

**DISEÑO DE UN EQUIPO DE IZAJE PARA OPERACIONES MULTIMODALES  
PARA LA COMPAÑÍA TRANSPORTES MONTEJO S.A.S**

**SANTIAGO ORJUELA HOYOS**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Orientador  
Nelson Antonio Castillo Alba  
Ingeniero Mecánico**

**FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTA D.C**

**NOTA DE ACEPTACION**

---

---

---

---

---

---

---

---

NELSON ANTONIO CASTILLO ALBA  
Firma del director

---

Nombre  
Firma del presidente jurado

---

Nombre  
Firma del jurado

---

Nombre  
Firma del jurado

Bogotá D.C agosto de 2021

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la universidad y director del claustro  
Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional  
Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de investigaciones  
Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero  
Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General  
Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano de la Facultad  
Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Directora de Programa  
Ing. María Angélica Acosta

## **DEDICATORIA**

A mi familia por ser el pilar de mi vida, al ingeniero Juan Ospina por brindarme su apoyo bastantes años, al señor Fernando Montejo por darme la oportunidad de ingresar en el mundo del heavy lifting and special transport, al ingeniero Carlos Eduardo Alfonso y su equipo de operaciones por todas las enseñanzas, a la ingeniera Ángela María Torres Moreno por acompañarme en todo el desarrollo de mi carrera y ser el más sincero apoyo y a mi hermano José Martínez Hoyos por ser el mejor ejemplo que puedo tener.

**Las directivas de la universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.**

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	17
INTRODUCCION	18
1. ESTADO DEL ARTE ASOCIADO AL MANEJO DE CARGAS EN COLOMBIA	20
1.1.Generalidades del transporte de carga en Colombia	20
1.2.Generalidades del izaje de cargas en Colombia	31
1.3.Equipos no convencionales para el izaje de cargas	43
1.4.Strand jacks	46
1.4.1. <i>Smartbox</i>	50
1.4.2. <i>Software scc4-60</i>	54
1.4.3. <i>Proyectos en Colombia realizados por strand jacks y equipos no convencionales.</i>	59
1.4.4. <i>Proyectos internacionales destacados realizados por strand jacks</i>	61
1.4.5. <i>Principales fabricantes de strand jacks</i>	64
2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS ASOCIADAS AL SISTEMA ESTRUCTURAL	65
2.1.VARIABLES DEL SISTEMA	65
2.1.1 <i>Proceso y funcionamiento</i>	65
2.1.2 <i>Parámetros de diseño</i>	68
2.1.3 <i>Marco legal</i>	69
2.2 Evaluación de alternativas asociadas al sistema estructural	70
2.2.1. <i>Alternativa 1</i>	71
2.2.2 <i>Alternativa 2</i>	74
2.2.3 <i>Metodología de evaluación</i>	77
3 DISEÑO DEL EQUIPO DE IZAJE	85

3.1Diseño conceptual	85
3.2Diseño funcional	86
3.3Aspectos técnicos asociados al viento	88
3.4Diseño detallado	92
3.4.1 Sistema estructural	92
3.4.2 Torres del pórtico	93
3.4.3 Amenaza sísmica	99
3.4.4 Cargas de viento	109
3.4.5 Cargas muertas y cargas vivas.	111
3.4.6 Sistema superior	117
3.4.7 Transporte del equipo de izaje	125
3.4.8 Componentes electrónicos del modular autopulsado	127
3.4.9 Operación	136
4. MANUALES DE ENSAMBLE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO	138
4.1. Manual de ensamble del equipo	138
4.2. Manual de operación del equipo	152
4.2.1 Sitios de maniobra	152
4.2.2 Recurso humano	153
4.2.3 Pre operacional	153
4.2.4 Ensamble de equipo de transporte	154
4.2.5 Ensamble del sistema estructural	155
4.2.6 Movilización con el equipo de izaje	155
4.2.7 Izaje de la carga	156
4.2.8 Descenso de la carga	156
4.2.9 Condiciones especiales y de seguridad.	157

4.3. Manual de mantenimiento	158
5. ANALISIS FINANCIERO	164
5.1 Inversión y tabla de amortización	167
5.2 Proyección de ventas	168
5.3 Costos y gastos fijos	169
5.4. Flujo de caja	171
5.5 Margen de contribución y punto de equilibrio	172
5.6 Viabilidad financiera	174
6. CONCLUSIONES	177
BIBLIOGRAFÍA	180
GLOSARIO	182
ANEXOS	186



## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Plano cama alta convencional.	23
Figura 2. Cama alta extensible a 35m.	24
Figura 3. Cama alta extensible a 45 m.	25
Figura 4. Cama alta extensible a 54 metros	26
Figura 5. Cama baja 3 ejes.	27
Figura 6. Cama baja 8 ejes	27
Figura 7. Transporte de vessel en cama baja 3 ejes	28
Figura 8. Cama baja con carga extra dimensionada.	28
Figura 9. Modular 12 Líneas	29
Figura 10. Modular 8 cuna 8	30
Figura 11. Modular cuello vigas 4	30
Figura 12. Modular 8L PST autopropulsado	31
Figura 13. Diagrama de carga de una grúa	32
Figura 14. Nomograma para seleccionar una grúa	33
Figura 15. Izaje de transformador	35
Figura 16. Transporte de transformador	36
Figura 17. Camión grúa de 20 Toneladas	37
Figura 18. 2 Grúas telescópicas de 300 toneladas	37
Figura 19. Izaje de viga en tándem	38
Figura 20. Izaje de parque eólico con grúa	39
Figura 21. Grúa RT todo terreno	40
Figura 22. Izaje de nacelle con grúa de celosía sobre camión.	41
Figura 23. Izaje de domo con grúa 750 Ton básica	42
Figura 24. Grúa Sany SCC7500 conf. Boom+superlift+luffing jib	43
Figura 25. Izaje de prensa con Gantry	44
Figura 26. Descargue de transformador con sistema skydding	45
Figura 27. Strand jacks	45
Figura 28. Izaje de secciones.	46
Figura 29. Descripción partes de Strand Jack	47

Figura 30. Funcionamiento Strand jack	48
Figura 31. Funcionamiento Strand Jack	48
Figura 32. Funcionamiento Strand Jack	49
Figura 33. Mordazas del Strand Jack	49
Figura 34. Cuerpo del gato y cabezas de anclaje del Strand Jack	50
Figura 35. Smartbox del Strand Jack	50
Figura 36. Diagrama de conexión de varios Strand Jacks	52
Figura 37. Diagrama conexión sencilla Strand Jacks	53
Figura 38. Inicio del SCC4-60, Enerpac	54
Figura 39. Ambiente de conectividad de Smartbox en el software	54
Figura 40. Asignación de powerpacks al controlador, Enerpac	55
Figura 41. Asignación de powerpacks al controlador pt2, Enerpac	56
Figura 42. Check de los strand jacks, Enerpac	56
Figura 43. Ciclo de elevación en automático Strand jacks	58
Figura 44. Ciclo de descenso en automático Strand Jacks	59
Figura 45. Izaje de generador de 200 Ton, Termotasajero	59
Figura 46. Carro encofrado y carro alas, Nuevo Puente Pumarejo	60
Figura 47. Izaje de cuartos de estator, Hidroituango	60
Figura 48. Izaje de turbina, Hidroituango	61
Figura 49. Izaje de torre refinería en Venezuela	62
Figura 50. Reemplazo de puente ferroviario, Canadá	63
Figura 51. Izaje de puente aeroportuario de 1500 Ton	63
Figura 52. Operación sarcófago, Chernóbil	64
Figura 53. Sistema estructural del equipo.	66
Figura 54. Sistema electrohidráulico del equipo.	67
Figura 55. Sistema de control del equipo.	67
Figura 56. Pilares fundamentales del proyecto	70
Figura 57. Variables a tener en cuenta para pórticos hidráulicos	72
Figura 58. Estabilidad de torre hidráulica sentido transversal	73
Figura 59. Estabilidad de torre hidráulica sentido longitudinal	73
Figura 60. Foto ilustrativa de torres hidráulicas	74

Figura 61. Foto ilustrativa de Jacking tower	75
Figura 62. Equipo de trabajo Transportes Montejo	84
Figura 63. Diagrama funcional	86
Figura 64. Estructura funcional	87
Figura 65. Estructura preliminar de riesgos	87
Figura 66. Superficie de proyección	89
Figura 67. presión dinámica	92
Figura 68. Estructura alámbrica parte 1	94
Figura 69. Diagrama de cuerpo libre de la estructura	95
Figura 70. Dimensiones máximas de la carga	96
Figura 71. Representación de dimensiones máximas de la carga	97
Figura 72. Izaje de carga con dimensiones mínimas para la estructura	98
Figura 73. Puntos de amenaza sísmica	101
Figura 74. Clasificación de los perfiles de suelo	103
Figura 75. Coeficiente de ampliación $F_a$ del suelo corto espectro	104
Figura 76. Coeficiente de ampliación $F_v$ del suelo	105
Figura 77. parámetros $C_1$ Y $\alpha$ para el periodo aproximado $T_a$	108
Figura 78. Ensamble en sap2000 de la estructura	113
Figura 79. Esquema del sistema estructural superior	124
Figura 80. Disposición de modulares para la operación	126
Figura 81. Hidrónica	127
Figura 82. Armario de distribución del EXL27	128
Figura 83. Ejemplo de codificaciones ACM PST	130
Figura 84. Pantalla del PLC goldhofer PST	131
Figura 85. Ejemplo del tablero del PLC	131
Figura 86. Programación de los puntos de estabilidad del modular	132
Figura 87. Movilización de pala Komatsu de 800 Ton	133
Figura 88. Modos de dirección del modular	133
Figura 89. Modos de dirección modular doble	134
Figura 90. Modular Goldhofer	134
Figura 91. Mecanismo de giro modular SPMT PST Goldhofer	135

Figura 92. Vista del Power pack por dentro	135
Figura 93. Paso del modular por terreno desnivelado	136
Figura 94. Vista lateral del modular transitando terreno desnivelado	136
Figura 95. Montaje de sección 1	141
Figura 96. Montaje de sección 2	142
Figura 97. Montaje de sección 3	144
Figura 98. Izaje de armadura transversal	145
Figura 99. Vista superior izaje	146
Figura 100. Montaje de armadura longitudinal	147
Figura 101. Grafico de las proyecciones de ventas	169
Figura 102. Grafico de las utilidades después de impuestos	172

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Generalidades del transporte especial de carga	22
Tabla 2. Marco legal	69
Tabla 3. Evaluación, criterio: Operación	78
Tabla 4. Evaluación, criterio: Mantenimiento	78
Tabla 5. Evaluación, criterio: Ensamble	79
Tabla 6. Evaluación, criterio: Capacidad Estructural	79
Tabla 7. Evaluación criterios generales	79
Tabla 8. Rubrica para la ponderación	80
Tabla 9. Rúbrica del rating para ponderación lineal	80
Tabla 10. Evaluación del rating	81
Tabla 11. Evaluación del score para cada alternativa	82
Tabla 12. Tabla de capacidad Gantry 500 Ton, Transportes Montejo	83
Tabla 13. Especificaciones para el diseño	85
Tabla 14. Valores de Cw de cuerpos usuales	90
Tabla 15. Aceleración horizontal y velocidad horizontal pico efectiva	99
Tabla 16. Nivel de amenaza sísmica	100
Tabla 17. <i>Coefficientes de importancia según el tipo de estructura</i>	102
Tabla 18. Localización y zona de amenaza sísmica	103
Tabla 19. Parámetros del perfil del suelo	105
Tabla 20. Características de la estructura	105
Tabla 21. Espectro elástico de aceleraciones de diseño	109
Tabla 22. Fuerza por amenaza sísmica resultante	109
Tabla 23. Selección de datos de influencias del viento en el diseño de las torres	110
Tabla 24. Selección de influencias del viento en el diseño de las torres	110
Tabla 25. Cálculo teórico de las fuerzas del viento	111
Tabla 26. Iteración perfil 6 625 x 0,28	114
Tabla 27. Iteración perfil 10 x 0,5	115
Tabla 28. Iteración Perfil 12 3/4 x 0,5	116
Tabla 29 Sistema estructural superior- armadura transversal	125

Tabla 30 Sistema estructural superior- armadura longitudinal	125
Tabla 31 Cubicaje sección 1	138
Tabla 32 Cubicaje 2 sección	139
Tabla 33 Cubicaje 3 sección	139
Tabla 34 Logística de empaque de las torres	139
Tabla 35 Logística para transportar el proyecto	140
Tabla 36. Plan de izaje para la sección 1	141
Tabla 37. Plan de izaje para la sección 2	143
Tabla 38. Plan de izaje para la sección 3	144
Tabla 39. Plan de izaje para armadura transversal extensible	146
Tabla 40. Plan de izaje para la armadura longitudinal	148
Tabla 41. Recursos para el ensamble	148
Tabla 42. Presiones ejercidas al suelo por la grúa de 200 toneladas	149
Tabla 43. Recurso humano requerido	153
Tabla 44. Rutina de mantenimiento preventivo programado	158
Tabla 45. Formato de inspección de fallas	159
Tabla 46. Formato de reporte de mantenimiento	160
Tabla 47. Formato de orden de mantenimiento	161
Tabla 48. Guía de inspección general del equipo	162
Tabla 49. Guía de fallas del equipo	163
Tabla 50. Costos de fabricación	165
Tabla 51. Costos de transporte del proyecto	165
Tabla 52. Costo de ensamble y desensamble de la estructura	166
Tabla 53. Costo de modulares y Strand Jack	166
Tabla 54. Inversión requerida total para el proyecto	167
Tabla 55. Amortización del crédito	167
Tabla 56. Costo del servicio para el cliente que solicite	168
Tabla 57. Proyección de ventas del servicio en 6 años	168
Tabla 58. Costo del recurso humano	170
Tabla 59. Costos y gastos fijos alrededor de 6 años	170
Tabla 60. Flujo de caja alrededor de 6 años	171

Tabla 61. Margen de contribución	173
Tabla 62. Punto de equilibrio	173
Tabla 63. Tiempo en lograr el punto de equilibrio	173
Tabla 64. Indicadores financieros	174
Tabla 65. <i>Relación costo beneficio</i>	175
Tabla 66. Cotización proveedor que supla la necesidad	176
Tabla 67 Cotización proveedor que supla la necesidad en COP	176

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Recomendaciones	186
Anexo 2. Planos asociados a la tabla 1	187
Anexo 3. Memoria de cálculos para la estructura metálica.	195
Anexo 4. Plano de ensamble equipo de izaje para operaciones multimodales.	
Anexo 5. Plano de ensamble equipo de izaje para operaciones multimodales – Extendido.	
Anexo 6. Plano de sección #1.	
Anexo 7. Plano de sección #2.	
Anexo 8. Plano de sección #3.	
Anexo 9. Plano del sistema estructural superior.	
Anexo 10. Anteproyecto 2013i.	



## RESUMEN

El avance de la tecnología, el desarrollo de la ingeniería y logística de los grandes proyectos orientan a Colombia al crecimiento inminente de sus industrias y para esto se realiza un análisis profundo relacionado con los mecanismos de transporte de carga extra pesada e indivisible y también se realiza una exposición de las máquinas existentes en el país para realizar el manejo de estas cargas como el izaje y/o descargue a una altura o limitante predeterminada, para lo cual se realiza el diseño de un equipo de izaje capaz de soportar hasta 280 toneladas con la versatilidad para trasladarse y descargar la pieza en cualquier coordenada que se requiera.

A partir de una parametrización y lineamientos específicos se hace la selección del equipo de apoyo y traslación, la estructura soporte del pórtico, y la herramienta o diseño seleccionado para la elevación de la carga; finalmente se validan las condiciones de carga, casos de carga, análisis estructural y condiciones de la operación para el correcto desarrollo del procedimiento de izaje y descargue.

Por último se valida el diseño desde la perspectiva comercial y financiera para lograr una competitividad en el mercado nacional e internacional y así contemplar la factibilidad del mismo.

**PALABRAS CLAVE:** Diseño, Estructuras, Izaje, transporte especial, strand Jack, pórtico, heavy lifting.

## INTRODUCCION

La industria del manejo de cargas extra pesadas y extra dimensionadas es un reto de ingeniería el cual permite llevar la imaginación y los conceptos de la física y la matemática a resolver problemas logísticos, técnicos y económicos; por ejemplo el descargue mecánico con equipos de izaje, lo cual la compañía Transportes Montejo emplea actualmente equipos de jacking and lifting de hasta 750 Toneladas.

La logística y operación se hace cada vez más interesante debido a los equipos que se deben llevar al sitio de trabajo para cumplir con el descargue, lo que origina la realización de este proyecto de grado que lleva como objetivo principal el diseño de un equipo de izaje enfocado a operaciones multimodales para la compañía Transportes Montejo.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, el equipo contará con diseño estructural de un pórtico en dónde en sus componentes superiores se encuentran un sistema estructural extensible con 4 dispositivos de izaje (strand jacks) y equipos modulares de transporte cuya parametrización está delimitada por las siguientes variables de entrada: nivel 0 para la altura de la carga a izar, sistema estructural superior de 14 metros extensibles a 21 m (distancia asociada entre columnas) y un peso máximo de la carga de 280 toneladas.

Las variables de salida son: 50 m de altura (altura que tendrá el pórtico y altura a la que la carga se podría elevar), y descargue en posicionamiento final.

Teniendo en cuenta el impacto económico que genera adquirir un equipo de izaje como una grúa de más de 1600 ton de capacidad para izar este peso, el proyecto pretende suplir esta necesidad brindando un equipo modular en su estructura, capaz de izar estas cargas cuyo beneficio es la optimización de costo, tiempo de ensamble, logística (reducción de equipos de transporte para su movilización) y menor precio del servicio para el cliente.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Diseño de un equipo de izaje enfocado a operaciones multimodales para la compañía Transportes Montejo.

### **Objetivos específicos**

1. Describir el proceso mecánico de manejo de cargas especiales.
2. Realizar la evaluación y selección de alternativas de tipos de pórticos y sistema estructural superior
3. Diseñar el equipo de izaje, calculando los componentes requeridos para cada uno de los sistemas y selección de componentes y aparejos normalizados.
4. Realizar manuales (montaje, operación y mantenimiento).
5. Realizar el informe del costo asociado a la fabricación del equipo de izaje.

## **1. ESTADO DEL ARTE ASOCIADO AL MANEJO DE CARGAS EN COLOMBIA**

### **1.1. Generalidades del transporte de carga en Colombia**

Dentro del desarrollo en Colombia relacionado con la industria del transporte es importante hacer una retrospectiva hacia algunos años atrás, donde la logística de traer mercancías a Latinoamérica se hacía una tarea complicada debido a las pocas rutas, y los pocos puertos.

El río Magdalena la principal arteria fluvial del país se convirtió en la ruta fundamental del comercio americano y en la puerta de entrada al nuevo mundo, lo que se suma a su importancia dentro de la historia social y cultural de Colombia. [4]

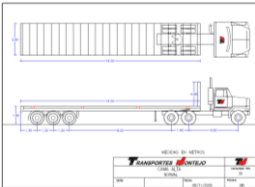
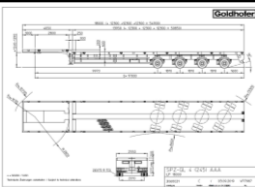
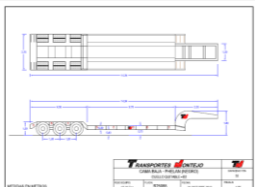
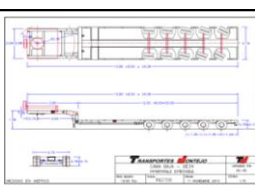
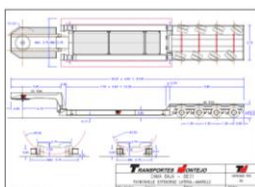
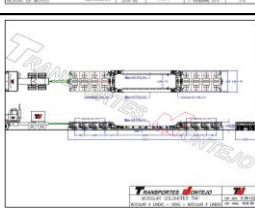
La revolución en el transporte expresada en ferrocarriles y barcos de vapor, se inicia en el país con el ferrocarril de Panamá (1828-1855), y con la navegación a vapor por el Magdalena autorizada en 1823, aunque su regularización solo se presentará en la década de 1880, o más adelante cuando los ferrocarriles de montaña se articulen con el río Magdalena, puesto que solo en 1889 se inauguró el Ferrocarril de la Sabana entre la capital y Facatativá. [4]

Si bien a nivel mundial cuando antiguamente se planeaba un proyecto, las cargas especiales, como motores, calderas, balas de gas licuado (GLP), o reactores, eran un gran dolor de cabeza puesto que en la mayoría de países no se contaba con la infraestructura ni con los equipos para su transporte y mucho menos para realizar maniobras de izaje, por tanto los diversos tecnólogos especializados en esta industria han venido realizando múltiples soluciones mecánicas e hidráulicas para suplir las necesidades del mercado y de la producción. [5]

Transportes Montejo es una empresa colombiana que se especializa en realizar operaciones de transporte de cargas extra dimensionadas y extrapesadas desde el año 1953 y a partir de este momento sus técnicas y operaciones de ingeniería de transporte son reconocidas a nivel mundial debido a las múltiples configuraciones y tratamientos a una carga a la hora de movilizarla por las carreteras del país.

Los procedimientos para el transporte terrestre de carga están sujetos a las dimensiones y peso a transportar debido a que a partir de este se realiza la configuración y la selección de los equipos de transporte adecuado, su aseguramiento y trancado, y su plan de movilización o ruta predeterminada debido a las limitantes de altura y/o condiciones de la misma. A continuación se ilustrarán algunos ejemplos particulares a la hora de validar algunos equipos:

**Tabla 1.**  
*Generalidades del transporte especial de carga*

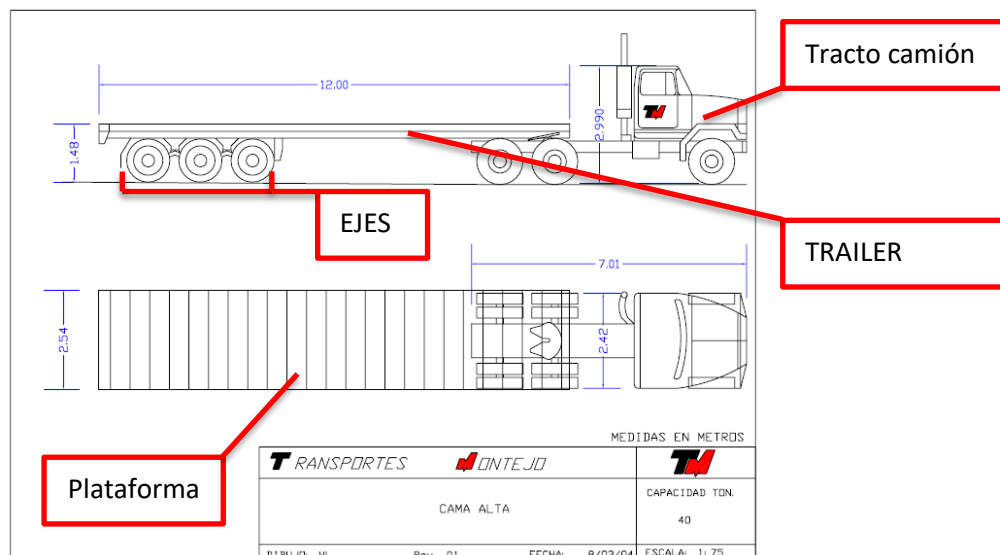
GENERALIDADES DEL TRANSPORTE ESPECIAL DE CARGA				
TIPO	CONFIGURACION	CAPACIDAD	# DE EJES	PLANO
Cama alta	C3S3	30 TON	3	
Cama alta extensible	C3S4	35 TON	4	
C. alta especial	C3S4	70 TON	4	
Cama baja	C3S3 - C3S5	55 TON	3-5	
Cama baja extensible	C3s5	60 TON	4	
Cama baja especial	C3S4 - C3S8	65 - 88TON	4-8	
Modular	C3SX	35 TON/EJE	Depende de configuracion	

**Nota.** Especificaciones generales de algunos equipos de transporte especial existentes en Colombia, los cuales depende el peso y dimensiones para seleccionar la configuración más adecuada.

Como afirma el ingeniero Javier Rojas magister en infraestructura vial: «En Colombia la máxima carga que se puede transportar por un corredor vial, sin ser extrapesada, corresponde a una tracto mula convencional C3S3, la cual está compuesta por un cabezote con un eje simple y un eje tándem más un semi remolque con un eje tridem que no pueden exceder transporta piezas divisibles o una indivisible de máximo 35 toneladas, para que con el peso de los equipos no se exceda el peso bruto vehicular PBV máximo de de 52 toneladas.» Con esto se deduce que más de 52 toneladas PBV estas configuraciones tendrían por nombre “transporte extradimensionado”

Para suponer el primer caso de carga se debe pensar en un tráiler convencional de 12.00 metros de longitud con un ancho de aproximadamente 2.54 metros y una altura de 1.48 metros, luego esto se debe tener en cuenta para no sobre pasar las limitantes en las condiciones de la ruta. Por ejemplo para poder lograr cargar una pieza en un tráiler cama alta convencional esta debe tener hasta 3.32 m de altura, para garantizar el paso por los puentes en Colombia y dar cumplimiento a la resolución general tramitada ante el INVIAS.

**Figura 1.**  
*Plano cama alta convencional.*



**Nota.** Plano de tráiler cama alta de 3 ejes con una Capacidad de 30 a 40 ton aproximadamente. Tomado de Transportes Montejo.

El segundo caso de carga está sujeto una longitud de la pieza a transportar superior a 14.00 metros, pero con pesos menores a 30.00 Toneladas, y conservando las mismas condiciones de limitantes de altura en la cual se puede seleccionar tráiler cama alta extensibles.

Estos equipos son versátiles en su modo de operación debido a que cuentan con ejes direccionales y suspensión hidráulica la cual permite también descender su altura unos centímetros, esto varía dependiendo el fabricante y el modelo del mismo.

**Figura 2.**  
*Cama alta extensible a 35m.*



**Nota.** Transporte de blade o aspa de una turbina eólica para el parque eólico Jepirachi, Colombia. Tomado de Transportes Montejo.



### Figura 3.

*Cama alta extensible a 45 m.*



**Nota.** Transporte de blade o aspa de una turbina eólica para el parque eólico Villonaco, Ecuador. Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

El tercer caso de carga es cuando la pieza a transportar supera los pesos de 20.00 a 70.00 Ton y esta no supera una altura de 3.30 m; muy usado para el transporte de vigas debido a la longitud, también para estructura metálica y tubería en acero. Son denominadas Cama alta especial extensible, estos equipos se pueden extender hasta 54 metros de longitud, son de 4 ejes direccionales (4 llantas por eje), sistema hidráulico de descenso y ascenso de 10 cm del tráiler y 2.55 m de ancho.

**Figura 4.**  
*Cama alta extensible a 54 metros*

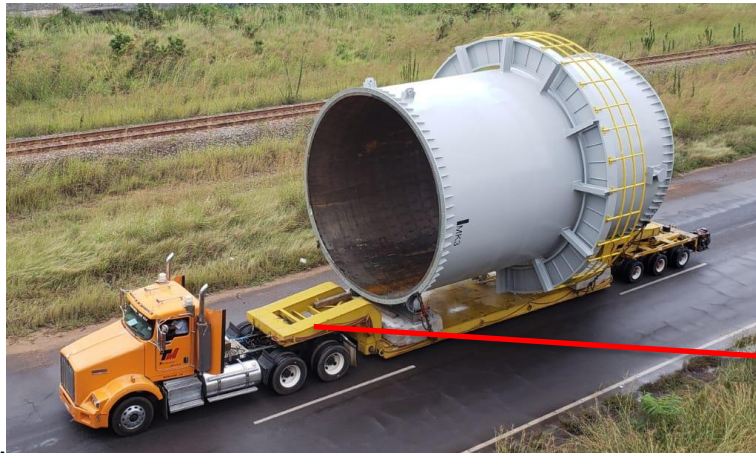


**Nota.** Transporte de puente peatonal del municipio de Chía, Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

El cuarto caso de carga es cuando la pieza tiene más de 3.30 m de alto y sobrepasa el ancho del tráiler, y su peso es de 35.00 a 70.00 Toneladas, estos tráiler son denominados Cama bajas, los cuales pueden ser de plataforma plana, cuello+plataforma+ejes, o extensibles, los cuales están sujetos a la geometría y peso de la carga para poder seleccionar y validar el tráiler más óptimo para su transporte.

Estos equipos pueden ser de 2 ejes, 3 ejes, 4, ejes, 5 ejes y 8 ejes. Su capacidad es variable dependiendo la cantidad de ejes y su diseño, algunos pueden tener suspensión hidráulica y neumática, lo cual actúa como disipador de golpes o perturbaciones durante la movilización a su vez otros tráiler son diseñados con cuello desplazable para que la pieza pueda cargarse por sus propios medios como es el caso de maquinaria amarilla, y algunos traen vigas para poder encajonar las piezas que son críticas a nivel de altura y así reducir el alto nominal del transporte.

**Figura 5.**  
*Cama baja 3 ejes.*



Cuello

**Nota.** Transporte de sección de chimenea en Venezuela. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 6.**  
*Cama baja 8 ejes*



**Nota.** Transporte de transformador. Tomado de galería de: fotos Transportes Montejo.

### Figura 7.

*Transporte de vessel en cama baja 3 ejes*



**Nota.** Transporte de tanque rotado debido a que la altura total, del transporte superaba 4.80 metros lo cual dificulta el servicio debido a las alturas de los puentes y gálibos. Tomado de galería de Transportes Montejo.

### Figura 8.

*Cama baja con carga extra dimensionada.*



**Nota.** Transporte interno de tanque de agua. Tomado de Transportes Montejo.

El quinto caso de carga está asociado a la carga especial, cuyos pesos oscilan entre 80 toneladas en adelante, donde a partir de las dimensiones y el peso de la misma se

estima una configuración especial para el transporte, estos equipos tienen por nombre equipos modulares.

Estos modulares son equipos dotados de un circuito hidráulico especializado para poder programarlo en 3 o 4 puntos de estabilidad y garantiza la distribución uniforme de la carga a través de sus ejes por medio de su sistema de vasos comunicantes; cuenta con 8 llantas por eje dando una capacidad de 30.00 toneladas por eje para equipos marca Cometto, 35.00 toneladas por eje para equipos marca Goldhofer serie THP, y 45.00 toneladas por eje para Goldhofer serie PST.

Adicionalmente estos equipos cuentan con accesorios adicionales que sirven para lograr suplir las necesidades de disminución de altura o repartición de carga como es el caso del cuello, el cual permite transferir carga al tracto camión, o por ejemplo la cuna de 10.00 metros con una capacidad de hasta 150.00 toneladas que cuenta con una altura de piso a la plataforma de 25.00 cm y las vigas telescópicas de 8.00 metros extensibles a 13.00 metros que sirven para cargar tanques que en la parte inferior les sobre salga alguna brida o inclusive para encajonar una pieza que sea muy alta.

