61	87,42	10,01	0	3,35	5,6	-81,42	81,61	31,9	81,42	87,45
30	68,94	80,46	9,22	0	3,09	-4,5	-68,7	68,85	41,92	68,7	80,48
40	57,18	74,16	8,16	0	2,73	-11,7	-55,7	56,91	49	55,7	74,19
50	45,96	68,14	6,84	0	2,29	-15,9	-42,68	45,55	53,13	42,68	68,15
60	35,09	62	5,32	0	1,78	-17,1	-30,01	34,55	54,25	30,01	62,00
70	24,3	55,27	3,64	0	1,2	-15,2	-18,18	23,68	52,21	18,18	55,28
80	13,11	47,25	1,85	0	0,61	-9,67	-7,81	12,43	46,6	7,81	47,25
Max	111,56	105,8	12,05		3,56			111,56			105,80

Tabla 2.9.- Resultados de fuerza, momentos y reacciones máximos, bajo el segundo criterio de operación (12Tn a 28,6m.)

Ángulo	Tensión Cable	Fuerza cuerpo (-)	Momento Cuerpo	Fuerza Penol (-)	Momento Penol (-)	V1	H1	R1	V2	H2	R2
0	63,47	60,09	-73,16	0	73,16	20,44	-60,09	63,47	-0,79	60,09	60,1
10	54,33	53,89	-72,05	2,29	72,05	10,99	-53,21	54,33	8,59	53,21	53,9
20	46,3	48,86	-68,75	4,52	68,75	3,49	-46,17	46,30	16,01	46,17	48,87
30	39,08	44,54	-63,36	6,61	63,36	-2,26	-38,92	38,99	21,68	38,92	44,55
40	32,41	40,64	-56,05	8,5	56,05	-6,33	-31,52	32,15	25,66	31,52	40,64
50	26,07	36,93	-47,03	10,13	47,03	-8,73	-24,13	25,66	27,96	24,13	36,93
60	19,93	33,21	-35,58	11,45	35,58	-9,44	-16,95	19,40	28,57	16,95	33,22
70	13,84	29,23	-25,02	12,43	25,02	-8,35	-10,25	13,22	27,38	10,25	29,24
80	7,5	24,58	-12,7	13,02	12,7	-5,26	-4,4	6,86	24,19	4,4	24,59
Max	63,47	60,09	-73,16	13,02	73,16			63,47			60,1

La fuerza esta dada en (Tn), los momentos en (Tn – m). V, H (vertical y horizontal) Reacciones en el pivote. R Resultante de la reacción.

El análisis estático permite determinar posiciones críticas de la grúa en su recorrido de 0° a 80° en lo que se refiere a la fuerza máxima y al momento máximo.

Tabla 2.10.- Resultados de fuerza máxima.

Zona/ Elemento	Posición crítica.	Tipo de operación
Cable	0°	Principal
Gozne	0°	Principal
Primer Cuerpo	0°	Principal
Segundo Cuerpo	0°	Principal
Penol	80°	Principal

Tabla 2.11.- Resultados de momento máximo.

Zona/ Elemento	Posición crítica.	Tipo de operación
Cable	0°	Principal
Gozne	0°	Auxiliar
Primer Cuerpo	0°	Auxiliar
Segundo Cuerpo	0°	Auxiliar
Penol	0°	Auxiliar

Para el cálculo estructural se toma en cuenta este análisis estático para determinar la configuración de las cargas en el cálculo de todos los elementos estructurales que conforman la grúa. En los resultados se observa que la posición en la que la grúa esta sometida a mayores esfuerzos es la de 0° con 30Tn.

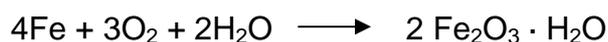
MANTENIMIENTO DE LA GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”

Debido al ambiente muy agresivo en la zona de operación, en el proceso de mantenimiento lo más destacado es el recubrimiento en todo el sistema estructural de la grúa y la lubricación de los cables. Siendo la lubricación de los cables una labor periódica ha sido llevada a cabo por lo operarios de la grúa según lo establecido por el personal de mantenimiento de la grúa.

CORROSIÓN EN LA GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”²¹

La mayor parte de los procesos de corrosión del acero estructural son de naturaleza electroquímica y suceden en etapas. El ataque inicial ocurre en las áreas anódicas sobre la superficie, donde los iones ferrosos son disueltos. De las áreas anódicas se liberan los electrones que se mueven a través de la estructura metálica, a las áreas catódicas adyacentes existentes en la superficie, donde se combinan con el oxígeno y con el agua, formando iones hidroxilos. Éstos reaccionan con los iones ferrosos generados en el ánodo, produciendo hidróxido ferroso que, a su vez, se oxida al aire produciendo el óxido de hierro hidratado, conocido como herrumbre.

Todas estas reacciones pueden ser descritas mediante la ecuación:



Dos puntos importantes son consecuencias directas de las consideraciones anteriores:

1. Para que el acero se corroa, es necesario la presencia simultánea de agua y de oxígeno. En ausencia de una de estas sustancias, no se produce corrosión.
2. Toda la corrosión ocurre en el ánodo; en el cátodo no hay corrosión.

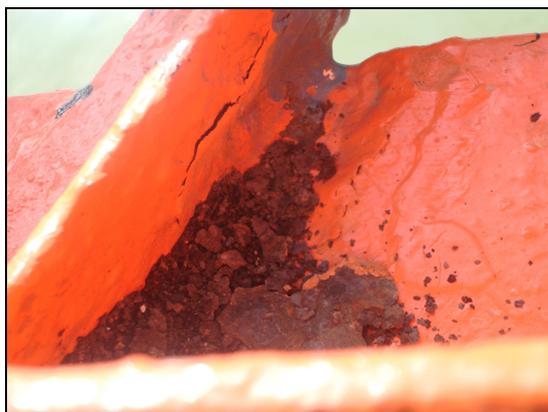


Figura 2.24.- Herrumbre en los perfiles de la grúa.

²¹ www.cbca-ibs.org.br/noticias/corrosion_acero.pdf La prevención de la corrosión en estructuras metálicas
Por Fabio Domingos Pannoni.

Pero después de un tiempo y debido a los efectos de polarización (tal como el crecimiento de la capa de herrumbre en las regiones anódicas), la velocidad del proceso de corrosión decae substancialmente. En ese momento se desarrolla un nuevo proceso: las regiones catódicas pasan a comportarse como anódicas, y viceversa. Los cátodos se transforman en ánodos y los ánodos en cátodos. De este modo, se va corroyendo toda la superficie de modo uniforme en un proceso conocido como «corrosión generalizada». (Fig. 3.8)

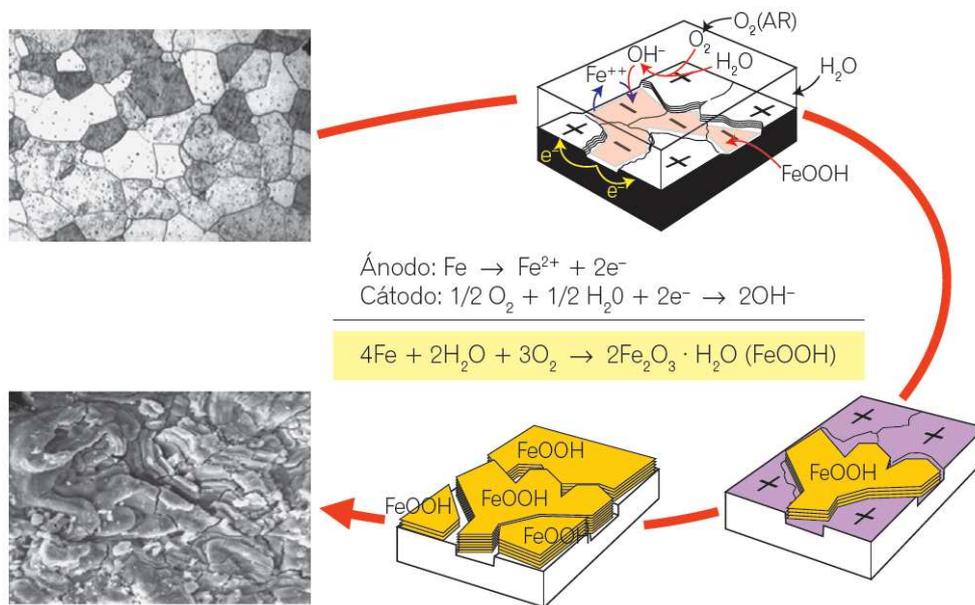


Figura 2.25.- Mecanismo de corrosión.

Los principales factores que determinan la velocidad de corrosión son:

1. Tiempo de humedecimiento.
2. Contaminación atmosférica.
 - Sulfatos
 - Cloruros
3. Corrosión localizada.
 - a. Corrosión bi-metálica
 - b. Corrosión por picaduras
 - c. Corrosión por grietas

TIEMPO DE HUMEDECIMIENTO.

El tiempo de humedecimiento es la fracción del tiempo total de exposición de la estructura durante la cual la superficie ha estado expuesta a la humedad debido a lluvia, rocío, etc. Para la grúa barcaza Smith Rice, debido al medio en que se encuentra se determina un tiempo de humedecimiento muy elevado. Además, existen zonas donde se empoza el agua de lluvia aumentando de esta manera este tiempo.

CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.²²

El tipo y la cantidad de contaminantes atmosféricos, tales como el dióxido de azufre, los cloruros, los polvos depositados, etc. A continuación se detallan las categorías de ambientes según la norma correspondiente a protección con pintura.

Tabla 2.12- Categorías de corrosividad atmosférica y ejemplos típicos de ambientes

	Pérdida de espesor (μm)	Ejemplos de ambientes típicos

I
r
t
e
r
i
c
r

I
c

²² NORMA 9223: 1992

i
f
i
C
i
C
ε

C
ε
l
ε
f
ε
C
C
i
C
r
ε
C
C
ε

C
C
r

r
l
)
k
ε
j
ε

ε
t
r
C
ε
f
ε
r
ε
ε

l
i
r
f
i
ε
ε

(
F
C
r
€
j
:
,
C
f
i
C
i
r
€
€
,
t
i
€
r
C
€
€
,
€
€
C
L
€
L
€
€
,
F
C
t
€
L
€
€
)
:
E
C
i
f
i
C
i
C

ε
r
c
c
ε
l
ε
f
ε
c
c
i
c
r
ε
c
c
ε
ε
r
l
c
ε
c
l
ε
f
l
ε
c
ε
f
ε
t
ε
r
c
c
r
c
ε
r
ε
c
i
c
r

(
ε
l
r
ε
c
ε
r
ε
s
,
c
i
r
r
ε
s
i
c
ε
c
l
k
i
ε
r
t
c
ε
,
ε
t
c
ε
t
ε
r
ε
)
.
/
r
k
i
ε
r
t
ε
ε
i
r

C
L
S
t
r
i
e
l
e
s

C
e

e
l
t
e

f
l
r
e
c
e
c

)
e
l
c
l
r

c
r
e
c

C
e

C
r
t
e
r
i
r
e
c
i
c

r
ε
t
r
c
ε
f
ε
r
i
c
ε

(
l
ε
v
ε
r
c
ε
r
í
ε
ε
,
c
ε
r
v
ε
c
ε
r
í
ε
ε
,
i
r
c
l
ε
t
r
i
ε

l
ε
c
t
ε
ε

,
é
t
c
é
t
é
r
é
)
.
l
r
c
l
s
t
r
i
é
é
c
l
í
r
i
c
é
é
,
f
i
é
c
i
r
é
é
,
é
t
c
é
t
é
r
é
.

E
C
i
f
i
C
i
C
S
C
z
r
E
z
S
C
C
r
C
C
r
C
E
r
S
z
C
i
C
r
C
z
S
i
F
E
r
z
r
E

r
t
e

)

c
c
r

è
l
t
è

c
c
r
t
è
r
i
r
è

c
i
c
r

-
E
c
i
f
i
c
i
c
è

c
è
r
è
è

c
c
r

c
c
r
c
è

r
ε
ε
C
i
C
r

C
ε
ε
i

f
ε
r
r
ε
r
ε
r
t
ε

)

C
C
r

ε
l
t
ε

C
C
r
t
ε
r
i
r
ε
C
i
C
r
.

Sulfatos. Su origen es el gas dióxido de azufre (SO_2) producido por la combustión de los combustibles fósiles.

Cloruros. Están presentes en los ambientes marinos. Hasta cerca de 3 Km. continente adentro.

La ubicación geográfica de la grúa es en el puerto de Balao en la provincia de Esmeraldas. La grúa por lo general se encuentra anclada al puerto de Balao, no cuenta con una zona de protección de la lluvia. Y en el caso de operaciones fuera del puerto, la grúa barcaza, permanece mar adentro los días necesarios para la operación. Es decir la estructura esta expuesta al ambiente marítimo todo el tiempo.

CORROSIÓN BIMETÁLICA (O “GALVÁNICA”).²³

Cuando dos metales disimilares están unidos eléctricamente (por ej., por pernos o soldadura) y están sometidos a un mismo electrolito, fluye una corriente eléctrica entre los metales y el proceso de corrosión se acentúa en el metal anódico (es decir, en el menos noble). En la grúa barcaza no hay evidencias de este tipo de corrosión

CORROSIÓN POR PICADURAS.²³

Las picaduras en los aceros estructurales acontecen en la mayoría de los casos en condiciones de humedad continua o en ciertos suelos altamente agresivos, pero no en la atmósfera.

CORROSIÓN POR GRIETAS.²³

Las grietas se forman generalmente por una mala ingeniería de detalle del proyecto y en la deficiente operación de soldadura. El lado externo de la grieta, en contacto con el oxígeno atmosférico, se convierte en un gran cátodo y la parte interna de la grieta se transforma en un ánodo localizado, donde se inicia y avanza la corrosión a alta velocidad.

TIPOS DE CORROSIÓN EN LA GRÚA BARCAZA SMITH - RICE

Tabla 2.13- Factores que determinan la velocidad de corrosión

²³ www.cbca-ibs.org.br/noticias/corrosion_acero.pdf La prevención de la corrosión en estructuras metálicas
Por Fabio Domingos Pannoni.

Factores	Si/No	Cuantificación
Tiempo de humedecimiento	Si	Alta
Sulfatos	No	
Cloruros	Si	Alta
Corrosión bi metálica	No	
Corrosión por picaduras	Si	Alta
Corrosión por grietas	No	

En la actualidad, se dispone de una amplia variedad de posibilidades de protección que utilizadas en forma apropiada, permiten extender indefinidamente la vida útil de una estructura y prolongar los periodos entre las intervenciones periódicas necesarias. La clave del éxito reside en el reconocimiento de la corrosividad del ambiente en el que la estructura estará expuesta y en la apropiada selección del revestimiento, que se analizará posteriormente.

RECUBRIMIENTO²⁴

La pintura es el principal medio de protección de las estructuras metálicas. Las pinturas son suspensiones homogéneas de partículas sólidas (pigmentos) dispersas en un líquido, en presencia de otros componentes en menores proporciones, llamados aditivos.

Los pigmentos son polvos orgánicos o inorgánicos de fina granulometría (aproximadamente 5 micrones de diámetro). En suspensión en la pintura líquida son aglomerados por la resina después del secado, formando una capa uniforme sobre el sustrato. Los pigmentos le confieren el color, la opacidad y cohesión, la consistencia, dureza y resistencia de la película, inhibiendo el proceso corrosivo. Algunos de los pigmentos comúnmente utilizados en las pinturas de protección del acero al carbono son los siguientes:

²⁴ www.cbca-ibs.org.br/noticias/corrosion_acero.pdf La prevención de la corrosión en estructuras metálicas
Por Fabio Domingos Pannoni.

Las pinturas de fondo, conocidas como imprimadores (*primers*) se clasifican habitualmente de acuerdo al principal pigmento anticorrosivo participante. Por ejemplo: Fosfato de cinc, Cinc metálico, Óxido de hierro, Aluminio y otros. Mientras que las pinturas intermedias y de acabado se clasifican de acuerdo a la resina empleada. Por ejemplo, epoxídicas, acrílicas, alquídicas, etcétera.

MECANISMOS DE ACCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN²⁵

Existen tres mecanismos, de acción contra la corrosión. Y estos son los siguientes.

Protección por barrera

La pintura además de ser lo más impermeable posible, ha de aplicarse en grandes espesores. Las pinturas de gran espesor, llamadas HB (high build), tienen la ventaja de ahorrar mano de obra para su aplicación. Además de las pinturas de gran espesor, las que ofrecen una mejor protección por barrera son las bituminosas y las de aluminio. El inconveniente de la protección por barrera es que cuando se daña la película, la corrosión se extiende bajo la película por aeración diferencial. Así, es siempre recomendable que se utilicen pinturas de fondo con mecanismos de protección catódica o anódica.

Protección anódica

La protección de las regiones anódicas la proporcionan los pigmentos anticorrosivos, todos de carácter oxidante. La protección puede lograrse mediante la disolución del pigmento o por acción oxidante.

Protección catódica

La protección la confiere la formación de pares galvánicos entre el acero al carbono y las partículas de cinc en polvo (éstas son las llamadas pinturas ricas en cinc). En ellas se corroe el cinc, protegiendo el substrato del acero al carbono. El contenido mínimo recomendable de cinc en la película seca es del 85% (el

²⁵ www.cbca-ibs.org.br/noticias/corrosion_acero.pdf La prevención de la corrosión en estructuras metálicas
Por Fabio Domingos Pannoni.

contacto eléctrico es fundamental para mantener la protección). En la elaboración de un sistema de pintura han de considerarse todos los datos:

El ambiente, el substrato, la preparación de la superficie, las pinturas, la secuencia de aplicación, el número de manos, los espesores, los tipos de aplicación son condiciones de trabajo a las que estará sometida la superficie.

En lo que se refiere a protección de estructuras metálicas por medio de pinturas, existe normativa como ISO 12944-1: 1998, Protección contra la corrosión de estructuras de acero por sistemas de pintura (Paints and varnishes Corrosion protection of steel structures by protective paint systems). Los sistemas de protección por pintura recomendados bajo la norma anteriormente mencionada en la tabla 2.14

PREPARACIÓN DE LAS SUPERFICIES²⁶

- Métodos mecánicos manuales con cepillo y martilleo (SP2), o mecanizados con cepillos y esmeriles (SP3), complementando la limpieza en cada caso con un barrido soplado de aire comprimido seco.
- Chorro de arena: por el efecto abrasivo de los granos duros y de cantos vivos de una arena de cuarzo, lanzada con ayuda de aire comprimido contra las superficies. Se diferencia la presentación de la superficie de acuerdo al grado de limpieza logrado:
 - SP5 metal blanco,
 - SP6 metal comercial,
 - SP10 metal semiblanco.
- La rugosidad promedio terminado el proceso de chorreado se fija de 6 a 12.5 mm. No se dejará pasar un tiempo mayor de 20 minutos entre la preparación de la superficie y la aplicación del recubrimiento.
- Granallado: limpieza por el efecto abrasivo de granos esféricos, metálicos, lanzados a altísima velocidad por un eyector sobre las superficies. Se distinguen los diferentes grados de limpieza igual al chorro de arena.

²⁶ SSPC/NACE standards Joint Surface Preparation Standard NACE NO. 1

Tabla 2.14.- Sistemas de protección por pintura

A large, solid gray rectangular area that completely obscures the content of the table. It occupies the majority of the page below the caption.

CAPÍTULO 3

SITUACIÓN ACTUAL

INTRODUCCIÓN

A pesar de mantenimiento meticulosamente desarrollado en la estructura de la grúa barcaza “Smith Rice”, la misma cuenta con evidencias graves de reducción de espesores debido a la corrosión, esto se debe a la naturaleza salina del medio donde opera la grúa y hace que la capacidad de carga y elevación se vean afectadas significativamente. Antes de proceder a una repotenciación de la grúa es decir, sustituir elementos o instalar nuevos que ayudan al sistema estructural, es importante realizar un análisis de la situación actual para establecer dos aspectos importantes, el primero es conocer el estado en el que se encuentra la grúa y saber si es necesaria o no una repotenciación. El segundo paso es, realizar el análisis estructural en las condiciones actuales para determinar la correcta operatividad y establecer los posibles riesgos que tiene la estructura en estas condiciones.

GENERALIDADES

La repotenciación consiste en determinar las zonas más críticas, analizarlas, calcularlas y plantear soluciones prácticas para asegurar el correcto funcionamiento de la estructura, en lo que se refiere a seguridad, economía y funcionalidad. Y para la misma, se necesita un procedimiento práctico de repotenciación que se detalla en la Fig. 3.1.

Para la repotenciación de la grúa es necesario hacer el cálculo estructural, tomando en cuenta las pérdidas de espesor en la estructura detallada en las tablas 3.8 – 3.11, luego calcular la capacidad máxima de la grúa, en estas condiciones y analizar las posibles soluciones para las partes más deterioradas de la estructura.

Para el cálculo de la capacidad actual de la grúa, se sustituirán las dimensiones de los perfiles, placas y demás elementos estructurales por elementos con espesores iguales al menor espesor determinado por los ensayos no destructivos.

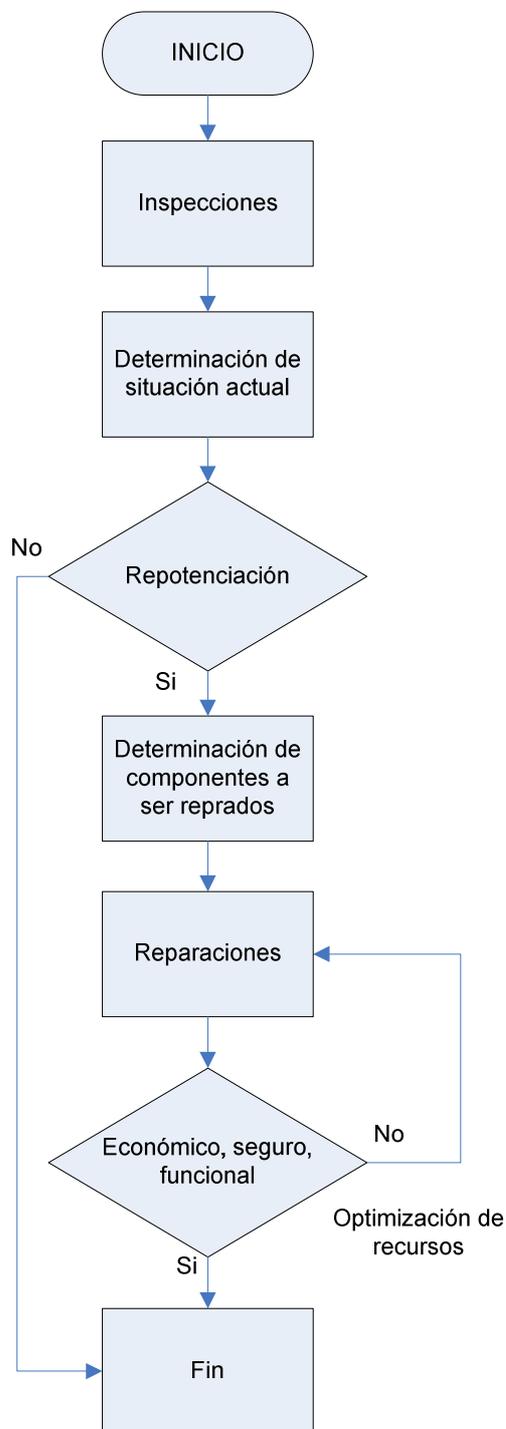


Figura 3.1: Procedimiento de Repotenciación.

INSPECCIONES GENERALES REALIZADAS EN GRÚAS²⁷

Las inspecciones que se deben realizar a una grúa flotante se clasifican de la siguiente manera:

- Inspecciones Iniciales.
- Inspecciones Regulares.
 - (a) Inspecciones Frecuentes.
 - (b) Inspecciones Periódicas.