**Figura 9.**  
*Modular 12 Líneas*



**Nota.** Transporte de transformador de 130 ton. Tomado Transportes Montejo.

**Figura 10.**  
*Modular 8 cuna 8*



**Nota.** Transporte de transformador de 110 ton. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 11.**  
*Modular cuello vigas 4*



**Nota.** Transporte de tratador electro estático. Tomado Transportes Montejo.

## Figura 12.

*Modular 8L PST autopropulsado*



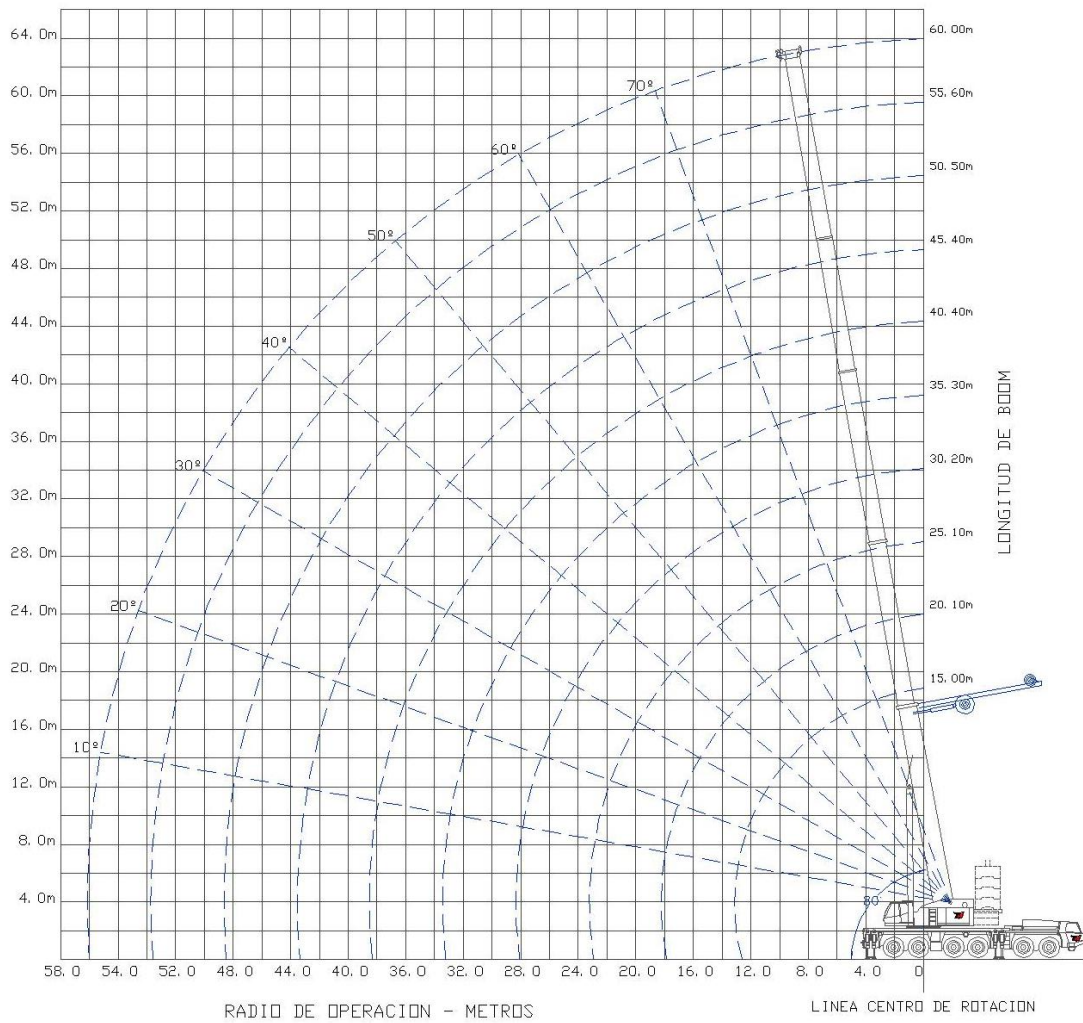
**Nota.** Transporte de transformador de 110 ton. Tomado de Transportes Montejo.

Una vez se tenga definido el equipo de transporte se procede a realizar toda la ingeniería de detalle enfocada a programación hidráulica, neumática y eléctrica del equipo, programación del PLC (modulares PST) y luego todo el tema de elaboración de planos de transporte, elementos estructurales que se deban adicionar, repartidores de carga, cálculos de amarres, y cálculo de distribución del peso alrededor del modular y realización de plan de movilización sujeto a los estudios de ruta previos para garantizar tiempos de movilización, estado de la vía y tratamientos o acondicionamientos que se requieran para el paso con la carga.

### 1.2. Generalidades del izaje de cargas en Colombia

Ya sea en la fase de cargue al equipo de transporte o en la fase final de descargue siempre ha sido de gran importancia los equipos de izaje, debido a que entre más peso tenga la carga, la grúa deberá ser de mucha mayor capacidad, esto debido a que una grúa operativamente tiene en cuenta las variables de radio operacional, es decir la distancia desde el centro de la misma hasta el centro de masa de la carga, a su vez tiene en cuenta la altura inicial a la que se encuentra y la altura final, como se puede observar en las figuras 13 y 14.

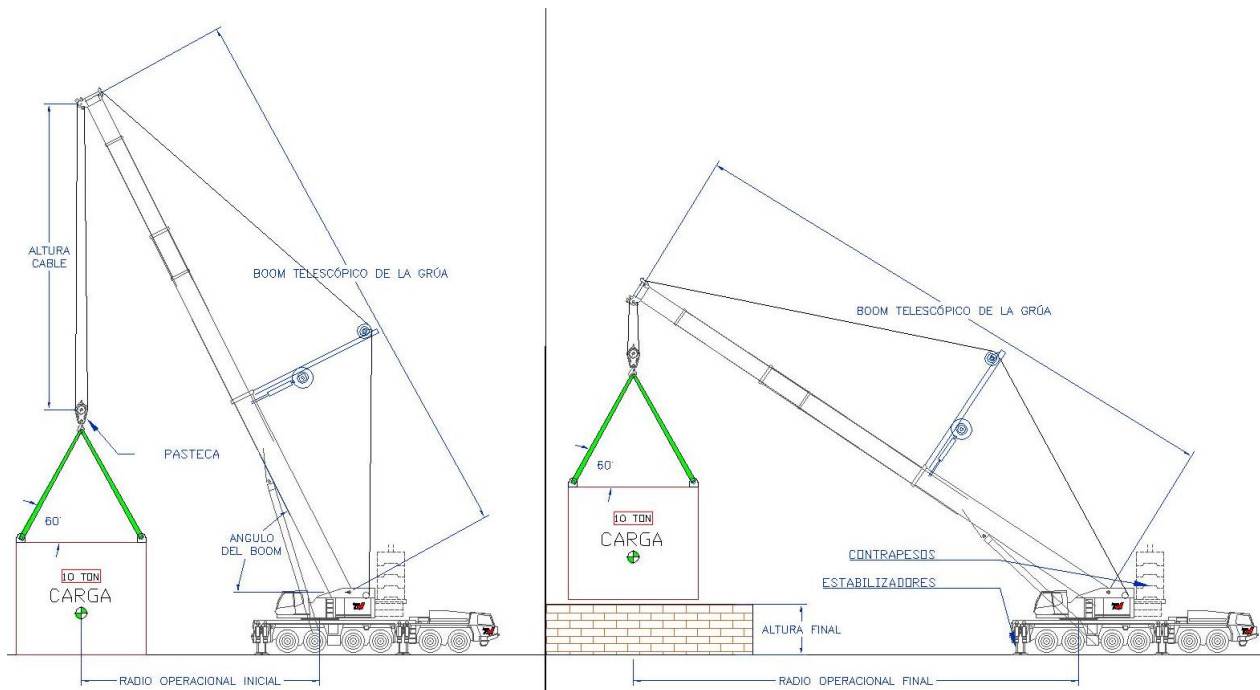
**Figura 13.**  
*Diagrama de carga de una grúa*



**Nota.** Representación de alcances de una grúa telescópica (varía dependiendo la capacidad). Tomado de: carpeta de tablas de capacidad de grúas de la oficina del departamento técnico de Transportes Montejo.



**Figura 14.**  
*Nomograma para seleccionar una grúa*



**Nota.** Representación de las variables que actúan a la hora de seleccionar una grúa: con estos datos el usuario debe revisar las tablas de capacidad de la grúa para determinar si es viable o no es viable usar ese equipo o uno mayor o menor capacidad).

Una vez se conozca esto es posible validar el equipo de izaje mínimo requerido, sin embargo, en estas condiciones también se debe tener en cuenta:

- Terreno nivelado y compactado para posicionamiento de grúa
- Condiciones climáticas (lluvias y tormentas)
- Elaboración de análisis de riesgos de la operación
- Elaboración de plan de izaje debidamente firmado (ángulo de izaje, longitud de boom y radio operacional).
- Visitar el área de cargue/descargue previamente para identificar limitantes de altura, cuerdas eléctricas, vegetación, pipe racks entre otros.
- Conocer centro de masa y las dimensiones de la carga.
- Conocer puntos de izaje de la carga.

- Definir previamente aparejos (grilletes, eslingas, estrobos, palomiers, pasteca y riendas o líneas de guía).
- Definir previamente cantidad de contrapeso a utilizar.
- Conocer la capacidad portante del terreno donde se anclara la grúa.
- Proveer presiones máximas al suelo suministrada por la grúa.

Así mismo tanto como el supervisor de izajes, y el operador de la grúa deben tener en cuenta y conocer muy bien las normas técnicas asociadas a levantamiento mecánico de cargas, los riesgos de la operación y los check list de la grúa y aparejos para efectuar una maniobra segura.

Con el pasar de los años las compañías en Colombia especializadas en izaje de cargas han ido evolucionando de tal modo que se han profesionalizado en la operación con grúas, así mismo en la adquisición de nuevas tecnologías en estos equipos que permiten mejorar las condiciones del trabajo, y adicional la incorporación de elementos electrónicos como sensores como el LMI que es “una parte importante de la grúa, mide el momento de carga y evita la sobre carga. El sistema LMI protege la grúa, el operador, de la grúa y los espectadores contra situaciones inseguras” [5]

“Donde trabajan personas se cometen errores. Precisamente en los trabajos con grúa, las condiciones del viento pueden representar un peligro potencial que no debe subestimarse.

El operador de la grúa debe encargarse de que ésta no esté sometida a un viento que exceda los límites establecidos por el fabricante de grúas. Asimismo deben tomarse a tiempo las decisiones y medidas correctas, a más tardar, al alcanzarse la velocidad del viento crítica para la grúa” [6].

Cabe recordar que al realizar operaciones de izaje se está desafiando a la gravedad y por eso es menester tener en cuenta las posibles perturbaciones e incertidumbres en la operación por eso al realizar un plan de izaje se debe conservar lo que se denomina un factor de carga, y este factor es el porcentaje al que está trabajando la grúa, primero para evitar un sobre esfuerzo en la máquina, también para evitar el colapso estructural

o volcamiento y precisamente por si llegase a existir cargas dinámicas en la operación que hagan aumentar el radio operacional, no se corra el riesgo de un accidente, este factor de carga en Colombia oscila entre 80 y 85% pero dependiendo el cliente o la empresa a la que se le presta el servicio debido a que existen compañías, fabricas, o refinorías que solo admiten porcentajes del 75%.

«En el libro de tablas de cargas hay para cada tabla de carga de la grúa una velocidad máxima admisible del viento calculada. Sin embargo, ésta depende de la longitud del brazo extensible y de la configuración de la grúa.

Si la velocidad actual del viento sobrepasa la velocidad permitida del viento según la tabla de cargas, se debe parar la grúa y bajar el boom. En caso de que la velocidad del viento permitida sobrepase las indicaciones en la tabla de velocidad del viento de la grúa.» [6]

### **Figura 15.**

*Izaje de transformador*



**Nota.** Se puede notar el uso de dos grúas para poder izarlo  
Tomado de: galería de fotos Transportes Montejo.

**Figura 16.**  
Transporte de transformador



**Nota.** Tomado de Transportes Montejo.

Para realizar operaciones de izaje existen las siguientes tipologías o nomenclaturas para referenciar estas. Existen cinco tipos de equipos de izaje:

1. Camión grúa o brazo articulado.
2. Grúa telescópica sobre camión.
3. Grúa todoterreno.
4. Grúa celosía sobre camión.
5. Grúa celosía sobre orugas.

El primer tipo, es el camión grúa o brazo articulado el cual tiene la facultad de ser compacto, y funcionan muy bien como máquinas de uso rápido para el levantamiento o descargue de piezas pequeña y pesos bajos. Estas máquinas son aproximadamente de 5 a 35 toneladas de capacidad.

**Figura 17.**  
*Camión grúa de 20 Toneladas*



**Nota.** Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

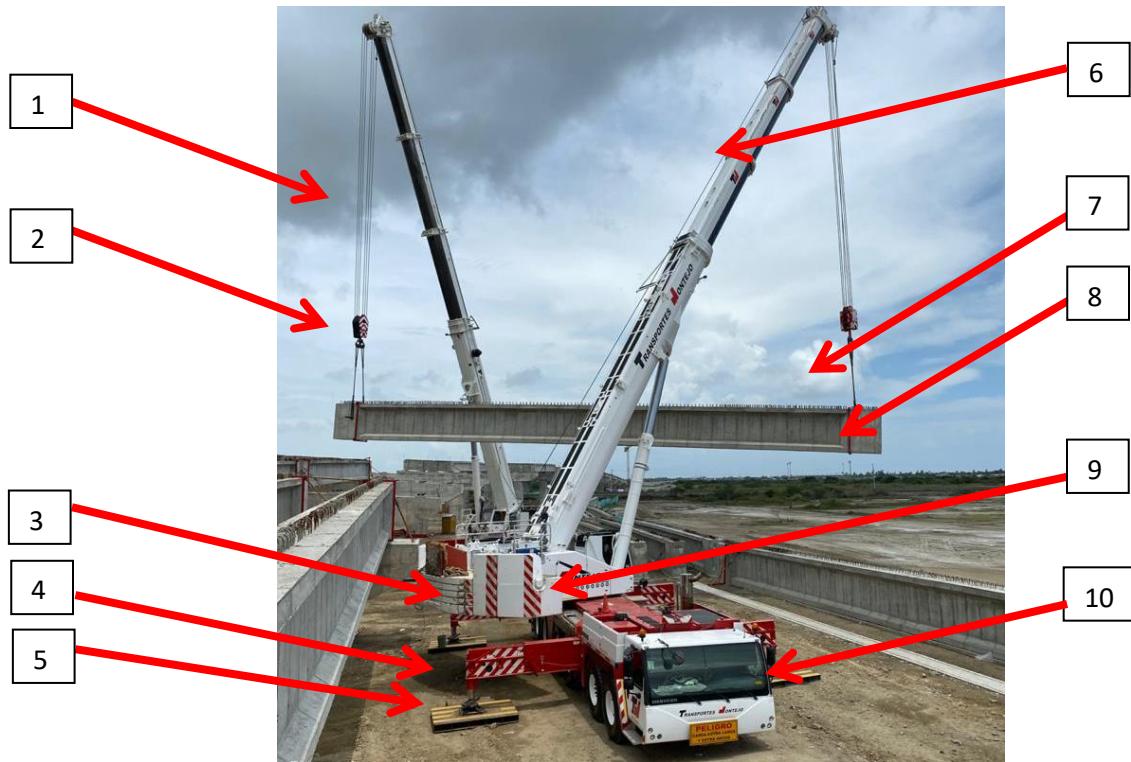
El segundo tipo es la grúa telescópica sobre camión. Este tipo de grúas se encuentran en Colombia de 40 hasta 500 toneladas, estas máquinas cuentan con un circuito hidráulico especial para poder realizar el levantamiento de cargas, estas grúas cuentan con 4 estabilizadores que se extienden transversalmente para poder anclarse al suelo, generando presiones transmitidas al suelo de 8.00 a 35.00 toneladas/m<sup>2</sup> aplicando repartidores de carga.

**Figura 18.**  
*2 Grúas telescópicas de 300 toneladas*



**Nota.** Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

**Figura 19.**  
*Izaje de viga en tándem*



**Nota.** Descripción de las partes de una grúa telescópica donde 1 es el cable de elevación, 2 es la pasteca o gancho, 3 son las contrapesas, 4 son los estabilizadores, 5 es el plato del cilindro estabilizador, 6 es el boom telescópico, 7 son los estrobo, 8 la viga a izar, 9 es la cabina de la grúa, y 10 los distribuidores de carga o mats repartidores de carga. Tomado de Transportes Montejo.

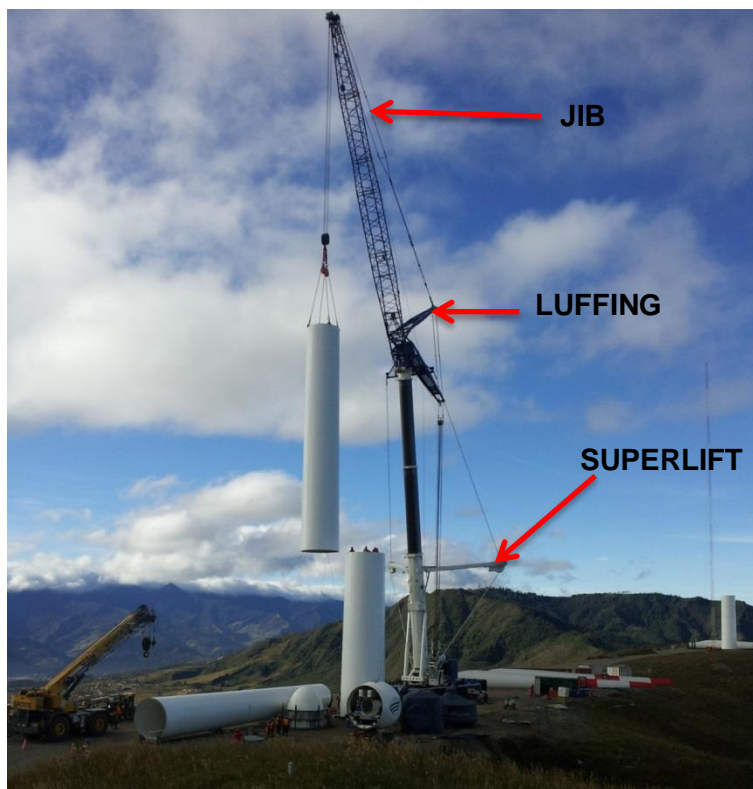
En la figura 19 se puede apreciar un izaje de una viga (parte 8) utilizando dos grúas (tándem). En el mismo se evidencia la instalación de repartidores de carga (parte 10 de la figura) debajo del plato del cilindro estabilizador (parte 5). Estos repartidores de cargas pueden ser polines de madera, láminas o perfiles metálicos o polipropileno de alta densidad.

Así mismo, estos equipos de izaje cuentan con accesorios adaptables a la grúa para poder alcanzar la altura final de las cargas cuando no sea posible solamente con el boom principal. Uno de los accesorios más utilizados para esto son los luffing Jib.

En la figura 20 se puede observar el izaje de una sección de torre para la instalación de una turbina eólica, utilizando una grúa telescópica de 500 toneladas de capacidad. En esta se adapta un luffing Jib para lograr la altura final. Este accesorio se compone de una celosía a la cual se pueden ensamblar distintas secciones según la necesidad. Adicionalmente se evidencia la instalación de un accesorio llamado superlift, el cual brinda a la grúa más capacidad de levantamiento a medida de que tensiona y angula el cable proveniente del tambor de la grúa.

**Figura 20.**

*Izaje de parque eólico con grúa*



**Nota.** Grúa telescópica de 500 ton con superlift y JIB. Tomado de Transportes Montejo.

El tercer tipo es la grúa todoterreno. Estas grúas tienen la capacidad de izar cargas sin la necesidad de anclarse al suelo, sin embargo, pierden capacidad al no hacerlo. Su boom es telescópico y son utilizadas en proyectos petroleros y mineros. Generalmente las transportan en cama bajas.

Este tipo de grúas también son conocidas como grúas RT, por sus siglas en inglés, *Rough Terrain*; «Según la clasificación de grúas; las grúas RT están diseñadas para condiciones de obra difíciles. Las características de rendimiento, productividad y comodidad del operador permiten a sus trabajadores laborar de forma eficaz durante días más largos con menos fatiga. Una gran cualidad de estas grúas es su versatilidad, por ser una unidad compacta y maniobrable en espacios reducidos debido a que cuenta con dirección independiente en cada eje y tener la misma capacidad girando los 360°, además de poder rodar con cargas suspendidas.» [7].

**Figura 21.**

*Grúa RT todo terreno*



**Nota.** Tomado de Transportes Montejo.

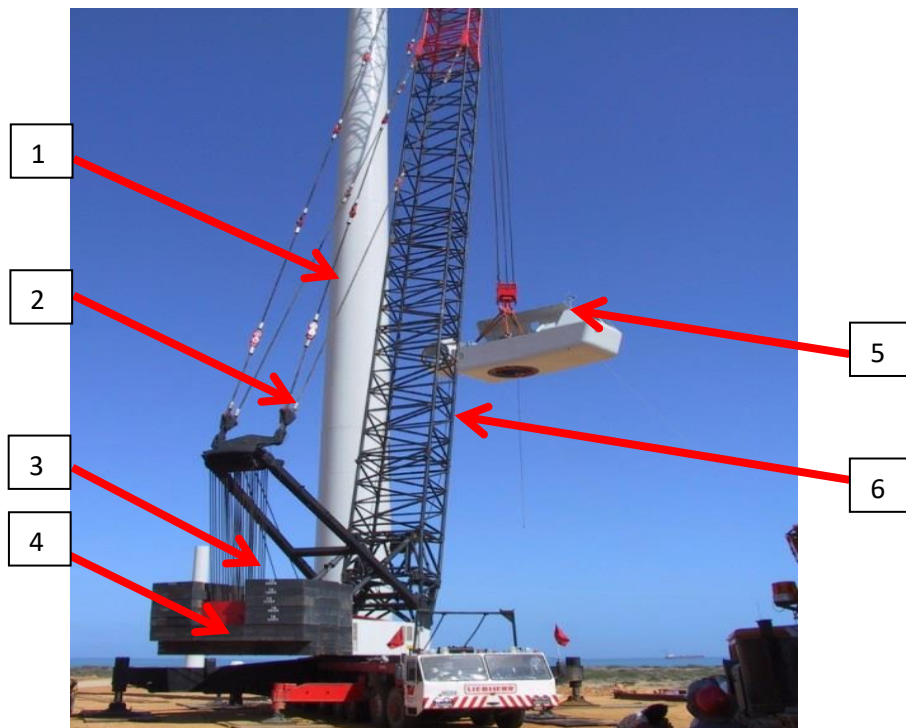
El cuarto tipo es la grúa sobre camión, pero con boom de celosía. Estas grúas tienen la ventaja de tener una capacidad estructural superior al de muchas grúas telescópicas, pero con la desventaja de que se deben transportar parcialmente las secciones de boom en cama bajas y cama altas.



Un ejemplo de este tipo de grúas es la Liebherr Lg1350; esta máquina fue la que realizó el montaje del primer parque eólico en Colombia: el parque Jeparachi ubicado en la alta Guajira.

**Figura 22.**

*Izaje de nacelle con grúa de celosía sobre camión.*

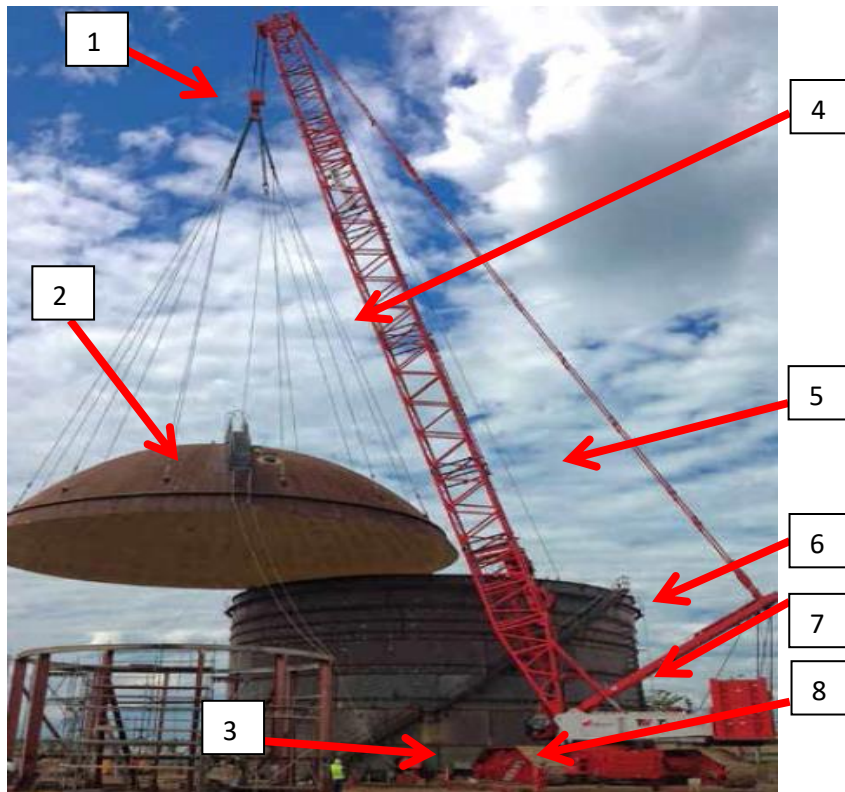


**Nota.** Parque eólico Jeparachi. Descripción de las partes de una grúa celosía sobre camión donde 1 son los vientos tensores, 2 es el mast 3 son las contrapesas, 4 son los estabilizadores, 5 nacelle o carga a izar, 6 es el boom de celosía. Tomado de Transportes Montejo.

El quinto tipo es la grúa de celosía sobre orugas, cuya característica es la repartición de carga alrededor del área de las orugas, y, a su vez, la capacidad de desplazarse con la carga mientras se conserve el mismo radio y la misma angulación del boom principal.

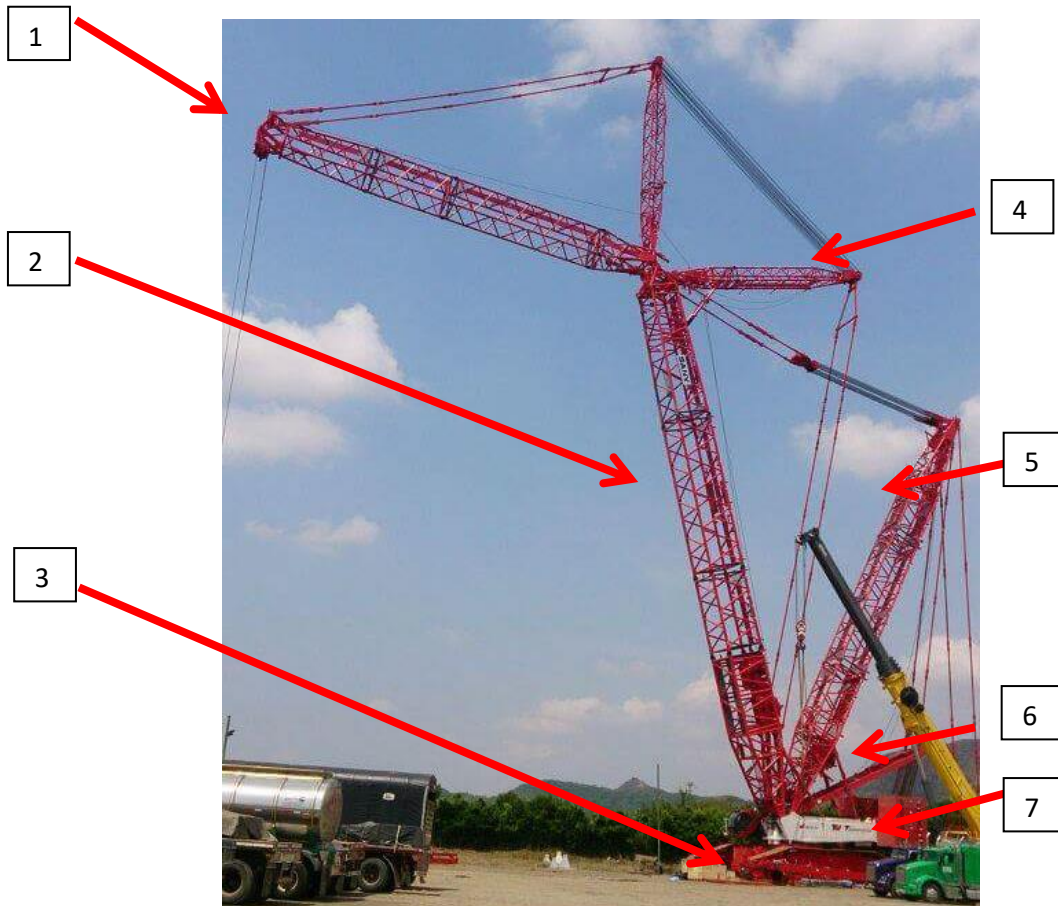
Otra característica de este tipo de grúas es que cuenta con secciones de celosía para ensamblar la longitud requerida del boom. En Colombia la grúa de mayor capacidad de este tipo es la Sany SCC7500, de 750 toneladas, Este tipo de grúas cuentan con accesorios como el superlift, jib, luffing jib y pastecas de acuerdo al peso a elevar.

**Figura 23.**  
*Izaje de domo con grúa 750 Ton básica*



**Nota.** Descripción de las partes de una grúa celosía sobre orugas donde 1 es el gancho o pasteca, 2 es la carga a izar, 3 es la oruga, 4 es el boom de celosía, 5 son los tensores, 6 es el mast, 7 el contrapeso y 8 el carbody. Tomado de TransportesMontejo.

**Figura 24.**  
*Grúa Sany SCC7500 conf. Boom+superlift+luffing jib*



**Nota.** Descripción de la grúa sany SCC7500 propiedad de transportes Montejo donde 1 es el Jib, 2 es el boom, 3 las orugas, 4 el luffing, 5 el Derrick, 6 el mast, y 7 el contrapeso. Tomado de Transportes Montejo.

### 1.3. Equipos no convencionales para el izaje de cargas

«El levantamiento de objetos pesados a menudo debe tener lugar en situaciones en las que una grúa no es práctica. El espacio puede estar confinado o el espacio superior este restringido, o tal vez el peso o la trayectoria del movimiento no puede ser manejado por un equipo convencional.

El aparejo clásico implica mover objetos pesados por medio de gatos, soportes, rodillos y otros dispositivos básicos similares que brinden una ventaja mecánica o medios temporales de soporte, pero a costa de mucho tiempo y trabajo.» [10]

Dentro de estos de sistemas no convencionales de izaje se encuentran los Gantry (equipos usado en espacios confinados, que se puede trasladar longitudinalmente con la carga), el sistema skidding (equipo usado para descargar piezas de un tráiler a piso, mediante método de empuje), los strand jacks (equipo para izar carga o descender carga a grandes profundidades) y los diferenciales (equipo de baja capacidad para izar carga accionado manualmente).

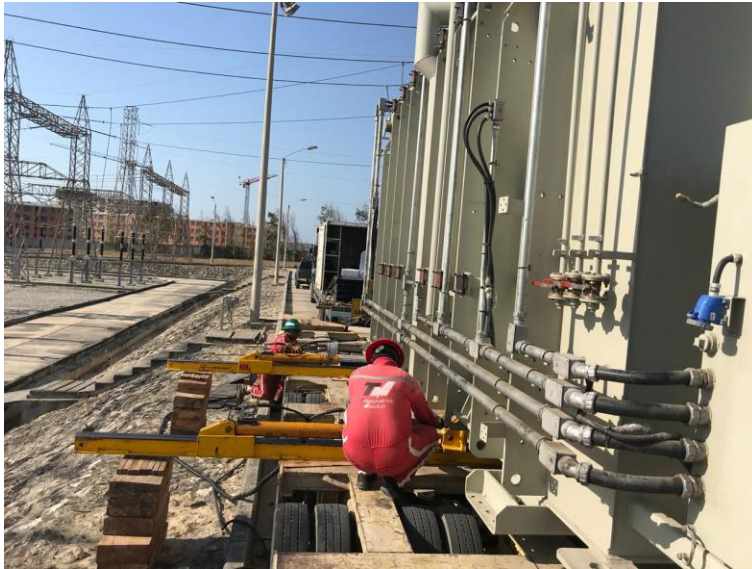
**Figura 25.**

*Izaje de prensa con Gantry*



**Nota.** Se puede evidenciar 4 torres del sistema Gantry los cuales llevan vigas transversales en la parte superior las cuales sostienen la carga. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 26.**  
*Descargue de transformador con sistema skydding*



**Nota.** Los auxiliares realizan un levantamiento de la carga con apoyo de cilindros hidráulicos, y luego instalan el sistema skidding que es un sistema de rieles y cilindros hidráulicos doble efecto que empuja la carga. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 27.**  
*Strand jacks*



**Nota.** Se aprecian 2 Strand Jacks junto con sus powerpacks y computador que controla el proceso. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 28.**  
*Izaje de secciones.*



**Nota.** Puente Pumarejo en Barranquilla. Tomado de Transportes Montejo.

#### **1.4. Strand jacks**

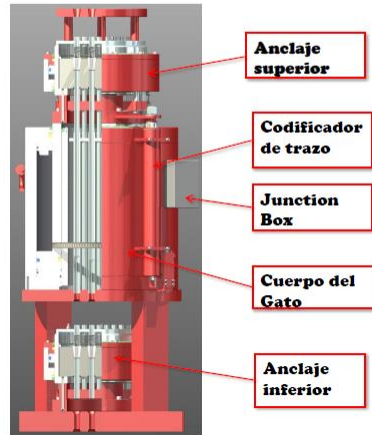
Los Strand jacks son dispositivos especiales de izaje los cuales se componen por un anclaje superior, un codificador de trazo, un juntion box, cuerpo de gato y un anclaje inferior. Este dispositivo básicamente se origina en el postensado de concreto. «Un Strand Jack puede considerarse un malacate lineal, un haz de cables de acero se guían a través de un cilindro hidráulico; por encima y por debajo del cilindro hay sistemas de anclaje con cuñas o mordazas que sujetan el haz de hilos. Moviendo el cilindro hacia adentro y hacia afuera mientras las empuñaduras están enganchadas en los anclajes se logra un movimiento de elevación o de descenso.» [10]

## Figura 29.

### Descripción partes de Strand Jack



■ HSL Strandjack

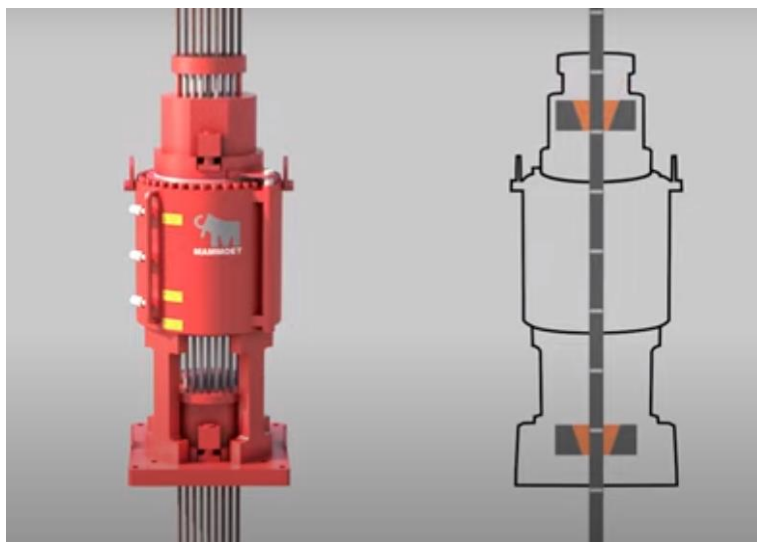


**Nota.** Partes que conforman el dispositivo strand Jack. Tomado de carpeta digital de información técnica de equipos. Transportes Montejo.

Dentro de las características técnicas del equipo, este cuenta con cables de 1x7 de 15.70 mm con una capacidad de 10.40 toneladas, para una capacidad total de 70 toneladas. La compañía Transportes Montejo cuenta con la versión HSL700. En cuanto al sistema de mordazas, posee una superficie cónica niquelada, y por dentro posee un mecanizado especial para retención del cable.

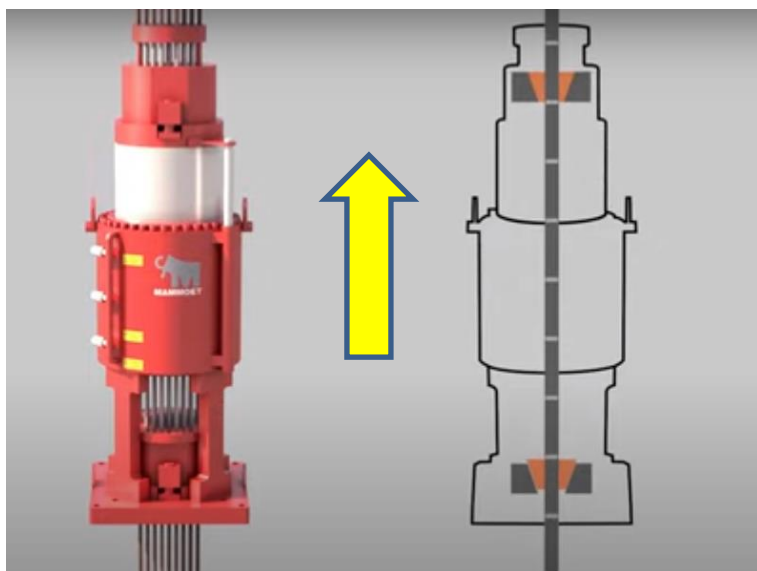
Dicho en otras palabras, a medida de que se accione el cilindro hidráulico va a lograr mover los cables, y asimismo, las mordazas cónicas actúan como controlador de la operación de expansión del émbolo y el otro para la retracción del mismo.

**Figura 30.**  
*Funcionamiento Strand jack*



**Nota.** Representación gráfica de un Strand Jack parte 1.  
Tomado de: Youtube "How lifting with Strand Jacks work", [En Línea].  
Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=lzFilfrHUVU>

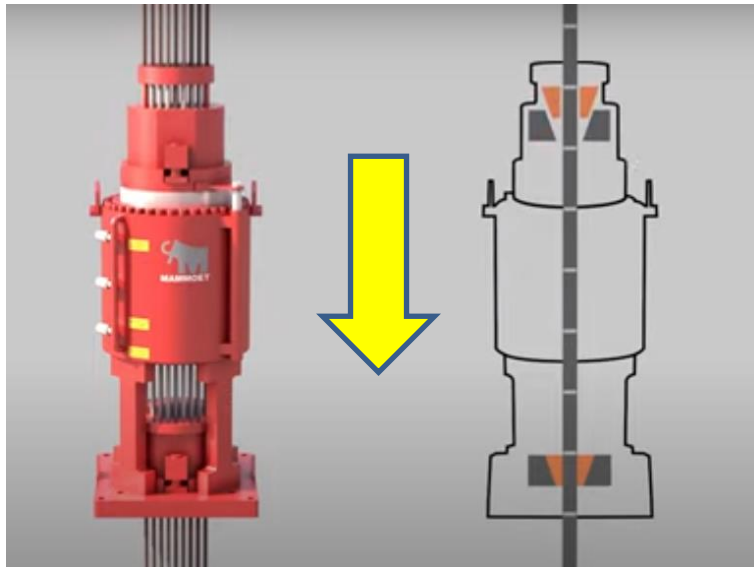
**Figura 31.**  
*Funcionamiento Strand Jack*



**Nota.** Representación gráfica de un Strand Jack parte 2.  
Tomado de: Youtube "How lifting with Strand Jacks work", [En Línea].  
Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=lzFilfrHUVU>



**Figura 32.**  
*Funcionamiento Strand Jack*

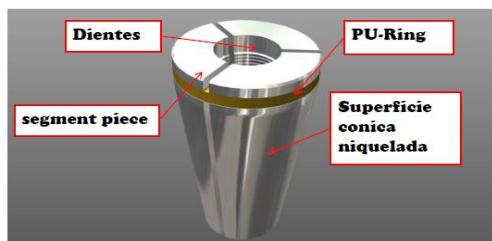


**Nota.** Representación gráfica de un Strand Jack parte 3.  
Tomado de: Youtube “How lifting with Strand Jacks work”, [En Línea].  
Disponible: <https://www.youtube.com/watch?v=lzFilfrHUVU>

**Figura 33.**  
*Mordazas del Strand Jack*



■ Mordazas

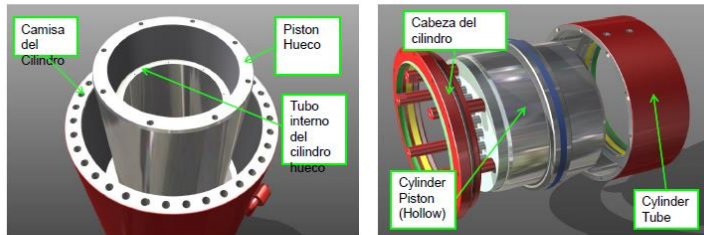


**Nota.** Descripción de mordazas del sistema  
Tomado de: carpeta digital de información técnica de equipos.  
Transportes Montejo.

**Figura 34.**  
Cuerpo del gato y cabezas de anclaje del Strand Jack



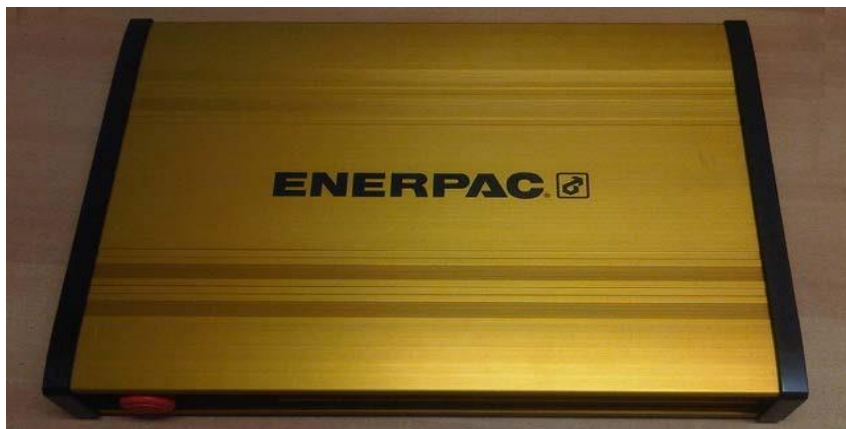
- Cuerpo del Gato
- Cabezas de Anclaje



**Nota.** Descripción del cuerpo interno del strand Jack Tomado de: carpeta digital de información técnica de equipos. Transportes Montejo.

#### 1.4.1. Smartbox

**Figura 35.**  
Smartbox del Strand Jack



**Nota.** Fotografía real de un smartbox propiedad de Transportes Montejo.

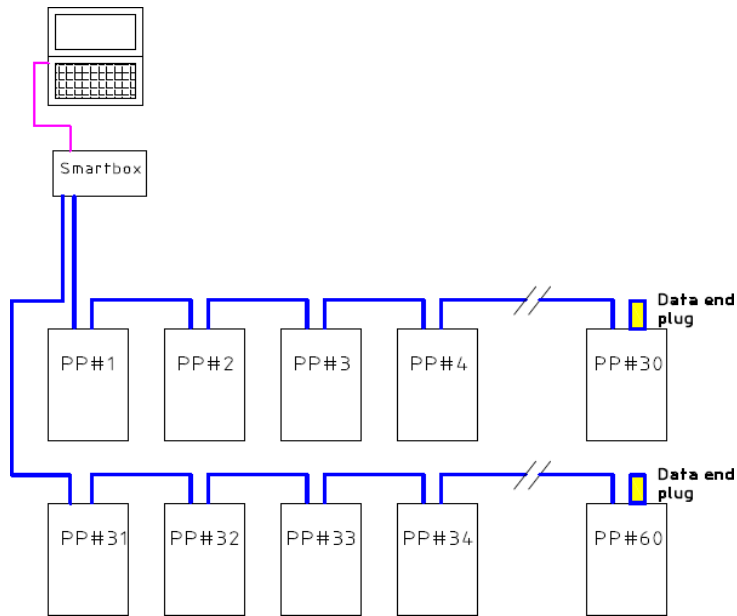
Debido a la necesidad de una interfaz entre el controlador y cada Strand Jack los fabricantes han optado por la adición de un smartbox que es una caja que actúa como un compresor de datos para enviar señales al controlador y así para poder operar el equipo.

«La lógica de funcionamiento dentro del Smartbox es realizar el control del funcionamiento del Strand Jack controlando la comunicación de datos, la sincronización y la línea de emergencia en todo momento.

Si algo sale mal con la comunicación entre la computadora y el Smartbox o entre el Smartbox y las unidades de alimentación, este detendrá inmediatamente el funcionamiento del Strand Jack activando el paro de emergencia.» [13]

Para realizar las conexiones y adición de los Strand Jacks al Smartbox se debe revisar la parte posterior de la caja y aquí se puede encontrar los puertos de cables de datos para poder conectar hasta 30 Strand Jacks. Estos deben ser cuidadosamente instalados teniendo en cuenta que para el último Strand Jack de la conexión en serie se debe instalar un finalizador del circuito, como un plug RS485.

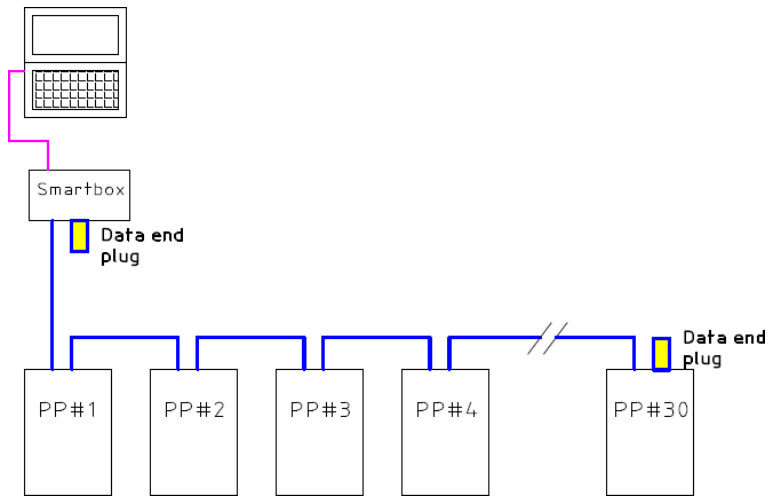
**Figura 36.**  
*Diagrama de conexión de varios Strand Jacks*



**Nota.** La figura representa el circuito de conexiones para llegar a conectar hasta 60 Strand Jacks en simultaneo, comenzando con el computador, luego la interfaz del smartbox y finalizando con los potenciómetros o plugs de final de carrera. Extraído de la carpeta de información técnica de la oficina del departamento técnico de Transportes Montejo.

Por último, si solo se llegase a usar un solo conector de datos, se debe conectar un plug finalizador en el último Strand Jack y otro en el Smartbox.

**Figura 37.**  
*Diagrama conexión sencilla Strand Jacks*



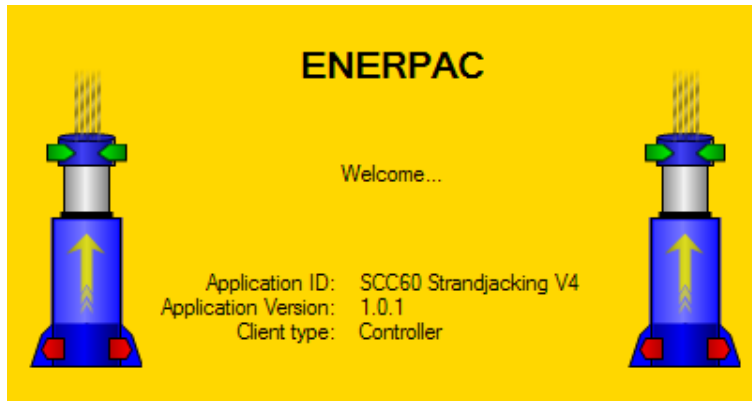
**Nota.** La figura representa el circuito de conexiones para llegar a conectar hasta 30 Strand Jacks en simultaneo, comenzando con el computador, luego la interfaz del smartbox y finalizando con los potenciómetros o plugs de final de carrera. Extraído de la carpeta de información técnica de la oficina del departamento técnico de Transportes Montejo.

Para conectar el Smartbox al computador se debe usar un cable de red Ethernet, y para la conexión eléctrica se requiere una entrada de 100-240 VAC 50/60 HZ, 0,8A, salida de 24 VDC 1,25A, Max 30W.

### 1.4.2. Software scc4-60

**Figura 38.**

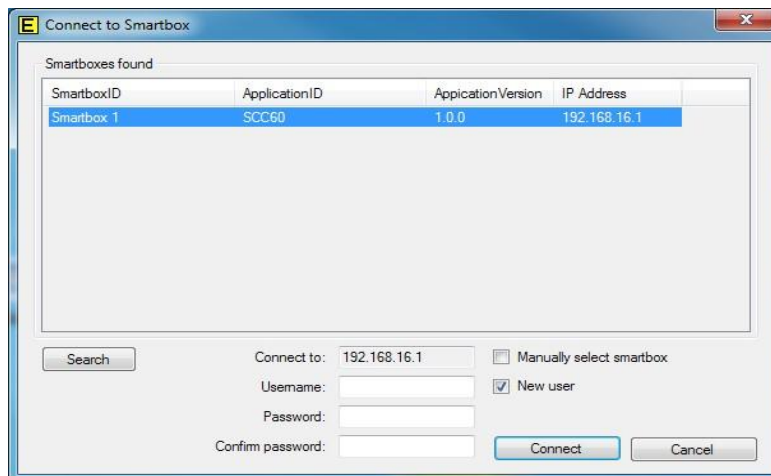
*Inicio del SCC4-60, Enerpac*



**Nota.** Ventana de inicio del programa. Una vez se tenga realizada las conexiones de hardware se procede a correr el programa scc4-60 y automáticamente deberá reconocer una IP que será la del Smartbox. Si el software encontró algún Smartbox se procede a crear un usuario y contraseña y por último confirmar estos datos y dar clic en connect.  
[6] SCC4-60, 1.0.1, [CD.ROM].USA, Enerpac, 2015

**Figura 39.**

*Ambiente de conectividad de Smartbox en el software*



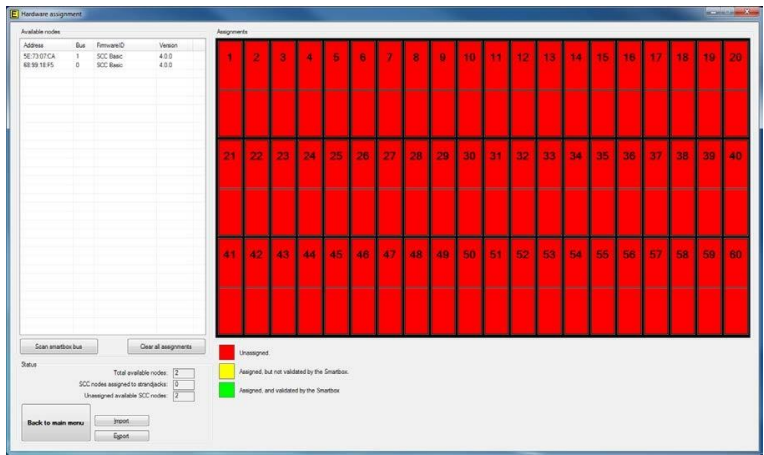
**Nota.** En este menú se debe seleccionar los dispositivos conectados.  
[6] SCC4-60, 1.0.1, [CD.ROM].USA, Enerpac, 2015

Una vez se conecte y se acepten los términos y condiciones el ambiente que muestra el programa brindará la opción de agregar “powerpacks” que dicho de otra forma hace referencia a los Strand Jacks. Para esto se deben asignar hardware, donde la columna

izquierda de la figura 40 mostrará los nodos disponibles para anidar, los bloques rojos representan la posición en la pantalla de elevación y descenso.

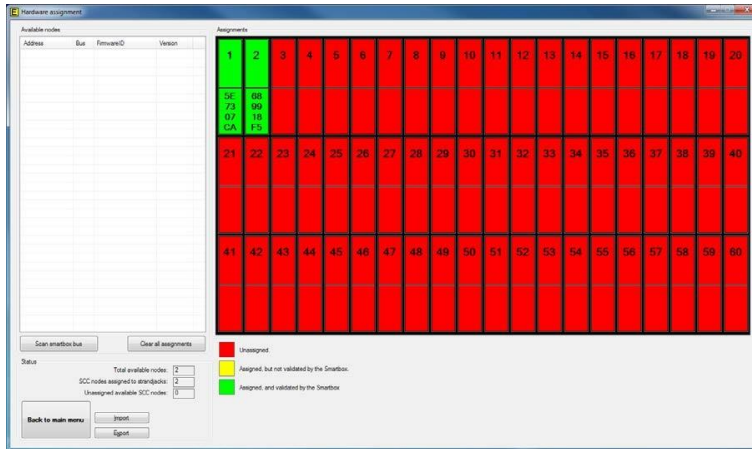
Una vez se aniden powerpacks a la pantalla se logrará identificar estos debido a que ya no estarán representados con color rojo sino con verde o amarillo.

**Figura 40.**  
*Asignación de powerpacks al controlador, Enerpac*



**Nota.** Se debe esperar hasta que reconozca los dispositivos y así poder darle la asignación al banco correspondiente.  
[6] SCC4-60, 1.0.1, [CD.ROM].USA, Enerpac, 2015

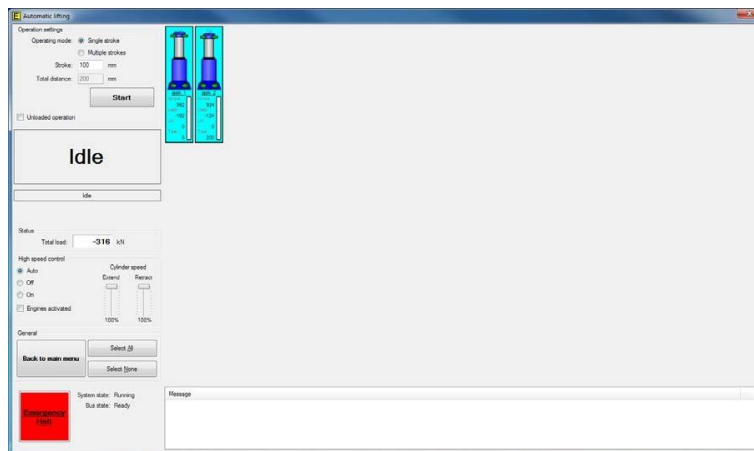
**Figura 41.**  
Asignación de powerpacks al controlador pt2, Enerpac



**Nota.** El ambiente del programa muestra en color verde los dispositivos conectados. [6] SCC4-60, 1.0.1, [CD.ROM].USA, Enerpac, 2015

Una vez asignados los powerpacks se podrá llamar la función de automatic lifting el cual muestra la posición de los Strand jacks en la pantalla

**Figura 42.**  
Check de los strand jacks, Enerpac



**Nota.** Representación gráfica de cada dispositivo Strand. Jack sincronizado en el programa. [6] SCC4-60, 1.0.1, [CD.ROM].USA, Enerpac, 2015



Una vez se tenga asignado los powerpacks a la pantalla se debe seleccionar el tipo de Strand Jack correcto para cada powerpack. Es posible utilizar diferentes tipos de Strand Jack al mismo tiempo.

La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores medidos por el instrumento, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente.

«Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: si en un termómetro de 0-100%, para el valor de la variable de 40°C, la aguja marca 39,9 al subir la temperatura desde 0, e indica 40,1 al bajar la temperatura desde 100°C, el valor de la histéresis es de» [14]

$$\frac{40,1 - 39,9}{100 - 0} * 100 = \pm 0,20\%$$

«La histéresis de elevación es el máximo de diferencia entre el levantamiento de los Strand Jacks. Si un Strand Jack es  $\frac{3}{4}$  de la histéresis por delante de los otros Strand Jacks, la velocidad de este Strand Jack se reducirá. Si la diferencia de este Strand Jack y los otros Strand Jacks es mayor que la histéresis, entonces el Strand Jack se detendrá y esperará hasta que los otros Strand Jacks alcancen  $\frac{1}{4}$  de la histéresis.» [13]

Con respecto al porcentaje de inicio del contador de elevación o precarga. Para iniciar el contador de elevación, la carga debe ser superior a la precarga. La precarga es este porcentaje de la carga esperada.

Ejemplo:

Precarga: = Porcentaje de inicio del contador de elevación X carga esperada

$$= 50\% \times 300 \text{ Ton}$$

$$= 150 \text{ Ton}$$

Con respecto a la sobre carga máxima en modo automático; si la carga es mayor que la sobre carga máxima, el ciclo automático se detendrá y el sistema dará un mensaje de falla.

Ejemplo:

Overload: = sobrecarga máxima en modo automática x Carga esperada.

$$= 120\% \times 300 \text{ Ton}$$

$$= 360 \text{ Ton}$$

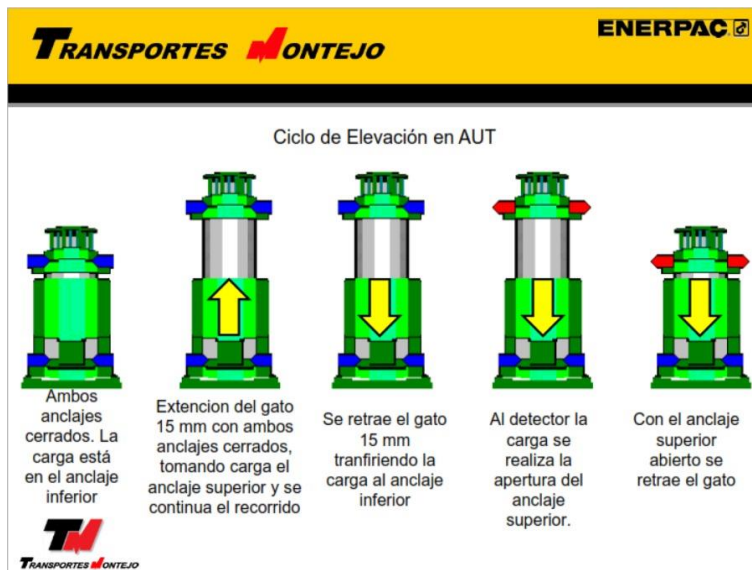
= sobrecarga máxima en modo Manual x Carga esperada.

$$= 140\% \times 300 \text{ Ton}$$

$$= 420 \text{ Ton}$$

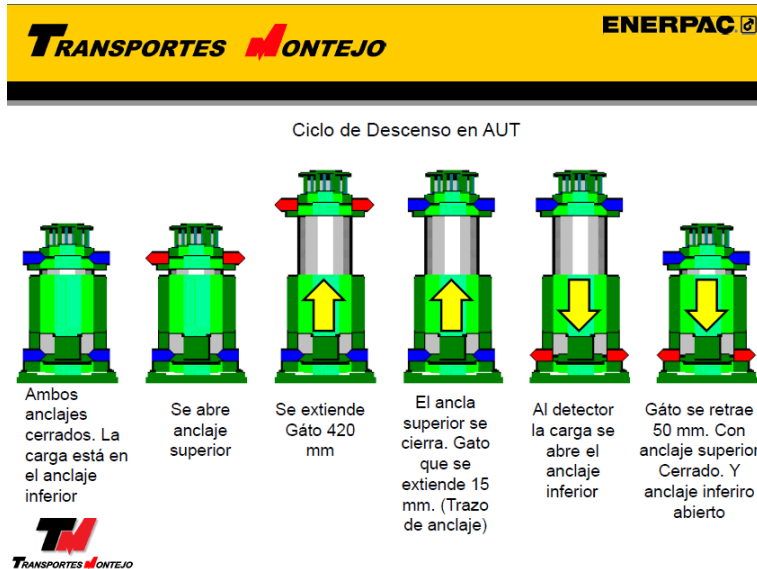
### Figura 43.

Ciclo de elevación en automático Strand jacks



**Nota.** Ciclo de elevación automático. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 44.**  
Ciclo de descenso en automático Strand Jacks



**Nota.** Ciclo de descenso. Tomado de Transportes Montejo.

### 1.4.3. Proyectos en Colombia realizados por strand jacks y equipos no convencionales

**Figura 45.**  
Izaje de generador de 200 Ton, Termotasajero



**Nota.** Los Strand Jacks están posicionados en el sistema superior de un Gantry para que sirva de apoyo y realice el izaje del generador. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 46.**

*Carro encofrado y carro alas, Nuevo Puente Pumarejo*



**Nota.** Puente Pumarejo Barranquilla Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

**Figura 47.**

*Izaje de cuartos de estator, Hidroituango*



**Nota.** Cada cuarto de estator tiene 3 puntos de izaje los cuales se puede apreciar el posicionamiento de cada uno. Tomado de Transportes Montejo.

**Figura 48.**  
*Izaje de turbina, Hidroituango*

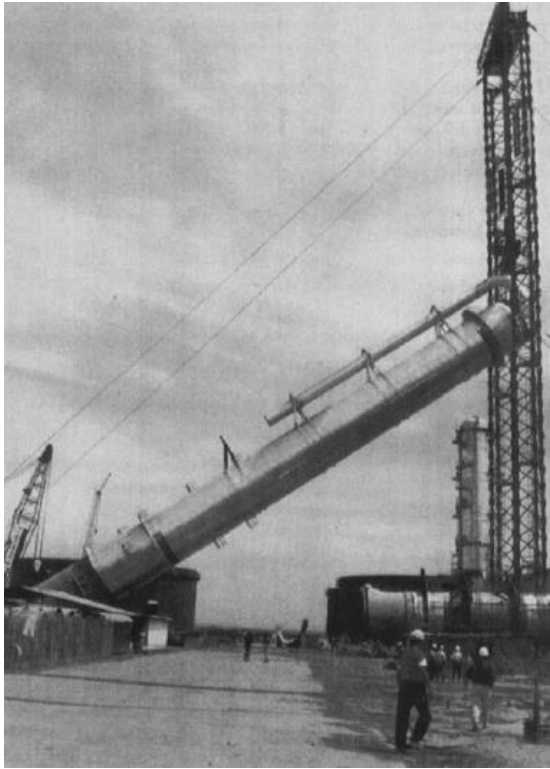


**Nota.** La turbina tiene 2 puntos de izaje los cuales se puede apreciar el posicionamiento de cada uno. Tomado de Transportes Montejo.

#### **1.4.4. Proyectos internacionales destacados realizados por strand jacks**

**Figura 49.**

*Izaje de torre refinería en Venezuela*



**Nota.** Se realiza una verticalización con dispositivos Strand Jacks. Tomado de: L. Shapiro y J Shapiro, *Cranes and Derricks*, Estados Unidos: Mc Graw Hill, 2011.

**Figura 50.**  
*Reemplazo de puente ferroviario, Canadá*



**Nota.** Uso de Strand Jacks para la construcción de obras civiles. Tomado de Western Mechanical “CN Railway bridge span replacement Project in sainte-Anne-de-bellevue near Montreal”. [En línea]. Disponible: <http://www.westernmechanical.net/projects/cn-railway-bridge-span-replacement-project-in-sainte-anne-de-belle-vue-near-montreal/>

**Figura 51.**  
*Izaje de puente aeroportuario de 1500 Ton*



**Nota.** Se aprecia que el uso de estos dispositivos simplifica tareas de construcción y los fabricantes pueden montar grandes partes y así reducir tiempos de entrega de una obra. Tomado de Khl news “Mammoet installs 1500 ton airport bridge” [En línea]. Disponible: <https://www.khl.com/international-cranes-and-specialized-transport/mammoet-installs-1500-ton-airport-bridge/142604.article>

## Figura 52.

### *Operación sarcófago, Chernóbil*



**Nota.** Esta maniobra se hizo para poder mitigar los efectos medio ambientales que ocurrían con los reactores más afectados por la catástrofe en la planta nuclear de Chernóbil. Tomado de “Chernobyl confinement: the story” [En línea]. Disponible:

<https://www.youtube.com/watch?v=sX-DCIyDeLo>

#### **1.4.5. Principales fabricantes de strand jacks**

A continuación se mencionan las principales compañías dedicadas al diseño y comercialización de dispositivos especiales hidráulicos de levantamiento y descenso:

- ENERPAC
- DLT ENGINEERING
- HABETEC ENGINEERING
- ZHONGTUO MINE EQUIPMENT



## **2. EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS ASOCIADAS AL SISTEMA ESTRUCTURAL**

### **2.1. Variables del sistema**

Los equipos de izaje son un conjunto de dispositivos asociados a cumplir la función de levantar una carga, rotarla, y posicionarla sobre su sitio final de descargue para lo cual es menester tener en cuenta que las variables físicas asociadas a estas operaciones generales de izaje son:

- Radio operacional
- Longitud de Boom principal para el caso de una grúa
- Altura del pórtico para los equipos de izaje no convencionales
- Peso de la carga
- Peso de los accesorios y/o aparejos.