Para el caso de la repotenciación se realizaron tres tipos de inspecciones previos a esta operación y son las siguientes:

- Inspecciones iniciales.
- Inspecciones de cables de acero.
- Inspecciones especiales o dirigidas.

INSPECCIONES INICIALES

Las inspecciones iniciales son llevadas a cabo por personal especializado en estructuras metálicas, estas inspecciones principalmente constan de *inspecciones visuales* que permitan identificar zonas que se encuentren en mal estado o que presenten corrosión.

Una vez localizadas estas partes se identifican o zonifican para establecer el procedimiento correcto que se debe llevar a cabo.

En el caso de la grúa barcaza “Smith Rice” las zonas que se observó con mayor corrosión fueron marcadas dando lugar al proceso de zonificación. Cabe destacar la presencia de corrosión es mayor en la zona del penol y en menor grado en las zonas: gozne, primer cuerpo y segundo cuerpo.

²⁷ Norma ASME B30.8 sección 8-2.1

ZONIFICACIÓN

La marcación de zonas críticas, dadas en su totalidad por la corrosión, son marcadas en todo el castillo de izaje con pintura acrílica normal, para la posterior medición de espesores, basados en la inspección visual de las zonas.



Figura 3.2: Zonificación, zona primer cuerpo.



Figura 3.3: Zonificación, zona segundo cuerpo.



Figura 3.4: Zonificación, zona segundo cuerpo, penol

INSPECCIONES REGULARES

Los procedimientos de Inspección para grúas en servicio regular son divididos en dos clasificaciones generales basadas en los intervalos en que estas deberían ser realizadas. Estos intervalos serán dependientes de la naturaleza del componente crítico de la grúa y el grado de exposición que tenga así como su deterioro o mal funcionamiento. Las dos clasificaciones generales son *frecuentes* y *periódicas*, con sus respectivos intervalos las cuales se encuentran definidas de la siguiente manera:

Inspección Frecuente. Intervalos diarios o mensuales.

Inspección Periódica. Intervalos de 1 a 12 meses, o un intervalo específico recomendado por el fabricante.

INSPECCIÓN DE CABLES DE ACERO²⁸

Siendo el sistema de izaje una parte importante del sistema estructural de una grúa este sistema fue evaluado con el propósito de establecer el estado en que este se encuentra. El tipo de inspecciones que se realizan en los cables de acero se encuentra clasificado de la siguiente manera:

- Inspecciones Frecuentes.
- Inspecciones Periódicas.

²⁸ www.intepev.pdv.com

Inspecciones frecuentes

Deben realizarse visualmente a las secciones más importantes o críticas del cable, al menos una vez durante cada jornada de trabajo, con el objeto de identificar daños mayores o evidentes, tales como alambres o cordones fracturados, corrosión general y/o distorsión de algunos de sus componentes.

Inspecciones periódicas

Deben realizarse a la longitud completa del cable, visualmente o mediante técnicas de ensayos no destructivos, en períodos que varían dependiendo de su tiempo de vida, el cual puede ser estimado por la experiencia en el comportamiento de cables sometidos a condiciones operacionales y de servicio similares, cargas de trabajo promedio, cargas de impacto y otros factores. La frecuencia de inspección periódica en un mismo cable, no necesariamente debe ser constante, ya que la misma puede aumentarse a medida que el tiempo en servicio del cable se aproxima a su tiempo de vida útil. Dicha frecuencia nunca debe ser mayor a un año.

Aspectos Generales

Todo cable de acero en servicio debe ser observado constantemente durante su operación para verificar su comportamiento. Una inspección visual de todos los cables en uso debe ser realizada como se ha indicado anteriormente y conservar en los archivos un informe indicando sus condiciones.

Adicionalmente, todo cable de acero que haya estado fuera de servicio por un periodo mayor o igual a un mes, debe ser inspeccionado en forma detallada antes de ponerlo en servicio.

Criterios de Inspección de los cables de acero

Alambres fracturados (ver Fig. 3.5): se debe determinar la existencia de alambres, rotos o fracturados en el cable de acero, cuya cantidad no debe ser mayor a la especificada en la tabla 3.1, dependiendo del tipo de equipo y si el cable está en movimiento (sistemas de izamiento) o es estático (eslingas tensoras).

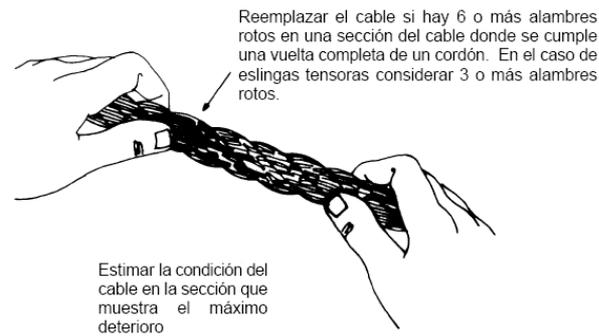


Figura 3.5: Criterio para el reemplazo de cables de acero debido alambres fracturados

Tabla 3.1.- Reemplazo de cables de acero basado en la cantidad de alambres rotos y en el equipo que es utilizado el cable.

ANSI N°	Equipo	Número de alambres rotos en cables en movimiento		Número de alambres rotos en cables estáticos	
		En una sección del cable donde se cumple una vuelta completa de un cordón	En el mismo cordón	En una sección del cable donde se cumple una vuelta completa de un cordón	En el extremo de un terminal
B30.2	Grúas tipo pórtico	12	4	no especificado	no especificado
B30.4	Grúas tipo torre	6	3	3	2
B30.5	Grúas móviles	6	3	3	2
B30.6	Cabrias o cabrestantes	6	3	3	2
B30.7	Equipos con tambores montados en base o pedestal	6	3	3	2
B30.8	Grúas y cabrias sobre unidades flotantes	6	3	3	2
A10.4	Equipos para levantamiento de personal	6	3	2	2

Alambres fracturados en valles entre cordones (ver Fig. 3.6): en cables de acero en movimiento, es factible encontrar alambres rotos en los espacios libres o valles entre cordones, lo cual es indicativo de un deterioro anormal del cable debido posiblemente a fatiga o fractura de otros alambres no fácilmente visibles. La presencia de más de uno de estos alambres fracturados en los valles entre

cordones en una sección del cable donde se cumple una vuelta completa de un cordón, es motivo de reemplazo del cable.

Desgaste: determinar la presencia de puntos brillantes en los alambres exteriores del cable, lo cual es característico de un aplanamiento debido al desgaste mecánico que sufren los mismos al entrar en contacto con las poleas y tambores. Si este desgaste en los alambres es mayor a 1/3 de su diámetro nominal, el cable debe ser reemplazado.

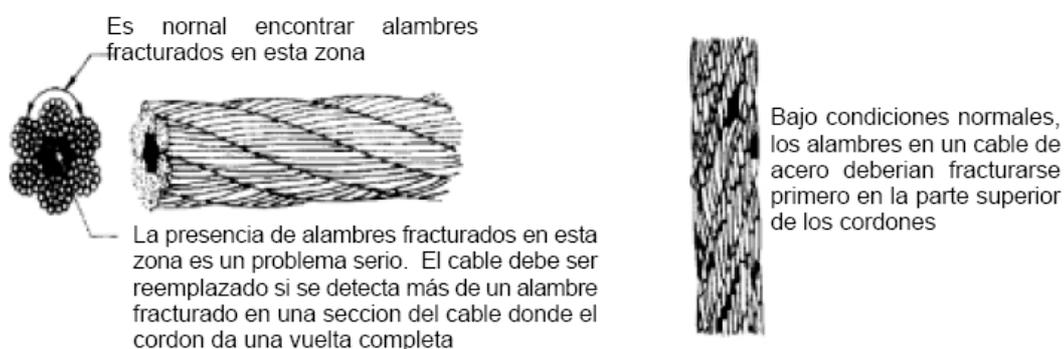


Figura 3.6.- Fractura de alambres interiores en cables de acero

Reducción del diámetro del cable: Una reducción significativa en el diámetro del cable de acero representa un daño crítico del mismo. Ello puede ocurrir debido al excesivo desgaste de los alambres exteriores, pérdida de la resistencia o sustentación del alma, corrosión interna o externa del cable y/o falla en los alambres interiores.

Tabla 3.2.- Recomendación de ASME B30.8 para reducción máxima del diámetro nominal

Diámetro de Cable	Reducción máxima permitida del diámetro nominal
Bajo 5/16 in. (8mm)	1/64 in. (0.4mm)
Desde 5/16 Hasta 1/2 in. (13mm)	1/32 in. (0.8mm)
Desde 1/2 in. Hasta 3/4 in. (19mm)	3/64 in. (1.2mm)
Desde 3/4 in. Hasta 1 1/8 in. (29mm)	1/16 in. (1.6mm)
Desde 1 1/8 in. Hasta 1 1/2 in. (38mm)	3/32 in. (24mm)

Elongación del cable: La elongación o estiramiento del cable de acero durante su vida en servicio puede estar dividida en tres fases diferentes:

La primera consiste en la elongación inicial al entrar el cable en servicio, originada por una compactación o ajuste de los alambres y cordones del cable; la segunda consiste en una elongación muy leve en un período de tiempo largo, generalmente toda la vida del cable, originada por los daños que sufre el mismo por desgaste, fatiga, etc., y la tercera, consiste en una elongación que se incrementa a una velocidad acelerada originada como resultado de daños prolongados y progresivos de desgaste abrasivo, fatiga, etc.

Corrosión: La mayoría de los alambres en el cable pueden ser afectados por la corrosión, la cual no es fácilmente evaluable con una inspección visual, debido a que la misma frecuentemente se desarrolla en el interior del cable antes de que alguna evidencia se haga visible en la superficie del mismo. Si la corrosión en el cable es detectada por la decoloración característica de los alambres o por la presencia de picaduras, el mismo debe ser reemplazado.

Falta de lubricación: Debe verificarse si la lubricación del cable es suficiente. Generalmente, la lubricación de los alambres interiores del cable con alma de fibra se logra con la saturación del alma.

Distorsión del alma: Distorsión permanente del cable en la cual el alma tiende a empujar los cordones. Se produce como resultado de un desequilibrio torsional debido a cargas repentinas violentas. El cable debe ser reemplazado.

Empalmes inadecuados o dañados: Todos los empalmes deben ser cuidadosamente examinados para detectar la presencia de alambres fracturados o con desgaste, cordones apretados o atascados, cordones flojos, componentes agrietados, corrosión y/o pérdida del recubrimiento. Si alguna de estas condiciones es detectada, la sección del cable próxima al empalme debe ser removida y un nuevo empalme debe ser realizado.

Daños por distorsión y aplastamiento en los cordones: pueden originarse por una mala selección del cable, mal enrollado o enrollado de múltiples capas de cable

en el tambor o una mala operación del equipo. Los cables que presentan estos daños deben ser reemplazados.

Daños por calor, llama de antorcha o corto circuito por arco eléctrico: se identifican por una decoloración del metal de los alambres y una aparente pérdida de la lubricación. En el caso de cables con almas de fibra, las temperaturas elevadas son muy perjudiciales. Bajo estas circunstancias, el cable debe ser reemplazado o la sección con daño removida.

Daños en cordones internos: para cables conformados por varias capas de cordones, se deben abrir los cordones externos, para detectar la presencia de daños por corrosión y alambres fracturados en los cordones internos. La existencia de estos daños es causa de rechazo del cable.

Tensión en el cable: verificar la tensión en la sección principal del cable de acero, esto permite comprobar si el cable de acero fue bien seleccionado al determinar el factor de seguridad utilizado y/o verificar el correcto número de poleas en el bloque.

INSPECCIÓN DE CABLES EN LA GRÚA BARCAZA “SMITH RICE”.

Tomando en cuenta la teoría de inspección de cables en sistemas estructurales detallada anteriormente, los procedimientos que se llevaron a cabo para conocer el estado en el que se encuentran los cables que conforman el sistema de izaje de la grúa barcaza “Smith Rice” se presentan en la tabla 3.3.

Las inspecciones periódicas a los cables que conforman el sistema de izaje de la grúa realizadas por personal de Petroecuador encargados del mantenimiento de la grúa, estimaban el buen estado de los cables, ya que se había cumplido de manera correcta con el programa de mantenimiento preventivo de la grúa. Por lo que luego de revisar estos informes y hacer una inspección visual en forma conjunta con el personal de mantenimiento se confirmó el buen estado de estos, siendo innecesario el cambio de ninguno de los cables que conforman el sistema de izaje.

Tabla 3.3- Inspecciones de cables realizadas en la grúa barcaza “Smith Rice”

Tarea	Si	No	Observaciones
Inspección Visual	X		Ninguno de los cables presento fracturas mayores a lo exigido por la norma ASME B30.8 sección 8-2.4.3
Reducción de diámetro nominal	X		Ninguno de los cables tiene una disminución de diámetro mayor a 1.6mm exigido para cables de diámetro nominal de 1 in.
Corrosión	X		No se encontró la presencia de corrosión en los cables
Lubricación	X		Correcta lubricación de cables
Distorsión del alma	X		No existen cargas repentinas violentas por lo que no se detectó distorsión del alma.
Empalmes dañados		X	
Tensión del cable	X		

INSPECCIONES ESPECIALES O DIRIGIDAS

Estas evaluaciones generales o parciales son realizadas en los elementos mediante la aplicación de técnicas de ensayos no destructivos por personal técnico calificado a objeto de verificar la confiabilidad de los mismos en un momento determinado.

Los tipos de ensayos no destructivos que se realizan son los siguientes:

- Inspección por partículas magnéticas
- Inspección por Tintas penetrantes
- Termografía
- Inspección por emisión acústica
- Inspección por ultrasonido

Para el caso de la grúa se realizaron ensayos no destructivos en sus respectivos componentes, el procedimiento que se utilizó fue el de ultrasonido industrial en las piezas con corrosión, este procedimiento fue realizado por personal calificado de Petroecuador.

Ultrasonido industrial²⁹

El método del ultrasonido en la ingeniería es utilizado para el ensayo de los materiales, es una técnica de ensayo no destructivo (END) y tiene diversas aplicaciones, en especial para conocer el interior de un material o sus componentes según la trayectoria de la propagación de las ondas sonoras, al

²⁹ www.scielo.org.pe/css/scielo2.css

procesar las señales de las ondas sonoras se conoce el comportamiento de las mismas durante su propagación en el interior de la pieza y que dependen de las discontinuidades del material examinado, lo que permite evaluar aquella discontinuidad acerca de su forma, tamaño, orientación, debido que la discontinuidad opone resistencia (conocida como impedancia acústica) al paso de una onda. Las ondas pueden ser sónicas comprendidas en el intervalo de frecuencias entre 20 y 500 kHz y las ultrasónicas con frecuencias superiores a 500 kHz.

En el método ultrasónico se utilizan instrumentos que transmiten ondas con ciertos intervalos de frecuencia y se aplican para detectar defectos como poros, fisuras, también para conocer las propiedades básicas de los líquidos y sólidos como la composición, estructura.

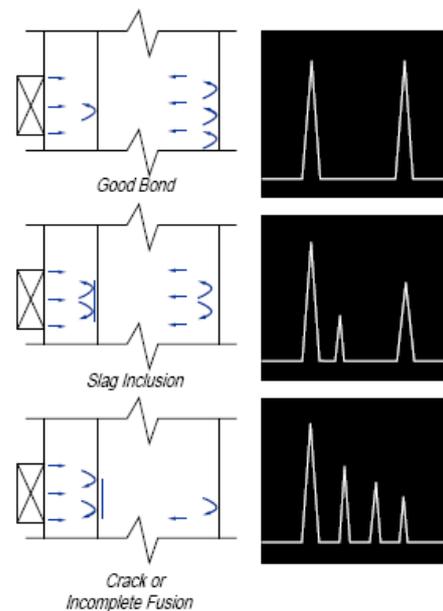


Figura 3.7.- Variaciones en las propiedades del material por UT.

El análisis de los materiales mediante ultrasonido se basa en el principio físico: El movimiento de una onda acústica, sabido es que la onda acústica es afectada por el medio a través del cual viaja y se distinguen los siguientes tipos: onda longitudinal, transversal y superficial (Rayleigh), debido a ello ocurren los cambios asociados con el paso de una onda sonora de alta frecuencia a través de un material en uno o más de los cuatro parámetros siguientes: tiempo de tránsito, atenuación, reflexión y frecuencia. Estos parámetros a menudo pueden estar

correlacionados con los cambios de las propiedades físicas, dureza, módulo de elasticidad, densidad, homogeneidad, estructura y grano del material.

Para el caso de la grúa se utilizó el proceso de ultrasonido para determinar los espesores de los diferentes perfiles y demás componentes de la grúa.

Para el caso de la grúa barcaza “Smith Rice” se han encontrado las disminuciones de espesores detallados en las tablas 3.8 – 3.11.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El resultado de la aplicación de cargas en estructuras, producen fuerzas y deformaciones, el estudio de las mismas, se denomina cálculo estructural. El análisis estructural implica el arreglo y las dimensiones de las estructuras y sus partes, de tal manera que las mismas soporten las cargas. Para la repotenciación es necesario el análisis estructural de los elementos para determinar aquellos que están sometidos a mayores esfuerzos.

ESFUERZOS EN EL PRIMERO Y SEGUNDO CUERPO

En el caso del sistema de izaje principal con una carga de 30Tn, para el primero y segundo cuerpo se realizará análisis de estabilidad, ya que las fuerzas predominantes en estos cuerpos son fuerzas axiales por lo que para el cálculo estructural de estos cuerpos se los realizara suponiendo que se tratan de una armadura tridimensional.

Una armadura es un ensamble triangular que distribuye cargas a lo soportes por medio de una combinación de miembros conectados por juntas articuladas, configurados en triángulos, de manera *que idealmente todos se encuentren trabajando en compresión o en tensión pura y que todas las fuerzas de empuje se resuelvan internamente*. En la práctica, algunos esfuerzos de flexión pueden ocurrir como resultado de la fricción de las juntas y de las cargas distribuidas aplicadas a los miembros entre las juntas; *generalmente, estos esfuerzos son menores comparados con las fuerzas axiales y, por lo común, se ignoran para propósitos analíticos*. Las Armaduras planas o cerchas se utilizan para soportar

cargas elevadas y cubrir grandes luces y son usadas en cubiertas de techos, puentes, grúas, torres, etc.³⁰

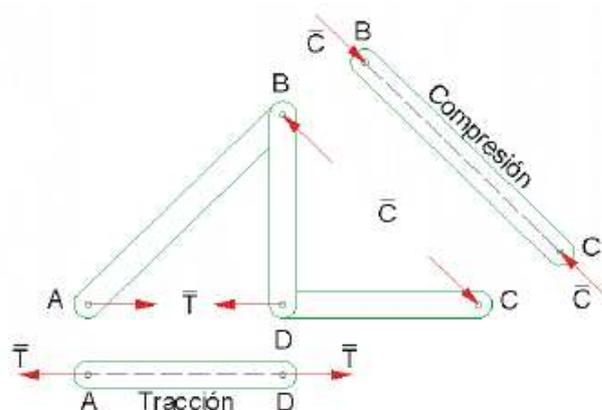


Figura 3.8.- Distribución de fuerzas en una armadura

Para el análisis de las armaduras se parte de varias hipótesis de trabajo, que aunque no se presentan exactamente como se asumen, permiten simplificar los cálculos y dar resultados lo más cercanos posibles a la realidad.

1. Las barras de la armadura están unidas mediante pasadores lisos colocados en sus extremos.
2. Para el caso de armaduras tridimensionales se asume uniones articuladas de rótula.
3. Las cargas y reacciones actúan en los nodos.

El análisis de una armadura se hace con el fin de determinar los esfuerzos que actúan sobre las barras, con los cuales se calculan las dimensiones que tendrán sus secciones transversales, para lo cual se ha utilizado el software de análisis estructural SAP2000. En el caso de no contar con este programa, el cálculo de fuerzas se lo realiza por el método de los nudos o de las secciones.

ESPECIFICACIONES PARA MIEMBROS A TRACCIÓN³¹

Los miembros en tracción son “desde el punto de vista del aprovechamiento de las secciones de acero” altamente eficaces por estar exentos de los problemas de pandeo.

³⁰ Autor del artículo: Fuller Moore, Compresión de las estructuras en la arquitectura

³¹ Manual de aplicación de ángulos de acero laminados en caliente. (Aceros Arequipa) 1º Edición Pág. 49

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

$$\sigma \leq [\sigma]_{admisible} \quad (3.2)$$

Criterios de cálculo

El procedimiento de cálculo de ángulos como miembros en tracción consiste esencialmente en seleccionar el área mínima necesaria para resistir las cargas y verificar que la sección escogida cumpla con este requerimiento.

ESPECIFICACIONES PARA MIEMBROS EN COMPRESIÓN³²

Los ángulos estructurales empleados como miembros en vigas de celosía que suministran soporte lateral a vigas y columnas son algunos ejemplos de miembros solicitados por fuerzas de compresión.

Criterios de cálculo

El fenómeno de compresión se define como uno totalmente desestabilizante, la forma originaria de la estructura deja de ser estable, es decir que por cualquier causa (por pequeña que esta sea) la estructura pierde completamente su forma original, destruyéndose. Es por esto que los elementos a compresión son los más críticos y resultan de un análisis de estabilidad.

ESTABILIDAD³³

Es necesario destacar que el fenómeno de la pérdida de estabilidad se manifiesta de la forma más clara en las estructuras ligeras de paredes delgadas: en las cáscaras comprimidas y en las paredes delgadas. Tal vez los más comunes son las columnas largas esbeltas trabajando a la compresión. Los ejemplos incluyen columnas en edificios, miembros de celosías estructurales a la compresión (como en puentes).

En el caso de barras esbeltas, se debe tener en cuenta que si la fuerza aplicada sobre una barra "perfecta" sigue la dirección exacta del lugar geométrico de los

³² Manual de aplicación de ángulos de acero laminados en caliente. (Aceros Arequipa) 1º Edición Pág. 55

³³ Pandeo elástico de barras, Facultad de ingeniería de la universidad nacional de La Plata.

centros de gravedad de la sección no se producirá el pandeo. Pero en las condiciones reales en que actúa el sistema pueden existir una o más de las siguientes causas que determina el pandeo, como por ejemplo:

- Irregularidades en la forma.
- Irregularidades en la estructura.
- Excentricidad de la carga respecto al centroide geométrico.
- Pequeña flexión del eje.

En el caso de barras esbeltas sometidas a fuerzas axiales de compresión, éstas corresponden al caso general tratado por Leonard Euler sobre la estabilidad elástica, donde:

Un diagrama típico tensión-deformación a la compresión para una probeta en la que se impide el pandeo se puede representar como en la Figura 3.11. En el intervalo de tensiones desde O hasta A el material se comporta elásticamente. Si la tensión en una columna en pandeo no excede de este intervalo la columna pandeará elásticamente.

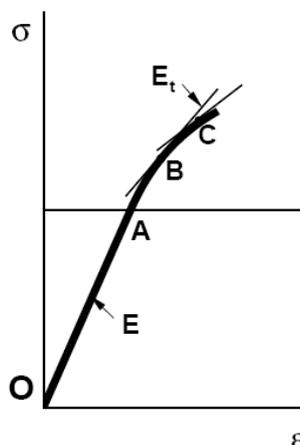


Figura 3.9.- Diagrama esfuerzo – deformación

La hipérbola correspondiente a la ecuación que gobierna el pandeo de elementos, es aplicable en este caso. Esta porción de la curva se indica como ST en la Fig. 3.10. La hipérbola que corresponde a la región situada más allá del intervalo útil se indica en la figura por medio de una línea punteada.

$$\sigma_c = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} \quad (3.3)$$

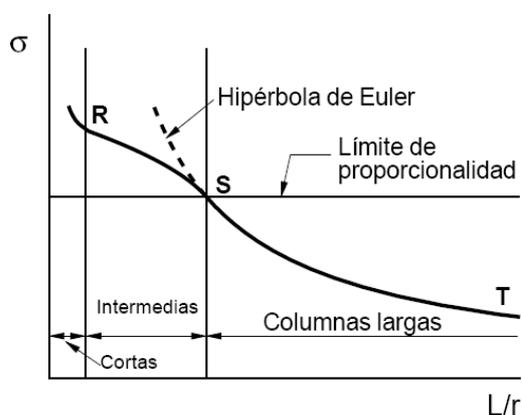


Figura 3.10.- Curva Esfuerzo – Relación de esbeltez

Una columna con una relación L/r correspondiente al punto S de la Figura 3.10 será la columna de más corta longitud hecha de material y tamaño dados, que se pandeará elásticamente. Una columna más corta, con una relación L/r aún menor, no se pandeará en el límite de proporcionalidad del material.