A si mismo los principios físicos que rodean estos equipos son los asociados a la mecánica vectorial (estática, dinámica), y mecánica de materiales.

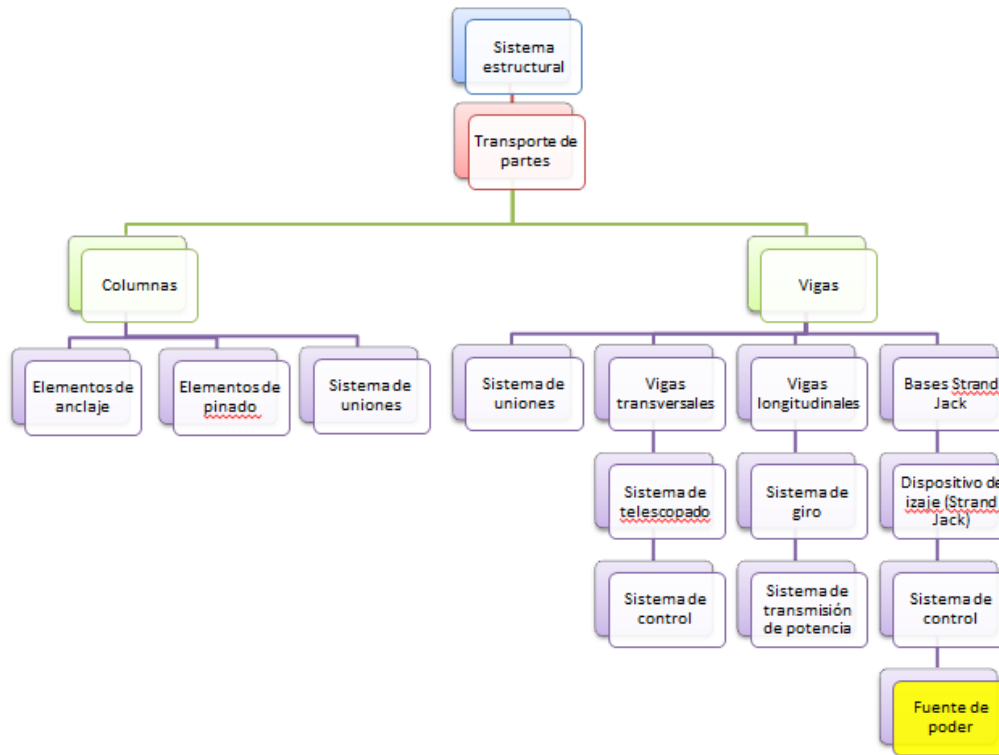
Por otra parte, en materia estructural, los factores principales que se tendrán en cuenta serán parámetros de diseño y casos de carga al momento de la realización del diseño y cálculo de columnas, vigas y sujeciones.

#### **2.1.1 *Proceso y funcionamiento***

Como primera medida del proceso operativo asociado con el manejo de cargas con este equipo se inicia con el traslado de las partes que componen este equipo, una vez en el job site se procede a realizar el ensamble con el apoyo de una grúa o un camión grúa. Se realiza el ensamble del sistema estructural (columnas y vigas) para posteriormente realizar la instalación del sistema hidráulico y eléctrico, cada uno de estos sistemas es operado e inspeccionado a través de un controlador. El equipo contará con un pórtico y en su parte superior contará con dos vigas transversales telescópicas metálicas las cuales serán capaz de adaptarse en su ancho y extenderse de acuerdo a las necesidades del proyecto, también funcionarán como apoyo al soporte de los Strand jacks: este soporte deberá contener otras vigas longitudinales

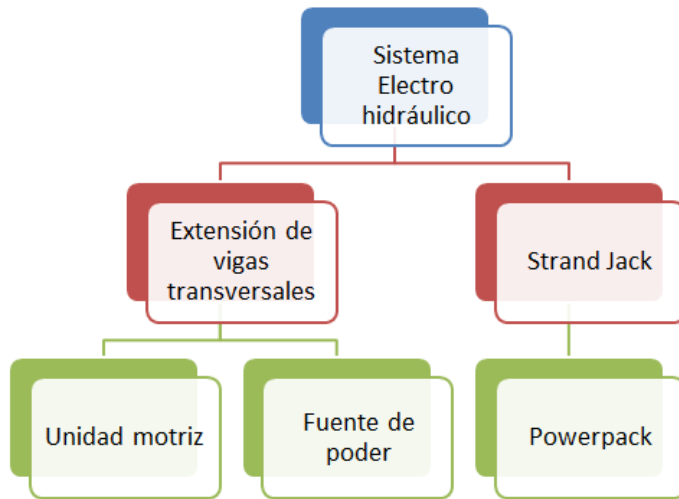
para instalar la tornamesa y las bases de los Strand jacks, y por último la instalación de los mismos.

**Figura 53.**  
*Sistema estructural del equipo.*



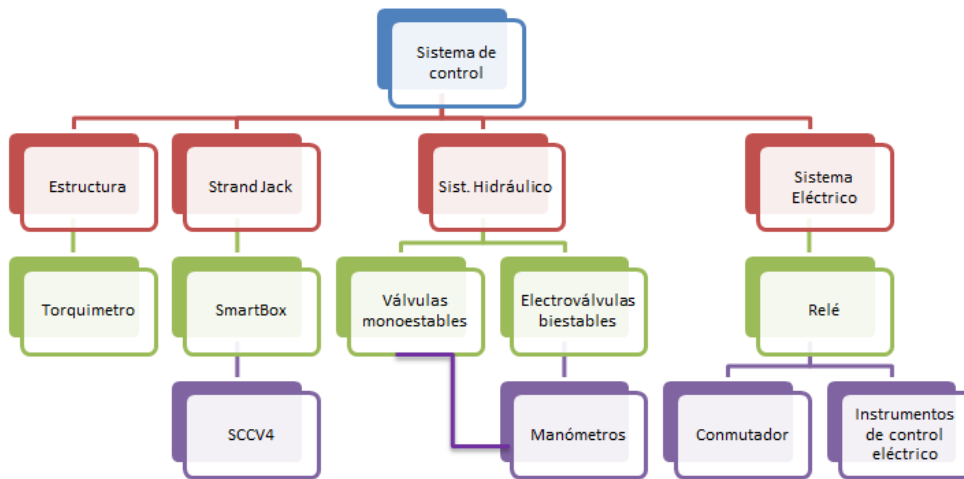
**Nota.** Conceptualización de los componentes del sistema estructural

**Figura 54.**  
*Sistema electrohidráulico del equipo.*



**Nota.** Elementos que conforman el sistema electro hidráulico del equipo

**Figura 55.**  
*Sistema de control del equipo.*



**Nota.** Elementos que conforman el sistema de control del equipo

### **2.1.2 Parámetros de diseño**

Para un correcto diseño es importante lograr la identificación de los parámetros de diseño iniciales donde estos son condiciones de operación y características técnicas que se deberá tener en cuenta para la fase de diseño y cálculos del equipo. Esta formulación se propone teniendo en cuenta alturas para maniobrar en obras civiles, como puentes, refinerías o proyectos energéticos.

Variables de entrada preliminares

- Nivel 0 de altura para la carga que se va a elevar o izar.
- Sistema estructural superior: 14.00 m extensible a 21.00 m. (distancia asociada entre columnas)
- Peso máximo de la carga: 280.00 Ton.
- Dimensiones mínima de la carga a izar: 13.40 x 12.00 x 5.00
- Dimensiones máximas de la carga a izar: 30.00 x 12.00 x 5.00

Variables de salida preliminares

- 50.00 metros de altura. (altura que tendrá el pórtico y altura a la que la carga se podría elevar)
- Movilización de la carga entre 1 y 2 km/hr
- Descargue en posicionamiento final.

Por último el equipo se podrá instalar sobre dos equipos de transporte para realizar operaciones de movilización dentro del área de maniobras.

### 2.1.3 Marco legal

A continuación se mencionaran normas y aspectos a tener en cuenta a la hora de analizar, diseñar, y certificar equipos de izaje

**Tabla 2.**  
Marco legal

<b>ASPECTOS A TENER EN CUENTA</b>	<b>NORMA A TENER EN CUENTA</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Riesgos Mecánicos</i></li> <li>• <i>Riesgos eléctricos</i></li> <li>• <i>Atrapamiento</i></li> <li>• <i>Resolución 1448 trabajo en alturas</i></li> <li>• <i>NSR-10 norma ingeniería sísmica.</i></li> </ul> <p><b>ASPECTOS AMBIENTALES</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fugas de aceite hidráulico.</i></li> <li>• <i>Contaminación unidad motriz</i></li> <li>• <i>Acuerdo 079/código de policía</i></li> <li>• <i>Ley 9 1979 (descargas de residuos ante organismos competentes)</i></li> <li>• <i>Resolución 68 de 2001</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ASME B30.1 – Gatos – Patines Industriales – Ruedas de Aire y Pórticos Hidráulicos</i></li> </ul> <p><i>ASME B30.2 – (Bridge Top Correr, viga simple o múltiple, Trolley Top Ejecución de elevación) Puente Grúas o Pórticos (Puente de desplazamiento superior viga sencilla o múltiple, Trolley de desplazamiento superior).</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>ASME B30.5 – Grúas Móviles y Locomotoras</i></li> <li>• <i>ASME B30.29 - (Self-Erecting Tower Cranes) Torre Grúas Automontantes</i></li> <li>• <i>ASME B30.17 – Puente Grúas o Pórticos (Puente de desplazamiento superior viga sencilla, Polipasto Colgante)</i></li> <li>• <i>ASME B30.16 – Polipastos de Izaje (Colgantes)</i></li> <li>• <i>ASME B30.21 – Polipastos por Accionamiento Manual (Diferenciales).</i></li> <li>• <i>ASME B30.22 – Grúas de Pluma con Articulación</i></li> <li>• <i>ASME B30.7 – Winche -“Malacates.”</i></li> <li>• <i>ASME B30.9 – Eslingas</i></li> <li>• <i>ASME B30.10 Ganchos.</i></li> <li>• <i>ASME B30.20 dispositivos de elevación debajo del gancho (Accesorios).</i></li> <li>• <i>ASME B30.26 – (Rigging Hardware) Accesorios Rígidos / Dispositivos de Aparejamiento desmontables (ej. Grilletes, Cáncamos)</i></li> <li>• <i>ASME B30.6 – Torres de Izaje</i></li> <li>• <i>ASME B30.14 Tractores de Brazo Lateral</i></li> <li>• <i>ASME B30.11 Grúas en Monorriel</i></li> <li>• <i>ASME B30.23 Sistema de Elevación de Personal.</i></li> </ul>

**Nota.** La tabla menciona normas enfocadas a temas de izaje de cargas

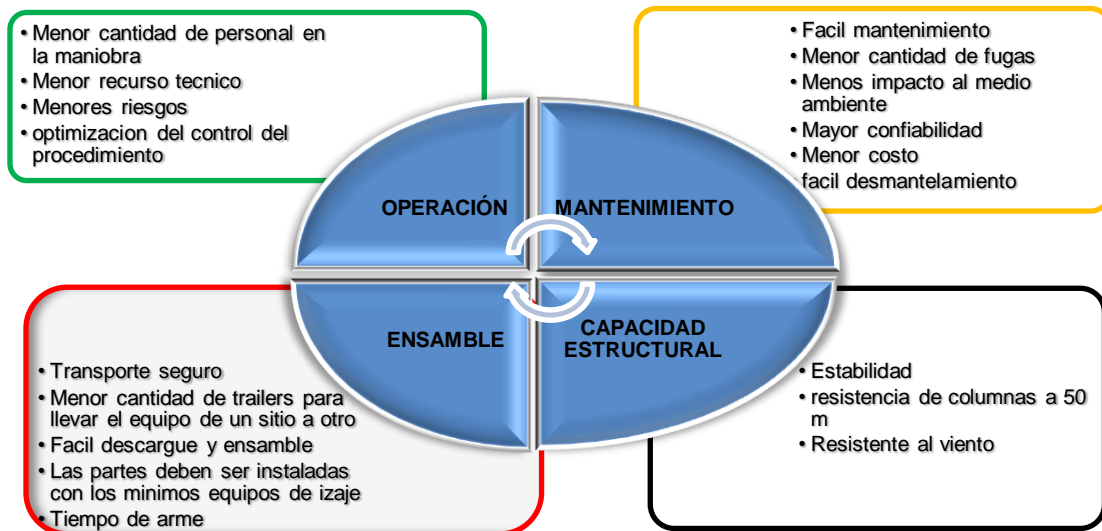
## 2.2 Evaluación de alternativas asociadas al sistema estructural

El sistema estructural del equipo es el encargado de suministrar la estabilidad y soportar la transmisión de carga que generan los Strand Jacks, esto debido a la altura a la que se ejecuta el izaje. Alrededor de todo el proceso del diseño del equipo, la estructura como sus columnas y vigas son la parte más importante por tanto a continuación se presentan las diversas alternativas para el desarrollo del mismo.

Las diversas alternativas que se presentan como solución al sistema estructural del equipo deben tener en cuenta la parametrización propuesta y adicional lo siguientes criterios con el fin de lograr plantear una correcta evaluación y selección:

**Figura 56.**

*Pilares fundamentales del proyecto*



**Nota.** Criterios a tener en cuenta para la selección de alternativas

De acuerdo a los aspectos anteriormente mencionados a continuación se ilustran las alternativas de diseño del sistema estructural.

### **2.2.1. Alternativa 1**

Como primera alternativa al sistema estructural se plantea que las torres o columnas del pórtico sean hidráulicas. Este sistema de columnas se inspira en los Gantry el cual cada columna tiene un controlador hidráulico por medio de válvulas que logran operar cada torre y así poder sacar las secciones telescópicas según la altura que se necesite.

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta en función del diseño del mismo es, «a) La estructura de carga mecánica y los componentes hidráulicos en la base del pórtico deben tener suficiente resistencia y ductilidad para subir, bajar y soportar la carga nominal a las temperaturas que se esté usando, b) la base del pórtico deberá diseñarse de acuerdo con los siguientes criterios: la carga vertical de diseño debe ser igual a la carga nominal. La carga transversal de diseño debe ser igual al 1,50% de la carga nominal. La carga longitudinal de diseño deberá ser igual a 1,50% de la carga nominal. Vigas superiores o de cabecera, eslabones de elevación, vigas de riel, soportes del mismo, y otros accesorios y equipos utilizados como parte del sistema pórtico debe diseñarse o seleccionarse por el diseñador o por una persona calificada para su uso previsto.» [18]

Adicionalmente dentro de los factores de diseño para las bases del pórtico se debe contemplar; «el esfuerzo de servicio en componentes individuales de una base del pórtico se calculará sobre la base de la carga nominal y las cargas transversales especificadas y no debe exceder el esfuerzo máximo admisible. Los esfuerzos de fluencia se basaran en un factor mínimo de 1.67 a 1. El factor de diseño mínimo para el pandeo local será de 1.67. Los esfuerzos admisibles para la fractura son de un factor de mínimo 2. La estabilidad de una base del pórtico debe ser tal que el momento de vuelco no debe superar el 95% del momento de estabilización. El momento de vuelco que actúa sobre la base del pórtico debe ser igual a la carga horizontal multiplicada por la altura máxima de la torre. El momento de estabilización de la base del pórtico debe ser igual a la carga nominal soportada en la parte superior de la torre y el peso propio de la misma.» [18]

**Figura 57.***Variables a tener en cuenta para pórticos hidráulicos***Estabilidad lateral**

$$MO_{lat} = F_{lat}H$$

$$a = \frac{G}{2} + \frac{t}{2}$$

$$MS_{lat} = a(P + W_d)$$

**Estabilidad Longitudinal**

$$MO_{long} = F_{long}H$$

$$a = \frac{WB}{2}$$

$$MS_{long} = a(P + W_d)$$

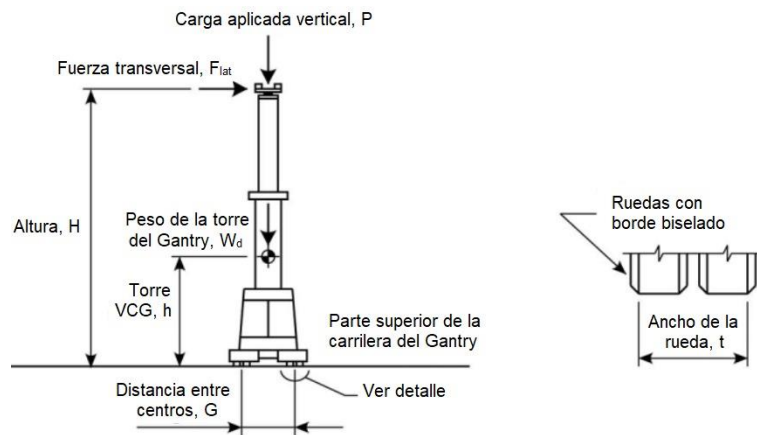
**Nota.** Descripción de la estabilidad lateral y longitudinal expuesta por el experto David duerr [19]

Dónde:

- $MO_{lat}$ ;  $MO_{long}$  = Momento de volcamiento (Overturning moment) Es igual a la fuerza transversal ( $F_{lat}$ ), o fuerza longitudinal ( $F_{long}$ ), que actúa en la parte superior de la torre del Gantry, multiplicada por la altura (H) desde la parte superior de la carrilera del Gantry hasta la parte superior de la torre.
- $a$  = Eje de dirección de la fuerza vertical actuante (peso muerto de la torre y fuerza vertical aplicada)
- $G$  = distancia entre centros de la torre en sentido transversal
- $t$  = Ancho de las llantas de la torre del Gantry en sentido transversal
- $WB$  = Distancia entre centros de la torre en sentido longitudinal.
- $MS_{lat}$ ;  $MS_{long}$  = Momento de estabilidad.
- $P$  = Fuerza vertical aplicada.
- $W_d$  = Peso muerto de la torre.

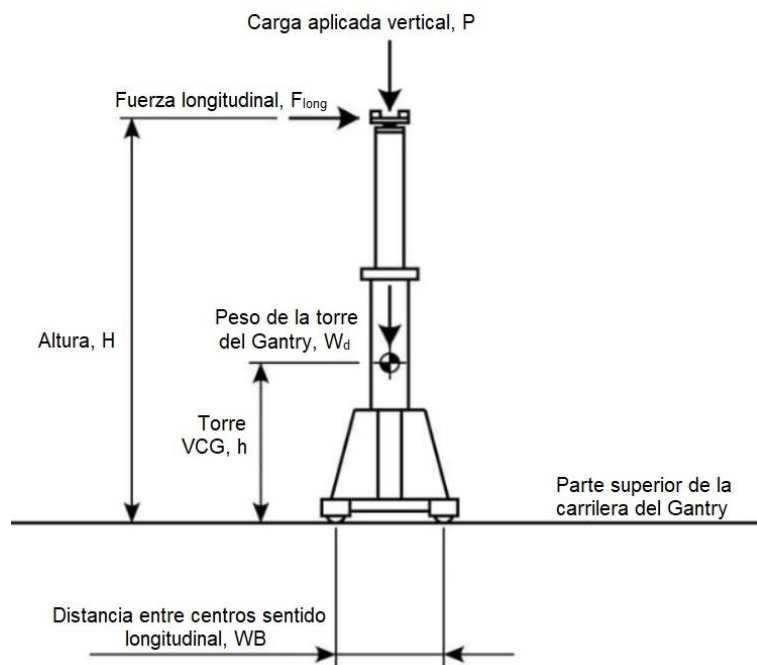


**Figura 58.**  
*Estabilidad de torre hidráulica sentido transversal*



**Nota.** Se puede apreciar las dos fuerzas actuantes en sistema hidráulico: Fuerza transversal y Fuerza vertical  
 Tomado de: D. Duerr, *Telescopic hydraulic Gantry systems*, Estados Unidos: 2DM Associates, 2013.

**Figura 59.**  
*Estabilidad de torre hidráulica sentido longitudinal*



**Nota.** Se puede apreciar las dos fuerzas actuantes en sistema hidráulico: Fuerza transversal y Fuerza vertical. Tomado de: D. Duerr, *Telescopic hydraulic Gantry systems*, Estados Unidos: 2DM Associates, 2013.

## Figura 60.

Foto ilustrativa de torres hidráulicas



**Nota.** Sistema Gantry elevando estructura metálica. Tomado de Transportes Montejo

### 2.2.2 Alternativa 2

Como segunda alternativa al sistema estructural se plantea que las torres o columnas del pórtico sean de perfilera metálica. Este sistema de columnas consiste en el diseño de una columna con arrostros alrededor o uniones que permitan darle robustez al pórtico, logrando así una estabilidad y una disminución del pandeo así mismo como un comportamiento uniforme en su estructura sin la necesidad de mecanismos hidráulicos.

## Figura 61.

Foto ilustrativa de Jacking tower



**Nota.** Figura de referencia de una estructura metálica pórtico soportando Strand jacks. Tomado de de Khl news "Testing complete on DLT 5000 tonne Jacking tower system" [En línea]. Disponible: <https://cutt.ly/2QGD1I2>.

Las Jacking Towers se utilizan principalmente para el movimiento vertical de grandes cargas en espacios reducidos o lugares apartados donde una grúa no es muy útil. Existen dos tipos establecidos: los que empujan la carga hacia arriba se llaman sistemas push-Jack y otros que tiran desde arriba llamados sistema Strand Jacks. Una torre de elevación típica es un marco apoyado sobre una base y quizá atados por la estabilidad. Las torres pueden ser triangulares o rectangulares de sección. Es habitual un par de torres en tándem pero se pueden utilizar 4 si es necesario. Las torres se pueden arriistrar o atar entre sí

El sistema Push-Jack utiliza una viga transversal desde la que está suspendida, por lo tanto, las torres siempre deben ser más altas que la carga. [10]

De acuerdo a la NSR-10 capítulo F.2.10.1.10 Limitaciones en conexiones soldadas y pernadas, deben utilizarse juntas con pernos pre tensionados o juntas soldadas para las siguientes conexiones:

- a) Empalmes de columnas en todas las estructuras de varios pisos con más de 38 metros de altura
- b) Todas las conexiones de vigas y viguetas a columnas, y todas las conexiones entre vigas y viguetas de las cuales dependa el arriostamiento de las columnas, en estructuras de más de 38 metros de altura.
- c) En todas las estructuras que soporten puente grúas de más de 50 KN de capacidad: empalmes en armaduras de cubierta y conexiones de armaduras a columnas, empalmes de columnas, arriostamientos de columnas, pie- de-amigos y apoyos del puente grúa.
- d) Conexiones para soportar maquinaria en movimiento u otras cargas vivas que produzcan impacto o inversión de esfuerzos. [3].

En otros casos y mientras no exista otra indicación, las conexiones pueden diseñarse usando pernos ASTM A307 o pernos de alta resistencia con apriete ajustado.

También la sección F.2.12.2. Contra flecha indica que donde esté previsto el uso de una contra flecha para lograr condiciones apropiadas de posicionamiento y localización de la estructura, su magnitud, dirección y localización deberán quedar especificadas en los planos estructurales (...) En general, a las armaduras de 25 o más metros de luz se les dará una contra flecha que contrarreste aproximadamente la deflexión debida a la carga muerta. A los puentes grúas de 23 o más metros de luz se les dará una contra flecha que compense aproximadamente la deflexión causada por la carga muerta más la mitad de la deflexión producida por la carga viva. [3].

### 2.2.3 Metodología de evaluación

“En este tipo de casos “abordar situaciones de incertidumbre o con pocos niveles de información” es muy importante poder establecer lineamientos, rubricas comparativas a través de la asignación de criterios y valores ponderados dentro de una escala global de medida de evaluación. Esto es a través del método para la decisión multicriterio: ponderación lineal o método scoring.” [22]

El modelo para el cálculo es el siguiente:

$$S_j = \sum_i w_i r_{ij}$$

Dónde:

- $r_{ij}$  =Rating de la alternativa j en función del criterio i.
- $w_i$  =Ponderacion para cada criterio i.
- $S_j$  =Score para la alternativa j.

Asignación de ponderación:

Evaluación de cada criterio con base en sus aspectos generales,

**Tabla 3.***Evaluación, criterio: Operación*

<b>CRITERIO: OPERACIÓN</b>	<b>PONDERACION</b>
Menor cantidad de personal en la maniobra	4
Menor recurso técnico	3
Menores riesgos	5
optimización del control del procedimiento	5
<b>Promedio</b>	<b>4,25</b>

**Nota.** Ponderación del criterio de operación**Tabla 4.***Evaluación, criterio: Mantenimiento*

<b>CRITERIO: MANTENIMIENTO</b>	<b>PONDERACION</b>
Fácil mantenimiento	1
Menor cantidad de fugas	3
Menos impacto al medio ambiente	4
Mayor confiabilidad	5
Menor costo	5
Fácil desmantelamiento	3
<b>Promedio</b>	<b>3,5</b>

**Nota.** Ponderación del criterio de mantenimiento

**Tabla 5.**  
*Evaluación, criterio: Ensamble*

CRITERIO: ENSAMBLE	PONDERACION
Transporte seguro	3
Menor cantidad de tráileres para llevar el equipo de un sitio a otro	5
Fácil descargue y ensamble	5
Las partes deben ser instaladas con los mínimos equipos de izaje	4
Tiempo de ensamble	3
<b>promedio</b>	<b>4</b>

**Nota.** Ponderación del criterio de Ensamble

**Tabla 6.**  
*Evaluación, criterio: Capacidad Estructural*

CRITERIO: CAPACIDAD ESTRUCTURAL	PONDERACION
Estabilidad	5
resistencia de columnas a 50 m	5
Resistente al viento	5
<b>promedio</b>	<b>5</b>

**Nota.** Ponderación del criterio de capacidad estructural

Asignación de ponderación general para cada criterio:

**Tabla 7.**  
*Evaluación criterios generales*

CRITERIOS	PONDERACION $w_i^*$
OPERACIÓN	4
MANTENIMIENTO	3
ENSAMBLE	4
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	5

**Nota.** Esta ponderación es una aproximación de las tablas individuales de cada criterio. Con un rango de aproximación de  $\pm 0.50$ .

**Tabla 8.***Rubrica para la ponderación*

1	Muy poco importante
2	Poco importante
3	Importancia media
4	Algo importante
5	Muy importante

**Nota.** Tabla asociada al significado de cada ítem de ponderación

**Tabla 9.***Rúbrica del rating para ponderación lineal*

1	Extra bajo
2	Muy bajo
3	Bajo
4	Poco bajo
5	Medio
6	Poco alto
7	Alto
8	Muy alto
9	Extra alto

**Nota.** Se establece el rating de satisfacción para la alternativa donde se emplea de 9 números.

Rating:



**Tabla 10.**  
*Evaluación del rating*

<b>CRITERIO GENERAL</b>	<b>CRITERIO INDIVIDUAL</b>	<b>ALTERNATIVA 1 <math>r_1</math></b>	<b>ALTERNATIVA 2 <math>r_2</math></b>
OPERACIÓN	Menor cantidad de personal en la maniobra	8	6
	Menor recurso técnico	6	8
	Menores riesgos	6	7
	Optimización del control del procedimiento	8	9
MANTENIMIENTO	Fácil mantenimiento	2	3
	Menor cantidad de fugas	5	9
	Menos impacto al medio ambiente	6	9
	Mayor confiabilidad	8	8
	Menor costo	5	7
	Fácil desmantelamiento	2	9
ENSAMBLE	Transporte seguro	9	8
	Menor cantidad de tráileres para llevar el equipo de un sitio a otro	8	5
	Fácil descargue y ensamble	8	7
	Las partes deben ser instaladas con los mínimos equipos de izaje	5	6
	tiempo de ensamble	9	7
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	Estabilidad	8	9
	resistencia de columnas a 50 m	2	8
	Resistente al viento	7	7

**Nota.** Se le aplica un puntaje o rating a cada criterio individual para así poder categorizar y representar numéricamente cada alternativa con su respectivo peso.

**Tabla 11.**  
Evaluación del score para cada alternativa

CRITERIO GENERAL	PONDERACION $W_i$	CRITERIO INDIVIDUAL	RATING ALTERNATIVA 1 $r_1$	RATING ALTERNATIVA 2 $r_2$	$W_i * r_1$	$W_i * r_2$
OPERACIÓN	4	Menor cantidad de personal en la maniobra	8	6	32	24
	3	Menor recurso técnico	6	8	18	24
	5	Menores riesgos	6	7	30	35
	5	Optimización del control del procedimiento	8	9	40	45
MANTENIMIENTO	1	Fácil mantenimiento	2	3	2	3
	3	Menor cantidad de fugas	5	9	15	27
	4	Menos impacto al medio ambiente	6	9	24	36
	5	Mayor confiabilidad	8	8	40	40
	5	Menor costo	5	7	25	35
	3	Fácil desmantelamiento	2	9	6	27
ENSAMBLE	3	Transporte seguro	9	8	27	24
	5	Menor cantidad de tráileres para llevar el equipo de un sitio a otro	8	5	40	25
	5	Fácil descargue y ensamble	8	7	40	35
	4	Las partes deben ser instaladas con los mínimos equipos de izaje	5	6	20	24
	3	tiempo de ensamble	9	7	27	21
CAPACIDAD ESTRUCTURAL	5	Estabilidad	8	9	40	45
	5	Resistencia de columnas a 50 m	2	8	10	40
	5	Resistente al viento	7	7	35	35
<b>SCORE <math>S_j</math></b>					<b>471</b>	<b>545</b>

**Nota.** La tabla muestra la evaluación de la ponderación de cada criterio general y así mismo el rating para cada alternativa mostrando que el score mayor es para la alternativa 2.

Una vez realizada la matriz de ponderación lineal se concluye que la alternativa 2 es la opción más viable y eficiente para el sistema estructural del equipo de izaje brindando menores riesgos en la operación, mantenimientos y una mayor estabilidad debido a su geometría, pero los factores decisivos fueron por parte del criterio de capacidad estructural debido a que actualmente no existe una torre hidráulica de 50 metros debido a que primero los equipos deberían tener grandes presiones en sus bombas, a su vez entre más alta sea la torre hidráulica perderá capacidad:

**Tabla 12.**

*Tabla de capacidad Gantry 500 Ton, Transportes Montejo*

**LIFT SYSTEMS**


MODELOS 34PT500 T/LT/WT CAPACIDAD (TABLA DE CARGAS)  
500(453) TONELADAS EN 4 PUNTOS DE IZAJE

Presión aplicada de la bomba electrohidráulica

Presión	2450 PSI	2300	2200	2000	1800	1600	1400	1200	1000	800	600	400	200
169 bar	159	152	138	124	110	97	83	69	55	41	28	14	
35'0" (10668 mm) 3ra Sección pirada	500 TON (453)	477 TON (432)	457 TON (414)	415 TON (376)	373 TON (338)	332 TON (301)	290 TON (263)	249 TON (225)	207 TON (187)	166 TON (150)	124 TON (112)	83 TON (75)	41 TON (37)
27'6" (8382 mm) 2da Sección pirada					500 TON (453)	492 TON (446)	431 TON (390)	369 TON (334)	307 TON (278)	246 TON (233)	184 TON (166)	123 TON (111)	61 TON (55)
19'6" (5944 mm) 1era Sección pirada					500 TON (453)	492 TON (446)	431 TON (390)	369 TON (334)	307 TON (278)	246 TON (233)	184 TON (166)	123 TON (111)	61 TON (55)
11'6" (3505 mm)													

Secciones de la torre del Gantry

Carga permitida a izar



**Nota.** Esta tabla muestra las diferentes capacidades del Gantry de acuerdo a la altura que tenga las secciones de torre versus la presión que se accione en la bomba. Tomado de: Carpeta "información técnica" Transportes.