Las columnas que se pandean elásticamente se denominan a veces columnas largas. Las columnas con bajas relaciones L/r no presentan esencialmente fenómenos de pandeo y reciben el nombre de columnas cortas. Con bajos valores de L/r , los materiales dúctiles “se aplastan” y pueden soportar cargas muy grandes.

De acuerdo con este procedimiento en la Figura 3.11 se grafica para fines de comparación, la tensión crítica σ_c en función de la relación de esbeltez para columnas de extremos empotrados y articulados. Para valores de L/r menores se obtienen progresivamente menos ventajas por la restricción al giro en los extremos. Con bajas relaciones L/r , las gráficas se confunden. Para valores altos de L/r se observa una gran variación en las curvas.

Para el caso de los diferentes tipos de apoyos existentes, la AISC especifica los valores de K , para cada uno de estos, presentados en la tabla 3.6.

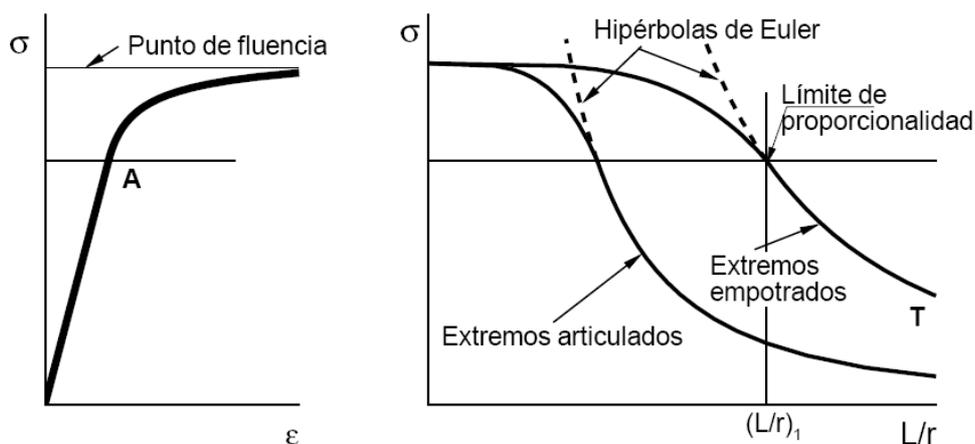


Figura 3.11.- Curvas comparativas del efecto de los apoyos.

$$\sigma_p = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} \tag{3.4}$$

$$\lambda = \frac{kl}{r_{\min}} \tag{3.5}$$

Tabla 3.4- Valores de K, AISC tabla C-C2.1³⁴

La deformación de la columna es mostrada con línea punteada.	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Tipo de Union	<ul style="list-style-type: none"> Rotación y Traslación restringida Rotación libre Traslación restringida Rotación restringida Traslación libre Rotación y Traslación libre 					

³⁴ Tablas AISC C-C 2.1

ESFUERZOS EN EL PENOL

Con una carga de 12Tn. en el sistema de izaje secundario, el análisis que se realizará en la zona del penol comprenderá un análisis de esfuerzos de compresión y flexión ya que éstos presentan valores considerables.

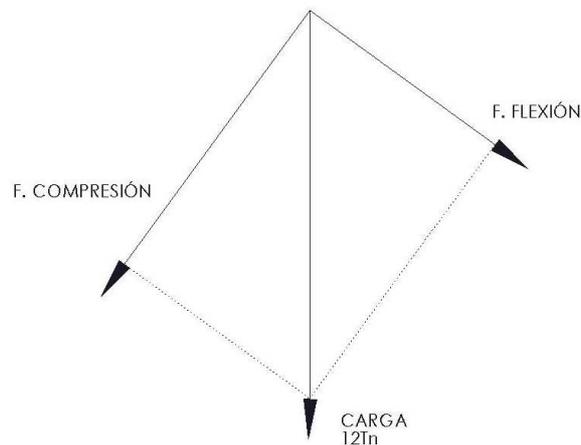


Figura 3.12.- Fuerzas actuantes en la zona del penol.

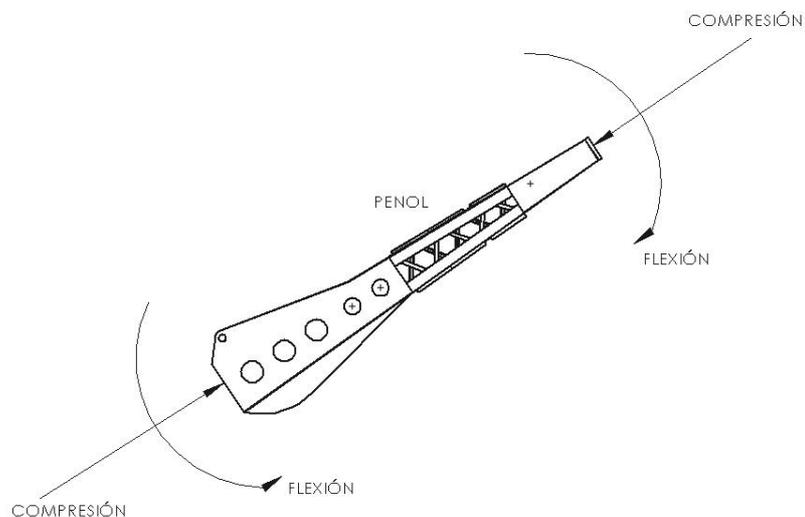


Figura 3.13.- Gráfico de fuerzas en el penol.

Criterios de cálculo³⁵

La mayor parte de las vigas presentan fuerzas cortantes y momentos flexionantes. Solo en ocasiones se presentan vigas sujetas a una flexión pura; es decir, vigas con fuerza cortante igual a cero. No obstante, la fórmula deflexión se desarrollo

³⁵ SHIGLEY JOSEPH, Diseño en Ingeniería Mecánica, Sexta Edición, Pagina 119

empleando la suposición de flexión pura. De hecho, la razón para suponer flexión pura es simplemente propósitos de ingeniería, la fórmula de la flexión es la válida, sin importar si una fuerza cortante está presente o ausente. Por ésta razón, se utilizará la misma distribución normal del esfuerzo flexionante cuando también haya fuerzas cortantes.

Procedimiento de cálculo

Para el cálculo de los elementos de la zona del penol se tomo en cuenta las fuerzas provocadas de flexión y las fuerzas de compresión en los elementos.

Para el caso de la compresión se calculo el esfuerzo provocadas por estas con la fórmula:

$$\sigma(c) = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

Para el caso de la flexión se tomo el valor del momento provocada por esta y con la sección correspondiente a este momento se utilizo la siguiente fórmula para el cálculo del esfuerzo:

$$\sigma(f) = \frac{Mc}{I} \quad (3.7)$$

Siendo:

c = distancia al centro de gravedad de la sección

I = inercia de la sección correspondiente al momento M

En la siguiente tabla se muestra los valores de los esfuerzos de compresión y flexión a los diferentes ángulos de operación de la grúa, así como los valores de los índices de seguridad para cada uno de estos ángulos.

Tabla 3.5.- Esfuerzos de flexión y compresión en el penol

Angulo (grados)	Px (C) Tn	Py (T) Tn	M máx Tn -m	$\sigma(c)$ Kg/cm ²	$\sigma(f)$ Kg/cm ²	$\sigma(c) + \sigma(f)$ Kg/cm ²	I
0	0	12	73,16	0	919,64	919,64	0,363
10	2,08	11,82	72,05	4,90	905,69	910,58	0,360
20	4,10	11,28	68,75	9,65	864,20	873,85	0,345
30	6,00	10,39	63,36	14,10	796,45	810,55	0,320
40	7,71	9,19	56,05	18,13	704,56	722,69	0,286
50	9,19	7,71	47,03	21,61	591,18	612,79	0,242
60	10,39	6,00	35,58	24,43	447,25	471,68	0,186
70	11,28	4,10	25,02	26,51	314,51	341,01	0,135
80	11,82	2,08	12,7	27,78	159,64	187,42	0,074

De aquí se concluye que para la zona del penol la posición más crítica es la de 0 grados debido a la flexión, además se determina que conforme aumenta el grado de elevación de la grúa los esfuerzos de compresión aumentan sin embargo sus valores no son significativos para realizar un cálculo de estabilidad de los elementos en esta zona.

DETERMINACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

Para determinar el estado actual de la grúa es importante identificar las zonas y elementos críticos de los cuales se distinguen dos clases. La primera, son zonas o elementos deteriorados de la estructura que se determina por medio de END (Ensayos no destructivos) en los que se encuentra perdida de espesores en los elementos estructurales. La segunda, zonas y elementos estructuralmente críticos, que se encuentran mediante el cálculo estructural para distinguir los elementos y zonas más importantes y vitales para el funcionamiento de la estructura.

ELEMENTOS ESTRUCTURALES DETERIORADOS

Los resultados obtenidos luego del proceso de ultrasonido industrial muestran la disminución de espesores que los diferentes componentes de la grúa han sufrido debido a la corrosión, estos datos se presentan en las tablas 3.8 – 3.11

ELEMENTOS ESTRUCTURALES CRÍTICOS.

Los elementos catalogados como críticos son aquellos elementos que mantienen a la estructura estable, y la falla de cualquiera de estos elementos provoquen el colapso de todo el sistema estructural, y estos son:

- Elementos estructurales principales de la pluma.
- Los elementos de la sección de conexión de los componentes de la pluma.
- Los pines de pivote de la pluma (ejes pivotes).
- Los miembros que transfieren la carga a la estructura que rota. (Puente, poleas, ejes, cables).

Las tablas siguientes muestran la disminución de espesores en los elementos donde:

I: Inferior V: vertical S: Superior H: Horizontal EN: Espesor nominal

Tabla 3.6- Elementos con disminución de espesores zona Gozne

GOZNE																	
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA											
G4	Gozne	Exterior	Estribor	Placa	1000	978	966	981	969								
						905	906	900	937								
						943	907	794	982								
						1003	846	878	906								
						957	961	990	955								
																	Pérdida de 280 milésimas en un área de 10x10 cm
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA											
G5	Gozne	Interior	Estribor	Placa	375	826	782	753	686	724	800	816	816	747	996	984	
						673	682	598	756	711	751	746	792	777	996	997	
						796	794	590	668	715	768	704	768	741		985	
						750		702	710	780	680	802	760	747			
								677	803	804	735	796	784	775		957	
								791	846		759	759	790				
								832			788		806		796	920	
															857		
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA											
G8	Gozne	Superior	Estribor	Angulo	375	326	314	316	315	317	313	330	329	314	320	324	
						326	314	317	322	314	330	326	340	314	314	314	
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA											
G10	Gozne	Inferior	Estribor	Angulo	375	317	324	320	316	332	316	318	316	315	314	314	
						320	322	315	319	320	315	315	316	315	312	320	

GOZNE

GOZNE																
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA										
G1	Gozne	Exterior	Babor	Placa	1000	970	940	966	893	897	887	928	997		989	
						910	900	890	851	854	884	889	987		987	985
						889	829	853	802	808	825	979	989	988		985
						918	890	820	788	801	814	972	996	991		980
						942	938	844	894	815	771	929	986	898		995
						964		920	954	911	785	958	998			988
						1003					826	979	987		986	997
						986					843	975			989	995
											893	984				
											945					
											900					
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA										
G2	Gozne	Interior	Babor	Placa	1000	968	956	936	885	774	720	689	710	976	991	979
						967	789	822	790	838	738	666	635	991	936	980
						929	819	838	742	772	690	674	698	990		
						912	762	830	712	704	662	681	707	979		985
						837	820	808	808	640	771	723	760	985		960
						851		871	777	740	771	776				
						895									988	981
															953	
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA										
G7	Gozne	Superior	Babor	Angulo	375	324	320	315	317	318						
						324	320	330	313	324						
						318		316	323	316						
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILESIMAS DE PULGADA										
G9	Gozne	Inferior	Babor	Angulo	375	314	316	326	318	340	325	316				
						316	320	316	318	314	316	318				
						314	320	320	315	320	125	320				

Tabla 3.7- Elementos con disminución de espesores zona Primer Cuerpo

PRIMER CUERPO															
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILÉSIMAS DE PULGADA							ÁREA	MEDIDAS estructura	OBSERVACIONES
C6	Angulo principal	IH	Estribor	Continuación del Gozne	375	378	376	301	341	271	297	378	10x10	15x15	
C5	Angulo principal	IH	Babor	continuación del Gozne	375	378	358	335	354	338	350	348	5x5	15x15	
C5	Angulo principal	IH	Babor	continuación del Gozne	375	375	397	373	308	290	295	298	5x5	15x15	
C87	Retícula		Posterior	ángulo transversal de babor-estribor	250	239	216	229	235	235	235	230	5x6	7X7	
C88	Retícula		Posterior	ángulo transversal de babor-estribor	250	239	216	229	235	235	235	230	5x6	7X7	
C5	Angulo principal	IH	Babor	continuación del Gozne	375	375	345	343	376	382	347	347	10x10	15x15	
C6	Ángulo principal	IH	Estribor	unión con retícula 1	375	285	342	331	327	381	253	250	12x12	15x15	
						375	308	384	380	384	382	253			
						300	271	269	253						
C5	Ángulo Principal	IV	Babor	unión con retícula 1	375	375	342	358	328	342	350	327	10x10	15x15	
C5	Ángulo principal	IH	Babor	Entre reticula C67 y C65	375	375	362	370	370	357	360	350	5x5	15x15	
C5	Ángulo principal	IV	Babor	Entre reticula C53 y C51	375	308	306	318	283	271	296	301	5x5	15x15	
C5	Ángulo principal	IV	Babor	Refuerzo de la retícula C73	375	375	338	384	386	348	350	352	20x10		
D61	Placa de unión		Babor	Sección de unión de los 2 cuerpos	375	379	382	381	380	380	380	380	20x20		
C2	Retícula		frontal	Sección de unión de los 2 cuerpos	375	383	387	387	393	380	386	380	5x15	15x15	
C5	Ángulo principal	IH	Babor	Sector entre retícula C43 y C41	375	381	334	335					6x6	15x15	
C5	Ángulo principal	IV	Babor	Unión con retícula C39	375	281	282	338	284	288	256	257	4X4	15x15	
C5	Ángulo principal	IV	Babor	Sector entre retícula C53 y C51	375	363	370	369	347	350	353	342	7x10	15x15	
C5	Angulo principal	IV	Babor	Sector entre retícula C47 y C49	375	271	349	367	293	247	259	264	10x10	15x15	
C5	Angulo principal	IH	Babor	Unión con retícula C61 sector de refuerzo	375	385	381	382	384	381	387	387	10x10		
D62	Placa de unión		Estribor	unión primer con segundo cuerpo	379	379	380	381					30x30		
C1	Retícula		Central	unión primer con segundo cuerpo	375	385	382	387	393				15x5	7X7	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	Sector entre retícula C58 y C56	375	338	340	365	288	326	338	340	10x10	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	Unión con retícula C56	375	384	381	377					7x7	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	Sector entre retícula C46 y C44	375	375	327	329	320	332	345	323	5x5	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	Unión con retícula C44	375	271	284	290	298	273	233	233	5x5	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	unión con retícula C46	375	243	234	258	290	352	290	258	5x5	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	Sector entre retícula C46 y C44	375	296	337	335	273	264	277	264	5x5	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	unión con retícula C44	375	249	247	266	261	290	310	375	15x5	15x15	
C6	Angulo principal	IV	Estribor	unión con retícula C44	375	375	341	382	254	383	230	338	67x15	15x15	
						375	326	310	242	323	250	350			
						273	290	245	315	343	348	348			
C6	Angulo principal	IV	Estribor	unión con retícula C42	375	350	253	233	232	275	271	315	12x8	15x15	
C6	Angulo principal	IH	Estribor	Sector entre retícula C40 y C42	375	372	370	255	308	321	247	250	35x15	15x15	

PRIMER CUERPO															
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILÉSIMAS DE PULGADA							EA inspeccion	MEDIDAS estructura	OBSERVACIONES
C6	Angulo principal	IV	Estribor	Sector entre retícula C40 y C42	375	247	251	395	247	240	240	375	10x10	15x15	
C98	Reticula	central	Estribor	Reticulas de unión entre los dos cuerpos	250	237	237	195	206	229	195	199	30x30		corrosión total
				existen triángulos de refuerzo	250	104	258	95	245	248	248	188			
					250	110	185	177	205	226	191	227			
C95	Reticula	central	Babor	Reticulas de unión entre los dos cuerpos	250	127	187	150	124	208	213	210	20x20		corrosión total
				existen triángulos de refuerzo	250	135	197	197	199	205	168	247			

Tabla 3.8- Elementos con disminución de espesores zona Segundo Cuerpo

SEGUNDO CUERPO															
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILÉSIMAS DE PULGADA							ÁREA	MEDIDAS estructura	OBSERVACIONES
D6	Angulo principal	IH	Babor	Entre retícula D33 y D35 (sector con refuerzo al angulo original)	250	263	247	243	257	257	255	251	8x8	15x15	
D35	Reticula lateral		Babor		250	171	180	210	236	152	152	151	5x5	6x6	
D35	Reticula lateral		Babor		250	180	171	193	186	210	220	210	10x6	6x6	
D35	Reticula lateral		Babor	Unión con angulo D6	250	175	186	215	230	192	194	190	6x6	6x6	deteriorada
D43	Reticula lateral		Babor	Unión con angulo D6	250	149	118	159	117	119	113	115	5x5	6x6	deteriorada
D45	Reticula lateral		Babor	Unión con angulo D6	250	153	159	165	179	185	180	180	5x5	6x5	deteriorada
D36	Reticula lateral		Estribor	Unión con ángulo D4	250	177	179	181	186	176	191	180	6x6	6x6	
D36	Reticula lateral		Estribor	Unión con ángulo D4	250	190	187	180	192	203	191	219	6x6	6x6	
D39	Reticula lateral		Estribor	Unión con ángulo D4	250	149	162	180	210	145	140	142	6x6	6x6	
					250	181	202	145	136	109	108	108	6x6	6x6	
D4	Angulo lateral	IH	Estribor	Entre retícula D40 y D42	375	321	318	298	316	343	326	317	4x4	15x15	
D4	Angulo lateral	IV	Estribor	entre retícula D36 y D38	375	230	235	349	200	229	223	220	5x5	15x15	
D42	Reticula lateral		Estribor	Unión con ángulo D4	250	247	216	215	214	210	209	212	5x5	6x6	
D40	Reticula lateral		Estribor	unión con ángulo D5	250	247	246	219	227	242	246	149	5x5	6x6	
D11	Reticula posterior		Posterior		250	166	192	205					5x5	6x6	
D11	Reticula posterior		Posterior		250	247	201	208	196				5x5	6x6	
D11	Reticula posterior		Posterior		250	186	183	192	207				3x3	6x6	
D4	Angulo lateral	IV	Estribor		375	370	299	285	249	250	256	276	10x3	6x6	
D1	Reticula posterior		Posterior	entre retículas D60 y D59 de babor y estribor	375	209	215	186	190	195	204	208	3x8	15x15	
D1	Reticula posterior		Posterior	entre retículas D60 y D59 de babor y estribor	250	174	163	163	169	168	142	142	3x3	15x15	
D5	Angulo lateral	SV	Estribor	entre retículas D38 y D40 de estribor	375	332	334	235	233	233	241	240	3x3	15x15	
D5	Angulo lateral	SV	Estribor	entre retículas D38 y D40 de estribor	375	253	250	254	255	262	265	260	4x4	15x15	
D5	Angulo lateral	SV	Estribor	entre retículas D38 y D40 de estribor	375	180	250	245	240	260	250	260	3x3	15x15	
D5	Angulo lateral	SV	Estribor		375	288	254	229	204	193	173	170	10x30	15x15	
D5	Angulo lateral	SV	Estribor	sector de refuerzo de pernos	375	177	209	194	210	190	177	177	15x15	15x15	

Tabla 3.9- Elementos con disminución de espesores zona Penol

PENOL															
N-	ELEMENTO	POSC	REFERENCIA	SECTOR INSPECCIONADO	E.N	MEDIDAS DE ESPESORES EN MILÉSIMAS DE PULGADA							ÁREA	MEDIDAS estructura	OBSERVACIONES
E8	Angulo lateral	IV	Babor	sector donde se encuentra polea	375	365	319	360					1mtx015		
					375	367	369	360							
					375	264	256	356							
E8	angulo lateral	IH	Babor	Punta del penol	375	193	198	201	344						
					375	310	193								
E8	Angulo Lateral	IH	Babor	Punta del penol	375	376	376	370							
E12	Angulo lateral	IV	Babor	Sector entre reticula E30 al E21	375	368	362	365	369	364	367		2mtx015		
					375	265	177	363	363	362	236				
E8	Angulo Lateral	IV	Babor	Panol	250	362	345	338	271	346	358		3mtx015		
					375	368	296	364	361	367	361				
					375	237	370	304	352	367	363				
E5	Angulo Lateral	SV	Estribor	Punta del penol	375	281	373	288	370	376			1mtx0,15		
E5	Angulo lateral	SV	Estribor	Punta del penol	375	278	166	226	219	297	303		2mtx0,15		
E6	Angulo lateral	SV	Babor	sector delantero del panol	375	372	345	362	359	249	253		1mtx0,15		
					375	284	116	126	214	162	260				
E6	Angulo lateral	SV	Babor	sector delantero del panol	250	233	228	222	213	210	200		18x15		
E6	Angulo lateral	SV	Babor	sector en el cual se encuen- tra el pin sujetador de polea	375	323	319	320	107	213	163	325		Cambio urgente	
					375	297	237	283	353	290	131				
					375	143	155	176	183	167	193				
					375	136	213	331	174	229	147	195			
E38	lateral		Estribor	plancha de sujeción de polea	562	543	539	472	509	513	535		15x15		
E36	tapa frontal			sector de polea de pasteca	375	333	378	381	393	393	381				
	de panol			principal	375	364	343	323	333						
69	polea			cuerpo de polea ubicada al extremo de penol	250	252	253	248	135					Muy deteriorada	
E6	Angulo Lateral	IV	Estribor	Sector extremo de patea	375	346	337	332	325	343	274				
					375	332	293	275	266	210	196	332	1mtx0,15		
					375	146	202								
E6	Angulo Lateral	IV	Estribor	Sector medio de pasteca	375	373	375	368	357	312	323				
					375	373	336	330	288	298			2mtx0,15		
E10	Angulo Lateral	IH	Estribor	sector posterior de penol	375	213	375	368	357	348	174		3mtx0,15		
					375	170	141	149	235	342	147				
73	soporte de pasteca		panol	Soporte de pasteca principal	562	455	425	347	363	290	225		30x30	cambio urgente	
										236	253				
E34	plancha lateral de soporte de polea		Babor	plancha lateral de soporte de segunda polea	562	525	545	547	490	494	480			muy corroída	
E35	plancha lateral de soporte de polea		Estribor	plancha lateral de soporte de segunda polea	375	393	386	381	375	375					

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ACTUAL

La capacidad de una grúa se presenta como una relación entre el ángulo de operación, radio y capacidad de carga a estos diferentes parámetros.

El rango de ángulos en que opera la grúa, es determinante para el análisis estructural, siendo el ángulo más crítico el de 0° debido a la distancia entre el pivote y la carga.

El cálculo es realizado bajo las siguientes condiciones:

- Primero y segundo cuerpo como una armadura
- Carga máxima aparejo principal: 30Tn.
- Carga máxima aparejo auxiliar: 12Tn.
- Angulo de operación: De 0° a 80°
- K (estabilidad) 1

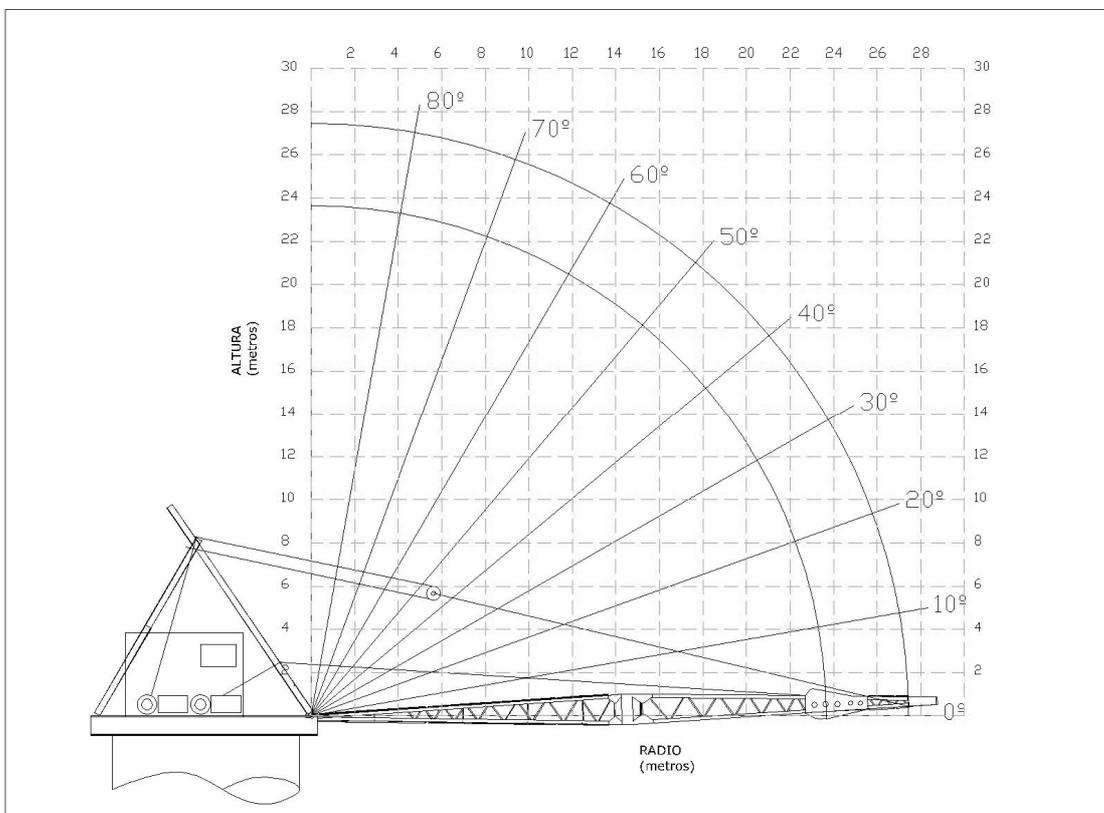


Figura 3.14.- Rango de operación de grúa barcaza “Smith Rice”

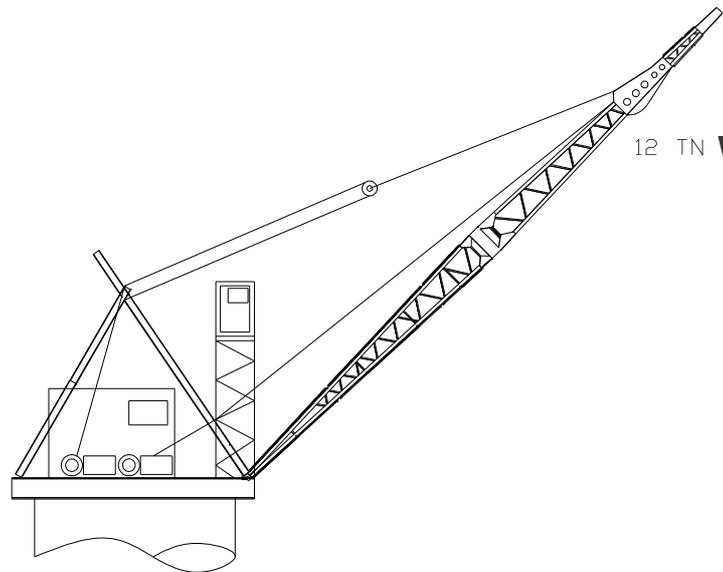


Figura 3.15.- Condiciones de carga (aparejo de izaje secundario) a 28,6m.

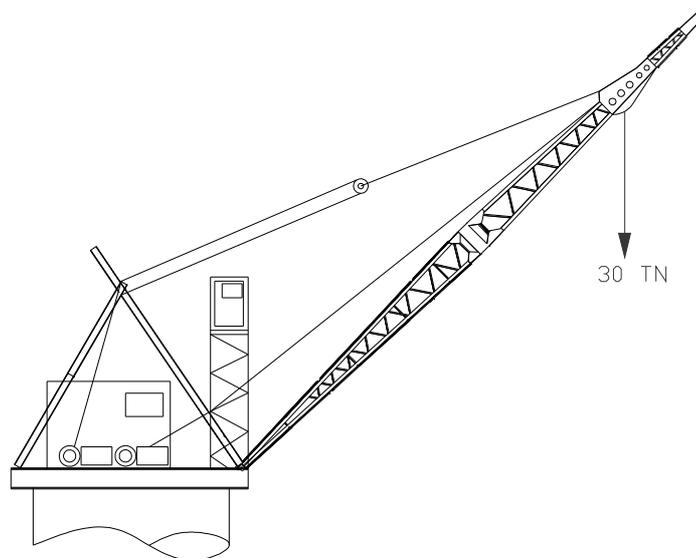


Figura 3.16.- Condiciones de carga (aparejo de izaje principal) a 22,8m.

ELEMENTOS CON DISMINUCIÓN DE ESPESORES

El análisis para una estructura con pérdidas notables de espesores en sus elementos, se lo realiza con el criterio de la falla más probable, es decir con el espesor mínimo encontrado en un elemento con pérdida.

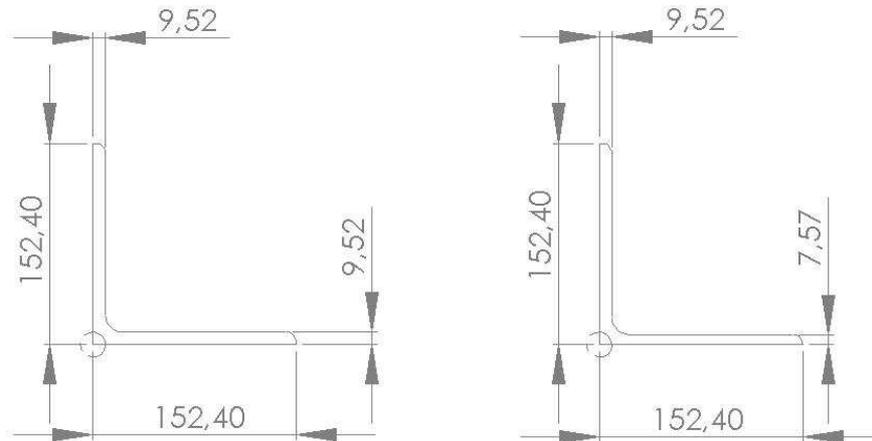


Figura 3.17.- Criterio de cálculo estructural con disminución de área.

De los datos de espesores medidos, se tiene que el perfil AISC L 6 x 6 x 3/8 de la zona del primer cuerpo ubicado al inferior – babor, con número de parte C2, tiene un espesor mínimo de 295 milésimas de pulgada equivalente a 7.57 milímetros. Para el cálculo estructural se cambia el espesor de la sección del perfil. Según la Fig. 3.15 considerando al nuevo espesor como el espesor con mayor disminución que se presenta en este perfil, producto de la corrosión. De la misma manera se procede con todos los perfiles donde se ha detectado una pérdida de espesor.

PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO.

El siguiente procedimiento describe el cálculo de la capacidad real de la grúa a sus diferentes ángulos.

Obtención de Fuerza axial.

La fuerza axial de todos los perfiles se determina mediante la utilización del software de cálculo estructural SAP2000, el cual nos proporciona datos de las fuerzas axiales de cada uno de los elementos estructurales que conforman la grúa, bajo las condiciones especificadas anteriormente. El valor de la carga por el

cual el elemento puede fallar (por pandeo) puede ser sensiblemente inferior a la carga que resiste el material dado. Ninguna pieza sometida al esfuerzo de compresión está exenta de sufrir el pandeo.

Datos requeridos para el cálculo de la capacidad de cada perfil:

- Identificación del perfil
- Fuerza axial en klb.
- Tipo de fuerza al que esta sometido tracción (T) o compresión (C)
- Longitud en pulgadas
- Radio de giro mínimo en pulgadas
- Área de la sección en pulgadas

Tabla 3.10- Datos requeridos para el cálculo de la capacidad de cada perfil

Parte Cod.	Perfil AISC	F Kgf	Pu Klb	T / C	Longitud cm.	L pulg.	Radio pulg.	Área pulg ²
P1	W12X26	49913	109,81	T	493,328	194,22	1,51	7,65
P2	W12X26	49227	108,30	T	467,787	184,17	1,51	7,65
P3	W12X26	49650	109,23	T	467,787	184,17	1,51	7,65
P4	W12X26	50421	110,93	T	493,328	194,22	1,51	7,65
P5	W12X26	-59766	-131,49	C	935,311	368,23	1,51	7,65
P6	W12X26	-61455	-135,20	C	935,311	368,23	1,51	7,65
P9	W12X26	-38552	-84,82	C	228	89,76	1,51	7,65
P10	W12X26	-39553	-87,02	C	228	89,76	1,51	7,65
P8	W12X26	145	0,32	T	288	113,39	1,51	7,65
P7	W12X26	86	0,19	T	288	113,39	1,51	7,65
P13	W12X26	-397	-0,87	C	221,5	87,20	1,51	7,65
P14	W12X26	-14959	-32,91	C	380	149,61	1,51	7,65

El área que se considera para este caso es el área disminuido debido a la pérdida de material por la corrosión.

El tipo de sollicitación a la que esta expuesto el elemento permite diferenciar la necesidad de un análisis de pandeo en el elemento o no, con la relación de esbeltez de cada uno de los perfiles que componen la grúa, la relación $Kl/r < 200$. De no ser así, se tiene que modificar el tipo de perfil ya que es demasiado esbelto y se puede presentar pandeo.

$$\lambda = \frac{kl}{r_{\min}} \quad (3.8)$$

Utilizando el método de cálculo por estabilidad se tiene:

K 1 para condiciones de juntas articuladas. (Tabla 3.4)

l longitud en pulgadas del elemento

r_{\min} radio de giro mínimo

Determinado el valor de la relación de esbeltez se obtienen los datos de F_a (esfuerzo admisible para miembros a compresión de acero A36), este valor se encuentra en la tabla 3-36 Capítulo 5 Especificaciones AISC.

Determinación del Esfuerzo Real (f_a)

Para la determinación del esfuerzo real se tiene que:

$$f_a = \frac{P_u}{A} \quad (3.9)$$

Donde:

P_u fuerza axial en el elemento (klb)

A área de la sección (pulg²)

Índice de Trabajo

Este índice se determina mediante la relación entre el esfuerzo real y el esfuerzo admisible para estabilidad.

$$I = \frac{f_a}{F_a} \quad (3.10)$$

Si este índice es menor que 1 se indica que el elemento fallaría por estabilidad, cabe señalar que este análisis se lo realiza a elementos sometidos a fuerzas de compresión.

Determinación de la carga admisible

Para la determinación de la máxima carga que podría soportar cualquier elemento que conforma la grúa y que su índice de trabajo sea menor que 1 se tiene el siguiente procedimiento.

Suponiendo que el valor límite inferior del índice de trabajo antes de la falla por estabilidad del elemento es 1, se calcula la fuerza que soportaría este elemento bajo este índice, además tomando en cuenta la disminución de áreas por corrosión en los elementos citados en las tablas 3.8 a 3.9, con estos datos se obtiene el nuevo valor de la fuerza que soportaría el elemento bajo estas condiciones.

Realizando un procedimiento similar para los diferentes ángulos de operación de la grúa se obtiene el cuadro de carga máxima de la grúa barcaza "Smith Rice" correspondiente a las condiciones actuales de operación.

Tabla 3.11.- Tabla de carga máxima real de la grúa barcaza "Smith Rice"

Radio (m)	Ángulo (grados)	Carga máx (Tn)
22,8	0	9,13
22,45	10	9,48
21,42	20	10,49
19,74	30	11,49
17,46	40	12,67
14,65	50	14,36
11,4	60	16,63
7,79	70	19,82
3,95	80	23,78

CAPITULO 4

REPOTENCIACIÓN

INTRODUCCIÓN

Los datos de la situación actual de la grúa barcaza “Smith Rice” muestran una disminución de la capacidad de carga aproximadamente de un 25%, lo cual se produjo principalmente por la corrosión que presentaron algunos de los componentes de la grúa, una repotenciación permitirá devolver a la grúa la capacidad nominal de carga que ésta tenía originalmente por medio de procedimientos de cambio y reparación de los elementos reestableciendo los esfuerzos que estos soportaban originalmente, la Fig. 4.1 muestra las curvas de carga y ángulo de operación tanto de la situación actual como de la capacidad inicial.

La repotenciación se limita a cambio y reparación de los elementos deteriorados, más no a un cambio significativo en el diseño original de la grúa.

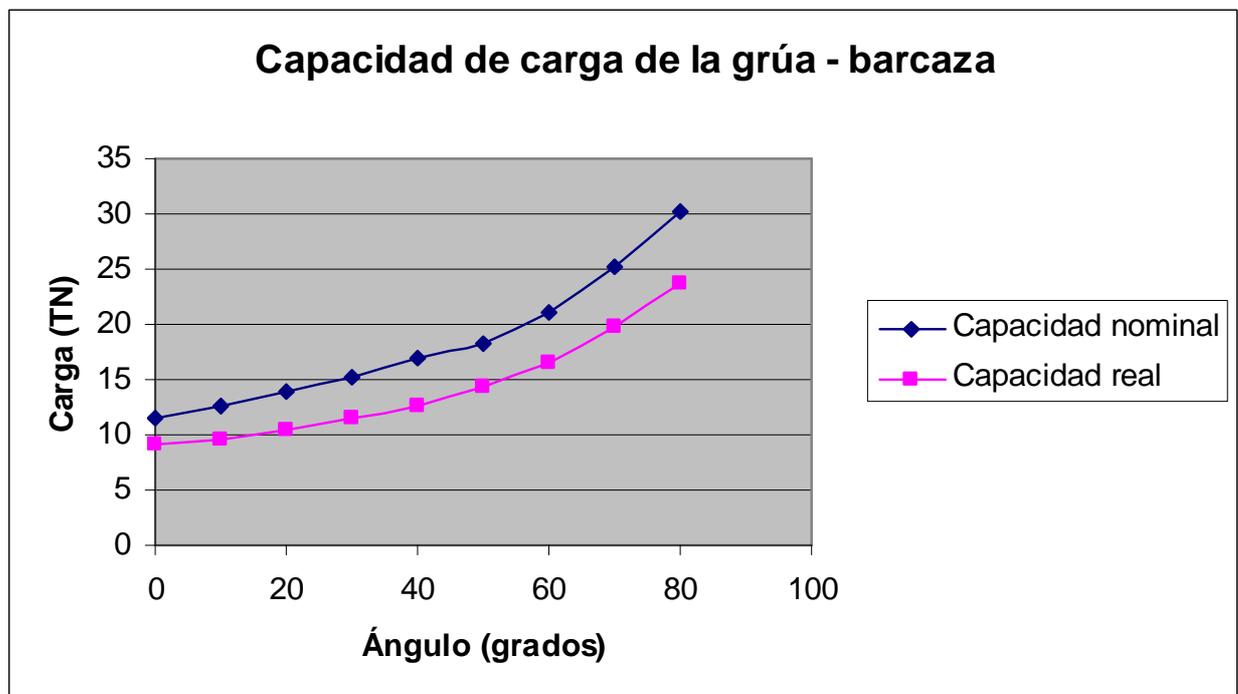


Figura 4.1.- Capacidad de carga nominal, real vs. Ángulo de inclinación

DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS DETERIORADOS

Los resultados del ultrasonido industrial muestran elementos que han sido afectados por la corrosión provocando la disminución de los espesores nominales de estos elementos, los cálculos utilizados para determinar la situación actual toman en cuenta la disminución de estos espesores siendo esta la razón para la disminución de la capacidad de carga de la grúa por lo que un cambio de estos elementos o un refuerzo de estos si fuese necesario elevaría la capacidad de carga de la grúa.

El criterio de cambio de estos elementos dependerá del porcentaje de disminución de los espesores que hayan sufrido estos elementos ya que esto está directamente relacionado con el esfuerzo que será capaz de soportar este elemento, de la dificultad que estos presenten para su cambio o reparación.

El procedimiento de determinación de elementos para la reparación o cambio consta de inspecciones visuales que se hace referencia en el numeral 3.3, considerando los elementos que se encuentran totalmente deteriorados como elementos que se deberían cambiar necesariamente.

ANÁLISIS DE ELEMENTOS CON DISMINUCIÓN DE ÁREA

El procedimiento de cálculo indicará los elementos que deben ser cambiados, así como aquellos que necesiten ser reparados.

Elementos deteriorados

La tabla 4.1 indica un listado de los elementos más críticos, así como también su índice de trabajo.

Tabla 4.1.- Elementos deteriorados de la zona del Primero y Segundo Cuerpo

Cod	Inspección	Descripción	Fa	fa real	fa nominal	Areal	Anominal	F	Pu	I Real	I Nominal	Observaciones
G8	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	17,82	-14,283	-13,138	4,010625	4,36	-57,28	-36453,4	-0,801517	-0,73729	
G10	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	17,82	-13,621	-12,512	4,005	4,36	-54,55	-34716	-0,764388	-0,70215	
G7	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	17,82	-14,278	-13,171	4,021875	4,36	-57,43	-36543,3	-0,801246	-0,739108	
G9	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	17,82	-13,549	-12,481	4,01625	4,36	-54,42	-34629,7	-0,760352	-0,700404	
O6	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	19,75	-16,750	-14,663	3,816696	4,36	-63,93	34403,9	-0,848106	-0,742422	Refuerzo
C5	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	19,75	-17,307	-12,505	3,15037	4,36	-54,52	-34696,5	-0,876297	-0,633179	Refuerzo
C87	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	14,71	-0,644	-0,475	0,88	1,19	-0,57	-359,67	-0,043761	-0,032288	
C88	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	14,71	-0,730	-0,539	0,88	1,19	-0,64	-408	-0,049642	-0,036626	
C98	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	16,64	0,423	0,242	0,68	1,19	0,29	183,4	0,025395	0,014554	
C95	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	16,64	0,012	0,007	0,72	1,19	0,01	5,36	0,000706	0,000425	
C20	Inspección Visual	AISCL 2,5x2,5x 1/4										Doblados
C15	Inspección Visual	AISCL 2,5x2,5x 1/4										Doblados
D6	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	19,32	-2,932	-2,432	3,62	4,36	-10,60	-6747,34	-0,151735	-0,125873	
D35	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	15,88	15,507	9,959	0,76	1,19	11,85	7541,86	0,976533	0,627155	
D43	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	17,35	13,781	8,080	0,70	1,19	9,62	6119,07	0,794292	0,465729	
D45	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	17,56	-12,380	-8,205	0,79	1,19	-9,76	-6213,75	-0,704992	-0,467279	
D36	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	15,88	-14,662	-9,977	0,81	1,19	-11,87	-7555,24	-0,923236	-0,628268	
D39	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	16,63	11,129	6,444	0,69	1,19	7,67	4879,66	0,669225	0,387476	
D4	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	19,32	-6,043	-4,059	2,93	4,36	-17,70	-11261,6	-0,312793	-0,210088	
D42	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	16,88	10,673	7,765	0,87	1,19	9,24	5879,88	0,632263	0,459985	
D40	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	16,63	-10,128	-6,475	0,76	1,19	-7,71	-4903,19	-0,60903	-0,389344	
D11	Ultrasonido	AISCL 2,5x2,5x 1/4	14,44	-0,380	-0,252	0,79	1,19	-0,30	-191,05	-0,026301	-0,017471	
D1	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	20,03	-23,018	-16,095	3,05	4,36	-70,18	-44657	-1,149161	-0,803556	Refuerzo
D5	Ultrasonido	AISCL 6x6x3/8	19,32	-32,663	-24,315	3,25	4,36	-106,01	-67462,9	-1,69065	-1,258536	Refuerzo

Después del análisis actual de la grúa se concluye lo siguiente:

- Los elementos C6, C5, D1, D3, D5 necesitan ser reforzados para aumentar su área y por lo tanto evitar una falla por pandeo ya que los mismos están sometidos a fuerzas de compresión considerables.
- El resto de elementos del primero y segundo cuerpo según el cálculo estructural están trabajando dentro de los parámetros admisibles.
- Los elementos G7, G8, G9, G10 correspondientes a la zona del gozne, presentan disminuciones de espesores notables, sin embargo esta zona cuenta con refuerzos en la parte superior e inferior aumentan el área de la sección por lo que no requieren ser reparados.
- La zona denominada "Puente" no presenta signos de corrosión.
- Se recomienda cambiar los elementos C20 y C15 que se encuentran doblados debido a malas prácticas en la operación de la grúa.
- Luego del análisis de todos los elementos que deben ser reemplazados, siendo el penol la zona con mayor presencia de elementos deteriorados, un cambio completo de esta zona será la opción más adecuada para el correcto funcionamiento de la grúa.
- La zona del penol esta sometida a esfuerzos de flexión para operación con el aparejo de izaje secundario (12Tn).

ANALISIS DE PLACAS CON DISMINUCION DE AREAS

El ultrasonido mostró disminuciones de espesores significativos en la placa ubicada en la zona del penol, la cual presenta un porcentaje considerable de disminución en su espesor, esta placa se analizará individualmente, ya que esta soporta esfuerzos máximos de flexión y la sujeción de los cables a la pluma (tracción).

La placa se calcula bajo las siguientes consideraciones. Primero debido a la flexión que soporta la misma por acción del momento en el penol. Segundo, el análisis de la unión que tiene la placa con los cables que elevan toda la pluma.

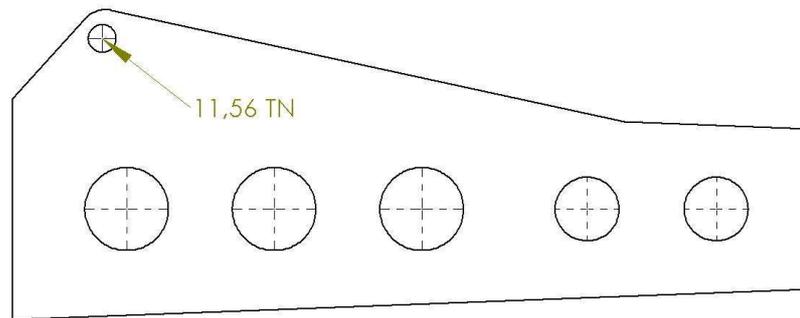


Figura 4.2.- Sujeción de los cables a través de las placas del penol.