Por último, la estructura metálica para el diseño, genera un impacto negativo en aspectos de logística para poder almacenar todo el equipo sin embargo esto se mitiga debido a que la compañía Transportes Montejo cuenta con sedes en Tocancipá, Cartagena, Medellín y Yopal la cual permite solventar esta necesidad.

A su vez cuenta con los equipos de transporte y grúas para realizar y cumplir con la puesta en sitio y posterior ensamble. Y en cuanto a personal operativo cuenta con un departamento de operaciones con ingenieros y supervisores con más de 20 años de experiencia en temas asociados con la norma ASME B30.1, B30.2 Y B

**Figura 62.**  
*Equipo de trabajo Transportes Montejo*



**Nota.** Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

### 3 DISEÑO DEL EQUIPO DE IZAJE

#### 3.1 Diseño conceptual

Para desarrollar esta etapa del proyecto se detallan aspectos técnicos, especificaciones y lineamientos generales requeridos y deseados, propuestos por la empresa soporte y por el diseñador.

**Tabla 13.**  
*Especificaciones para el diseño*

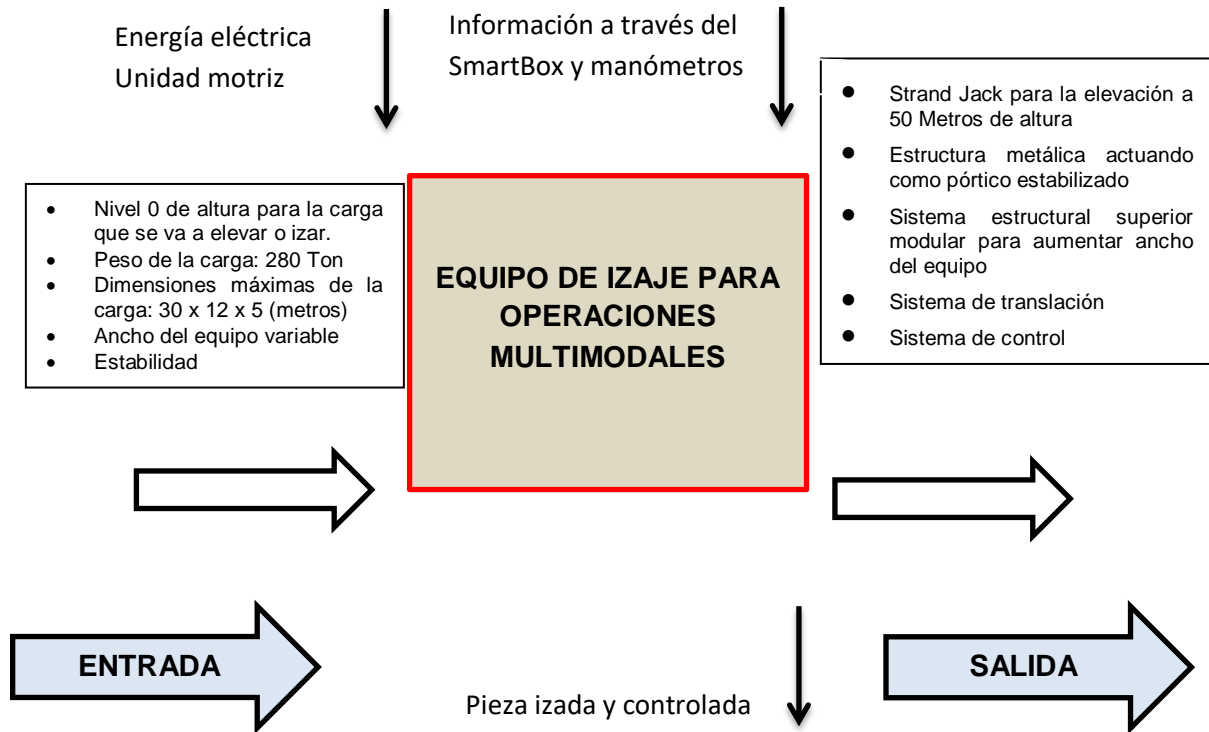
ESPECIFICACIONES INICIALES			
CONCEPTO	E/I	R/D	DESCRIPCION
LOGISTICA	E	R	Despiece del equipo para su transporte
	I	D	Armarse o ensamblarse con una grúa telescópica
	I	D	almacenarse en un lugar seguro, con terreno nivelado
FUNCIÓN	E	D	Realizar el izaje de cargas en ambientes con altas y bajas temperaturas
	I	R	Elevar, detenerse o descender la carga de forma controlada
	I	R	Tener una estabilidad estructural a la hora de izar cargas
	E	D	giro de la carga controlado
OPERACIONES NECESARIAS	E	R	Encendido de los circuitos hidráulico de forma manual
	E	R	Operación de Strand Jack por medio de un computador
	I	R	Operación de circuitos hidráulicos por medio de válvulas y electroválvulas

**Nota.** Dónde E= Empresa, I= Ingeniero diseñador, R= Requerido y D=Deseado

### 3.2 Diseño funcional.

A continuación, se ilustra la estructura funcional del equipo para dar cumplimiento a las especificaciones dadas.

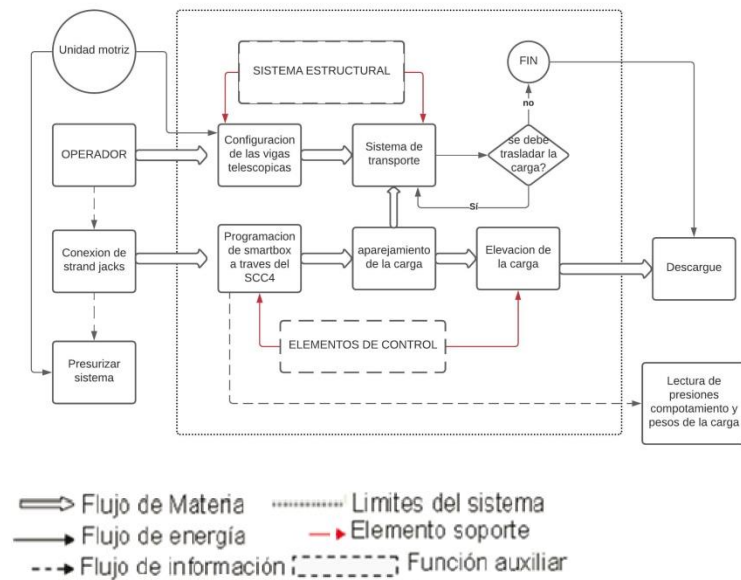
**Figura 63.**  
*Diagrama funcional*



**Nota.** Variables de entrada y de salida para el proyecto

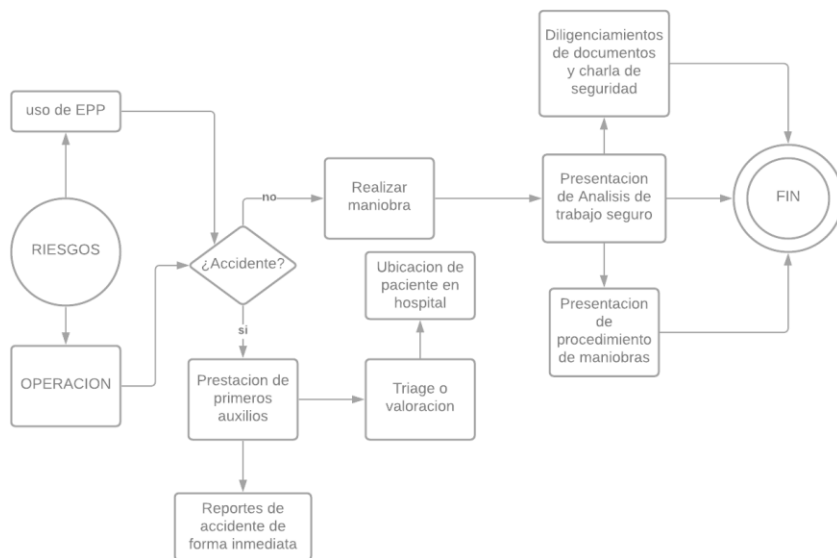
A continuación, se ilustra la estructura funcional.

**Figura 64.**  
*Estructura funcional*



**Nota.** Diagrama de flujo para toda la estructura funcional del proyecto a partir de los recursos necesarios para su funcionamiento.

**Figura 65.**  
*Estructura preliminar de riesgos*



**Nota.** Diagrama de flujo para toda la estructura de riesgos de operación durante la ejecución del proyecto.

### **3.3 Aspectos técnicos asociados al viento**

De acuerdo a los lineamientos internacionales del manejo de cargas especiales, nacen dos tipos de normas que son la ASME B30 y la EN13000 a continuación se mencionarán algunos apartes de gran importancia para establecer parámetros en el diseño del equipo.

Con respecto a la influencia del viento en las operaciones de izaje:

#### **«Cargas de viento (NORMA EN13000).**

#### **Velocidades y presiones de viento. (NORMA EN13000)**

Para el cálculo de las cargas de viento se asume que el viento sopla horizontalmente desde la dirección más desfavorable, pero con velocidad dependiente de la altura. La velocidad de una ráfaga de 3 segundos  $v(z)$  [m/s], que actúa sobre un punto en la altura  $z$  [m], y que es determinante para el cálculo, está basada en una velocidad del viento  $v$ [m/s], sacada como media a lo largo de un intervalo de 10 min a 10 m de altura sobre el suelo o sobre el nivel del mar.

La velocidad admisible del viento para la grúa en operación y fuera de operación se deduce de la velocidad de ráfaga  $v(z)$  actualmente en la altura más grande que se tuvo en cuenta en las comprobaciones. [23]

#### **Cargas de viento del viento en la operación. (NORMA EN13000)**

Para el cálculo de los efectos de carga debidos al viento en la operación puede asumirse de forma simplificada que la velocidad de ráfaga  $V_i$  (max. Z) Determina en el punto más alto vale para toda la altura de la grúa y del brazo extensible. Son admisibles cálculos más precisos, dependientes de la altura, de las fuerzas del viento actuantes sobre el brazo extensible por ejemplo intervalos de altura de 10 m.

Las fuerzas del viento determinadas con la correspondiente presión dinámica que actúan sobre la grúa y sus componentes deben combinarse con las otras cargas operativas. La velocidad admisible del viento  $V_i$  (max. Z) debe indicarse en las tablas de carga y en las instrucciones de operación. También debe indicarse la magnitud de



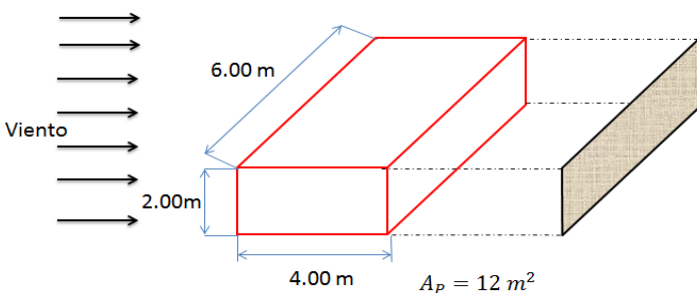
referencia tomada en esto como base para la carga (superficie expuesta al viento por unidad de masa (unidad de peso) de la capacidad de carga). Siempre que no esté establecido de otra manera, la misma es  $1.2 \frac{m^2}{ton}$ .

Observación1,

El valor de  $1.2 \frac{m^2}{ton}$  está basado en  $C_w = 1.2$ , Las fuerzas del viento actuantes sobre la carga suspendida deben determinarse para la altura máxima de elevación de la carga. Es necesario, según el caso, un análisis especial para elevar cargas de gran superficie ( $>1.2 \frac{m^2}{t}$ .)» [21]

Si un cuerpo se ilumina con una fuente de luz, éste proyecta una sombra. Esta sombra es la superficie de proyección  $A_p$  del cuerpo. Si en lugar de iluminar el cuerpo con luz lo azota el viento, se forma la misma sombra (superficie de proyección). Según la dirección del viento, la sombra puede ser más grande o más pequeña. El fabricante de la carga proporcionará la superficie máxima de proyección. [8].

**Figura 66.**  
*Superficie de proyección*



**Nota.** Representación del área superficial crítica afectada por la incidencia del viento. Tomado de Liebherr, Influencias del viento en la operación con grúas




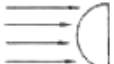
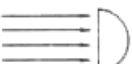
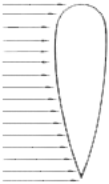
Algo importante para aclarar es que debe asumirse la cara con mayor área o superficie máxima de proyección.

Por otra parte, también se debe tener en cuenta la geometría de la carga a elevar puesto que a medida que el aire fluya en el ambiente, la resistencia al flujo del mismo puede variar y a esto se le llama coeficiente de resistencia

“El coeficiente de resistencia (valor  $C_w$ ) de cuerpo indica cuán grande es para el aire el obstáculo que causa el cuerpo. Este valor lo proporciona el fabricante de la carga.” [6]

A continuación, se presenta una tabla de coeficientes  $C_w$  para distintas geometrías de piezas a izar provistas por Liebherr:

**Tabla 14.**  
*Valores de  $C_w$  de cuerpos usuales*

Cuerpo	Coeficiente de resistencia $C_w$
Placa/paralelepípedo 	1,1 a 2,0
Cilindro 	0,6 a 1,0
Esfera 	0,3 a 0,4
Semiesfera (delante) 	0,2 a 0,3
Semiesfera (detrás) 	0,8 a 1,2
Rotor de una central de energía eólica 	aprox. 1,6

**Nota.** Es muy importante poder conocer cuál es el área superficial más crítica o en su defecto el cliente la debe proporcionar. Tomado de: Liebherr, influencias del viento en la operación con grúas, Alemania, 2017.

Ahora bien, la superficie expuesta al viento indica cuánta superficie de ataque tiene el viento teniendo en consideración la resistencia del cuerpo. Se compone de la superficie de proyección  $A_p$  y del valor  $C_w$ .

$$A_w = A_p * C_w \quad [6]$$

También es de importancia analizar la afectación de la presión dinámica en el comportamiento de la carga, Liebherr, fabricante de equipos de izaje hace la siguiente analogía: “Si el aire impacta contra una placa soportada por un resorte, ésta se rodea con aire. Una parte de aire se acumula sobre la superficie de la placa. Esta acumulación tiene como consecuencia un aumento de presión que aprieta la placa contra el resorte, en conclusión si la velocidad del viento aumenta el doble, la presión dinámica aumenta al cuádruple”

Entonces:

$$P = F_w : A_w \quad \text{ó} \quad P = 0.5 * \rho * V^2 \quad [6]$$

Donde

$$F_w = A_w * P$$

$$\rho = 1.25 \frac{Kg}{m^3} = \text{Densidad del aire}$$

V = Velocidad de ráfaga del viento

El método teórico para realizar el cálculo de la velocidad admisible del viento obedece al siguiente modelo matemático.

$$V_{max} = V_{max\_TAB} * \sqrt{\frac{1,2 \frac{m^2}{t} * m_h}{A_w}}$$

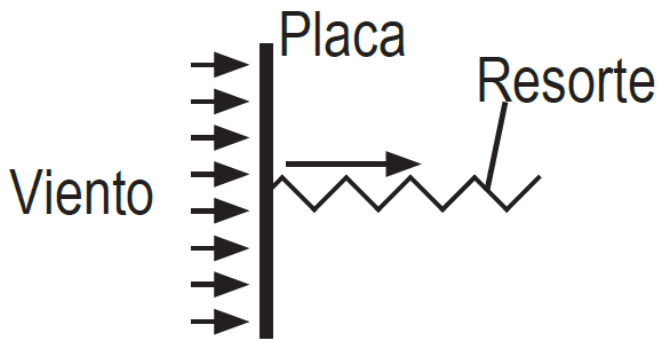
Donde

$m_h$  = carga de elevación incluido accesorios

$A_w$  = Superficie expuesta al viento

$V_{\max\_TAB}$  = Velocidad máxima admisible por tablas de capacidad.

**Figura 67.**  
*presión dinámica*



**Nota.** Analogía realizada por la compañía de fabricación de equipos de izaje Liebherr. Tomado de: Liebherr, *influencias del viento en la operación con grúas, Alemania, 2017.*

### 3.4 Diseño detallado

#### 3.4.1 Sistema estructural

El sistema estructural tipo pórtico tiene como función principal brindar la estabilidad, soporte y apoyo necesario al equipo para el funcionamiento a la altura predeterminada y como se ha venido mencionando el sistema está compuesto por perfilería metálica, arriostramientos y uniones o cartelas que permitan el fácil ensamble en campo.

Durante el desarrollo de este estudio estructural se debe tener en cuenta parámetros como el perfil metálico a usar, así como la geometría de la torre, la altura y los arriostramientos que llevan. Así mismo como su operación de ensamble en el Job site.

### **3.4.2 Torres del pórtico**

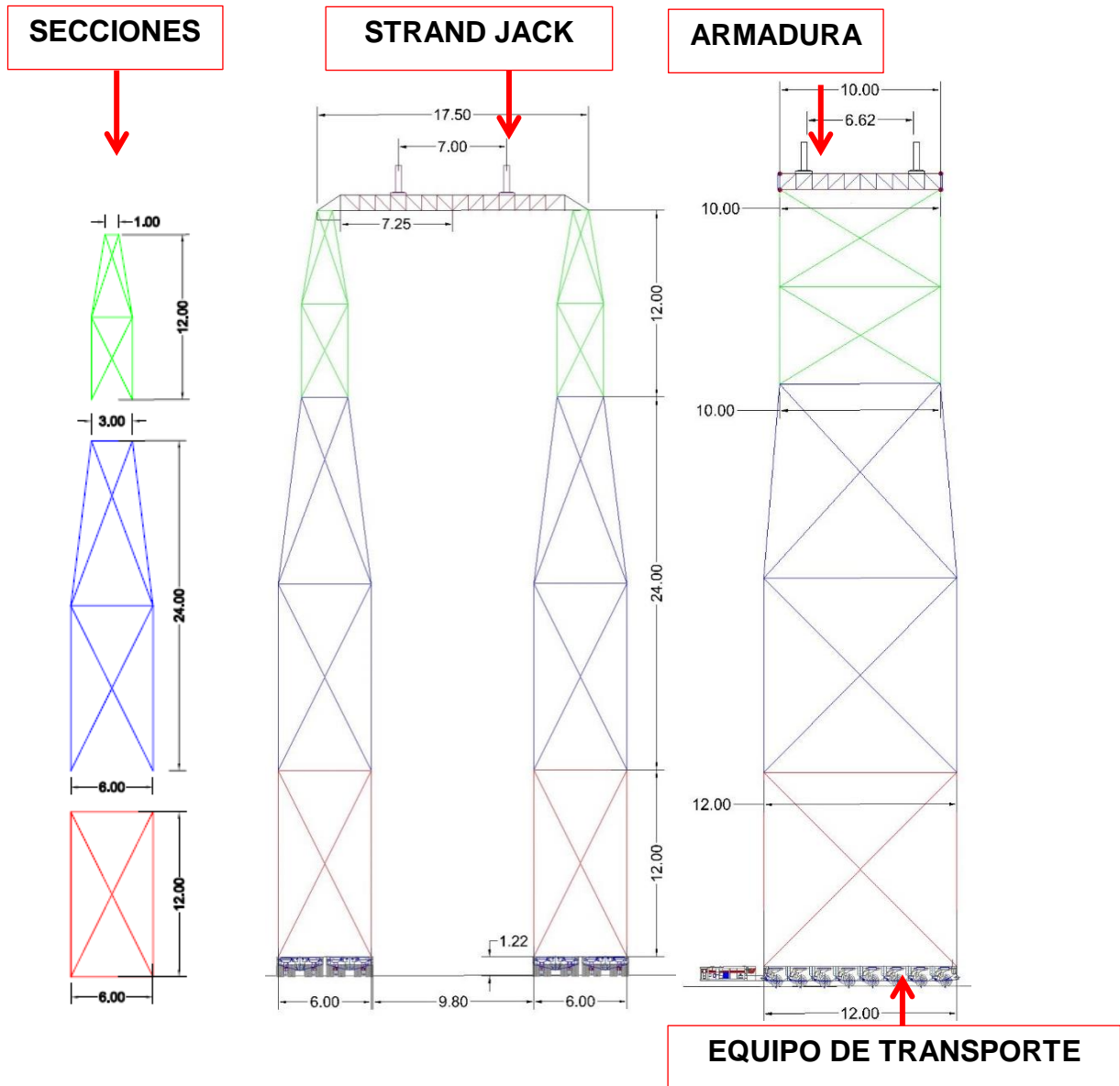
Cada torre del pórtico tendrá perfilería tubular circular para disminuir el pandeo local de la misma.

El método para la selección del mejor perfil está asociado a recomendaciones técnicas del área de ingeniería de la compañía Transportes Montejo el cual se procede a realizar todas las posibles variables y diseños geométricos que mejor se ajusten al cumplimiento técnico planteado.

Para esto a continuación se realizará un análisis de cargas vivas, cargas muertas, cargas por sismo, y cargas por viento.

La torre estará compuesta por tres secciones principales por temas logísticos de ensamble y serán compuestas por un perfil HSS el cual a continuación, se muestra una primera validación teórica para el desarrollo técnico de sistema estructural:

**Figura 68.**  
Estructura alámbrica parte 1

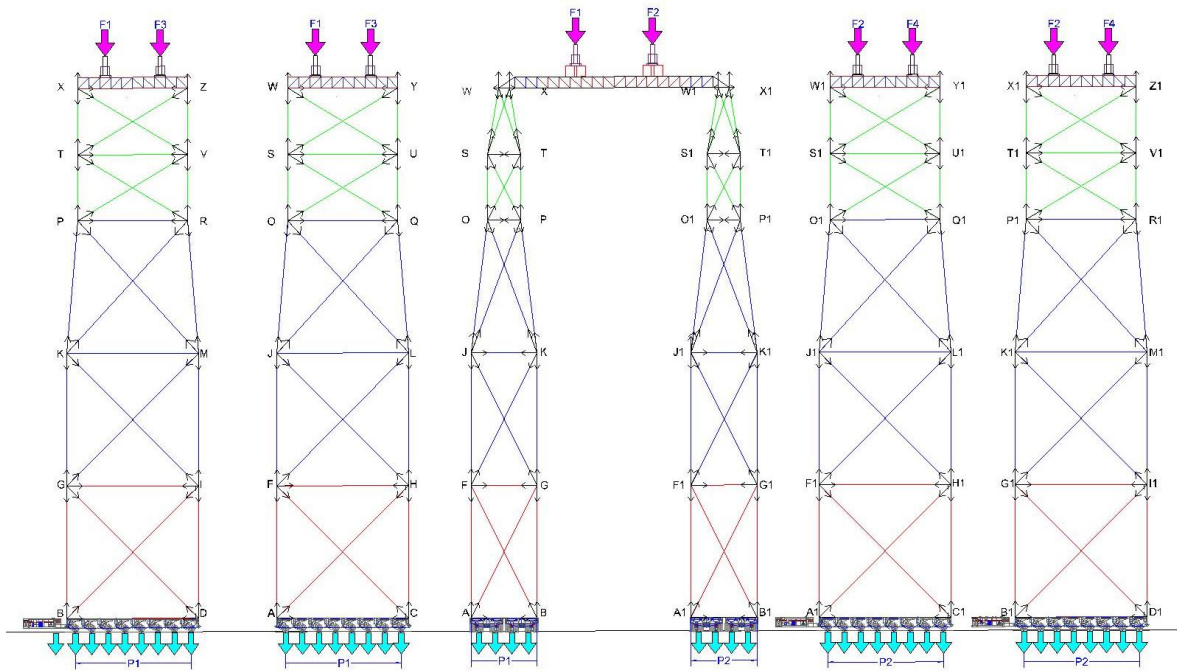


**Nota.** Dibujo preliminar de la estructura del proyecto con el sistema superior estructural extendido.

La anterior figura plasma la estructura alámbrica completamente ensamblada y extendida, la cual se caracteriza por tener un equipo de transporte especial en la parte inferior de cada torre, seguido del ensamble de tres secciones de estructura metálica (sección 1 en color rojo, sección 2 en color azul y sección 3 en color verde), luego la

instalación del sistema estructural superior las cuales tendrán la capacidad de extenderse agregando secciones. Este sistema soportará los 4 Strand Jack

**Figura 69.**  
Diagrama de cuerpo libre de la estructura

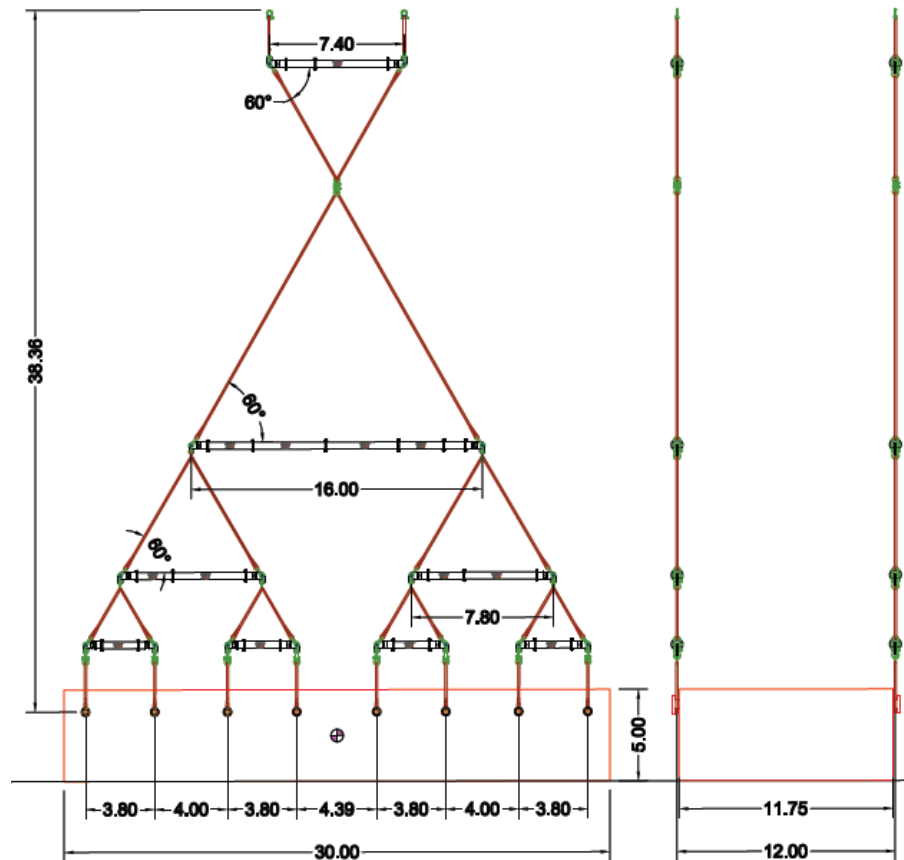


**Nota.** Análisis de las reacciones a las cuales se encuentra sometida la estructura, donde: F1, F2, F3, F4, son fuerzas de la carga viva, cada nodo se encuentra con una letra del alfabeto que simboliza la reacciones y las P1, y P2 simboliza la presión ejercida al suelo.

En la figura anterior se evidencia el diagrama de cuerpo libre del equipo de izaje, en donde la presión transmitida al suelo ejercida por el equipo P1 y P2 se representa por las flechas hacia abajo color cian, mientras que las flechas hacia abajo color magenta representan la carga de 280 toneladas repartida en 4 puntos (F1, F2, F3 y F4). Las flechas hacia arriba color negro representan las reacciones en los nudos.

**Figura 70.**

*Dimensiones máximas de la carga*



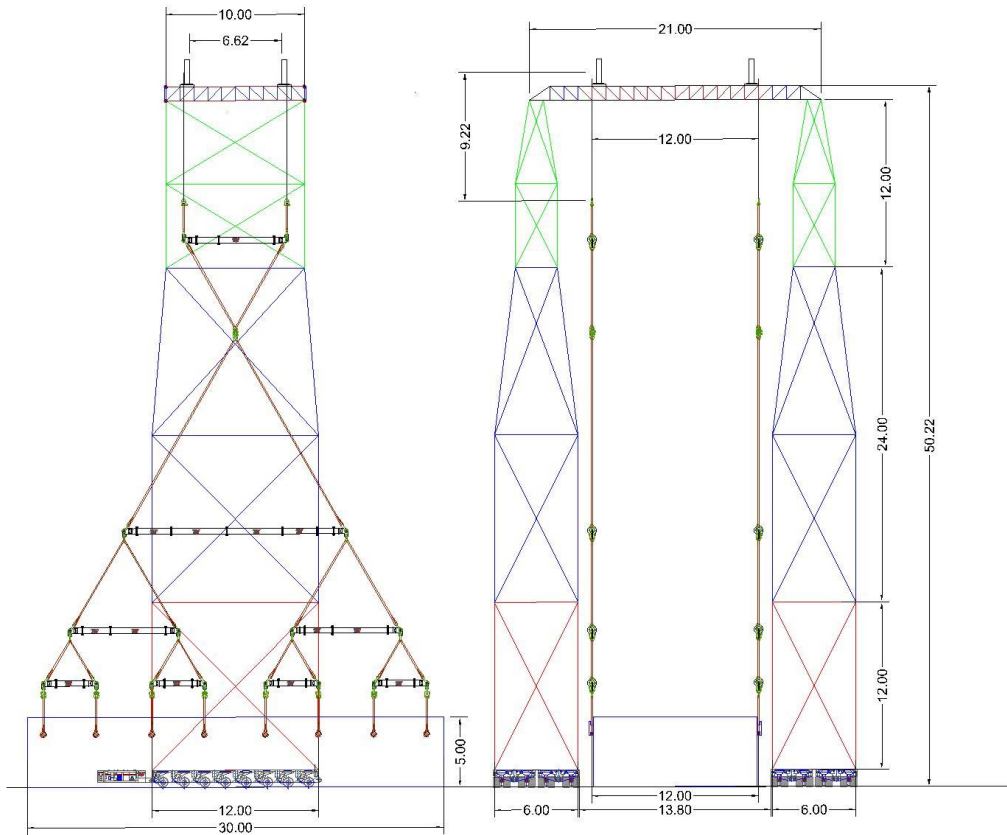
**Nota.** Uso de spreaders o vigas separadoras para lograr conseguir el izaje de una carga de hasta 30 metros de largo.

Este equipo puede realizar el izaje de piezas cuyas dimensiones máximas son 30 metros de largo, 12 metros de ancho y 5 metros de alto, esto teniendo en cuenta que para lograr izar esta carga se necesita realizar un arreglo de aparejos especial como se muestra en la figura 70.

Esta configuración de aparejos incluye el uso de cuatro (4) spreaders o vigas separadoras de 3.80 metros de largo, 2 spreaders o vigas separadoras de 7.80 metros de largo, un spreader o viga separadora de 16 metros de largo y por ultimo un spreader de 7.40 metros de largo. Todo estos aparejos y/o accesorios se multiplican por dos (2) debido a que se debe realizar dos arreglos de esta configuración para ambos extremos o caras de la carga a elevar.