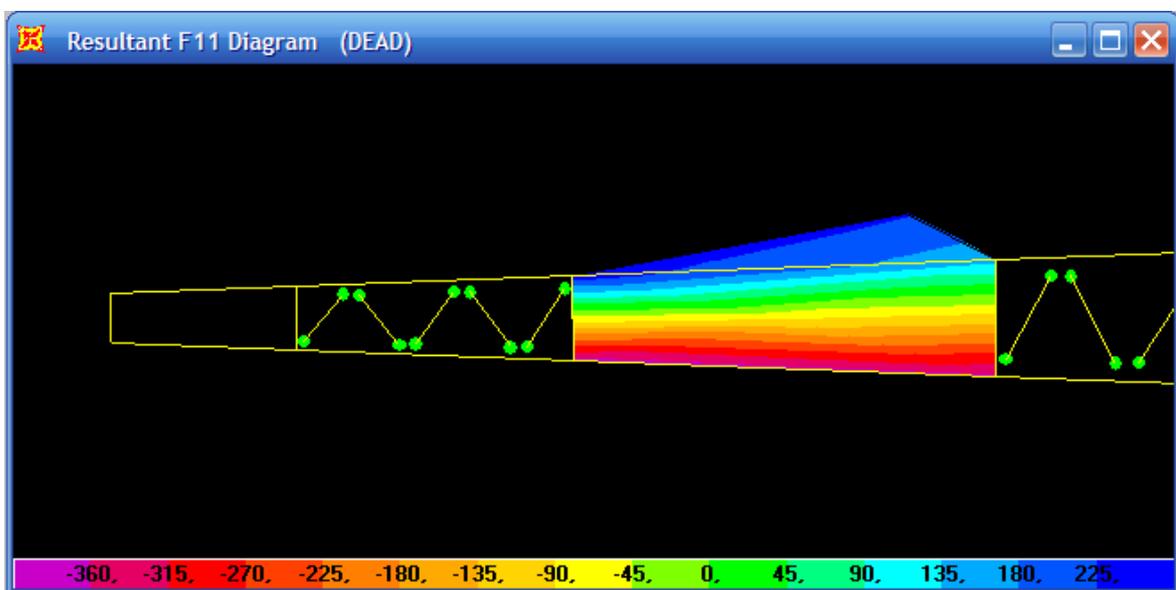


Figura 4.3.- SAP2000, placa sometida a fuerzas de flexión.

La Fig 4.2 muestra las fuerzas a las que está sometido el penol, el rango de colores indica al color azul como fuerzas de tracción y al color rojo como fuerzas de compresión.

Flexión

La sección del penol sometida a flexión máxima se presenta en las siguientes figuras.

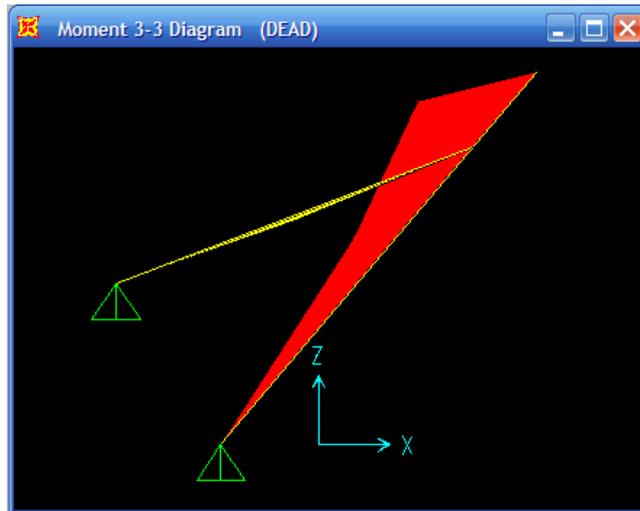


Figura 4.4.- Diagrama de momento de la pluma a 50° (Momento máximo en la zona de la placa)

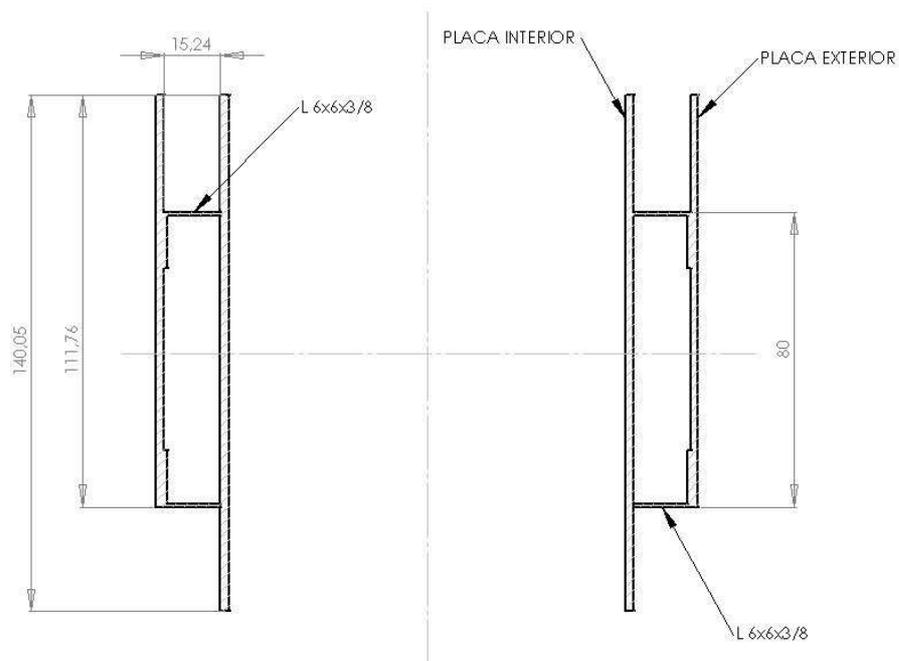


Figura 4.5.- Sección transversal formada por 4 perfiles y 4 placas (en cm.).

Datos:

Momento máximo:	73,16Tn – m
Área de la sección:	425,41 cm ²
Momento de inercia de la sección:	570805,0864 cm ⁴

La flexión se calcula según el numeral 3.4.5.2 y los resultados se presentan a continuación.

Tabla 4.2.- Esfuerzo de flexión nominal a diferentes ángulos de operación.

Angulo (grados)	$\sigma(f)$ Kg/cm ²
0	919,64
10	905,69
20	864,20
30	796,45
40	704,56
50	591,18
60	447,25
70	314,51
80	159,64

Calculo de esfuerzos en la placa con elementos desgastados.

Este cálculo se lo hace tomando en cuenta la pérdida de espesor de la placa y la pérdida de espesor en los perfiles, considerando el espesor mínimo del perfil desgastado.

Datos:

Momento máximo: 73,16Tn – m

Área de la sección: 334,06 cm²

Momento de inercia de la sección: 448821,154 cm⁴

Tabla 4.3.- Esfuerzo de flexión real a diferentes ángulos de operación.

Angulo (grados)	$\sigma(f)$ Kg/cm ²
0	1139,73
10	1122,44
20	1071,03
30	987,06
40	873,18
50	732,66
60	554,29
70	389,78
80	197,85

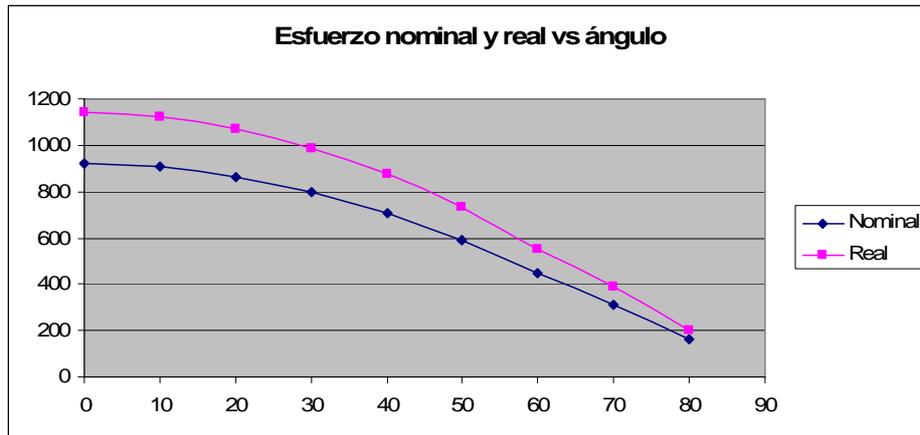


Figura 4.6.- Sujeción de los cables a la pluma.



Figura 4.7.- Sujeción de los cables a la pluma.

Análisis de placa por cortante

$$[\sigma_e] = 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$[\tau_e] = 0.6 \times \sigma_e \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$[\tau_e] = 1500 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

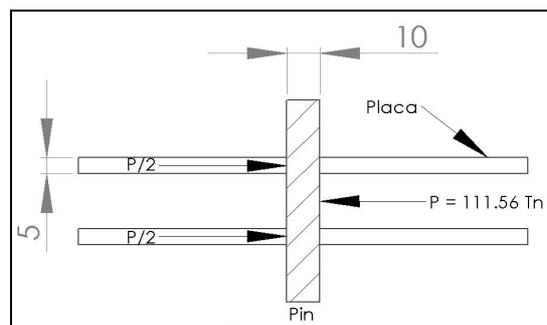


Figura 4.8.- Esquema de la sección por cortante.

$$\tau_{real} \leq \tau_e$$

$$\tau_{real} = \frac{P}{Ac}$$

$$\tau_{real} = \frac{55780 \text{kgf}}{157,07 \text{cm}^2} = 355,12 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Análisis del pin por aplastamiento

$$[\sigma_e] = 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

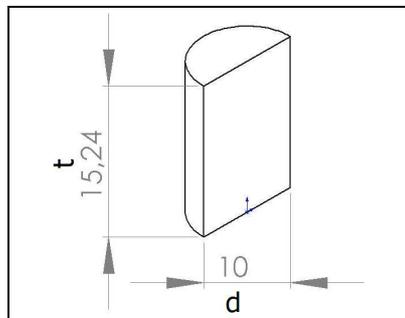


Figura 4.9.- Esquema de la sección por aplastamiento.

$$\sigma_{real} \leq \sigma_e$$

$$\sigma_{real} = \frac{P}{Ac} = \frac{P}{txd}$$

$$\sigma_{real} = \frac{55780 \text{kgf}}{(10 \times 15,24) \text{cm}^2} = 366 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Análisis de pin y placas por resistencia del material

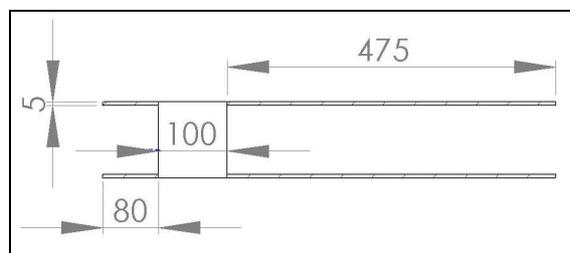


Figura 4.10.- Esquema de la sección soportante del material

$$[\sigma_e] = 2500 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_{real} \leq \sigma_e$$

$$\sigma_{real} = \frac{P}{Ac}$$

$$\sigma_{real} = \frac{55780kgf}{48,3cm^2} = 1154,86 \frac{kgf}{cm^2}$$

Después del análisis actual de los elementos (perfiles y placas) del penol sometido a flexión se concluye lo siguiente:

- En la sección del momento máximo se observa una disminución de espesores que provocan un aumento del 19,3% en los valores de los esfuerzos en esta zona debido a la flexión.
- De los cálculos anteriormente hechos, es indispensable el cambio de los elementos E1, E2, E3, E4 de la zona del penol debido a su desgaste provocado principalmente porque la geometría de los elementos en esta zona permite la acumulación de humedad y suciedad.
- Los elementos E9, E12, E42 son elementos del penol con perforaciones debido a la corrosión. Se recomienda el cambio urgente de estos debido a que estas perforaciones son concentradores de esfuerzos, los cuales pueden provocar la falla del material en esta zona sometida a flexión.
- La disminución de espesores en las placas se presenta en la zona interna por la acumulación de humedad, zona de difícil acceso para el palpador de ultrasonido.
- Debido a la distribución de todos los elementos del penol y los altos índices de desgaste de los miembros estructurales, se recomienda el cambio de toda la zona denominada Penol (Fig. 4.6 en color naranja)

SELECCIÓN DEL MATERIAL

El material de los perfiles y placas que constituyen la grúa barcaza, es acero A36 (dato obtenido del catálogo de la grúa de 1938), el cambio de los elementos se lo realizara por elementos de las mismas características pero de diferente material,

la tabla 4.4 presenta una lista de materiales que se puede utilizar para el cambio de los perfiles.

Tabla 4.4.- Materiales, características, propiedades.

ASTM	Tipo de acero	Formas	Uso	Esfuerzo mínimo a la fluencia F_y .	Resistencia mínima especificada en tensión
A36	Al carbono	Perfiles barras y placas	Edificios, puentes y otras estructuras atornilladas y soldadas	36, pero 32 si su espesor es mayor a 8 pulg.	58 - 80
A529	Al carbono	perfiles	Similar A36	42 - 50	60-100
A572	Columbio vanadio de alta resistencia y baja aleación	Perfiles placas y barras hasta 6 pulg.	No para puentes soldados, construcción atornillada o soldada	42 - 65	60 - 80
A242	Alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión	Perfiles placas y barras hasta 5 pulg.	construcción atornillada o soldada, técnica se soldado muy importante	42 - 50	63 - 70
A588	Alta resistencia, baja aleación y resistente a la corrosión atmosférica	Placas y barras hasta de 4 pulg.	construcción atornillada, atmósfera salina	42 - 50	63 - 70
A852	Aleación templada y revenida	Placas y barras hasta de 4 pulg.	Construcción soldada, especialmente para puentes y edificios soldados	70	90 - 110
A514	Baja aleación templada y revenida	placas	Estructura soldada, con gran atención a la técnica	90 - 100	100 - 130

Los aceros estructurales modernos se pueden clasificar según la ASTM (American society for testing materials) en: aceros de propósitos generales (A36), aceros estructurales de carbono (A529), aceros de alta resistencia y baja aleación (A572), aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la

corrosión atmosférica (A242 y A588) y aceros templados y revenidos (A514 y A852). En la tabla 4.4 se puede observar un comparativo de las propiedades de estos aceros estructurales. Según esta tabla se determina que el acero recomendado para el cambio de los perfiles es el acero A588.

Las características distintivas de este acero A588 a comparación del A36 instalado son la combinación de su alta fortaleza con una superior resistencia a la corrosión atmosférica. Es usada en condiciones donde son importantes la reducción de peso, la reducción de los costos de mantenimiento y donde se requiera una mínima distorsión bajo presión. Tiene gran facilidad de soldadura. Algunas de sus propiedades a continuación.

Esfuerzo a la ruptura	Min 483MPa	Min 70000psi
Esfuerzo Fluencia	Min 345MPa	Min 50000psi
Elongación a la ruptura	Min 18 %	
Modulo de elasticidad	205GPa	29700ksi
Coefficiente de Poisson	0.28	
Modulo de cortante	80GPa	11600ksi

PROCEDIMIENTO DE REPARACION DE ELEMENTOS

Se debe llevar a cabo varias actividades para la repotenciación de la grúa barcaza las cuales deberán devolver a la grúa su capacidad de izaje nominal.

Los diferentes pasos para la reparación de elementos constitutivos de la grúa barcaza son los siguientes:

- Verificación de materiales
- Desmontaje de elementos
- Ensamble de elementos
- Montaje de conjunto de elementos
- Comprobación funcional y dimensional
- Recubrimiento

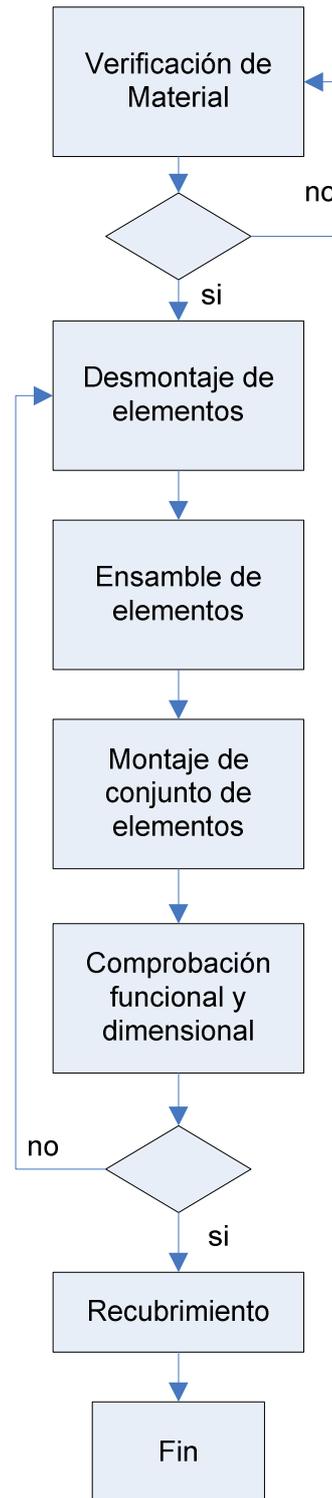


Figura 4.11.- Procedimiento de repotenciación.

Estas actividades se llevarán a cabo en el puerto de Balao ya que se cuenta con un taller y un lugar específico para labores que permitan la utilización de equipos sobre tierra, como es el caso de una grúa terrestre que permita el levantamiento de una sección o si fuese necesario de la grúa en su totalidad.



Figura 4.12.- Sitios de reparación. Puerto de Balao, Esmeraldas - Ecuador

VERIFICACION DE MATERIAL

En esta operación se debe verificar los materiales destinados a reparación, de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas, para garantizar la calidad de todo el proceso de mantenimiento y reparación.

Criterios de Ejecución

- Consultar las especificaciones técnicas establecidas para cada tipo de material y destino final del mismo.
- Comprobar que la composición, calidades y acabados del material recibido corresponden con las solicitadas en un centro especializado.
- Comprobar las cotas en bruto para asegurar que los materiales son suficientes para realizar el trabajo previsto.
- Rechazar los materiales y componentes que no cumplan con los criterios de aceptación establecidos.

Personal

- 1 Técnico en ultrasonido
- 2 Ayudantes

Equipos

- Equipo de medición
- Equipo de ultrasonido

DESMONTAJE DE ELEMENTOS

En esta tarea se debe aplicar las técnicas y destrezas de desmontaje de elementos de estructuras metálicas con los equipos y herramientas adecuados, para su sustitución, reparación o reconstrucción, para este caso específico comprende el desmontaje del penol de la grúa para ser reparado en tierra.

Criterios de Ejecución

- Determinar el procedimiento, herramientas y equipo auxiliar necesarios para desmontar los elementos previstos.
- Marcar con vallas, cintas y letreros claramente visibles, las zonas peligrosas.
- Utilizar elementos de fijación provisional, tales como cuerdas, cadenas, varillas soldadas, etc. Para evitar la caída accidental de las piezas desmontadas.
- Evitar causar averías inducidas a otras instalaciones.
- Aplicar las normas de seguridad durante el proceso de desmonte

Procedimiento

1. Movilizar la grúa al sitio de reparación para realizar los trabajos desde tierra.
2. Colocar la pluma de la grúa en la posición extrema inferior.
3. Apoyar la pluma (base del segundo cuerpo) sobre un soporte que permita las operaciones.
4. Sujeción de penol por medio de una grúa en tierra.
5. Desmontaje de accesorios, aparejo de izaje, ganchos, cables,
6. Realizar los cortes de los perfiles seleccionados para el desmontaje del penol.
7. Movilización del penol a taller.

Personal

- 2 Soldadores calificados
- 1 Operador de grúa terrestre

- 1 Operador de la grúa barcaza
- 2 Operarios
- 3 Ayudantes

Equipos

- Grúa capacidad 5 TN.
- Amoladora
- Equipo de oxicorte
- Eslingas y cadenas
- Extensiones de cableado eléctrico
- Equipos de protección personal

ENSAMBLE DE ELEMENTOS

En esta operación se debe ensamblar elementos y subconjuntos reconstruidos, con equipos y herramientas, para sustituir elementos deteriorados, es decir reconstruir el penol y sus partes constitutivas.

Criterios de Ejecución

- Posicionar los elementos o subconjuntos en el lugar de ubicación para su fijación en el conjunto.
- Utilizar de forma correcta los utillajes, gatos hidráulicos, tensores y otros medios de montaje.
- Realizar los puntos de soldadura de preparación de la unión en el lugar adecuado y según el procedimiento establecido.
- Utilizar los medios de elevación necesarios para el posicionado y armado que faciliten la realización del trabajo
- Aplicar normas de seguridad durante los trabajos de posicionado.

Procedimiento

- Inspección de elementos para determinar aquellos que aún funcionan
- Unión de perfiles 6 x 6 x 3/8 con placas laterales internas y externas para estribor según WPS 002

- Unión de perfiles 6 x 6 x 3/8 con placas laterales internas y externas para babor según WPS 002
- Alineamiento de las placas frontales y posteriores
- Montaje de las poleas y accesorios
- Unión de la celosía superior e inferior según WPS 003
- Unión de la celosía lateral según WPS 003
- Unión de placas laterales y frontales según WPS 002
- Unión de perfiles soporte de polea y placa según WPS 002

Personal

- 2 Soldadores calificados
- 3 Armadores
- 3 Ayudantes

Equipos

- Amoladora
- Soldadoras
- Equipo de oxicorte
- Eslingas y cadenas
- Equipos de protección personal

MONTAJE DE CONJUNTO DE ELEMENTOS

En esta operación se debe montar conjuntos metálicos en obra, con elementos de unión mecánicos (grúas, gatos hidráulicos, tensores, etc.), siguiendo las instrucciones técnicas en condiciones de calidad y seguridad.

Criterios de ejecución

- Seleccionar correctamente los elementos de elevación apropiados para el montaje que permitan realizar el trabajo.
- Posicionar los elementos o subconjuntos dentro de las tolerancias admisibles para su unión.

- Utilizar los medios auxiliares de montaje, como grúas, gatos hidráulicos, tensores, etc. sin producir interferencias con otras instalaciones.
- Colocar los elementos auxiliares necesarios para el posicionamiento y unión de los subconjuntos de forma que permitan realizar ésta de acuerdo con el procedimiento establecido.
- Ajustar el armado y ensamblado a las especificaciones de los planos constructivos.
- Realizar el ensamblaje por medio de soldadura, tornillos, remaches, etc.
- Aplicar las normas de seguridad durante los trabajos de ensamblado.

Procedimiento

- Movilización del nuevo penol a la zona de montaje
- Colocar la pluma de la grúa en la posición extrema inferior.
- Apoyar la pluma (base del segundo cuerpo) sobre un soporte que permita las operaciones.
- Elevación de penol por medio de una grúa en tierra.
- Montaje de accesorios, aparejo de izaje, ganchos, cables,
- Realizar la unión del penol con el segundo cuerpo por medio de un punteado que permita conseguir la alineación correcta de estos.
- Unir el penol por medio de soldadura realizada por personal calificado según WPS 001.
- Montar el sistema de izaje de la pluma al nuevo penol

Personal

- 2 Soldadores calificados
- 1 Operador de grúa terrestre
- 1 Operador de la grúa barcaza
- 2 Armadores
- 3 Ayudantes

Equipos

- Grúa capacidad 5Tn.

- Amoladoras
- Equipo de oxicorte
- Soldadoras
- Cables
- Eslingas y cadenas
- Extensiones de cableado eléctrico
- Equipos de protección personal

COMPROBACION FUNCIONAL Y DIMENSIONAL

En esta operación se debe efectuar la comprobación dimensional y funcional de los elementos reparados y/o reconstruidos, con instrumentos de medida y equipos de control adecuados, para asegurar la funcionalidad de la instalación, en la grúa barcaza se refiere a un protocolo de pruebas establecido por la norma ASME B30.8 y un control de las uniones soldadas por medio del ultrasonido industrial.

Criterios de Ejecución

- Verificar que los elementos están en correcto estado de limpieza y carentes de rebabas.
- Realizar las medidas que permitan comprobar que un elemento o subconjunto tiene las dimensiones, formas y aspectos especificados.
- Verificar, que las uniones cumplen con la norma de calidad y seguridad.
- Realizar una inspección visual de las soldaduras.
- Aplicar los criterios de aceptación/rechazo según especificaciones técnicas.
- Aplicar las acciones correctivas en función de la reparación o recuperación de productos no conformes.

Personal

- 1 Operador de la grúa barcaza
- 1 Técnico de ultrasonido
- 2 Ayudantes

Equipos

- Flexómetro.
- Calibrador o micrómetro
- Equipo de END (ultrasonido)
- Nivel

PROTOCOLO DE PRUEBAS

Las pruebas que se deben realizar después a la grúa de la repotenciación se siguen según lo estipulado en la norma ASME B30.8 sección 8-2.2, que cita.

Pruebas de operación.

Las pruebas de operación se realizan según lo citado en la norma ASME B30.8 sección 8-2.2.1 párrafo (c).

Párrafo (c)

Grúas o Torres Flotantes Reparadas, Reinstaladas o Modificadas. Previo a su uso inicial, una grúa o torre flotante reparada, reinstalada o modificada debe ser probada. La prueba debe limitarse a la función o funciones afectadas por la reparación.

Prueba de carga

Las pruebas de carga se realizan según lo citado en la norma ASME B30.8 sección 8-2.2.2 párrafo (b).

Párrafo (b)

Grúas o Torres Flotantes Reparadas, Reinstaladas o Modificadas. La necesidad de una prueba de una grúa o torre flotante reparada, reinstalada o modificada debe ser determinada por una persona calificada. Cuando una prueba es requerida, la prueba debe estar acorde con el párrafo (a).

Párrafo (a)

Grúas o Torres Flotantes Nuevas o Reinstaladas

Previo a su uso inicial, todas las grúas o torres flotantes nuevas o reinstaladas deben ser inspeccionadas y hecha las pruebas de carga por o bajo la dirección de una persona calificada. Un reporte de carga escrito debe ser preparado y

archivado por una persona calificada. Las pruebas de carga no deben ser menos de 100% o más de 110% de la carga nominal, a menos de que otra persona calificada por el constructor lo recomiende.

La prueba de carga consiste de los de las siguientes operaciones como mínimo requeridas:

- a) Levantar la carga de prueba para asegurarse de que la grúa o torre flotante la soporta y aguantado por el o los frenos del mecanismo de izaje.
- b) Mueva la grúa o torre flotante, si es aplicable, el rango total de este movimiento, con la carga de prueba.
- c) Mueva la pluma de la grúa de arriba hacia abajo dentro del radio de trabajo permitido por la carga de trabajo.
- d) Baje la carga de prueba, pare, y aguante con los frenos del mecanismo de izaje.

RECUBRIMIENTO

Una vez comprobada la funcionalidad de la grúa barcaza luego de la repotenciación es necesario un sistema de protección que permita que esta no sea afectada por la corrosión, esta protección será por medio de pintura anticorrosiva, detallada a continuación.

Criterios de Ejecución

- Preparar la superficie para la aplicación de la pintura anticorrosiva.
- Limpiar la superficie eliminando restos de grasa y aceite
- Remover la sal de la superficie con chorro de agua.
- Permitir el secado de la superficie
- Aplicar capa de fondo (primer)
- Controlar el tiempo de secado entre capa y capa

- Aplicar capa intermedia y de acabado con sus respectivos tiempos de secado.

Personal

- 1 Operario (Sand blasting)
- 2 Operarios (Pintores)
- 2 Ayudantes
- 1 Operador de grúa

Equipos

- Equipo de Sand blasting
- Equipo de pintura
- Brochas o rodillos
- Compresor
- Soplete

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA REPOTENCIACION

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS PARA EL MONTAJE

Humedad y suciedad retenida

- Evite la formación de cavidades y grietas. Si no hay alternativa, utilice un sellante (epoxídico, poliuretánico o silicona) para cerrar la grieta.
- Por regla general es preferible usar uniones soldadas en lugar de atornilladas.
- Disponga espacios de drenaje para el escurrimiento del agua, en lugares donde sea necesario.
- Cierre las vigas cajón, excepto si fueran galvanizadas por inmersión en caliente.
- Permita la libre circulación del aire en torno a la estructura.

Contacto con otros materiales:

- En lo posible, evite conexiones bi-metálicas. En caso de necesidad, disponga aislamiento eléctrico entre los componentes.
- Disponga un recubrimiento adecuado de la armadura metálica, en el caso de las estructuras de concreto armado.
- Separe el acero y la madera con polímeros adecuados o pintura.

Otros

Debe garantizar que el sistema de protección seleccionado pueda ser aplicado en forma eficiente:

- Para componentes sellados no debe usarse galvanización en caliente. Estos componentes deben ser fabricados con adecuadas aberturas y drenajes para el escurrimiento de los líquidos utilizados en el proceso.
- Todo componente o subconjunto debe permitir acceso para inspección y mantenimiento (pintura, metalización, etc.).

Factores Generales

Es más fácil proteger grandes superficies planas o de geometría simple que las de formas complicadas. Las estructuras complejas, al igual que formas más complejas, deben permitir un fácil acceso para la pintura inicial y para trabajos posteriores de mantenimiento. Tabla 4.5 presenta algunas sugerencias útiles de detallamiento para minimizar la corrosión.

Tabla 4.5.- Tareas recomendadas para el montaje.

Nº	TAREA	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
1	Evite la formación de cavidades y grietas.				
2	Por regla general es preferible usar uniones soldadas en lugar de atornilladas.				
3	Disponga espacios de drenaje para el escurrimiento del agua, donde sea necesario.				
4	Cierre las vigas cajón, excepto si fueran galvanizadas.				
5	Permitir la libre circulación del aire en torno a la estructura.				
6	Evite conexiones bi-metálicas.				
7	Todo componente o subconjunto debe permitir acceso para inspección y mantenimiento (pintura, metalización, etc.).				

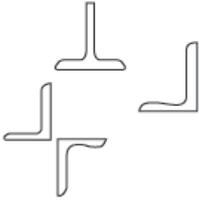
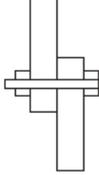
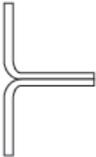
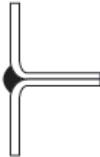
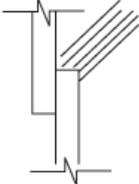
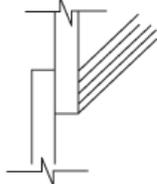
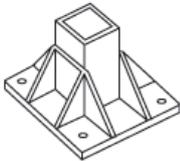
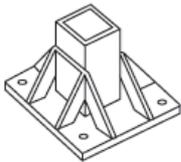
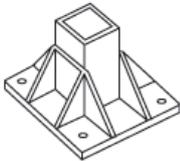
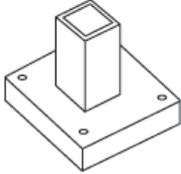
Problema	Solución típica	Problema	Solución típica
La humedad y suciedad pueden acumularse en la fisura	Utilice perfil T u otra geometría	Humedad penetra en la fisura	Utilice cordón de soldadura o sellante
			
Potencial de corrosión (fisura)	Elimine la fisura mediante soldadura o sellante (epoxi o poliuretano)	Condición desfavorable	Condición favorable
			
Cantos vivos y soldadura discontinua	Cantos redondeados y soldadura continua	Los refuerzos crean acumulación de agua y de suciedad	Elimine la acumulación de agua y suciedad
			
Cuidado con la acumulación de agua y de suciedad	Cree situaciones que eviten la acumulación de suciedad y agua		
 	 		

Figura 4.13.- Recomendaciones de montaje de elementos reparados

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS DE SOLDADURA³⁶

Las consideraciones generales para lograr una buena soldadura de ángulos de acero ASTM A588 Grado A, radica principalmente en el material de aporte, así:

- Para todo tipo de soldadura emplear electrodos AWS E7018, inclusive en los apuntalados.

³⁶ Manual de aplicación de ángulos de acero laminados en caliente. (Aceros Arequipa) 1º Edición Pág. 40

- Los electrodos pueden emplearse en toda posición. Sin embargo, el diámetro de los electrodos a emplear varía de acuerdo a la posición de soldadura.

Tabla 4.6.- Posiciones de soldadura recomendadas

Posición de Soldadura	Diámetro de electrodo
Plana Horizontal	2.5 mm (3/32")
Vertical ascendente Sobrecabeza	3.25 mm (1/8")

- Emplear sólo electrodos secos.
- Soldar a temperatura ambiente, sin precalentamiento.
- Amperajes recomendados:

Tabla 4.7.- Amperaje recomendado

Diámetro de electrodo	Amperaje
2.5 mm (3/32")	60 – 85 amp.
3.25 mm (1/8")	90 – 120 amp.

- De preferencia usar corriente continua con el electrodo al polo positivo (polaridad invertida).
- Seguir las recomendaciones sobre los tipos más frecuentes de juntas presentadas en este numeral.
- Mantener arco corto.
- Para estas juntas no es necesario el tratamiento térmico de alivio de tensiones.

Tipos más frecuentes de juntas

La finalidad de preparar adecuadamente las juntas es asegurar la calidad de la unión soldada. A continuación se muestran ejemplos de tipos más frecuentes de juntas entre perfiles angulares.

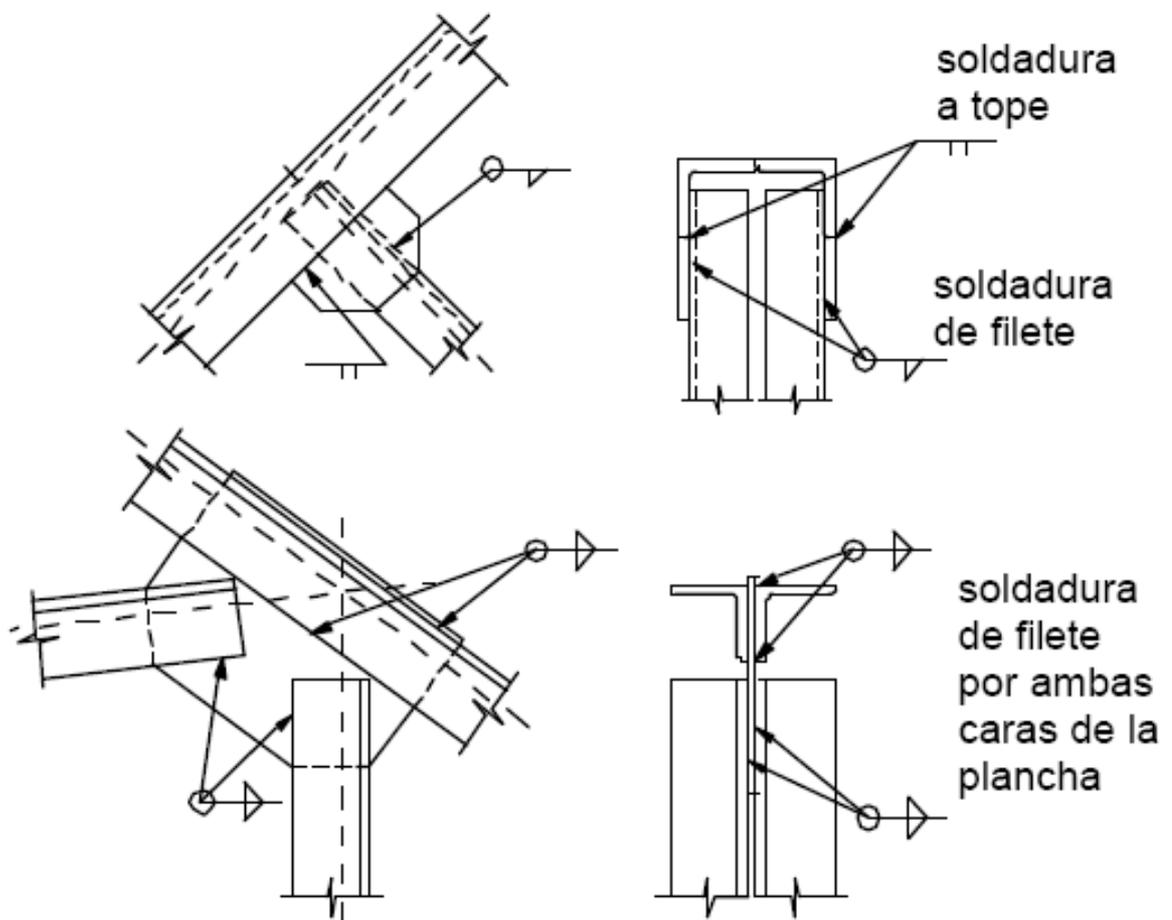
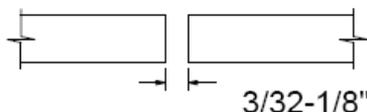
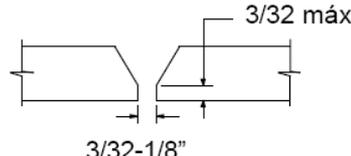


Figura 4.14.- Juntas soldadas utilizadas frecuentemente.

Junta a Tope

- Requiere fusión completa y total.
- Soldar de preferencia en posición plana.
- Prestar atención en la preparación de la junta. La separación de los bordes depende del espesor de los lados de los ángulos a soldar.

Tabla 4.8.- Recomendación juntas a tope.

Pases apropiados	Espesor del ángulo	Preparación de la junta	Gráfico
2-3	3/16 o 1/4	A tope sin bisel	
3-4	5/16	V simple ángulo de ranura 60°	

- Se sugiere iniciar la soldadura por la parte interna del ángulo. Luego, antes de aplicar la soldadura por la parte externa, biselar el reverso de la soldadura (raíz) hasta encontrar el metal limpio (sin escorias u otros defectos).
- Terminar la soldadura tratando de dejar un cordón uniforme con un refuerzo máximo de 1/8".



Figura 4.15.- Iniciar la unión desde el interior del ángulo

- Para biselar, emplear medios mecánicos (esmeril). (No emplear electrodos para el biselado.)

Junta de Filete

- Emplear electrodos de 2.5 mm. (3/32") en posiciones vertical ascendente y sobrecabeza (posiciones forzadas), asegurándose en estas posiciones el lograr buena fusión.
- Emplear siempre arco corto.
- El tamaño máximo de filete está de acuerdo al espesor del ángulo. Así se tiene:

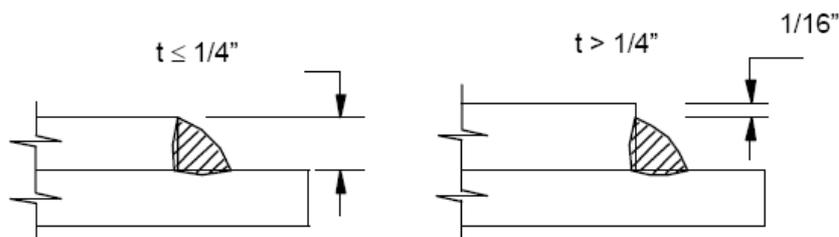


Figura 4.16.- Tamaño máximo del cordón de soldadura.

Inspección de Uniones

Toda soldadura debe ser inspeccionada visualmente y para ser aceptada debe satisfacer las siguientes condiciones:

1. La soldadura no debe tener grietas.
2. Debe existir fusión total entre las capas adyacentes del material de aporte y entre el material de aporte con el material base.
3. Todos los cráteres deben ser rellenados para conseguir una sección completa de soldadura, exceptuando en los extremos de soldadura intermitente fuera de la longitud efectiva de soldadura.
4. Esta inspección se debe en la totalidad de las uniones realizadas en la repotenciación (según lo especificado en la norma AWS 1.1 sección 6 parte F y anexo D de la norma (ver Anexo 7)

Tabla 4.9.- Tareas recomendadas para soldadura de perfiles.

Nº	TAREA	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
1	Variables de soldadura de acuerdo al WPS especificado para cada unión.				
2	Iniciar la soldadura por la parte interna del ángulo				
3	Preparación de la junta de acuerdo al WPS				
4	Todos los cráteres deben ser rellenados				
5	Control de limpieza entre pases				
6	Control de penetración completa				
7	Control de humedad de electrodos				
8	Control del tamaño del cordón				
9	Inspección de cordón de soldadura				

RECOMENDACIONES PRÁCTICAS RECUBRIMIENTO

Sistema de recubrimiento

Actualmente en la grúa barcaza se utiliza un sistema de recubrimiento para toda la estructura que consiste en lo siguiente:

Un fondo con dos manos de pintura epóxica, y un acabado con dos manos de esmalte alquídico, especificaciones que se encuentran en el Anexo 5. La pintura y marcas utilizadas son:

HEMPALIN PRIMER 12050 (fondo)

HEMPALIN ENAMEL 52140 (esmalte)

Datos que se obtuvieron de reportes de pintura realizados anteriormente por el personal de operación de la grúa barcaza.

Sin embargo según ISO 12944 1998 se recomienda para un ambiente tan agresivo como al que se encuentra expuesto esta estructura es un sistema como el que se describe a continuación.

Sistema de recubrimiento recomendado

Según lo especificado en la tabla 2.14 el recubrimiento recomendado para un ambiente de grado marítimo 1 deberá constar de las siguientes acciones:

Fondo

Para el fondo se recomienda una pintura primer (fondo) con Etil – Silicato de Cinc, de marca certificada y aplicada según las especificaciones del mismo fabricante. Sin embargo se recomienda:

- Preparación de la superficie: Chorro de arena contra las superficies para aceros nuevos, para mantenimiento, no se necesita preparación de a superficie.
- Remover aceite y grasa de la superficie con detergente.
- Remover la sal de la superficie con un chorro de agua fresca a alta presión.

- Permitir el secado de la superficie.
- El tiempo entre la preparación de la superficie y la aplicación de la primera mano de fondo no debe exceder los 20 minutos.
- Temperatura de la superficie; 20°C/ 68°F
- Tiempo de secado varia según especificaciones de la pintura.
- Se recomienda la aplicación de pintura con especial atención en las uniones y a los cordones de soldadura.

Intermedia

La capa intermedia en el sistema de recubrimiento recomendado es una mano de una Epoxy – Poliamida, la misma que debe ser aplicada según las recomendaciones descritas en el catálogo de la pintura utilizada.

Acabado

Para el acabado un esmalte poliuretano como el que es utilizado comúnmente en la grúa barcaza, bajo las recomendaciones del fabricante.

Tabla 4.10.- Tareas recomendadas para el recubrimiento.

Nº	TAREA	SI	NO	N/A	OBSERVACIONES
1	Preparación de la superficie.				
2	Remover aceite y grasa de la superficie.				
3	Remover la sal de la superficie.				
4	Permitir el secado de la superficie.				
5	Control de tiempo entre la preparación de la superficie y la aplicación de la pintura.				
6	Control del tiempo de secado entre capas.				
7	Pintura con principal atención en la uniones				

CAPITULO 5

COSTOS

INTRODUCCIÓN

Los costos asociados a la repotenciación del sistema estructural de la grúa barcaza “Smith Rice” vienen dados por parámetros como son los costos de materiales, costos de mano de obra, costos administrativos, costos financieros, etc. El análisis que se realizará es de costos unitarios, y es un referente para costos de repotenciación en sistema estructurales como este.

Es necesario mencionar que para ésta repotenciación específica, el personal, las herramientas y los equipos necesarios pertenecen a la empresa (Oleoducto). Es decir los costos que aparecen en este estudio pueden ser diferentes de los costos reales para la repotenciación ya que son costos del mercado local, sin embargo no dejan de ser un referente.

COSTOS

COSTOS DIRECTOS

Los costos directos son aquellos que se vinculan directamente a la producción y son susceptibles de inversión y no de gastos, dependen del volumen de producción, cuando aumenta la demanda también aumentan los costos y por consiguiente también aumenta el margen de utilidad, dentro de los costos directos se tienen:

- Costo de mano de obra.
- Costo de equipo.
- Costo de materiales.

COSTO DE MANO DE OBRA

El costo de mano de obra es una variable que esta implícita en el costo total de producción la cual se divide en directa e indirecta.

MANO DE OBRA DIRECTA

El costo de mano de obra directa es el costo del personal que pertenece a la empresa, o sea que está involucrada con la empresa al 100% e interviene directamente con el proceso de producción.

MANO DE OBRA INDIRECTA

El costo de mano de obra indirecta es aquella que no pertenece de manera directa a la empresa, en el caso de la repotenciación de la grúa puede ser la inspección de los trabajos que se realiza por parte de un fiscalizador o la mano de obra que este vinculada a trabajos que no realice la empresa.

COSTO DE EQUIPOS

Los costos de equipos es una variable de vital importancia para empresas productivas ya que este parámetro influencia directamente con el producto terminado.

COSTOS DE MATERIALES

Los costos de materiales son los que influyen directamente en el volumen de producción ya que la calidad de los materiales son el principal aporte en conjunto con la mano de obra calificada para obtener un óptimo trabajo.

COSTOS INDIRECTOS

Los costos indirectos son aquellos costos administrativos que no varían dependiendo del volumen de producción, estos costos indirectos son los siguientes:

- Costos administrativos y financieros.
- Costos por imprevistos.
- Costos de transporte.

COSTOS ADMINISTRATIVOS Y FINANCIEROS

Los costos administrativos y financieros son aquellos que no dependen del volumen de producción de la empresa, estos costos ya se encuentran tabulados mensualmente dentro de la empresa.

COSTOS POR IMPREVISTOS

Los costos por imprevistos también denominados de contingencia los cuales coadyuvan a solucionar siniestros o retrasos de operación, cabe recalcar que existen empresas que descuentan este rubro directamente de las utilidades y otros están inherentes en el costo, dependiendo del número de imprevistos.

COSTOS DE TRANSPORTE

Los costos debido al transporte son costos que no varían en el proceso de producción, cabe recalcar que para el presente proyecto todo el material y equipo se lo transporta a la zona de trabajo y este costo es prácticamente constante cuando se trata de la misma trayectoria.

Para este caso, los costos analizados son los siguientes:

- Costos de mano de obra.
- Costos de insumos.
- Costos de materiales.
- Costos de personal.

DETALLE DE COSTOS

A continuación se detallan los costos de personal, equipos, insumos y materiales de cada una de las operaciones.

Inspección de la estructura

Tabla 6.1.- Costos unitarios para la Inspección.

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Inspección de la estructura			
Tiempo	30	Horas.		
Peso	3500	Kg.		
K	116,66			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Equipo de sand blasting	1	10	10	0,0857
Equipo de ultrasonido	1	25	25	0,2143
			TOTAL	0,3000
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Operario sand blasting	1	3	3	0,0257
Tecnico Ultrasonido	1	5	5	0,0429
Operador de la grúa barcaza	1	3	3	0,0257
Ayudante	1	1,5	1,5	0,0129
			TOTAL	0,1071
			COSTO	0,4072
			COSTO INDIRECTO (10%)	0,0407
			UTILIDAD (15%)	0,0611
			COSTO TOTAL	0,5090
			CANTIDAD	3500
			PRECIO	1781,352

Análisis estructural y determinación de la citación actual.