**Figura 71.**  
*Representación de dimensiones máximas de la carga*



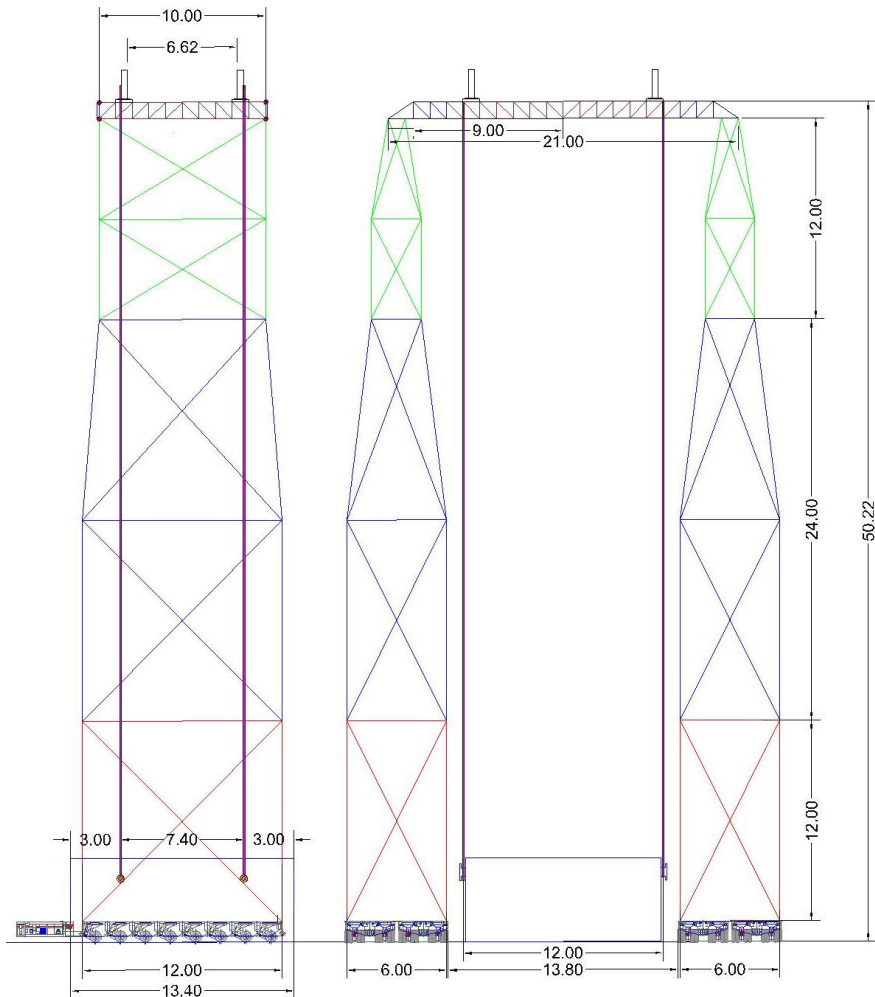
**Nota.** Ensamble de conjunto de spreaders o vigas separadoras para lograr elevar la carga, con el equipo de izaje y la carga.

En la figura anterior se puede apreciar la estructura alámbrica izando la carga, esto para poder dar una idea de simulación de la operación.

Además se puede apreciar que los Strand Jack solo podrían elevar la carga 9.22 metros debido al alto total del arreglo de aparejos.

## Figura 72.

*Izaje de carga con dimensiones mínimas para la estructura*



**Nota.** Se puede apreciar que no se utiliza accesorios como spreaders o vigas separadoras.

En la figura anterior se aprecia el izaje de una carga sin la ayuda de ningún tipo de aparejo adicional, las dimensiones que se puede izar son: una distancia máxima entre centros de los puntos de izaje a 7.40 metros y mínima a 4.99 metros, transversalmente un ancho de la carga de máximo 12.00 metros.

En estas condiciones el equipo operaria solo con el cable de acero de los Strand Jacks, el gancho del mismo, y las eslingas requeridas para aparejar la carga.

### 3.4.3 Amenaza sísmica

Para las condiciones sísmicas se deberá poner en práctica el método recomendado por la NSR-10 el cual ilustra tablas de todas las zonas de Colombia para realizar el respectivo cálculo. En vista de que este proyecto puede ser usado en cualquier parte de Colombia por exigencia de la compañía soporte, se valida que la región más crítica es en Villavicencio.

**Tabla 15.**

*Aceleración horizontal y velocidad horizontal pico efectiva*

**Tabla A.2.3-2**  
Valor de  $A_a$  y de  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento

Ciudad	$A_a$	$A_v$	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincelejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, 2010.

En la tabla anterior se puede apreciar la tabla que brinda la NSR-10 de los valores más críticos de aceleración y velocidad horizontal del suelo es decir la forma en la cual la tierra en cada punto geográfico de las zonas señaladas tiende a tener afectaciones

sísmicas en las distintas ciudades de Colombia, para lo cual se selecciona Villavicencio, que es la ciudad más crítica y que presenta los picos más altos de los ítems evaluados.

**Tabla 16.**

*Nivel de amenaza sísmica*

**Tabla A.2.3-1**  
Nivel de amenaza sísmica según valores de  $A_a$  y de  $A_v$

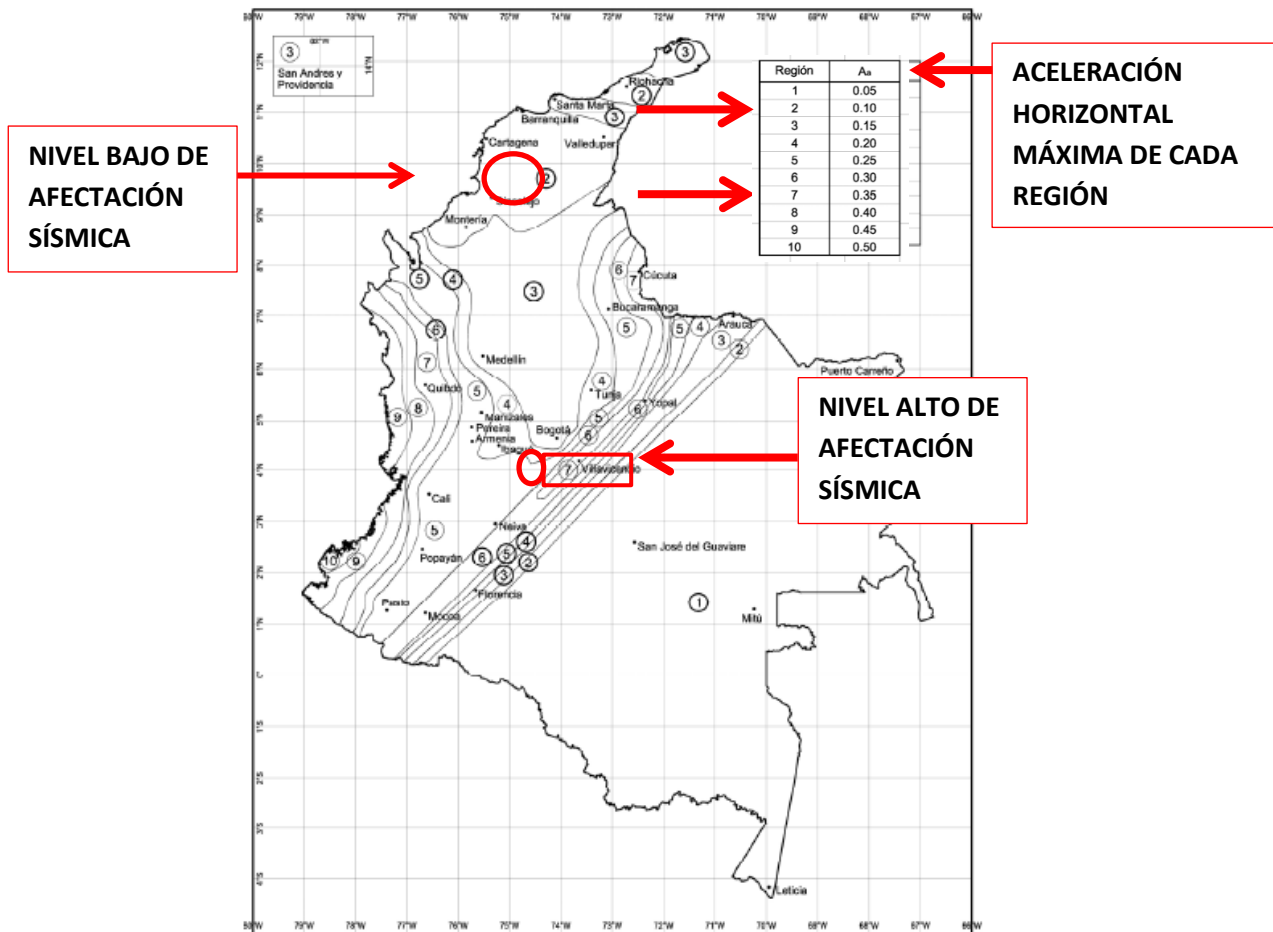
Mayor valor entre $A_a$ y $A_v$	Asociado en mapas de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 a Región N°	Amenaza Sísmica
0.50	10	Alta
0.45	9	Alta
0.40	8	Alta
→ 0.35 ←	7	Alta ←
0.30	6	Alta
0.25	5	Alta
0.20	4	Intermedia
0.15	3	Intermedia
0.10	2	Baja
0.05	1	Baja

**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, 2010.

En la tabla anterior se valida el nivel de amenaza sísmica presentado en función de la ciudad crítica a analizar (Villavicencio). Se procede a seleccionar el coeficiente más alto entre la aceleración y velocidad horizontal de la ciudad y el resultado obtenido para este caso en Villavicencio es un nivel de amenaza sísmica alto.

A continuación se presenta la figura A.2.3-2- Mapa de valores de  $A_a$  del título A de la NSR-10 del croquis de Colombia señalizando los puntos de amenaza sísmica.

**Figura 73.**  
Puntos de amenaza sísmica



**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, 2010.

Una vez se selecciona la zona geográfica deseada para hacer el estudio el paso siguiente es la determinación y selección a criterio del diseñador del coeficiente de importancia  $I$ . Este coeficiente está asociado al tipo de estructura que se está diseñando y su uso una vez se concluya la construcción.

El grupo número IV (4) está asociado a las edificaciones indispensables, es decir para atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo y su operación no se puede trasladar a cualquier parte de una manera rápida, como es el caso de los hospitales, edificaciones de centrales telefónicas, de telecomunicación y

radio difusión, edificaciones de control de líneas de energía eléctrica, aguas o combustibles.

El grupo número III (3) está asociado a las edificaciones de atención a la comunidad es decir estructuras que deben funcionar después de un sismo, como lo es estaciones de bomberos, defensa civil, policía, ejercito, oficinas de prevención y atención de desastres.

En el grupo número II (2) se encuentran las estructuras de ocupación especial como edificaciones donde puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón, guarderías, colegios o universidades, graderías al aire libre, almacenes y centros comerciales de más de 500 metros cuadrados por piso, edificios donde trabajen más de 3000 personas y edificios gubernamentales.

Por último el grupo I (1) está asociado a las estructuras de ocupación normal donde abarca todas las estructuras que no se han incluido en las anteriores clasificaciones.

### Tabla 17.

*Coefficientes de importancia según el tipo de estructura*

Grupo de Uso	Coefficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

**Nota.** Para las torres se selecciona el grupo I debido a que no se encuentra en ninguno de los grupos mencionados de la NSR-10 y no habrá personas interviniendo directamente en la estructura una vez ensamblada. Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, 2010.

A continuación, se evidencia el cálculo teórico para el desarrollo de la influencia sísmica a tener en cuenta durante la operación del diseño de las torres del pórtico.

**Tabla 18.**  
*Localización y zona de amenaza sísmica*

1. LOCALIZACION Y ZONA DE AMENAZA SISMICA	
CIUDAD	VILLAVICENCIO
AMENAZA SISMICA	ALTA
Aa	0,35
Av	0,3

**Nota.** Se seleccionó Villavicencio con base en que se quiere analizar el punto geográfico que tenga mayor afectación sísmica debido a que el equipo estará en operación nacional. Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, AIS, 2010.

A continuación se muestra la tabla A.2.4-1 clasificación de los perfiles de suelo. Para este equipo de izaje es importante tener en cuenta un suelo completamente nivelado con una capacidad portante de más de  $1 \text{ kgf/cm}^2$  por tanto es muy importante anunciarle al ingeniero civil encargado de la zona de operaciones con el equipo de izaje estas condiciones mínimas para la operación del mismo.

**Figura 74.**  
*Clasificación de los perfiles de suelo*

Tabla A.2.4-1  
Clasificación de los perfiles de suelo

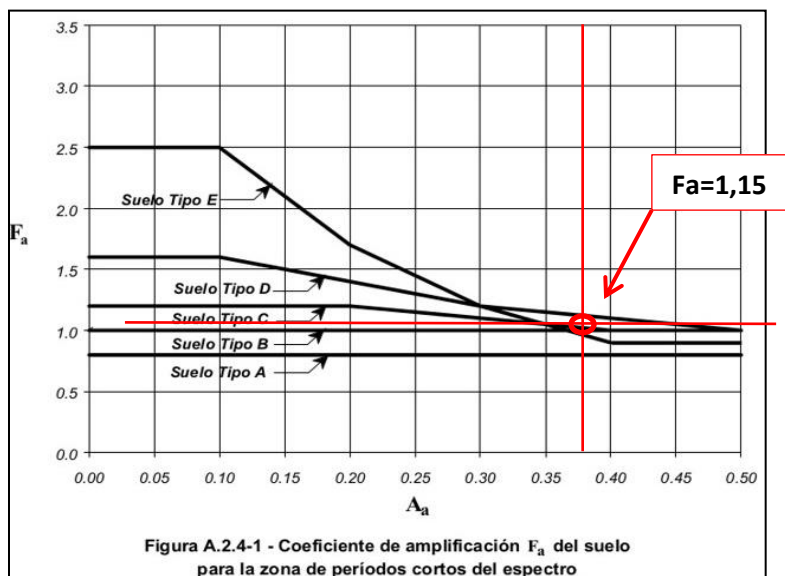
Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{q}_u \geq 100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2)$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180 \text{ m/s}$
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{q}_u \geq 50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2)$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	<b>IP</b> > 20 <b>w</b> $\geq$ 40% $50 \text{ kPa} (\approx 0.5 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{q}_u$
F	Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: <b>F</b> <sub>1</sub> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F</b> <sub>2</sub> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F</b> <sub>3</sub> — Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> > 7.5 m con índice de Plasticidad <b>IP</b> > 75) <b>F</b> <sub>4</sub> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> > 36 m)	



**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, AIS, 2010.

Una vez seleccionado el suelo tipo C se procede a revisar la figura A.2.4-1 la cual hace referencia al coeficiente de amplificación  $F_a$  del suelo para la zona de periodos cortos del espectro; es decir que a partir de un valor  $A_a$  ya obtenido de la validación de la zona geográfica y con el tipo de suelo seleccionado de la tabla A.2.4-1: se dan valores del coeficiente  $F_a$  que según la norma NSR-10: “este coeficiente lo que hace es amplificar las ordenadas del espectro en roca para tener en cuenta los efectos de sitio en el rango de periodos del orden  $T_0$ ” [3]

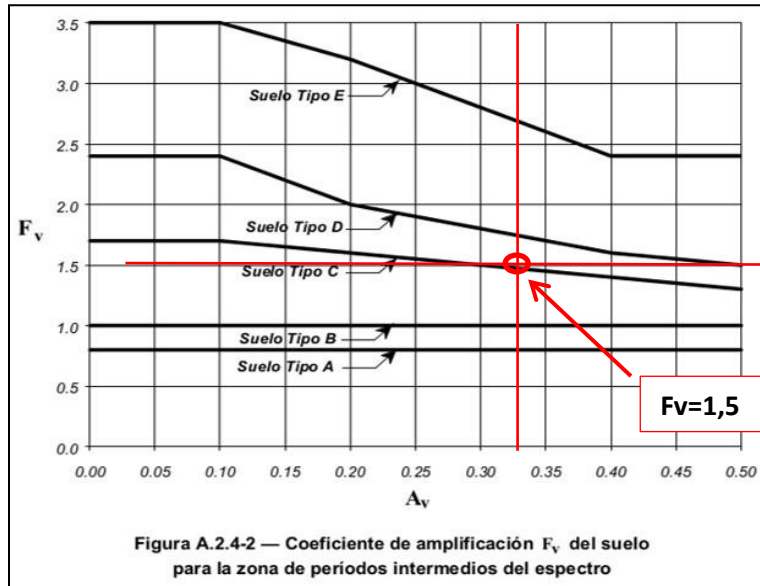
**Figura 75.**  
*Coeficiente de ampliación  $F_a$  del suelo corto espectro*



**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, AIS, 2010.



**Figura 76.**  
Coeficiente de ampliación  $F_v$  del suelo



**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente, NSR-10, Colombia, AIS, 2010.

**Tabla 19.**  
Parámetros del perfil del suelo

2. PARAMETROS DEL PERFIL DEL SUELO	
TIPO DE PERFIL	C
Fa	1,15
Fv	1,5

**Nota.** Validación de acuerdo a las tablas presentadas de la NSR-10.

**Tabla 20.**  
Características de la estructura

3. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA		
SISTEMA ESTRUCTURAL	PORTICO EN ACERO	
I	1,0	Grupo de uso
h (m)	48	Altura de la torre
L1 (m)	12	Altura sección 1
L2 (m)	24	Altura sección 2
L3 (m)	12	Altura sección 3
N° pisos	3	

**Nota.** Validación de acuerdo a las tablas presentadas de la NSR-10 y a las secciones a las que se montará.

Las siguientes ecuaciones del paso a paso son extraídas del título A *requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente* del reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

$$T_0 = 0.1 \frac{A_V F_V}{A_a F_a} = 0,1 \frac{0,3 * 1,5}{0,35 * 1,15} = 0,11s$$

$$T_C = 0.48 \frac{A_V F_V}{A_a F_a} = 0,48 \frac{0,3 * 1,5}{0,35 * 1,15} = 0,54s$$

$$T = T_a = C_t h^\alpha = 0,073 * 48^{0,75} = 1,33s$$

$$T_L = 2.4 F_V = 2,4 * 1,5 = 3,6s$$

Dónde:

T= Periodo fundamental del edificio. [3]

$T_0$ = Periodo de vibración al cual inicia la zona de aceleraciones constantes del espectro de aceleraciones. [3]

$T_C$ = Periodo de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para periodos cortos y la parte descendiente del mismo. [3]

$T_L$ = Periodo de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de desplazamiento aproximadamente constante del espectro de umbral de daño, para periodos largos. [3]

$$C_{VX} \text{ nivel } 1 = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} = \frac{14807,7133 \text{ Kg} * 12^{1,42}}{8440734,4} = 0,0591308$$

$$C_{VX} \text{ nivel } 2 = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} = \frac{28859,9311 \text{ Kg} * 36^{1,42}}{8440734,4} = 0,5458105$$

$$C_{VX} \text{ nivel } 3 = \frac{m_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (m_i h_i^k)} = \frac{13901,1186 \text{ Kg} * 48^{1,42}}{8440734,4} = 0,3950587$$

Dónde:

$C_{vx}$  = Coeficiente empleado y utilizado en la ecuación A.4.3-3 de la NSR10 para el cálculo de la fuerza sísmica horizontal. [3]

$m_x$  = Parte de la masa total de la edificación colocada en el nivel x respectivamente. [3]

$h_x$  = Altura en metros, medida desde la base del nivel x. [3]

$k$  = Exponente relacionado con el periodo fundamental T de la edificación de la siguiente manera:

(a) Para T menor o igual a 0.5 segundos  $k=1.0$

(b) Para T entre 0.5 y 2.5 segundos,  $k=0.75 + 0.5T$

$$k=0.75 + 0.5(1.33) = 1.42$$

(c) Para T mayor que 2.5 segundos,  $k=2.0$  [3]

$$S_a = 2.5 A_a F_a I = 2,5 * 0,35 * 1,15 * 1 = 1,01$$

Dónde:

$S_a$  = Valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado. [3]

$A_a$  = Valor del coeficiente que representa la aceleración horizontal pico efectiva, para diseño. [3]

$F_a$  = Valor del coeficiente que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos, debida a los efectos de sitio, adimensional. [3]

$I$  = Coeficiente de importancia I. [3]

$$V_s = S_a g M = 1,01 * 9,81 * 115137,52 = 928 \text{ KN}$$

Dónde:

$V_s$ =Cortante sísmico en la base. Equivale a la totalidad de los efectos inerciales horizontales producidos por los movimientos sísmicos de diseño. [3]

$g$ = Valor de la gravedad.

$M$ = Masa completa de la torre

$$F_x \text{ nivel } 1 = C_{vx} V_s = 55 \text{ KN}$$

$$F_x \text{ nivel } 2 = C_{vx} V_s = 506 \text{ KN}$$

$$F_x \text{ nivel } 3 = C_{vx} V_s = 366 \text{ KN}$$

Dónde:

$F_x$ = Fuerza sísmica horizontal en cualquier nivel. [3]

**Figura 77.**  
parámetros  $C_1$  Y  $\alpha$  para el periodo aproximado  $T_a$

Sistema estructural de resistencia sísmica	$C_1$	$\alpha$
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales excéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros $C_1$ y $\alpha$ , donde $C_w$ se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

**Nota.** Tomado de: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente, NSR-10, Colombia, AIS, 2010.

**Tabla 21.***Espectro elástico de aceleraciones de diseño*

4. ESPECTRO ELASTICO DE ACCELERACIONES DE DISEÑO	
Ct (Tabla A.4.2-1)	0,073
h (m) (Alto estructura)	48
$\alpha$ (Tabla A.4.2-1)	0,75
$g$ (m/s <sup>2</sup> )	9,81
M (kg) (Peso muerto aprox de la estructura)	115 137,52 (Peso aproximado)
T=Ta (s)	1,33
Tc (s)	0,54
TL (s)	3,60
To (s)	0,11
Vs (KN)	928
K	1,42
Sa	1,01

**Nota.** Síntesis de los valores de las anteriores tablas.**Tabla 22.***Fuerza por amenaza sísmica resultante*

NIVEL	mi (kg)	hi (m)	mihi <sup>k</sup>	Cvx	Fx (KN)
1	14807,7133	12	499107,736	0,05913084	55
2	28859,9311	36	4607041,3	0,54581048	506
3	13901,1186	48	3334585,41	0,39505868	366
$\Sigma$	57568,763		8440734,45	1,0	928
		Total Fx para el pórtico			1855

**Nota.** Síntesis de la amenaza sísmica resultante para todo el pórtico

### 3.4.4 Cargas de viento

Con respecto a la afectación del viento para el pórtico, <estas fuerzas comprenden la presión del viento, frenado y cargas sobre escaleras y pasarelas. La fuerza ejercida por el viento depende de la forma de la estructura y se compone de sobrepresiones y depresiones ejercidas sobre las superficies constituyentes. Se miden y se expresan como múltiplos de la presión dinámica  $q$ > [24]

$$v = cq \left( \frac{kg}{m^2} \right) = 1,6 * 110 = 176 \left( \frac{kg}{m^2} \right)$$

**Dónde:**

$v$  = Fuerza ejercida por el viento.

$c$  = Coeficiente de  $c$  de sobrepresión y depresión

$q$  = Presión dinámica en servicio o fuera de servicio

**Tabla 23.**

Selección de datos de influencias del viento en el diseño de las torres

TABLA 75. — PRESIÓN DINÁMICA DEL VIENTO

Altura sobre el suelo (m)	Fuera de servicio		En servicio	
	Velo- cidad del viento $v$ (m/s)	Presión diná- mica $q$ (kg/m <sup>2</sup> )	Velo- cidad del viento $v$ (m/s)	Presión diná- mica $q$ (kg/m <sup>2</sup> )
0 a 20 .....	35,8	80		
De 20 a 100 .....	42	110	22	30
Más de 100 .....	45,6	130		

**Nota.** Se debe tener en cuenta que la altura de la torre es de 50 metros aproximadamente por lo cual se selecciona el valor resaltado con líneas rojas .  
Tomado de E. Hellmut, Aparatos de elevación y transporte tomo 1, Barcelona, Blume, 1970.

**Tabla 24.**

Selección de influencias del viento en el diseño de las torres

TABLA 76. — COEFICIENTE DE FORMA  $C$

Tipo de construcción	Coeficiente de forma $C$	
	Sobrepresión	Depresión
Vigas de celosía y de alma llena .....	1,6	
Cabinas, contrapesos, superficies unidas ...	0,8	0,4
	1,2	

**Nota.** Se debe tener en cuenta que la torre es similar a una celosía por lo cual se selecciona el valor resaltado con líneas rojas Tomado de E. Hellmut, Aparatos de elevación y transporte tomo 1, Barcelona, Blume, 1970.

**Tabla 25.***Cálculo teórico de las fuerzas del viento*

ITEMS	VALOR	UNIDADES
REFERENCIAS		DIN 120
FUERZA EJERCIDA POR EL VIENTO	176	kg/m <sup>2</sup>
FUERZA EJERCIDA POR EL VIENTO	0,176	Ton/m <sup>2</sup>
COEF C	1,6	
PRESION DINAMICA	110	kg/m <sup>2</sup>

**Nota.** Valor teórico para el cálculo de la influencia del viento en la estructura.

### 3.4.5 Cargas muertas y cargas vivas

Las diversas cargas que se encuentran actuando durante la operación del equipo de izaje se dividen en cargas de sismo, cargas de viento, cargas vivas y cargas muertas. Las cargas de nieve no aplican por la zona geográfica de Colombia.

Por tanto para analizar las cargas vivas se debe tener en cuenta que el equipo de izaje debe tener la capacidad de soportar 280 toneladas por tanto:

$$L = 2746,8 \text{ KN} = 617,51 \text{ KIPS}$$

Dónde:

$L$  = Carga viva a la que se someterá la estructura.

Ahora bien, la carga muerta hace referencia al peso que tiene toda la estructura metálica, uniones, vigas, y Strand Jacks y se representa de la siguiente manera:

$$D = [ \text{KN} ] = [ \text{KIPS} ]$$

Dónde:

$D$  =Carga muerta o peso propio de toda la estructura.

El método de diseño el cual se seleccionó es el de la LFRD (Load and resistance factor design) y sus combinaciones de carga son las siguientes:

1. 1,4D
2. 1,2D + 1,6L + 0,5S
3. 1,2D + 1,6S + 0,5L
4. 1,2D + 0,5L + 0,5S + 1,6W
5. 1,2D + 0,5L + 1,0Q + 0,SS
6. 0,9D + 1,6W

## 7. $0,9D + 1,0Q$

Para la selección del mejor perfil para la estructura se tendrá en cuenta la siguiente combinación de carga:

$$1,2D + 1,6L + 0,5Q + 0,5W$$

Dónde:

D=Carga Muerta

L= Carga viva

S= Carga de nieve

Q= Carga sismo

W= Carga de viento

A continuación se muestra el cálculo preliminar para la selección del perfil estructural que cumpla con los parámetros mínimos requeridos por la LFRD a partir de la selección de un nodo aleatorio y sus posibles reacciones en el elemento para así realizar iteraciones con varios perfiles estructurales y así seleccionar la mejor alternativa.

Paso 1.

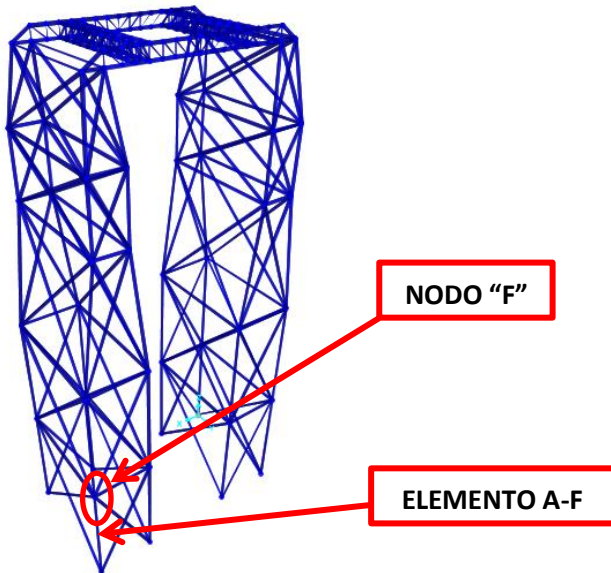
Realizar el modelo de toda la estructura en el software sap2000 teniendo en cuenta:

- 1- La definición de la grilla para demarcación de las frames
- 2- El dibujo de la geometría de la torre y vigas superiores
- 3- Proceso de definición de material y sección
- 4- Definición de patrones de carga.
- 5- Definición de casos de carga.
- 6- Asignaciones como frame sections, cargas, y condiciones de apoyos
- 7- Orientación de perfiles.
- 8- Filtro de grados de libertad.
- 9- Realización del correspondiente análisis previo en un nodo aleatorio



### Figura 78.

*Ensamble en sap2000 de la estructura*

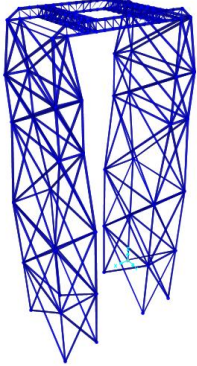


**Nota.** Modelado 3d realizado en el programa.

Para efectos del cálculo preliminar se seleccionó aleatoriamente el nodo "F" para el cual se cargó previamente la estructura con las cargas vivas, muertas, sísmicas y de viento de acuerdo a la combinación de carga seleccionada.

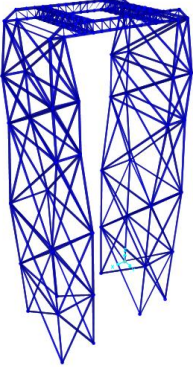
Así mismo se realizó un análisis preliminar de tres tipos de perfiles para seleccionar un promedio de valores de incidencia en el nodo para poder realizar la selección del mejor perfil.

**Tabla 26.***Iteración perfil 6 625 x 0,28*

Perfil 6 625 X 0,280– NODO F- Elemento A-F		
	Combinación de carga	Magnitud [Libras]
	C. Muerta	6320
	C. Viva	8420
	C. Sismo X	43980
	C. Sismo Y	16900
	C. Viento X	201560
	C. Viento Y	77440
1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W		203920
Esfuerzo máximo de toda la estructura bajo este perfil (obtenido de simulación preliminar de sap2000)		62,26 Ksi
<b>Nota.</b> Este perfil fue seleccionado con base en recomendaciones del departamento de ingeniería de la compañía Transportes Montejo S.A.S		
$f_y$ acero A500 Gr B	42 Ksi	
Factor de seguridad	0,67 : 1 (No válido)	

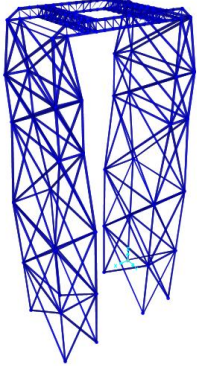
**Nota.** Análisis del comportamiento del nodo y el elemento con el perfil mencionado

**Tabla 27.**  
Iteración perfil 10 x 0,5

Perfil 10 X 0,5 – NODO F- Elemento 248		
	Combinación de carga	Magnitud [Libras]
	C. Muerta	16000
	C. Viva	21320
	C. Sismo X	107740
	C. Sismo Y	41400
	C. Viento X	201,460
	C. Viento Y	77440
1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W		273320
Esfuerzo máximo de toda la estructura bajo este perfil (obtenido de simulación preliminar de sap2000)		26,34 Ksi
<b>Nota.</b> Este perfil fue seleccionado con base en recomendaciones del departamento de ingeniería de la compañía Transportes Montejo S.A.S.		
$f_y$ acero A500 Gr B	42 Ksi	
Factor de seguridad	1.6 :1	

**Nota.** Análisis del comportamiento del nodo y el elemento con el perfil mencionado.

**Tabla 28.***Iteración Perfil 12 3/4 x 0,5*

Perfil 12 3/4 X 0,5 – NODO F- Elemento 248		
	Combinación de carga	Magnitud [toneladas]
	C. Muerta	20440
	C. Viva	27260
	C. Sismo X	136980
	C. Sismo Y	52680
	C. Viento X	201320
	C. Viento Y	77420
1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W		302340
Esfuerzo máximo de toda la estructura bajo este perfil (obtenido de simulación preliminar de sap2000)		15 Ksi
<b>Nota.</b> Este perfil fue seleccionado con base en recomendaciones del departamento de ingeniería de la compañía Transportes Montejo S.A.S.		
$f_y$ acero A500 Gr B	42 Ksi	
Factor de seguridad	2.8 : 1	

**Nota.** Análisis del comportamiento del nodo y el elemento con el perfil mencionado.

A partir de los cuadros anteriores se selecciona el perfil tubular HSS 10 X 0,5 en material de acero A500 grado B para toda la estructura de las dos torres y para el sistema estructural superior armaduras en HSS 10 X 0,5

La selección de este perfil tubular HSS 10 X 0,5 se realiza debido a que el análisis realizado en sap2000 es a partir de la combinación de carga seleccionada (1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W) la cual cómo se logra apreciar: es mayorada y permite dar garantía de integridad estructural al sistema y a la operación. Y finalmente cuenta con un margen de factor de seguridad de resistencia de materiales de hasta 1.6 veces sus cargas (ver anexo: memoria de cálculos)

Posteriormente se realiza una simulación por el método de los elementos finitos más profunda de cada nodo y elemento en el software SAP 2000 y se procede a evaluar

desplazamientos, afectación sísmica y esfuerzos en la condición más crítica en la combinación de cargas mayoradas seleccionada.