Tabla 6.2.- Costos unitarios para el análisis estructural

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Análisis de la estructura			
Tiempo	80	Horas.		
Peso	3500	Kg.		
K	43,75			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Computador	2	3	6	0,1371
			TOTAL	0,1371
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Operario sand blasting	1	3	3	0,0257
Tecnico Ultrasonido	1	5	5	0,0429
Ingenieros	2	7	14	0,3200
Ayudantes	2	1,5	3	0,0686
			TOTAL	0,4571
			COSTO	0,5943
			COSTO INDIRECTO (10%)	0,0594
			UTILIDAD (15%)	0,0891
			COSTO TOTAL	0,7429
			CANTIDAD	3500
			PRECIO	2600,017

Verificación del material

Tabla 6.3.- Costos unitarios para la verificación del material

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Inspección de la estructura			
Tiempo	15	Horas.		
Peso	1500	Kg.		
K	100			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Equipo de medición	1	2	2	0,0200
Equipo de ultrasonido	1	25	25	0,2500
			TOTAL	0,2700
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Tecnico en ultrasonido	1	5	5	0,0500
Ayudantes	2	1,5	3	0,0300
			TOTAL	0,0800
			COSTO	0,3500
			COSTO INDIRECTO (10%)	0,0350
			UTILIDAD (15%)	0,0525
			COSTO TOTAL	0,4375
			CANTIDAD	1500
			PRECIO	656,250

Desmontaje

Tabla 6.4.- Costos unitarios para el desmontaje

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Desmontaje			
Tiempo	15	Horas.		
Peso	1500	Kg.		
K	100			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Grúa capacidad 5 TN.	1	25	25	0,2500
Amoladoras	2	1	2	0,0200
Equipo de oxicorte	2	2	4	0,0400
Herramienta menor	1	2	2	0,0200
Equipos de protección personal	1	1	1	0,0100
			TOTAL	0,3400
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Soldadores calificados	2	5	10	0,1000
Operador de grúa terrestre	1	3	3	0,0300
Operador de la grúa barcaza	1	3	3	0,0300
Operarios	2	2	4	0,0400
Ayudantes	3	1,5	4,5	0,0450
			TOTAL	0,2450
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo u	Costo u total
			USD	
Cilindro de oxígeno	20 Kg	5,00E-03	20	0,1
Cilindro de acetileno	20 Kg	5,00E-03	20	0,1
Discos de corte	Disco	0,03	10	0,3
Discos desbaste	Disco	0,03	15	0,45
			TOTAL	0,95
COSTO				1,5350
COSTO INDIRECTO (10%)				0,1535
UTILIDAD (15%)				0,2303
COSTO TOTAL				1,9188
CANTIDAD				1500
PRECIO				2878,125

Ensamble

Tabla 6.5.- Costos unitarios para el desmontaje

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Ensamble			
Tiempo	50	Horas.		
Peso	1000	Kg.		
K	20			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Amoladoras	2	1	2	0,1000
Soldadoras 300 A.	2	5	10	0,5000
Equipo de izaje	1	2	2	0,1000
Equipo de oxicorte	2	2	4	0,2000
Herramienta menor	1	2	2	0,1000
			TOTAL	1,0000
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Soldadores calificados	2	5	10	0,5000
Armadores	2	3	6	0,3000
Ayudantes	3	1,5	4,5	0,2250
			TOTAL	1,0250
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo u	Costo u total
			USD	
Cilíndro de oxígeno	20 Kg	5,00E-03	20	0,1000
Cilíndro de acetileno	20 Kg	5,00E-03	20	0,1000
Electrodos 7018	Kg	5,00E-03	10	0,0500
Discos de corte	Disco	0,02	10	0,2000
Perfiles	Kg	30	0,9	27,0000
Discos desbaste	Disco	0,02	12	0,2400
			TOTAL	27,6900
COSTO				29,7150
COSTO INDIRECTO (10%)				2,9715
UTILIDAD (15%)				4,4573
COSTO TOTAL				37,1438
CANTIDAD				1000
PRECIO				37143,750

Montaje

Tabla 6.6.- Costos unitarios para el montaje

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Montaje			
Tiempo	15	Horas.		
Peso	1500	Kg.		
K	100			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Grúa capacidad 5 TN.	1	25	25	0,2500
Amoladora	2	1	2	0,0200
Soldadoras 300 A.	2	5	10	0,1000
Equipo de oxicorte	2	2	4	0,0400
Herramienta menor	1	2	2	0,0200
			TOTAL	0,4300
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Soldadores calificados	2	5	10	0,1000
Operador de grúa terrestre	1	3	3	0,0300
Operador de grúa barcaza	1	3	3	0,0300
Armadores	2	3	6	0,0600
Ayudantes	3	1,5	4,5	0,0450
			TOTAL	0,2650
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo u	Costo u total
			USD	
Electrodos 7018	Kg	5,00E-03	10	0,0500
Discos de corte	Disco	0,001	10	0,0100
Discos desbaste	Disco	0,002	15	0,0300
			TOTAL	0,0900
COSTO				0,7850
COSTO INDIRECTO (10%)				0,0785
UTILIDAD (15%)				0,1178
COSTO TOTAL				0,9813
CANTIDAD				1500
PRECIO				1471,875

Refuerzos

Tabla 6.7.- Costos unitarios para el refuerzo

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Refuerzos			
Tiempo	20	Horas.		
Peso	200	Kg.		
K	10			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Amoladora	2	1	2	0,2000
Soldadoras 300 A.	1	5	5	0,5000
Equipo de oxicorte	2	2	4	0,4000
Herramienta menor	1	2	2	0,2000
			TOTAL	1,3000
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Soldadores calificados	1	5	5	0,5000
Operador de grúa barcaza	1	3	3	0,3000
Armadores	1	3	3	0,3000
Ayudantes	2	1,5	3	0,3000
			TOTAL	1,4000
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo u	Costo u total
			USD	
Electrodos 7018	Kg	5,00E-03	10	0,0500
Discos de corte	Disco	0,001	10	0,0100
Discos desbaste	Disco	0,002	15	0,0300
			TOTAL	0,0900
			COSTO	2,7900
			COSTO INDIRECTO (10%)	0,2790
			UTILIDAD (15%)	0,4185
			COSTO TOTAL	3,4875
			CANTIDAD	200
			PRECIO	697,500

Comprobación dimensional y funcional

Tabla 6.8.- Costos unitarios para la comprobación funcional.

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Comprobación funcional y dimensional			
Tiempo	30	Horas.		
Peso	3500	Kg.		
K	150			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Equipo de medición	1	5	5	0,0333
Equipo de ultrasonido	1	25	25	0,1667
			TOTAL	0,2000
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Operador de grúa barcaza	1	3	3	0,0200
Ayudantes	2	1,5	3	0,0200
Técnico Ultrasonido	1	4	4	0,0267
			TOTAL	0,0667
			COSTO	0,2667
			COSTO INDIRECTO (10%)	0,0267
			UTILIDAD (15%)	0,0400
			COSTO TOTAL	0,3333
			CANTIDAD	1500
			PRECIO	500,000

Recubrimiento

Tabla 6.9.- Costos unitarios para el recubrimiento.

COSTOS DIRECTOS				
Rubro	Recubrimiento			
Tiempo	40	Horas.		
Peso	5000	Kg.		
K	125			
Equipos				
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Equipo de Sand blasting	2	2	4	0,0320
Equipo de pintura	1	3	3	0,0240
Compresor soplete	1	2	2	0,0160
			TOTAL	0,0720
Personal				
Descripción	Cantidad	Jornal	Costo / hora	Costo unitario
		USD / hora	USD / hora	
Operario (Sand blasting)	1	3,5	3,5	0,0280
Operarios (pintores)	2	3	6	0,0480
Ayudantes	2	1,5	3	0,0240
Operador de grúa	1	3	3	0,0240
			TOTAL	0,1240
Materiales				
Descripción	Unidad	Cantidad	Costo u	Costo u total
			USD	
Diluyente	Kg	5,00E-03	10	0,0500
Pintura (fondo, int, acabado))	L	0,001	10	0,0100
			TOTAL	0,0600
COSTO				0,2560
COSTO INDIRECTO (10%)				0,0256
UTILIDAD (15%)				0,0384
COSTO TOTAL				0,3200
CANTIDAD				5000
PRECIO				1600,000

COSTOS TOTALES

Los costos totales se obtienen de la suma de los costos directos más los indirectos más la utilidad que se tiene del proyecto, los cuales se detallan en el cronograma valorado de la tabla 6.10.

Para el valor de los costos indirectos, costos como son los financieros, imprevistos, transporte, administrativos etc. Se ha tomado en cuenta un valor del

10% del valor de los costos directos (valor recomendado por el MOP, ministerio de obras públicas), mientras que para la utilidad se ha considerado un valor del 15% del valor de los costos directos.

De la tabla 6.10 se determina que el valor total de la repotenciación será de 49,328 USD los cuales se distribuyen en conformidad al cronograma valorado que se presenta en la tabla 6.10.

Tabla 6.10.- Cronograma valorado de actividades.

Cronograma valorado													
Actividades								Tiempo (semanas)					
		Unidad	Costo	Cantidad	C Indirectos	Utilidad	Total	Precio	S1	S2	S3	S4	S5
1	Inspección	kg	0,407	3500	0,0407	0,06105	0,509	1780,63					
2	Análisis y situación actual	kg	0,594	3500	0,059429	0,08914	0,743	2600,02					
3	Verificación del material	kg	0,350	1500	0,035	0,0525	0,438	656,25					
4	Desmontaje de elementos	kg	1,535	1500	0,1535	0,23025	1,919	2878,13					
5	Ensamble de elementos	kg	29,715	1000	2,9715	4,45725	37,144	37143,8					
6	Montaje de conjunto de elementos	kg	0,785	1500	0,0785	0,11775	0,981	1471,88					
7	Colocación refuerzos	kg	2,790	200	0,279	0,4185	3,488	697,5					
8	Comprobación funcional y dimensional	kg	0,267	1500	0,0266667	0,04	0,333	500					
9	Recubrimiento	kg	0,256	5000	0,0256	0,0384	0,320	1600					
							TOTAL	49328,1	S1	S2	S3	S4	S5
Inversión (USD)									2647	1733	22106	20044	2798
Inversión acumulada (USD)									1958	4381	26487	46531	49328
Avance (%)									20	20	20	20	20
Avance acumulado (%)									20	40	60	80	100

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Mediante el desarrollo de este proyecto se ha podido establecer un procedimiento referente que permitirá desarrollar una posible repotenciación o reparación de estructuras metálicas deterioradas de similares características.
- Las estructuras metálicas que operan en medios agresivos, específicamente en medios marítimos, requieren de un programa de mantenimiento adecuado, especialmente diseñado para evitar problemas de corrosión.
- Los altos índices de corrosión no permiten la operación de la grúa en su capacidad total, la capacidad de la misma ha visto disminuida en un 25%
- Es indispensable restringir el uso del aparejo de izaje secundario en un 25% de su capacidad nominal, debido a la gran pérdida de espesores que se ha detectado en la zona del penol.
- El procedimiento de repotenciación de la grúa asegura un correcto funcionamiento del sistema estructural permitiendo recobrar la capacidad nominal de la misma trabajando con un factor de seguridad adecuado para la operación normal de la grúa.
- Es obligación del operador de la grúa, el correcto uso de la misma, en lo que se refiere a cargas máximas para los distintos grados de elevación de la pluma. El grado de elevación más crítico es el de 0° (cero grados).
- Los perfiles y placas que vayan a ser reemplazados, deberán ser de acero ASTM A588 grado A que es el acero recomendado para trabajar en medios propensos a la corrosión.

RECOMENDACIONES

- La operación de esta grúa está normalizada, se recomienda el uso de la norma ASME B30.8 – 2004 “Floating Cranes and Floating Derricks” para la operación de esta grúa barcaza.
- Se recomienda la instalación y uso de instrumentos capaces de medir el grado de inclinación de la barcaza con respecto al nivel del mar, así como, instrumentos que midan el grado de inclinación de la pluma con respecto a su eje.
- Se recomienda la elaboración de un plan de mantenimiento del recubrimiento de la estructura, basados en la normativa existente ISO 12944-1: 1998, Paints and varnishes - Corrosion protection of steel structures by protective paint systems. (Protección contra la corrosión de estructuras de acero por sistemas de pintura), acerca de las técnicas recomendadas de protección contra la corrosión.
- La estructura interna de la barcaza debe ser analizada, ya que ésta presenta niveles de corrosión al igual que la grúa, esto permitirá alargar la vida útil de todos los componentes de la grúa barcaza “Smith Rice”.

BIBLIOGRAFIA

- API Spec 2C-2004 - Specification for Offshore Pedestal Mounted Cranes (Especificación para grúas de pedestal montadas costa afuera o equivalente).
- AWS D1.1/D1.1M-2004 - Structural Welding Code - Steel (Código de soldadura estructural - acero).
- AISC, "Manual of Steel Construction - Allowable Stress Design", 9th Edition, 1989.
- ASME B30.8 2004 – floating cranes and floating derricks
- MERIAM, Mecánica para ingenieros. Estática. Editorial Reverté, 1984
- Estructuras Metálicas, Quintero, F. & Cudós, V., Escuela de la Edificación, UNED, Madrid, 1995.
- TIMOSHENKO, S.P. , YOUNG D.H (1965) Teoría de las estructuras. Bilbao, Urmo, 1981
- REINA GOMEZ MANUEL, Soldadura de los aceros 4ta Edición, Editorial Weld Works, Madrid, 2003.
- ING. J. VERSCHOOF, Cranes, Design, practice and maintenance, Segunda Edición,. Año 2002

ANEXO 1

LISTA MATERIALES

Puente						
N.	Zona		Descripción	L (m)	Kg. / m	Peso
Perfiles Verticales						
P1			AISC W 12 x 26	4,9332	38,77	191,27
P2	Babor	Inferior	AISC W 12 x 26	4,677	38,77	181,33
P3			AISC W 12 x 26	4,677	38,77	181,33
P4			AISC W 12 x 26	4,9332	38,77	191,27
P5	Babor		AISC W 12 x 26	9,34	38,77	362,12
P6	Estribor		AISC W 12 x 26	9,34	38,77	362,12
P7	Babor		AISC W 12 x 26	2,88	38,77	111,66
P8	Estribor		AISC W 12 x 26	2,88	38,77	111,66
P9	Babor		AISC W 12 x 26	2,28	38,77	88,40
P10	Estribor		AISC W 12 x 26	2,28	38,77	88,40
P11		Anterior	Placa (Puente 1)	N/A	N/A	20,00
P12		Posterior	Placa (Puente 2)	N/A	N/A	20,00
Perfiles Horizontales						
P13			AISC W 12 x 26	2,21	38,77	85,7
P14			AISC W 12 x 26	3,8	38,77	147,3
P15			AISC W 12 x 26	3,4	38,77	131,8
P16		Superior	AISC C 12 x 25	0,63	37,3	23,5
P17		Inferior	AISC C 12 x 25	0,63	37,3	23,5
P18			AISC C 12 x 25	1,16	37,3	43,2
P19			AISC C 12 x 25	1,62	37,3	60,4
P20			AISC C 12 x 25	2,07	37,3	77,2
P21			AISC C 12 x 25	2,53	37,3	94,3
P22	Babor		AISC C 12 x 25	1,02	37,3	38,0
P23	Estribor		AISC C 12 x 25	1,02	37,3	38,0
P24			AISC C 12 x 25	0,71	37,3	26,5
P25			AISC C 12 x 25	0,93	37,3	34,7
P26			AISC C 12 x 25	0,63	37,3	23,5
P27			AISC C 12 x 25	3,39	37,3	126,4
Perfiles celosía						
P28		Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,06	7,31	15,05
P29		Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,06	7,31	15,05
P30		Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,4	7,31	17,54
P31		Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,4	7,31	17,54
P32		Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,76	7,31	20,17
P33		Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,76	7,31	20,17
P34	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,76	7,31	12,86
P35	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,76	7,31	12,86
P36	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,76	7,31	12,86
P37	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,76	7,31	12,86
Perfiles traseros						
P38	Babor		AISC W 12 x 26	4,69	38,77	181,84
P39	Estribor		AISC W 12 x 26	4,69	38,77	181,84
P40	Babor		AISC W 12 x 26	4,95	38,77	191,92
P41	Estribor		AISC W 12 x 26	4,95	38,77	191,92
P42	Babor		AISC C 12 x 25	3,4	37,28	126,75
P43	Estribor		AISC C 12 x 25	2	37,28	74,56
Peso Total						3989,34

Gozne						
N.	Zona		Descripción	L (m)	Kg / m	Peso
G1	Babor		Placa (Gozne 1)	N/A	N/A	18,1
G2	Babor	interior	Placa (Gozne 1)	N/A	N/A	18,1
G3	Babor		Placa (Gozne 2)	N/A	N/A	36,2
G4	Estribor		Placa (Gozne 1)	N/A	N/A	18,1
G5	Estribor	interior	Placa (Gozne 1)	N/A	N/A	18,1
G6	Estribor		Placa (Gozne 2)	N/A	N/A	36,2
G7	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,7	22	60
G8	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,7	22	60
G9	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,7	22	60
G10	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,7	22	60
Peso Total						384,76

Primer Cuerpo						
N.	Zona		Descripción	L (m)	Kg / m	Peso
Perfiles celosia Superior - Inferior						
C1		Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,2	22,22	48,88
C2		Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,2	22,22	48,88
C3	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	11,3	22,22	251,07
C4	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	11,3	22,22	251,07
C5	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	11,3	22,22	251,07
C6	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	11,3	22,22	251,07
C7	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,8	7,31	20,46
C8	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	3,19	7,31	23,31
C9	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	3,19	7,31	23,31
C10	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,8	7,31	20,46
C11	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	3,19	7,31	23,31
C12	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,8	7,31	20,46
C13	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,8	7,31	20,46
C14	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	3,19	7,31	23,31
C15	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,6	7,31	11,69
C16	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,6	7,31	11,69
C17	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,6	7,31	11,69
C18	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,6	7,31	11,69
C19	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,74	7,31	12,71
C20	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,74	7,31	12,71
C21	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,74	7,31	12,71
C22	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,74	7,31	12,71
C23	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,8	7,31	13,15
C24	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,8	7,31	13,15
C25	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,8	7,31	13,15
C26	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,8	7,31	13,15
C27	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,97	7,31	14,40
C28	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,97	7,31	14,40
C29	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,97	7,31	14,40
C30	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	1,97	7,31	14,40
C31	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,06	7,31	15,05
C32	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,06	7,31	15,05
C33	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,06	7,31	15,05
C34	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,06	7,31	15,05
C35	Babor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,26	7,31	16,51
C36	Estribor	Superior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,26	7,31	16,51
C37	Babor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,26	7,31	16,51
C38	Estribor	Inferior	AISC L 3 x 3 x 1/4	2,26	7,31	16,51
Perfiles celosia laterales						
C39	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,54	6,11	9,42
C40	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,54	6,11	9,42
C41	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,48	6,11	9,05
C42	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,48	6,11	9,05
C43	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,4	6,11	8,56
C44	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,4	6,11	8,56
C45	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,35	6,11	8,25

C46	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,35	6,11	8,25
C47	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,26	6,11	7,70
C48	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,26	6,11	7,70
C49	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,22	6,11	7,46
C50	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,22	6,11	7,46
C51	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,14	6,11	6,97
C52	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,14	6,11	6,97
C53	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,1	6,11	6,73
C54	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,1	6,11	6,73
C55	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,02	6,11	6,24
C56	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,02	6,11	6,24
C57	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,98	6,11	5,99
C58	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,98	6,11	5,99
C59	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,92	6,11	5,63
C60	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,92	6,11	5,63
C61	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,89	6,11	5,44
C62	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,89	6,11	5,44
C63	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,81	6,11	4,95
C64	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,81	6,11	4,95
C65	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,78	6,11	4,77
C66	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,78	6,11	4,77
C67	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,73	6,11	4,46
C68	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,73	6,11	4,46
C69	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,7	6,11	4,28
C70	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,7	6,11	4,28
C71	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,65	6,11	3,97
C72	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,65	6,11	3,97
C73	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,35	6,11	8,25
C74	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,35	6,11	8,25
Perfiles Horizontales						
C75	Babor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,19	6,11	7,28
C76	Estribor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,19	6,11	7,28
C77	Babor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,19	6,11	7,28
C78	Estribor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,19	6,11	7,28
C79	Babor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,29	6,11	7,89
C80	Estribor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,29	6,11	7,89
C81	Babor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,29	6,11	7,89
C82	Estribor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,29	6,11	7,89
C83	Babor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,42	6,11	8,68
C84	Estribor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,42	6,11	8,68
C85	Babor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,42	6,11	8,68
C86	Estribor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,42	6,11	8,68
C87	Babor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,58	6,11	9,66
C88	Estribor	Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,58	6,11	9,66
C89	Babor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,58	6,11	9,66
C90	Estribor	Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,58	6,11	9,66
Perfiles Verticales						
C91			AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,47	6,11	2,87
C92			AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,8	6,11	4,89
C93			AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,05	6,11	6,42
C94			AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,25	6,11	7,64

C95	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,65	6,11	10,09
C96	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,65	6,11	10,09
C97	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,63	6,11	9,97
C98	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,63	6,11	9,97
C99	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,67	6,11	10,21
C100	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,67	6,11	10,21
C101	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,73	6,11	10,58
C102	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,73	6,11	10,58
C103	Superior	Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,33	6,11	8,13
C104	Inferior	Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,33	6,11	8,13
C105	Inferior	Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,33	6,11	8,13
C106	Superior	Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,33	6,11	8,13
Otros						
C99	Babor	Superior	Placa (Primer cuerpo horizontal)	N/A	N/A	6,41
C100	Babor	Inferior	Placa (Primer cuerpo horizontal)	N/A	N/A	6,41
C101	Estribor	Superior	Placa (Primer cuerpo horizontal)	N/A	N/A	6,41
C102	Estribor	Inferior	Placa (Primer cuerpo horizontal)	N/A	N/A	6,41
C103	Babor	Superior	Placa (Primer cuerpo vertical)	N/A	N/A	6,41
C104	Babor	Inferior	Placa (Primer cuerpo vertical)	N/A	N/A	6,41
C105	Estribor	Superior	Placa (Primer cuerpo vertical)	N/A	N/A	6,41
C106	Estribor	Inferior	Placa (Primer cuerpo vertical)	N/A	N/A	6,41
C107		Superior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C108		Superior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C109		Superior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C110		Superior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C111		Inferior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C112		Inferior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C113		Inferior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
C114		Inferior	Placa (Celosía sup - inf)	N/A	N/A	7,79
Peso Total						2231,2

Segundo Cuerpo						
N.	Zona		Descripción	L (m)	Kg / m	Peso
Perfiles celosia Superior - Inferior						
D1		Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,4	22,22	31,11
D2		Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,4	22,22	31,11
D3	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	8,01	22,22	177,97
D4	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	8,01	22,22	177,97
D5	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	8,01	22,22	177,97
D6	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	8,01	22,22	177,97
D7		Superior	AISC L 4 x 4 x 5/16	7,1	12,23	86,82
D8		Inferior	AISC L 4 x 4 x 5/16	7,1	12,23	86,82
D9		Superior	AISC L 4 x 4 x 5/16	7,1	12,23	86,82
D10		Inferior	AISC L 4 x 4 x 5/16	7,1	12,23	86,82
D11		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,7	6,11	10,39
D12		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,7	6,11	10,39
D13		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,44	6,11	8,80
D14		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,44	6,11	8,80
D15		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,38	6,11	8,44
D16		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,38	6,11	8,44
D17		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,29	6,11	7,89
D18		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,29	6,11	7,89
D19		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,24	6,11	7,58
D20		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,24	6,11	7,58
D21		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,15	6,11	7,03
D22		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,15	6,11	7,03
D23		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,1	6,11	6,73
D24		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,1	6,11	6,73
D25		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,03	6,11	6,30
D26		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,03	6,11	6,30
D27		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,99	6,11	6,05
D28		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,99	6,11	6,05
D29		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,88	6,11	5,38
D30		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,88	6,11	5,38
D31		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,85	6,11	5,20
D32		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,85	6,11	5,20
Perfiles celosia laterales						
D33		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,71	6,11	10,46
D34		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,71	6,11	10,46
D35		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,46	6,11	8,93
D36		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,46	6,11	8,93
D37		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,41	6,11	8,62
D38		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,41	6,11	8,62
D39		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,33	6,11	8,13
D40		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,33	6,11	8,13
D41		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,28	6,11	7,83
D42		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,28	6,11	7,83
D43		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,2	6,11	7,34
D44		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,2	6,11	7,34
D45		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,16	6,11	7,09

D46		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,16	6,11	7,09
D47		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,09	6,11	6,66
D48		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,09	6,11	6,66
D49		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,05	6,11	6,42
D50		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,05	6,11	6,42
D51		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,95	6,11	5,81
D52		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,95	6,11	5,81
D53		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,92	6,11	5,63
D54		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,92	6,11	5,63
D55	Superior	Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,98	6,11	5,99
D56	Inferior	Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,98	6,11	5,99
D57	Inferior	Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,98	6,11	5,99
D58	Superior	Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,98	6,11	5,99
Perfiles Verticales						
D59		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,4	6,11	8,56
D60		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	1,4	6,11	8,56
D61		Babor	Placa Union 1 (rectangular)	N/A	N/A	15,04
D62		Estribor	Placa Union 1 (rectangular)	N/A	N/A	15,04
D63		Superior	Placa Union 2 (trapezoide)	N/A	N/A	15,25
D64		Inferior	Placa Union 2 (trapezoide)	N/A	N/A	15,25
Otros						
D65	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,67	22,22	14,89
D66	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,67	22,22	14,89
D67	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,67	22,22	14,89
D68	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,67	22,22	14,89
D69	Babor	Superior	Placa (Segundo cuerpo horizontal)	N/A	N/A	10,76
D70	Babor	Inferior	Placa (Segundo cuerpo horizontal)	N/A	N/A	10,76
D71	Estribor	Superior	Placa (Segundo cuerpo horizontal)	N/A	N/A	10,76
D72	Estribor	Inferior	Placa (Segundo cuerpo horizontal)	N/A	N/A	10,76
D73	Babor	Superior	Placa (Segundo cuerpo vertical)	N/A	N/A	10,76
D74	Babor	Inferior	Placa (Segundo cuerpo vertical)	N/A	N/A	10,76
D75	Estribor	Superior	Placa (Segundo cuerpo vertical)	N/A	N/A	10,76
D76	Estribor	Inferior	Placa (Segundo cuerpo vertical)	N/A	N/A	10,76
					Peso Total	1487,9

Perfiles con Placa						
D77	Estribor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,55	6,11	3,36
D78		Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,88	22,22	19,55
D79	Babor		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,55	6,11	3,36
D80		Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,88	22,22	19,55

Zona Penol						
N.	Zona		Descripción	L (m)	Kg / m	Peso
Perfiles celosia Superior - Inferior						
E1	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,86	22,22	63,55
E2	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,85	22,22	63,32
E3	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,86	22,22	63,55
E4	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	2,85	22,22	63,32
E5	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,26	22,22	28,00
E6	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,26	22,22	28,00
E7	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,26	22,22	28,00
E8	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,26	22,22	28,00
E9	Babor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,875	22,22	41,66
E10	Estribor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,88	22,22	41,77
E11	Estribor	Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,875	22,22	41,66
E12	Babor	Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,88	22,22	41,77
E13		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,94	6,11	5,75
E14		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,94	6,11	5,75
E15		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,94	6,11	5,75
E16		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,94	6,11	5,75
E17		Superior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,94	6,11	5,75
E18		Inferior	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,94	6,11	5,75
E19		Superior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,26	22,22	28,00
E20		Inferior	AISC L 6 x 6 x 3/8	1,26	22,22	28,00
Perfiles celosia laterales						
E21		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,68	6,11	4,16
E22		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,67	6,11	4,10
E23		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,65	6,11	3,97
E24		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,66	6,11	4,04
E25		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,63	6,11	3,85
E26		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,62	6,11	3,79
E27		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,6	6,11	3,67
E28		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,61	6,11	3,73
E29		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,59	6,11	3,61
E30		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,586	6,11	3,58
Placas						
E31			Placa Transversal	N/A	N/A	13,14
E32		Babor	Placa Penol 1	N/A	N/A	80,35
E33		Estribor	Placa Penol 1	N/A	N/A	80,35
E34		Babor	Placa Penol 2	N/A	N/A	113,89
E35		Estribor	Placa Penol 2	N/A	N/A	113,89
E36			Placa Frontal	N/A	N/A	5,61
E37		Babor	Placa Lateral	N/A	N/A	19,19
E38		Estribor	Placa Lateral	N/A	N/A	19,19
					Peso Total	1107,17

Perfiles con Placa						
E39	Superior		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,71	6,11	4,34

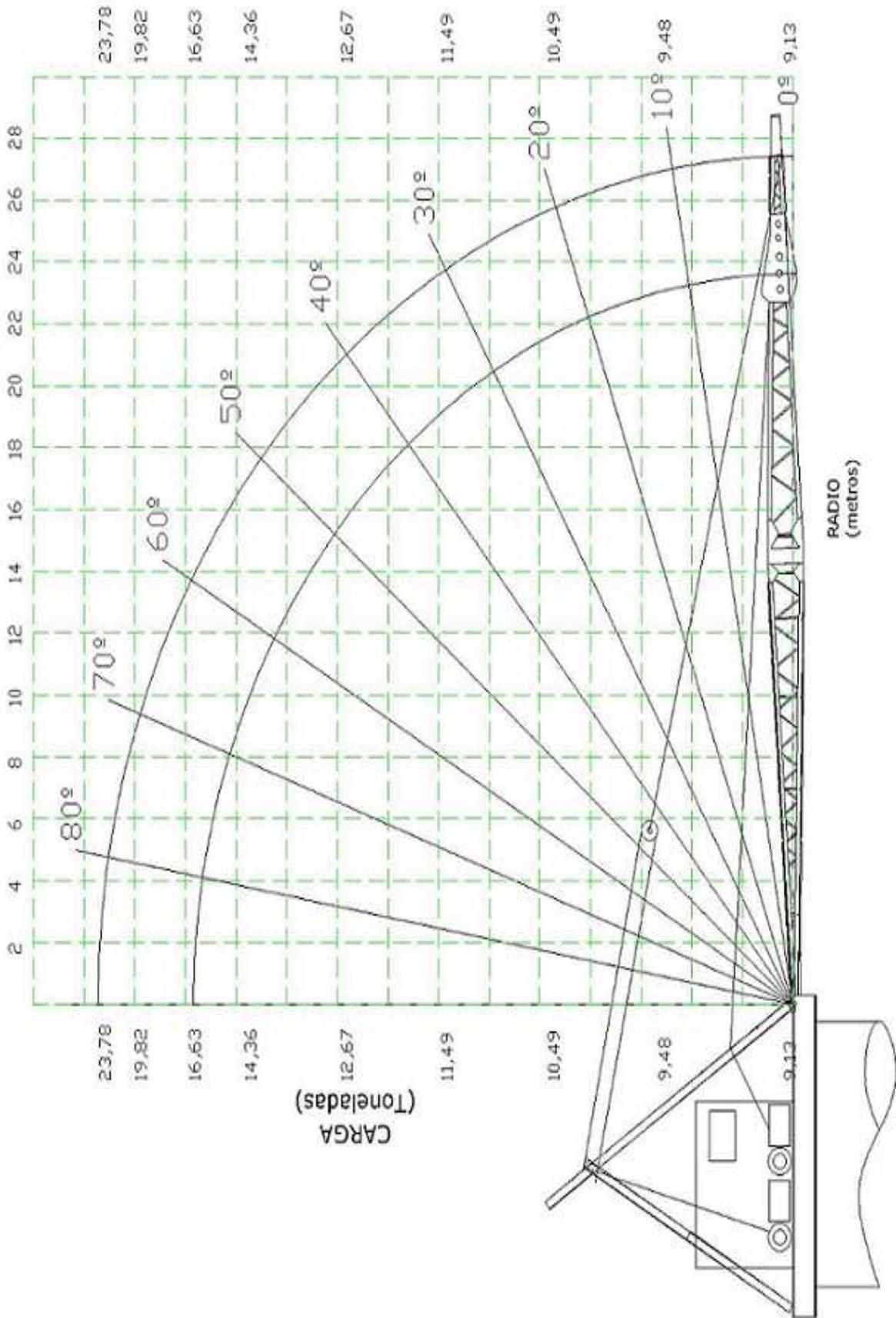
E40		Estribor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,43	6,11	2,63
E41		Babor	AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,43	6,11	2,63
E42	Inferior		AISC L 2,5 x 2,5 x 1/4	0,71	6,11	4,34
E43		Estribor	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,34	22,22	7,55
E44	Inferior		AISC L 6 x 6 x 3/8	0,71	22,22	15,78
E45		Babor	AISC L 6 x 6 x 3/8	0,34	22,22	7,55
E46	Superior		AISC L 6 x 6 x 3/8	0,71	22,22	15,78

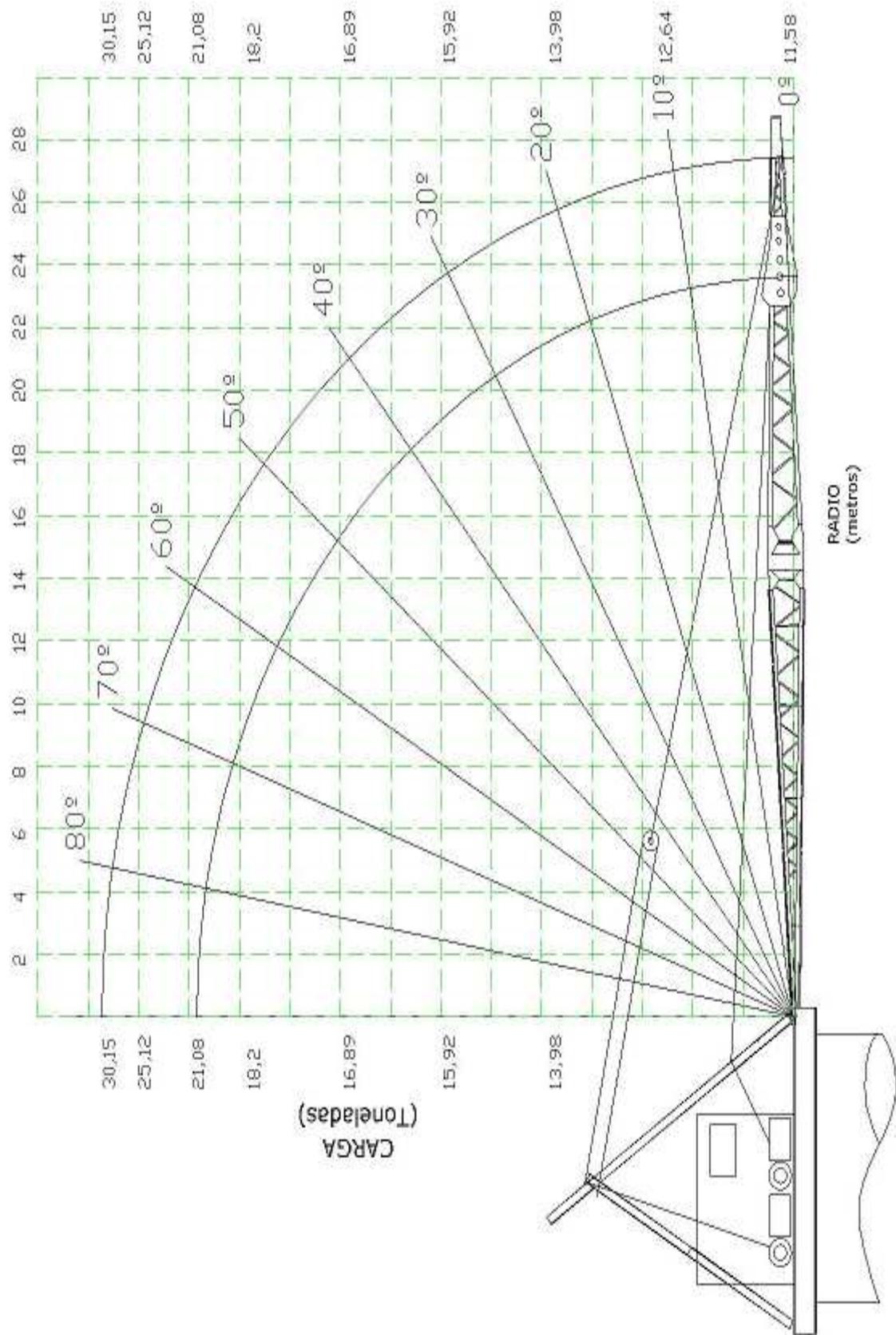
ANEXO 2

NORMA ASME B30.8

ANEXO 3

CUADRO DE LA CAPACIDAD DE CARGA DE LA GRÚA





ANEXO 4

PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Procedimiento de Soldadura (WPS)

Nombre Compañía: EPN WPS Precalificado: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> PQR de soporte:			No de identificación: EPN – SR 001 Realizado por: Recalde – Paredes Fecha: 20/06/07 Revisado por: Ing. Carlos Baldeón Fecha: 20/06/07 Autorizado por:				
Junta Utilizada Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Material respaldo Acero A36 Preparar junta: si <input checked="" type="checkbox"/> no <input type="checkbox"/> Método <u>Oxicorte</u> Bisel <u>60°(+10, -5)</u> Abertura raíz <u>3 mm (+2, -3mm)</u>			Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: <u>SMAW</u> Tipo de Soldadura Manual <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Posición de soldadura Tope 3G Técnica Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico				
Metal Base Especificaciones: <u>ASTM A588-A y ASTM A36</u> Espesor: <u>8 – 20 mm</u>			Notas La soldadura vertical debe hacerse en sentido ascendente. Designación de junta: B – U2				
Metal de Aporte AWS Especificaciones: A 5.1 Denominación AWS: <u>E6010</u> <u>E7018</u> Diámetro (s): 4 mm							
Pre calentamiento Temp. de pre calentamiento N/A Temp. entre pases; min. max.							
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (V)	Vel. De Avance (m/min)	Detalles de la Junta
	Clase	Diam (mm)	Tipo y polari.	Amp.			
1	E6010	3.2	DC+	70-90	20 - 24	0.06	
2-n	E7018	4	DC+	90-150	25	0.04	

Procedimiento de Soldadura (WPS)

Nombre Compañía: EPN WPS Precalificado: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> PQR de soporte:			No de identificación: EPN – SR 002 Realizado por: Recalde – Paredes Fecha: 20/06/07 Revisado por: Ing. Carlos Baldeón Fecha: 20/06/07 Autorizado por:				
Junta Utilizada Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Material respaldo Acero A36 Preparar junta: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Método <u>Oxicorte</u> Bisel Abertura raíz <u>3 mm (+-1mm)</u>			Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: <u>SMAW</u> Tipo de Soldadura Manual <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Posición de soldadura Tope 1G, 3G, 4G Técnica Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico				
Metal Base Especificaciones: <u>ASTM A588-A</u> Espesor: <u>9 mm</u>			Notas Electrodo E7018 tratado en horno 4 horas a 260 – 420 °C				
Metal de Aporte AWS Especificaciones: A 5.1 Denominación AWS: <u>E6010</u> <u>E7018</u> Diámetro (s): 3.2 mm 4 mm							
Pre calentamiento NO Temp. de pre calentamiento N/A Temp. entre pases; min. max.							
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (V)	Vel. De Avance (m/min)	Detalles de la Junta
	Clase	Diam (mm)	Tipo y polari.	Amp.			
1	E6010	3.2	DC+	70-90	20 - 24	0.06	
2-n	E7018	4	DC+	90-150	25	0.04	

Procedimiento de Soldadura (WPS)

Nombre Compañía: EPN WPS Precalificado: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> PQR de soporte:			No de identificación: EPN – SR 003 Realizado por: Recalde – Paredes Fecha: 20/06/07 Revisado por: Ing. Carlos Baldeón Fecha: 20/06/07 Autorizado por:				
Junta Utilizada: Soldadura a: Un lado <input checked="" type="checkbox"/> Dos lados <input type="checkbox"/> Respaldo: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Material respaldo Preparar junta: si <input type="checkbox"/> no <input checked="" type="checkbox"/> Método <u>Oxicorte</u> Bisel Abertura raíz			Técnica de Soldadura Proceso de soldadura: <u>SMAW</u> Tipo de Soldadura Manual <input checked="" type="checkbox"/> Automática <input type="checkbox"/> Posición de soldadura Filete 1G, Técnica Un pase <input type="checkbox"/> Varios pases <input checked="" type="checkbox"/> Limpieza: Pase raíz: Amoladora Pases siguientes: Cepillo Metálico				
Metal Base Especificaciones: <u>ASTM A588-A</u> Espesor: <u>5 mm</u>			Notas Para espesores mayores a 1/4 in. se puede dejar una separación de 1/16 in. como se muestra en la figura (b)				
Metal de Aporte AWS Especificaciones: A 5.1 Denominación AWS: <u>E6010</u> <u>E7018</u> Diámetro (s): 3.2 mm 4 mm							
Pre calentamiento NO Temp. de pre calentamiento N/A Temp. entre pases; min. max.							
No de pase	Metal de aporte		Corriente		Tensión de trabajo (V)	Vel. De Avance (m/min)	Detalles de la Junta
	Clase	Diam (mm)	Tipo y polari.	Amp.			
1	E6010	3.2	DC+	70-90	25	0.06	
2-n	E7018	4	DC+	90-150	25	0.04	

ANEXO 5

ESPECIFICACIONES DE LA PINTURA ANTICORROSIVA

ANEXO 6

PROCEDIMIENTO DE REPOTENCIACIÓN

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Inspección**
Encargado:
Fecha:

1. Realice una inspección visual general de la estructura
 Si cumple No cumple N/A

2. Determine si es necesario la utilización de ensayos no destructivos para
 determinar el estado actual de la grúa
 Si cumple No cumple N/A

3. Determine zonas en las que se realizaras los ensayos
 Si cumple No cumple N/A

4. Obtenga el equipo necesario para las mediciones
 Si cumple No cumple N/A

5. Prepare la superficie
 Si cumple No cumple N/A

6. Registre los datos
 Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados	Se acepta
Ítems rechazados	Se rechaza

Notas:.....

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Verificación de material**
Encargado:

Fecha:

7. Consulte las especificaciones técnicas establecidas para cada tipo de material

Si cumple No cumple N/A

8. Compruebe que la composición, calidades y acabados del material recibido corresponden con las solicitadas en un centro especializado.

Composición Si cumple No cumple N/A

Calidad Si cumple No cumple N/A

Acabado superficial Si cumple No cumple N/A

9. Obtenga el equipo necesario para las mediciones

Si cumple No cumple N/A

10. Compruebe las cotas en bruto para asegurar que los materiales son suficientes para realizar el trabajo previsto.

Si cumple No cumple N/A

(Rechazar los materiales y componentes que no cumplan con los criterios de aceptación establecidos.)

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....
.....
.....

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Desmontaje**
Encargado:
Fecha:

1. Se cuenta con un procedimiento para desmontar los elementos previstos.,
 Si cumple No cumple N/A

2. Se cuenta con las herramientas y equipo para desmontar los elementos
 previstos
 Si cumple No cumple N/A

3. Se cuenta con el personal para desmontar los elementos previstos
 Si cumple No cumple N/A

4. Marque con vallas, cintas y letreros claramente visibles, las zonas
 peligrosas.
 Si cumple No cumple N/A

5. Utilice elementos de fijación provisional, tales como cuerdas, cadenas,
 varillas soldadas, etc. Para evitar la caída accidental de las piezas
 desmontadas.
 Si cumple No cumple N/A

6. Evite causar averías inducidas a otras instalaciones.
 Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados	Se acepta
Ítems rechazados	Se rechaza

Notas:.....

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Ensamble**

Encargado:

Fecha:

1. Seleccione correctamente los elementos de elevación apropiados para el montaje que permitan realizar el trabajo.

Si cumple No cumple N/A

2. Ubique los elementos o subconjuntos dentro de las tolerancias admisibles para su unión.

Si cumple No cumple N/A

3. Utilice los medios auxiliares de montaje, como grúas, gatos hidráulicos, tensores, etc. sin producir interferencias con otras instalaciones.

Si cumple No cumple N/A

4. Compruebe la preparación de la unión en el lugar adecuado y según el procedimiento establecido antes de la unión por soldadura

Si cumple No cumple N/A

5. Una las partes según lo especificado en el WPS correspondiente

Si cumple No cumple N/A

6. Coloque los elementos auxiliares necesarios para el posicionamiento y unión de los subconjuntos de forma que permitan realizar ésta de acuerdo con el procedimiento establecido.

Si cumple No cumple N/A

7. Evite la formación de cavidades y grietas.

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....

Si cumple No cumple N/A

8. Disponga espacios de drenaje para el escurrimiento del agua, donde sea necesario.

Si cumple No cumple N/A

9. Compruebe que se permita la libre circulación del aire en torno a la estructura.

Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Montaje**
Encargado:

Fecha:

1. Se tiene los elementos o subconjuntos en el lugar de ubicación para su fijación en el conjunto.

Si cumple No cumple N/A

2. Se cuenta con un procedimiento para el montaje los elementos previstos.,

Si cumple No cumple N/A

3. Se cuenta con las herramientas y equipo necesarios para desmontar los elementos previstos.

Si cumple No cumple N/A

4. Se cuenta con el personal para desmontar los elementos previstos.

Si cumple No cumple N/A

5. Utilice de forma correcta los gatos hidráulicos, tensores y otros medios de montaje.

Si cumple No cumple N/A

6. Realice los puntos de soldadura de preparación de la unión en el lugar adecuado y según el procedimiento establecido.

Si cumple No cumple N/A

7. Compruebe la preparación de la unión en el lugar adecuado y según el procedimiento establecido antes de la unión por soldadura

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....

Si cumple No cumple N/A

8. Una las partes según lo especificado en el WPS correspondiente

Si cumple No cumple N/A

9. Realice el montaje de los demás elementos necesarios para el buen funcionamiento de la estructura

Si cumple No cumple N/A

10. Aplique las normas de seguridad durante los trabajos de ensamblado.

Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Comprobación funcional y dimensional**

Encargado:

Fecha:

1. Realice las medidas que permitan comprobar que un elemento o subconjunto tiene las dimensiones, formas y aspectos especificados.

Si cumple No cumple N/A

2. Verifique, que las uniones cumplan con la norma de calidad y seguridad.

(Realizar una inspección de las soldaduras.)

Si cumple No cumple N/A

3. Aplique los criterios de aceptación/rechazo según especificaciones técnicas.

Si cumple No cumple N/A

4. Aplique las acciones correctivas en función de la reparación o recuperación de productos no conformes.

Si cumple No cumple N/A

5. Ejecute el plan del protocolo de pruebas estipulado en norma.

Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....

HOJA DE CONTROL

Procedimiento: **Recubrimiento**

Encargado:

Fecha:

1. Verifique que los elementos están en correcto estado de limpieza y carentes de rebabas.

Si cumple No cumple N/A

2. Prepare la superficie: Chorro de arena contra las superficies para aceros nuevos.

Si cumple No cumple N/A

3. Remueva el aceite y la grasa de la superficie con algún detergente.

Si cumple No cumple N/A

4. Remueva la sal de la superficie con un chorro de agua fresca a alta presión.

Si cumple No cumple N/A

5. Permita el secado de la superficie.

Si cumple No cumple N/A

6. La temperatura de la superficie no debe ser mayor que 20°C/ 68°F

Si cumple No cumple N/A

7. Controle el tiempo entre la preparación de la superficie y la aplicación de la primera mano de fondo no debe exceder los 20 minutos.

Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....

8. Aplique de pintura con especial atención en las uniones y a los cordones de soldadura.

Si cumple No cumple N/A

9. Controle el tiempo de secado según especificaciones de pintura

Si cumple No cumple N/A

Procedimiento

Ítems aceptados

Se acepta

Ítems rechazados

Se rechaza

Notas:.....
.....
.....

ANEXO 7

PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO SEGÚN AWS D1.1

ANEXO 8

PLANOS GRÚA BARCAZA SMITH RICE

ANEXO 9

TABLAS DE RESULTADOS SAP 2000