Para las condiciones sísmicas se deberá poner en práctica el método recomendado por la NSR-10 el cual ilustra tablas de todas las zonas de Colombia para realizar el respectivo cálculo. En vista de que este proyecto puede ser usado en cualquier parte de Colombia por exigencia de la compañía soporte, se valida que la región más crítica es en Villavicencio.

Dentro de los anexos técnicos se encontrará la memoria de cálculos de toda la estructura metálica por medio del software sap2000.

#### **3.4.6 Sistema superior**

Una vez diseñadas las torres es importante poder realizar el diseño más óptimo para el soporte de los Strand Jacks.

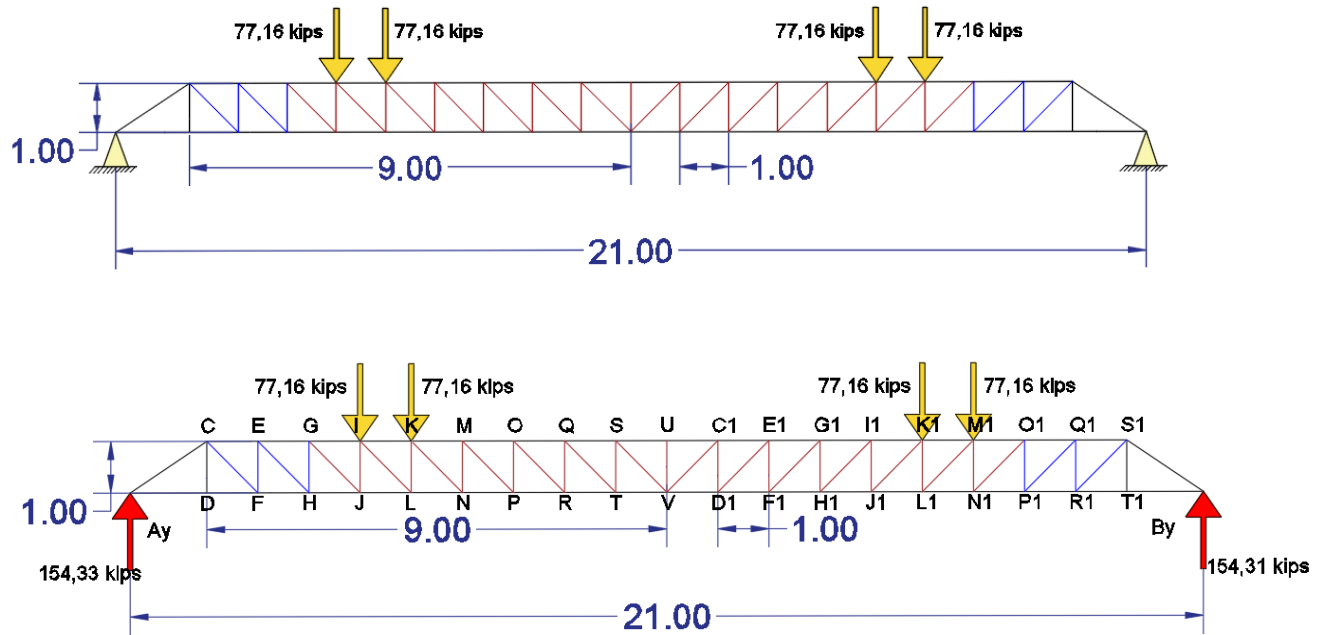
El sistema estructural superior del pórtico es diseñado a partir de armaduras metálicas resistente a la flexión, que cumpla con la resistencia de la carga a izar y está compuesta por dos armaduras transversales que interconectan las dos torres, y también cuenta con dos cerchas longitudinales las cuales soportaran los 4 Strand jacks que izarán la carga.

Este sistema superior estructural tiene la capacidad de extenderse ensamblando a cada extremo de las armaduras transversales secciones atornilladas para finalmente ser conectado por medio de conexiones atornilladas a cada torre.

Debido a que el sistema superior estructural contiene los casos de carga viva, muerta, sismo y viento fue importante realizar una serie de iteraciones en el software sap2000 en vista que a la hora de realizar el modelo matemático a compresión y tensión de los elementos se obtienen valores muy por encima de las reacciones resultantes mostradas en los resultados de Sap2000 sin embargo así mismo se realiza el siguiente calculo analítico y posteriormente en la memoria de cálculos se anexa los resultados

tanto de elementos, reacciones en los apoyos y los esfuerzos mas representativos para establecer un factor de seguridad para el pórtico.

### AMADURA TRANSVERSAL



Diseño estructural de las cuerdas superiores e inferiores:

Perfil HSS 10"X0.500 Acero A500 gr B

- 1) Clasificación del perfil por compresión

$$\frac{b}{t} = \frac{10''}{0,465''} = 21,50$$

$$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{29000ksi}{46,2}} = 35,07$$

$$21,50 \leq 35,07 \text{ (ok) (El perfil no es esbelto)}$$

- 2) Relación de esbeltez

K= 1 (debido a que la armadura es bi articulada)

L= Longitud de la sección de cuerda o viga de la armadura

R= Radio de giro del perfil

E= Modulo de Young del material

Fy= Esfuerzo de fluencia del material

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(39,37")}{3,38"} = 11,64$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{29000ksi}{46,2}} = 118,00$$

11,64 ≤ 118,00 (ok) (El perfil no es esbelto)

3) Evaluación de pandeo de la sección

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 29000}{11,64^2} = 2112,47$$

4) Esfuerzo critico de pandeo

$$f_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e}\right] f_y = \left[0,658 \frac{46,2}{2112,47}\right] 46,2 = 45,77ksi (ok)$$

Reduccion de 0,43 Ksi respecto al esfuerzo de fluencia (46,2 ksi)

5) Resistencia o capacidad a compresión del perfil

Ag= Área de sección transversal del perfil

$$P_R = \phi_c f_{cr} A_g = (0,9) * 45,77 * 13,9$$

$$P_R = 572,58 kips$$

6) Resistencia o capacidad a tensión del perfil

$$A_g = 13,9$$

$$P_R = \phi_c f_y A_g = (0,9) * 46,2 * 13,9$$

$$P_R = 577,96 kips$$

Diseño estructural de los “postes” o columnas:

Perfil HSS 2-1/2”X0.125 Acero A500 gr B

7) Clasificación del perfil por compresión

$$\frac{b}{t} = \frac{2,5''}{0,116''} = 21,55$$

$$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{29000 \text{ksi}}{46,2}} = 35,07$$

$$21,55 \leq 35,07 \text{ (ok) (El perfil no es esbelto)}$$

8) Relación de esbeltez

K= 1 (debido a que la armadura es bi articulada)

L= Longitud del poste o columna de la armadura

R= Radio de giro del perfil

E= Modulo de Young del material

Fy= Esfuerzo de fluencia del material

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(39,37'')}{0,844''} = 46,64$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{29000 \text{ksi}}{46,2}} = 118,00$$

$$46,64 \leq 118,00 \text{ (ok)}$$

9) Evaluación de pandeo de la sección

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 29000}{46,64^2} = 131,57$$

10) Esfuerzo critico de pandeo

$$f_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e}\right] f_y = \left[0,658 \frac{46,2}{131,57}\right] 46,2 = 39,88 \text{ksi}$$

*Reduccion de 6,32 Ksi respecto al esfuerzo de fluencia (46,2 ksi)*

11) Resistencia o capacidad a compresión del perfil

Ag= Área de sección transversal del perfil

$$P_R = \phi_c f_{cr} A_g = (0,9) * 39,88 * 0,869$$

$$P_R = 31,19 \text{ kips}$$



12) Resistencia o capacidad a tensión del perfil

$$A_g = 0,869$$

$$P_R = \phi_c f_y A_g = (0,9) * 46,2 * 0,869$$

$$P_R = 36,13 \text{ kips}$$

Diseño estructural de los "Diagonales" o riostras a tensión:

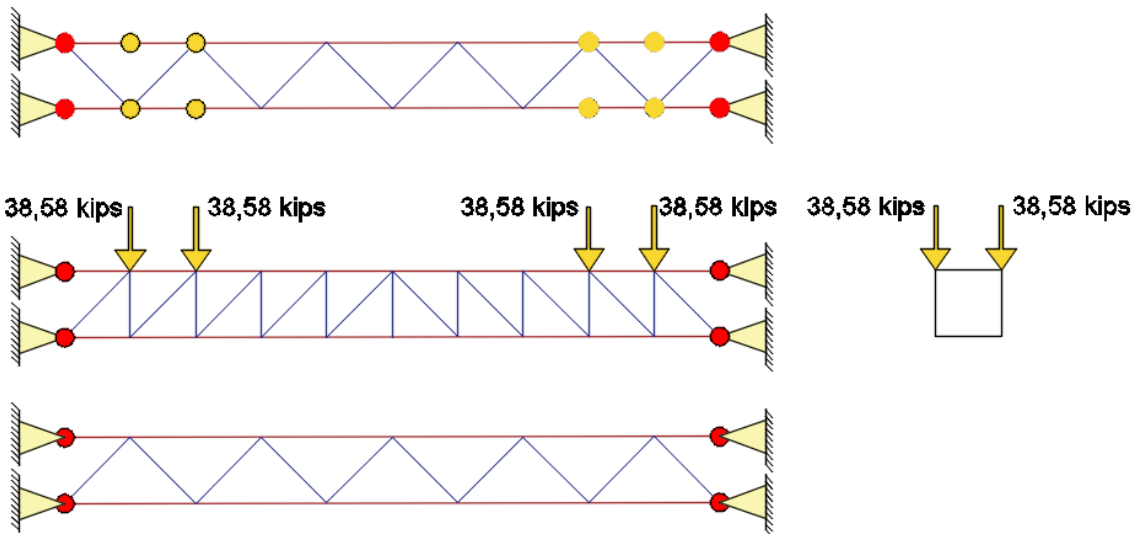
Perfil HSS 2-1/2"X0.125 Acero A500 gr B

$$A_g = 0,869$$

$$P_R = \phi_c f_y A_g = (0,9) * 46,2 * 0,869$$

$$P_R = 33,13 \text{ kips}$$

### AMADURA LONGITUDINAL



Diseño estructural de las cuerdas superiores e inferiores:

Perfil HSS 10"X0.626 Acero A500 gr B

1) Clasificación del perfil por compresión

$$\frac{b}{t} = \frac{10''}{0,581''} = 17,21$$

$$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{29000 \text{ksi}}{46,2}} = 35,07$$

$$17,21 \leq 35,07 \text{ (ok) (El perfil no es esbelto)}$$

2) Relación de esbeltez

K= 1 (debido a que la armadura es bi articulada)

L= Longitud de la sección de cuerda o viga de la armadura

R= Radio de giro del perfil

E= Modulo de Young del material

Fy= Esfuerzo de fluencia del material

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(39,37'')}{3,34''} = 11,78$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{29000 \text{ksi}}{46,2}} = 118,00$$

$$11,78 \leq 118,00 \text{ (ok) (El perfil no es esbelto)}$$

3) Evaluación de pandeo de la sección

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 29000}{11,78^2} = 2062,56$$

4) Esfuerzo critico de pandeo

$$f_{cr} = \left[ 0,658 \frac{f_y}{f_e} \right] f_y = \left[ 0,658 \frac{46,2}{2062,56} \right] 46,2 = 45,76 \text{ ksi (ok)}$$

*Reduccion de 0,43 Ksi respecto al esfuerzo de fluencia (46,2 ksi)*

5) Resistencia o capacidad a compresión del perfil

Ag= Área de sección transversal del perfil

$$P_R = \phi_C f_{cr} A_g = (0,9) * 45,76 * 17,20$$

$$P_R = 708,36 \text{ kips}$$

6) Resistencia o capacidad a tensión del perfil

$$A_g = 17,20$$

$$P_R = \phi_c f_y A_g = (0,9) * 46,2 * 17,20$$

$$P_R = 715,17 \text{ kips}$$

**Diseño estructural de los postes o columnas y diagonales o riostras:**

**Perfil HSS 5"X0.500 Acero A500 gr B**

1) Clasificación del perfil por compresión

$$\frac{b}{t} = \frac{5''}{0,465''} = 10,75$$

$$1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 1,40 \sqrt{\frac{29000 \text{ksi}}{46,2}} = 35,07$$

$$10,75 \leq 35,07 \text{ (ok) (El perfil no es esbelto)}$$

2) Relación de esbeltez

K= 1 (debido a que la armadura es bi articulada)

L= Longitud de la sección posteo columna

R= Radio de giro del perfil

E= Modulo de Young del material

Fy= Esfuerzo de fluencia del material

$$\frac{KL}{r} = \frac{(1)(39,37'')}{1,96''} = 20,08$$

$$4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 4,71 \sqrt{\frac{29000 \text{ksi}}{46,2}} = 118,00$$

$$20,08 \leq 118,00 \text{ (ok) (El perfil no es esbelto)}$$

3) Evaluación de pandeo de la sección

$$f_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{kL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 29000}{20,08^2} = 709,85 \text{ ksi}$$

4) Esfuerzo critico de pandeo

$$f_{cr} = \left[0,658 \frac{f_y}{f_e}\right] f_y = \left[0,658 \frac{46,2}{709,85}\right] 46,2 = 44,96 \text{ ksi (ok)}$$

*Reduccion de 1,24 Ksi respecto al esfuerzo de fluencia (46,2 ksi)*

5) Resistencia o capacidad a compresión del perfil

$A_g$  = Área de sección transversal del perfil

$$P_R = \phi_c f_{cr} A_g = (0,9) * 44,96 * 8,09$$

$$P_R = 327,35 \text{ kips}$$

6) Resistencia o capacidad a tensión del perfil

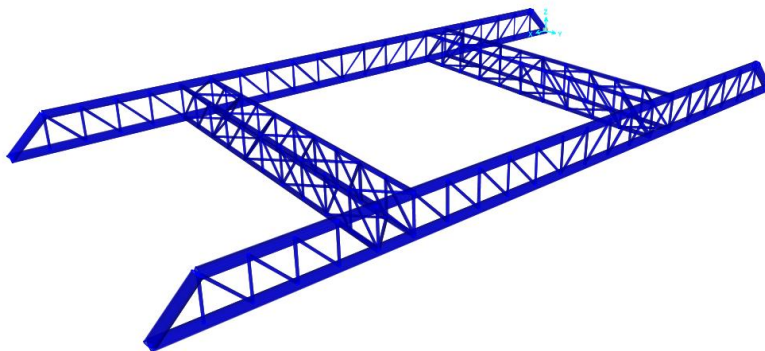
$$A_g = 8,09$$

$$P_R = \phi_c f_y A_g = (0,9) * 46,2 * 8,09$$

$$P_R = 336,38 \text{ kips}$$

**Figura 79.**

*Esquema del sistema estructural superior*



**Nota.** La armadura contará con la capacidad de extenderse hasta 21 metros de longitud por medio de conexiones metálicas que permitan realizar la sujeción.

**Tabla 29***Sistema estructural superior- armadura transversal*

<b>SECTOR</b>	<b>PERFIL ARMADURA</b>	<b>MATERIAL</b>
CUERDAS SUPERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.500 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
CUERDAS INFERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.500 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
POSTES O COLUMNAS	HSS 2-1/2" X 0.125	ACERO A500 GRB

**Nota.** Especificaciones de los perfiles y materiales usados.**Tabla 30***Sistema estructural superior- armadura longitudinal*

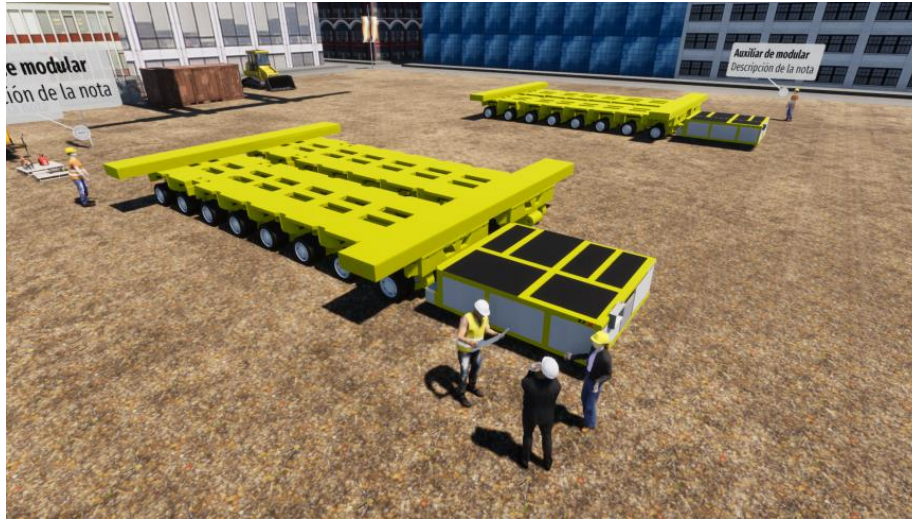
<b>SECTOR</b>	<b>PERFIL ARMADURA</b>	<b>MATERIAL</b>
CUERDAS SUPERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.625 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
CUERDAS INFERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.625 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
POSTES O COLUMNAS	HSS 5" X 0.500	ACERO A500 GRB

**Nota.** Especificaciones de los perfiles y materiales usados en el sistema.**3.4.7 Transporte del equipo de izaje**

Si bien se quiere conseguir que el equipo de izaje tenga la facultad de poder trasladarse con y sin carga se plantea la utilización de equipos modulares autopropulsados SPMT para poder cumplir con el objetivo

Todo el equipo de izaje será ensamblado sobre un modular 8 Líneas lado a lado autopropulsado con un sistema powerpack cada uno. Este equipo especial tiene la facultad de no necesitar de un tracto camión especial para arrastre, sino que con el powerpack se puede realizar esta propulsión. El power pack cuenta un PLC capaz de obedecer a los patrones programados por los ingenieros de transporte para configuración del equipo, tanto hidráulica de suspensión y dirección como neumática y locativa.

**Figura 80.**  
*Disposición de modulares para la operación*



**Nota.** Renderizado en el software twinmotion / Autocad

El equipo constará de un modular 6L PST + 2L THP y al otro lado constará de 6L + 2L THP + un power pack y un Hidronico. Esto se replica para el segundo modular lado a lado. Finalmente contará cada modular con 8 líneas las cuales cada línea contará con 16 llantas y una capacidad de 45 Ton/eje para los modulares PST y 35 Ton/eje para THP brindando una capacidad nominal de 620 Ton por cada modular lado a lado es decir que total el equipo de transporte tendrá una capacidad de 1240 Ton.

Para realizar la programación del equipo se debe contar con supervisores e ingenieros de operaciones capacitados para programar el PLC del equipo, dando coordenadas cartesianas de la ubicación de cada línea, conectando el hidrónico, que es un accesorio que actúa como interfaz entre modulares PST y THP para convertir una señal electrónica del PST a una señal hidráulica para el THP debido a que los modulares THP solo pueden funcionar normalmente con tracción propulsada por un tractocamión, con un tablero de mando y un motor .

Una vez se tenga estas conexiones se debe incorporar un cable de transmisión de señal entre los dos power pack que estarán en la operación, con el fin de poder programar un solo PLC (un modular se convertirá en maestro y el otro en esclavo) con el fin de que solo exista un controlador remoto operado por el ingeniero de transporte.

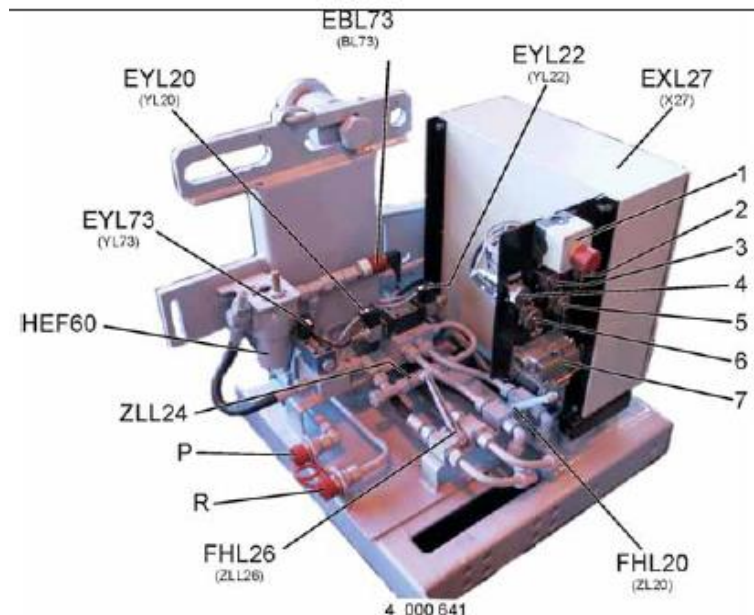
### 3.4.8 Componentes electrónicos del modular autopropulsado

A continuación se presenta los componentes electrónicos los cuales están ensamblados al equipo autopropulsado de transporte.

#### 3.4.8.a Hidrónica.

#### Figura 81.

##### Hidráulica



**Nota.** Marca Goldhofer. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

- 1: Interruptor de parada de emergencia: Desactiva todas las funciones.
- 2: Enchufe hembra del potenciómetro: Mediante la conexión del sensor se pueden evaluar a través del controlador los datos del ángulo de dirección del chasis conectado.
- 3: Enchufe hembra OUPUT (salida): El grupo hidráulico, la hidrónica, y el chasis deben poder comunicarse entre sí mediante la conexión del cable del bus de datos, los diferentes controladores pueden comunicarse entre sí.
- 4: Enchufe hembra INPUT (entrada): igual que el ítem 3.

5: Enchufe hembra host: Este enchufe es a fin de que 2 hidráulicas puedan comunicarse entre sí, se necesita un procesador host adicional. Este procesador host puede enchufarse en esta entrada hembra del host.

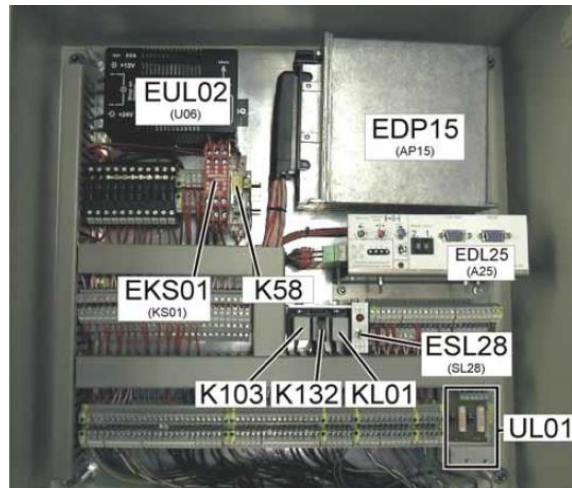
6: Enchufe hembra emergency steering (dirección de emergencia): En caso de fallo del procesador ACM que es el procesador que cuentan los modulares autopropulsados para poder dar dirección, es posible maniobrar el grupo de ejes en emergencia con el cilindro para dirección de emergencia. El motor debe estar en marcha y el suministro de corriente debe estar habilitado.

7: Enchufe hembra power supply (fuente de alimentación): Este enchufe es para la conexión del cable de suministro de corriente, asegurando la alimentación de la hidráulica.

EXL27: Armario de distribución hidráulica:

### Figura 82.

*Armario de distribución del EXL27*



**Nota.** Marca Goldhofer. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

Donde, EDP15 es el módulo ACM hidráulica, EUL02 es el transformador de tensión 12V /24V , EKS01 es el Relé de parada de emergencia, K58 es el relé de descarga, K103 es el relé de reposición de parada de emergencia ESX, K132 es el relé de conmutación



de grupo hidráulico con la hidrónica, KL01 es el relé de dirección EYL73, ESL28 es el interruptor de conmutación para combinación en paralelo o lado a lado 1+1 y 1+1/2, UL01 es el módulo de transformador de tensión, y la EDL25 es la tarjeta E/S del ACM.

EBL73: Sensor de presión dirección.

EYL73: Válvula de desconexión dirección.

EYL20: Válvula de dirección izquierda.

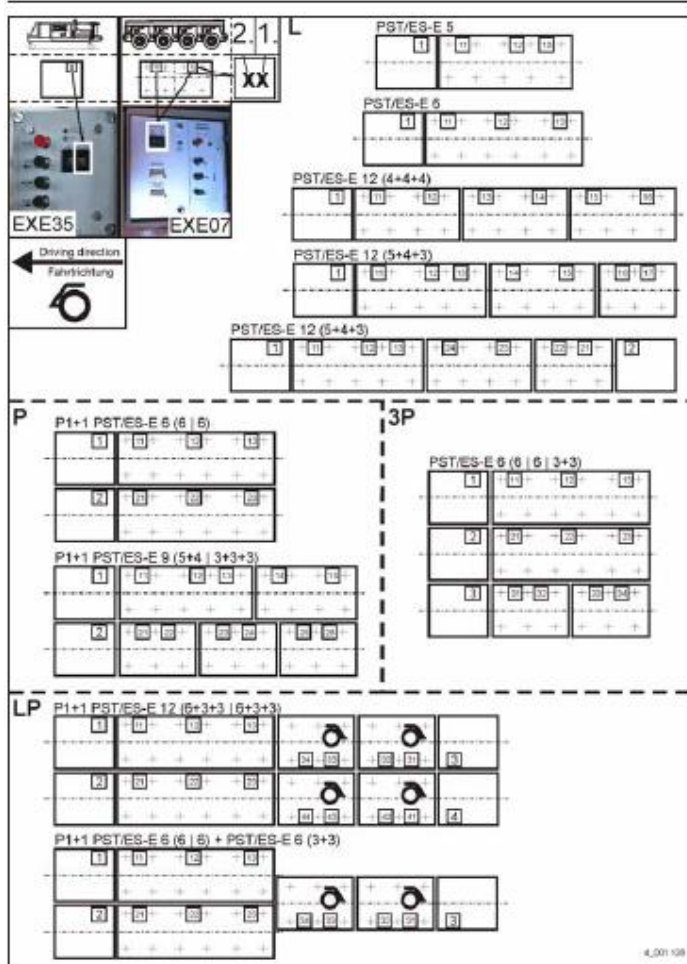
EYL22: Válvula de dirección derecha.

FHL20: Grifo de bloqueo doble FHL20 (dirección): Con este grifo se habilita o se bloquea el aceite que pasa por los conductos de dirección #20 y #22

FHL26: Grifo de bloqueo FHL26 (dirección): Con este grifo se habilita o se bloquea el aceite que pasa por los conductos de dirección #21 y #23

3.4.8.b Programación del PLC del powerpack. El equipo de transporte es en teoría una maquina hidráulica, electrónica y mecánica la cual permite soportar grandes pesos por eje y tener una maniobrabilidad excelente debido a sus modos de dirección, y esto se debe a la correcta programación de los PLC del power pack.

**Figura 83.**  
Ejemplo de codificaciones ACM PST



**Nota.** Marca Goldhofer. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

Los códigos y las programaciones que se realicen al modular deben ser digitadas en las pantallas del PLC del modular en este caso se pone en práctica con un PLC de modular Goldhofer serie PST.

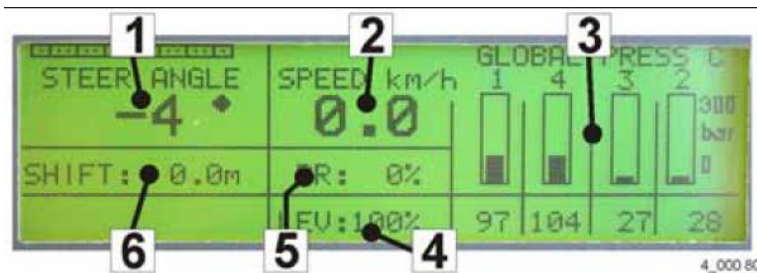
**Figura 84.**  
*Pantalla del PLC goldhofer PST*



**Nota.** Fotografía del PLC propiedad de Transportes Montejo Y marca Goldhofer.

La pantalla generalmente mostrará datos de funcionamiento del equipo dentro de los cuales se encuentran el ángulo actual del vehículo (1), la velocidad actual (2), la presión en los circuitos de apoyo (3), la velocidad de subida y bajada en % (4), la precarga de la fuerza de frenado en % (5), el desplazamiento del polo de dirección (6), véase figura 103.

**Figura 85.**  
*Ejemplo del tablero del PLC*

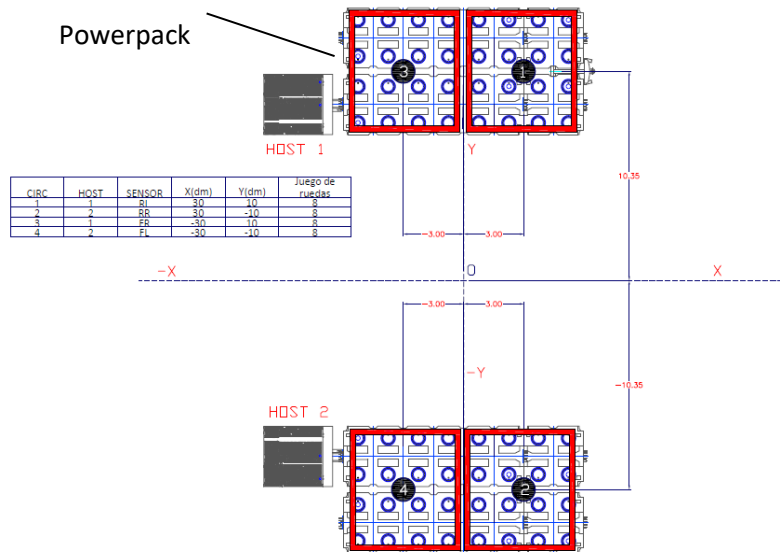


**Nota.** Fotografía del PLC propiedad de Transportes Montejo Y marca Goldhofer

Por último se realiza la configuración locativa, suspensión y dirección del modular

**Figura 86.**

*Programación de los puntos de estabilidad del modular*



**Nota.** Los cuadrados rojos simbolizan puntos de equilibrio o estabilidad para lo cual se pueden manipular independientemente a través del control remoto y de las electroválvulas.

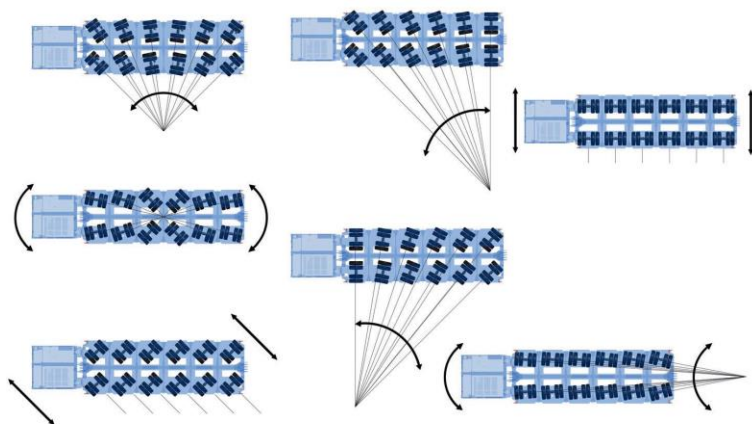
La programación consiste en generar una serie de coordenadas cartesianas con el fin de obtener una dirección uniforme alrededor de todas las líneas de modular, y con el fin de que un Power pack pueda ser el maestro es decir que la señal del control remoto de operación llegue a este, y el host la retransmita al power pack 2 que será el esclavo. Se realiza una programación electrohidráulica de 4 puntos de estabilidad precisamente para obtener un comportamiento completamente seguro del sistema evitando volcamiento y concentraciones de carga en más puntos. Dicho de otra manera, estos equipos de transporte funcionan como una silla: si ordenamos a nuestra conveniencia 3 patas podríamos sentarnos, lo mismo con 4 sillas, pero si solo colocamos 1 o 2 patas sufriríamos inestabilidad y riesgo de caer así mismo para con los equipos modulares de transporte.

**Figura 87.**  
*Movilización de pala Komatsu de 800 Ton*



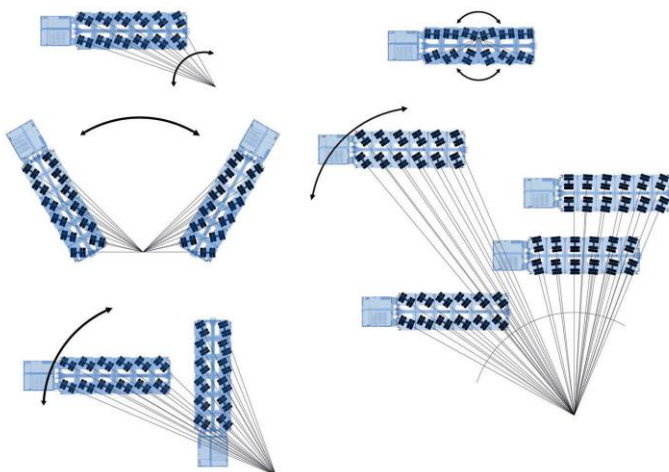
**Nota.** Transporte de una pala en la mina Drummond. Tomado de galería de fotos Transportes Montejo.

**Figura 88.**  
*Modos de dirección del modular*



**Nota.** Los modos de dirección se programan seleccionando los botones de dirección del control remoto del equipo Goldhofer. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

**Figura 89.**  
*Modos de dirección modular doble*



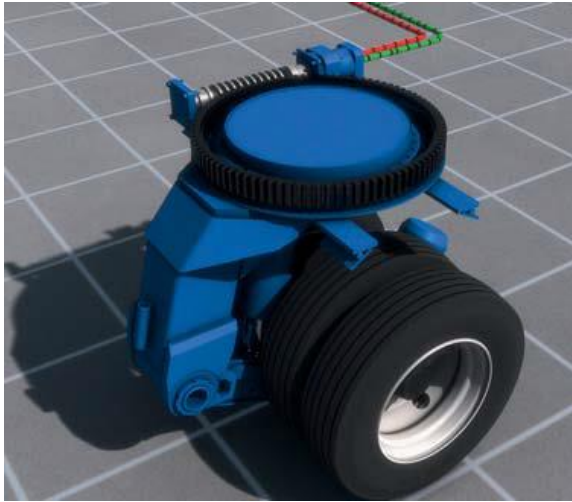
**Nota.** Los modos de dirección se programan seleccionando los botones de dirección del control remoto del equipo Goldhofer. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

**Figura 90.**  
*Modular Goldhofer*



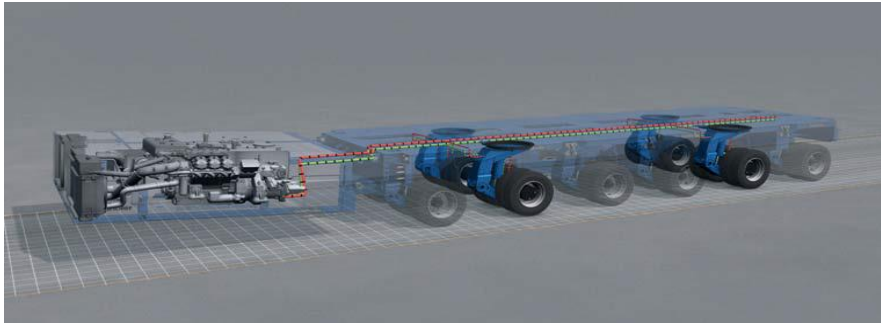
**Nota.** Simulación del modular autopropulsado Goldhofer Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

**Figura 91.**  
*Mecanismo de giro modular SPMT PST Goldhofer*



**Nota.** Compuesto por un mecanismo sin fin corona para garantizar los 360° del giro. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

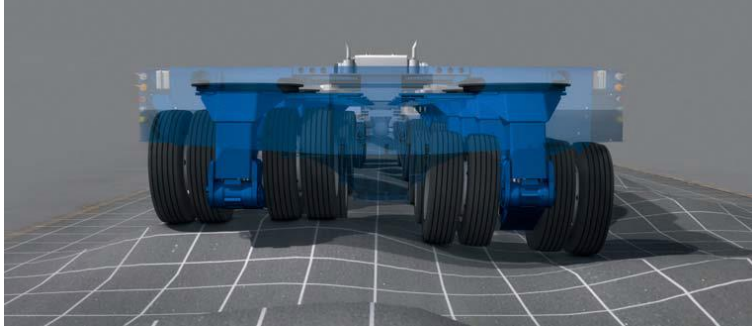
**Figura 92.**  
*Vista del Power pack por dentro*



**Nota.** Se aprecia el sistema del motor que tiene el powerpack. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

### **Figura 93.**

*Paso del modular por terreno desnivelado*



**Nota.** Los modulares garantizan que la carga que se transporte no se desnivele gracias a la suspensión especial con la que viene equipado. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

### **Figura 94.**

*Vista lateral del modular transitando terreno desnivelado*



**Nota.** Los modulares garantizan que la carga que se transporte no se desnivele gracias a la suspensión especial con la que viene equipado. Tomado de la carpeta de información técnica de Transportes Montejo.

### **3.4.9 Operación**

Para temas operativos es importante mencionar que este equipo está diseñado para utilizarse en cualquier parte de Colombia y por tanto se debe tener en cuenta que todos los accesorios y partes del equipo deberán ser transportadas hasta el Job site, por tanto, es menester mencionar que la estructura de las torres y armaduras podrán ser transportadas en cama altas de 14.50 y cama altas extensibles. Los modulares de



transporte serán movilizados cama altas normales, los Strand jacks serán movilizados en contenedores de 40' en cama altas.

El peso total de la estructura es de 271.60 toneladas y el peso del equipo de transporte es de 110 Ton, para un peso total de 381.60 ton + 280 ton del peso máximo a elevar. Esto quiere decir que el peso nominal es de 661.60 toneladas.

Por lo tanto el peso que está ejerciendo por eje es de 20.67 Ton y el peso por llanta es de 2.58 Ton.

#### 4. MANUALES DE ENSAMBLE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL EQUIPO

##### 4.1. Manual de ensamble del equipo

Para una operación correcta con el equipo es importante tener en cuenta verificar primeramente el sitio de trabajo, que el terreno no tenga cuerdas eléctricas a menos de 4 metros de distancia, y que se cuenten con todos los permisos y documentación de HSE definida y lista para realizar la operación.

Para realizar el ensamble del equipo previamente se requiere tener en cuenta el siguiente packing list:

**Tabla 31**  
*Cubicaje sección 1*

<b>Seccion 1 Base</b>					
<b>Perfil HSS 10 X 0.50</b>		50,78	<b>Lb/ft</b>	<b>0,453592</b>	Kg
<b>CANT</b>	<b>LONG</b>	<b>mts</b>	<b>ft</b>	<b>peso (Lb)</b>	<b>peso kgs</b>
4	12,00	48	157,44	7994,8032	<b>3626,37</b>
2	6,00	12	39,36	1998,7008	<b>906,59</b>
2	10,00	20	65,6	3331,168	<b>1510,99</b>
4	13,00	52	170,56	8661,0368	<b>3928,57</b>
4	16,00	64	209,92	10659,7376	<b>4835,17</b>
total					<b>14 807,71</b>

**Nota.** Representación de las dimensiones de la sección 1

**Tabla 32**  
*Cubicaje 2 sección*

<b>Seccion 2 superior</b>					
<b>Perfil HSS 10 X 0.50</b>		50,78	Lb/ft	0,453592	Kg
<b>CANT</b>	<b>LONG</b>	<b>mts</b>	<b>ft</b>	<b>peso (Lb)</b>	<b>peso kgs</b>
8	12,00	96	314,88	15989,6064	7252,75
2	10,00	20	65,6	3331,168	1510,99
2	6,00	12	39,36	1998,7008	906,59
2	8,00	16	52,48	2664,9344	1208,79
2	3,00	6	19,68	999,3504	453,29
8	16,00	128	419,84	21319,4752	9670,34
8	13,00	104	341,12	17322,0736	7857,15
<b>total</b>					<b>28 859,93</b>

**Nota.** Representación de las dimensiones de la sección 2

**Tabla 33**  
*Cubicaje 3 sección*

<b>Seccion 3 superior</b>					
<b>Perfil HSS 10 X 0.50</b>		50,78	Lb/ft	0,453592	Kg
<b>CANT</b>	<b>LONG</b>	<b>mts</b>	<b>ft</b>	<b>peso (Lb)</b>	<b>peso kgs</b>
8	6,00	48	157,44	7994,8032	3626,37
2	3,00	6	19,68	999,3504	453,29
2	1,00	2	6,56	333,1168	151,09
8	10,00	80	262,4	13324,672	6043,96
8	6,00	48	157,44	7994,8032	3626,37
<b>total</b>					<b>13 901,11</b>

**Nota.** Representación de las dimensiones de la sección 3

**Tabla 34**  
*Logística de empaque de las torres*

peso total	57568,763	kg
# contenedores	1,9	40'
<b>#contenedor. X 2 torres</b>	3,71411374	40'
total aproximado	4	40'

**Nota:** Los tubos resaltados en color amarillo no aplican para transportar en contenedores y se deben cargar en la plataforma de un cama alta de 14.50 metros de largo.

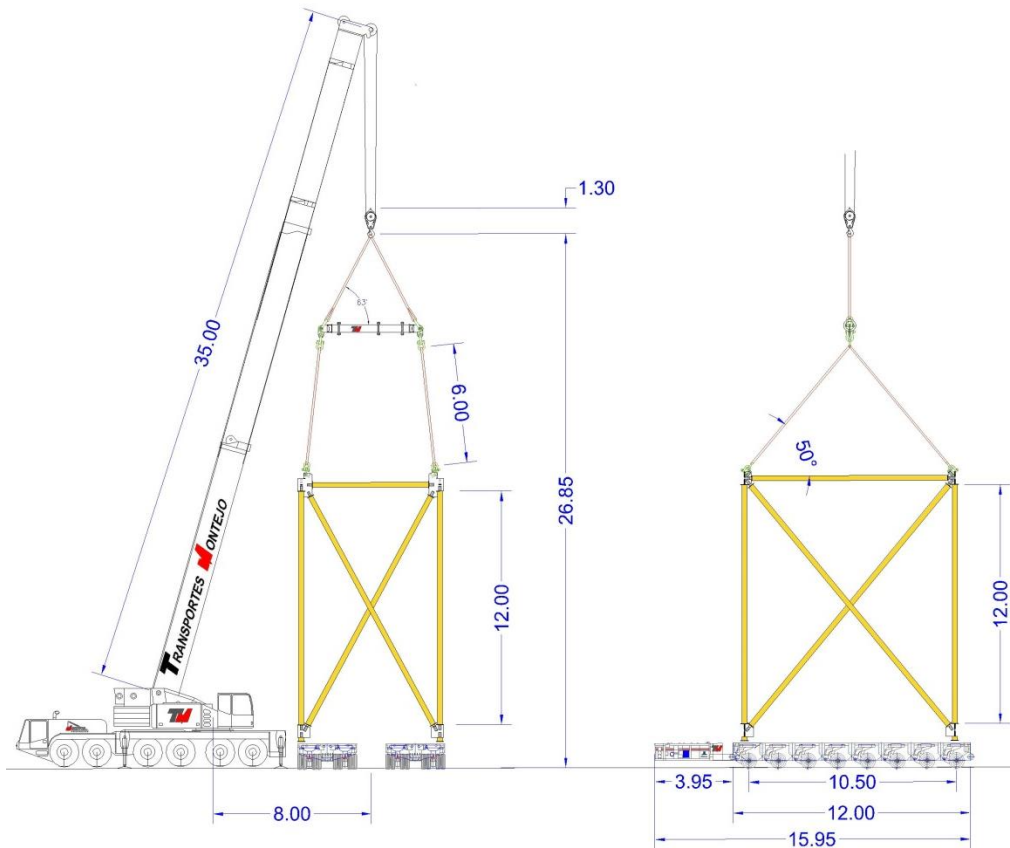
**Tabla 35***Logística para transportar el proyecto*

<b>Cantidad</b>	<b>Item</b>	<b>Equipo</b>	<b>Cant viajes</b>
2	Armadura Transversal	Cama baja 8 ejes + Escolta	1
1	Armadura Longitudinal		
4	HSS 10" X 0.5 X 16 metros	Cama Alta	1
1	Armadura Longitudinal		
3	Contenedor 40'	Cama Alta	3
1	Contenedor Strand jack	Cama alta	1
1	Contenedor 40' unidad hidraulica	Cama Alta	1
32	Lineas de modular	Cama alta	2
2	Power pack	Cama alta	

**Nota.** Los equipos de transporte son propiedad de la compañía Transportes Montejo.

Para realizar el montaje de las torres y armaduras se debe tener en cuenta la disponibilidad de 2 grúas telescópicas de 200.00 Toneladas cada una con por lo menos 60.00 Metros de longitud de boom principal. Como primera medida se debe tener los equipos modulares de transporte listos, operativos y posicionados de acuerdo a los planos de ensamble.

**Figura 95.**  
Montaje de sección 1



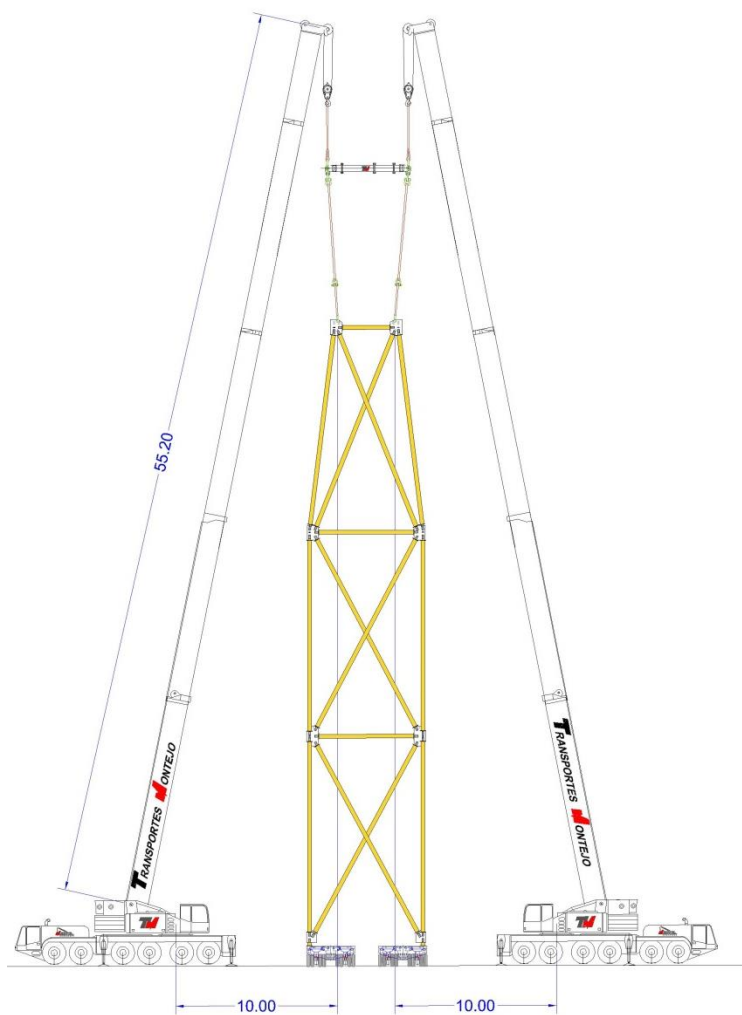
**Nota.** Se valida grúa telescópica de 200 toneladas de capacidad.

**Tabla 36.**  
Plan de izaje para la sección 1

GRUA DEMAG AC200	
RADIO DE OPERACIÓN	8.00 metros
LONGITUD DE BOOM	35.00 metros
CONTRAPESO A UTILIZAR	64.00 ton
CAPACIDAD DE LA GRUA	51.50 ton
CARGA A IZAR	32.42 ton + 1.00 ton (Spreader) + 1.00 ton (Aparejos)
FACTOR DE CARGA	67%

**Nota.** La grúa trabajará a un 67% de su capacidad nominal.

**Figura 96.**  
*Montaje de sección 2*



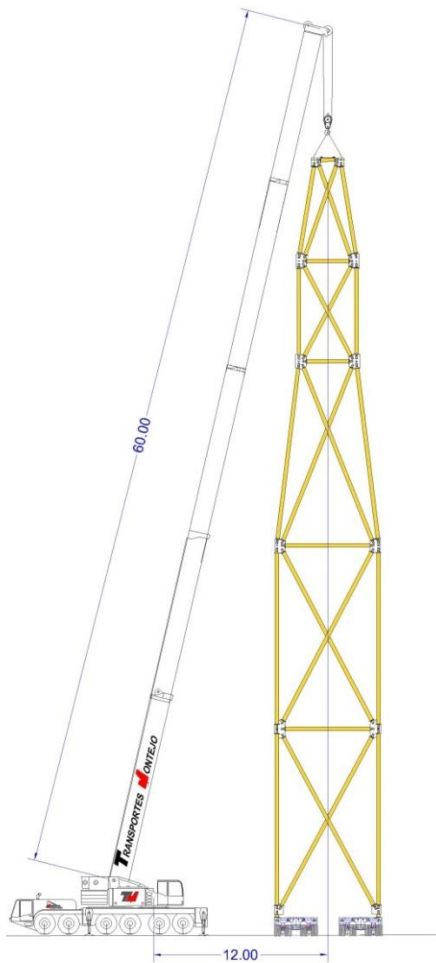
**Nota.** Se valida el uso de 2 grúas telescópicas de 200 toneladas de capacidad.

**Tabla 37.***Plan de izaje para la sección 2*

GRUA DEMAG AC200 EN TANDEM	
RADIO DE OPERACIÓN	10.00 metros
LONGITUD DE BOOM	55.20 metros
CONTRAPESO A UTILIZAR	64.00 ton
CAPACIDAD DE LA GRUA 1	24.00 ton
CAPACIDAD DE LA GRUA 2	24.00 ton
CARGA A IZAR GRUA 1	14.63 ton +0.50 ton(Spreader) + 1.00 ton (Aparejos)
CARGA A IZAR GRUA 2	14.63 ton +0.50 tonSpreader) + 1.00 TON (Aparejos)
FACTOR DE CARGA GRUA 1	67%
FACTOR DE CARGA GRUA 2	67%

**Nota.** Las grúas trabajarán a un 67% de su capacidad nominal.

**Figura 97.**  
*Montaje de sección 3*



**Nota.** Se valida grúa telescópica de 200 toneladas de capacidad.

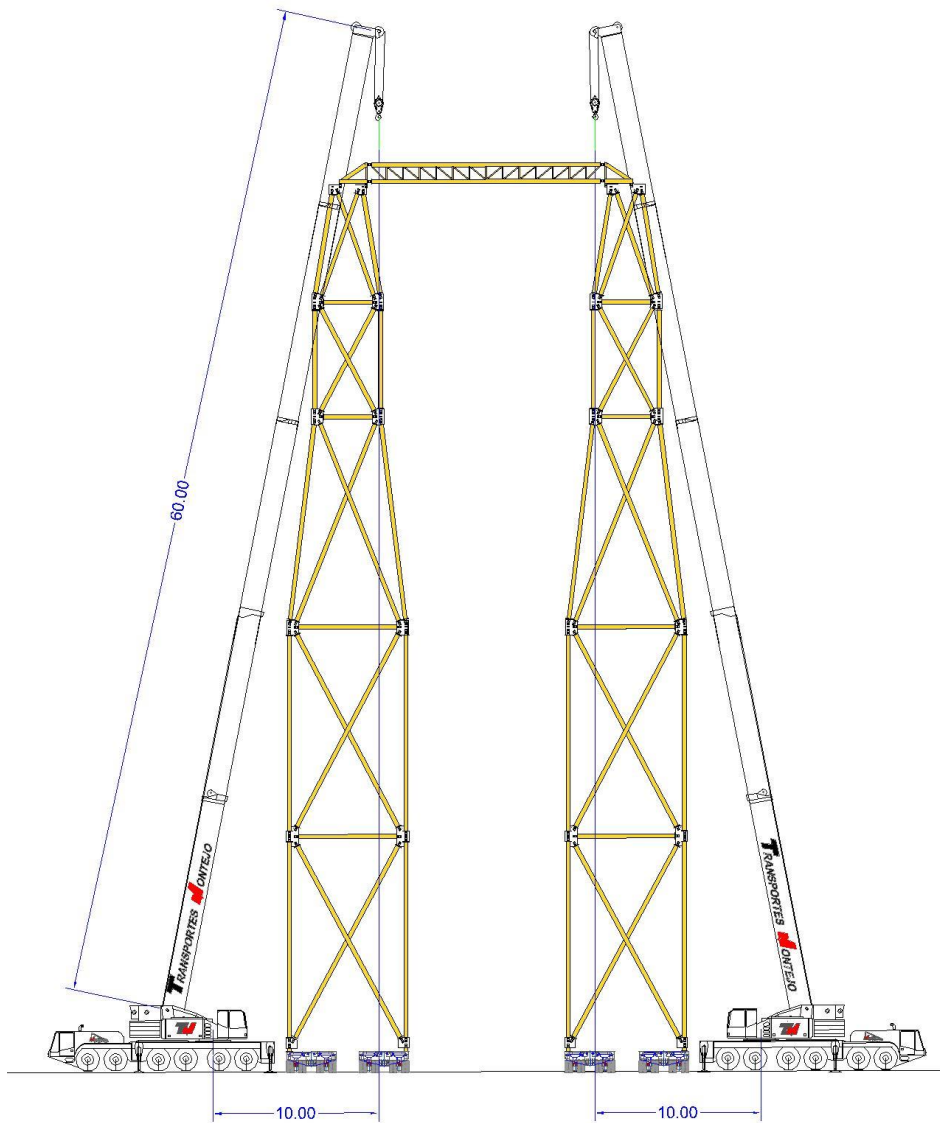
**Tabla 38.**  
*Plan de izaje para la sección 3*

GRUA DEMAG AC200	
RADIO DE OPERACIÓN	12.00 metros
LONGITUD DE BOOM	60.00 metros
CONTRAPESO A UTILIZAR	64.00 ton
CAPACIDAD DE LA GRUA	19.00 ton
CARGA A IZAR	15.00 ton + 1.00 ton (Aparejos)
FACTOR DE CARGA	84%

**Nota.** Las grúas trabajarán a un 84% de su capacidad nominal.

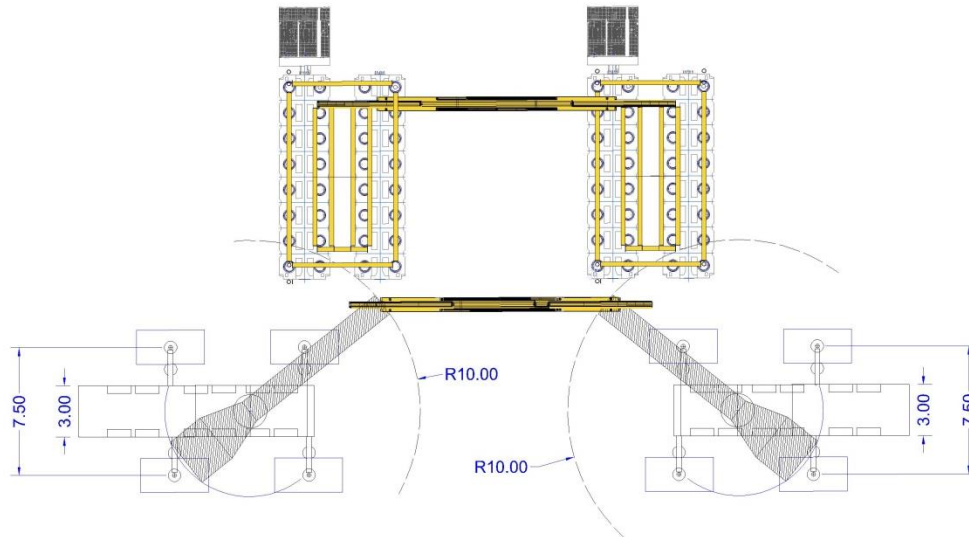


**Figura 98.**  
*Izaje de armadura transversal*



**Nota.** Se valida el uso de 2 grúas telescópicas de 200 toneladas de capacidad

**Figura 99.**  
Vista superior izaje



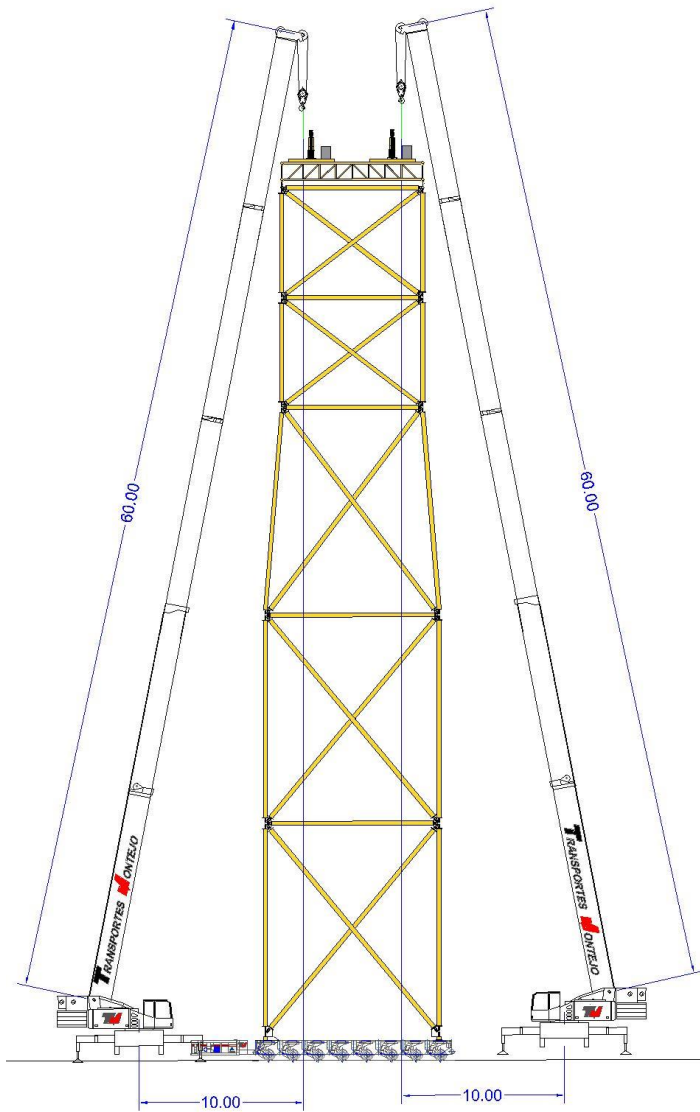
**Nota.** Se valida el uso de 2 grúas telescópicas de 200 toneladas de capacidad.

**Tabla 39.**  
Plan de izaje para armadura transversal extensible

GRUA DEMAG AC200 EN TANDEM	
RADIO DE OPERACIÓN	10.00 metros
LONGITUD DE BOOM	60.00 metros
CONTRAPESO A UTILIZAR	64.00 metros
CAPACIDAD DE LA GRUA 1	19.00 ton
CAPACIDAD DE LA GRUA 2	19.00 ton
CARGA A IZAR GRUA 1	14.00 ton + 1.00 ton (Aparejos)
CARGA A IZAR GRUA 2	14.00 ton + 1.00 ton (Aparejos)
FACTOR DE CARGA GRUA 1	79%
FACTOR DE CARGA GRUA 2	79%

**Nota.** Las grúas trabajarán a un 79% de su capacidad nominal.

**Figura 100.**  
*Montaje de armadura longitudinal*



**Nota.** Se valida el uso de 2 grúas telescópicas de 200 toneladas de capacidad.

**Tabla 40.***Plan de izaje para la armadura longitudinal*

GRUA DEMAG AC200 EN TANDEM	
Radio de operación	10.00 metros
Longitud de boom	60.00 metros
Contrapeso a utilizar	64.00 ton
Capacidad de la grúa 1	19.00 ton
Capacidad de la grúa 2	19.00 ton
Carga a izar grúa 1	3.50 ton + 1.00 ton (Aparejos)
Carga a izar grúa 2	3.50 ton + 1.00 ton (Aparejos)
Factor de carga grúa 1	24%
Factor de carga grúa 2	24%

**Nota.** Las grúas trabajarán a un 79% de su capacidad nominal.

**Tabla 41.***Recursos para el ensamble*

RECURSO TECNICO A UTILIZAR PARA EL ENSAMBLE	
2 grúas telescópicas marca Demag AC200	Cap. 200.00 ton cada una
1 spreader	5 metros de longitud Capacidad 35 ton.
4 eslingas sintéticas	6.00 metros
2 eslingas sintéticas	5.00 metros
4 eslingas sintéticas	2.00 metros
2 eslingas sintéticas	4.00 metros
8 repartidores de carga	4.00 X 2.00 metros
2 equipos de transporte Goldhofer pst	8 Líneas lado a lado + Power pack
pasteca o gancho de grúa	CAP. Min 50 Ton para cada grúa
16 grilletes	Cap. 17 ton
16 grilletes	Cap. 25 ton
canasta	Cap. 2 personas
grúa telescópica Terex It 1055+ 15 metros Jib para izar persona en canasta quien quitara los aparejos en el momento del ensamble	Cap. 55 ton

**Nota.** Síntesis del recurso técnico a utilizar para maniobras de ensamble del proyecto

Por último se procede a realizar el izaje y posicionamiento de los 4 Strand Jacks con su base. Se debe usar una grúa auxiliar de 55 toneladas con Jib y canasta para izar dos

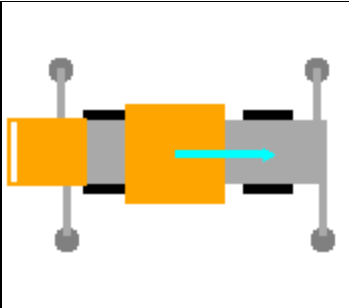
aparejadores que puedan realizar la instalación mecánica de uniones y toda la hidráulica del Strand Jack.

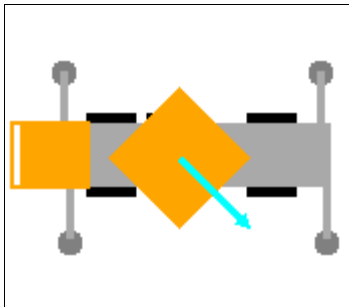
Una vez cada pieza se encuentra ensamblada y acondicionada para su operación, se procede a realizar una prueba en vacío, es decir realizar la traslación unos metros de los modulares, y luego se acciona la operación de levantamiento y descenso de los cables del Strand Jack, su funcionamiento en simultáneo y su histéresis.

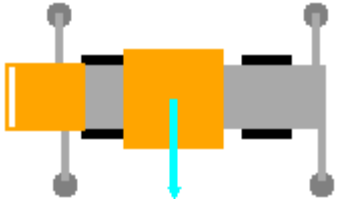
A continuación, se ilustra las presiones ejercidas por una grúa de 200 toneladas de capacidad para realizar el ensamble:

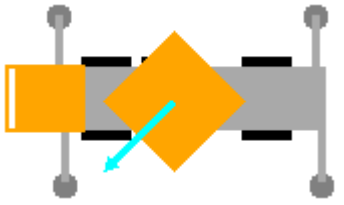
**Tabla 42.**  
*Presiones ejercidas al suelo por la grúa de 200 toneladas*

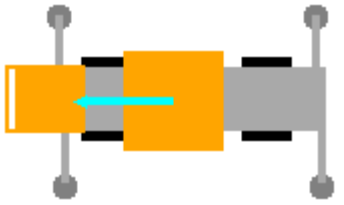
Longitud de boom:	60.00 m [50-100-100-100-100-100]
Contrapesas:	64toneladas
Dimensiones del plato estabilizador:	8.1m x 8.1m
Radio operacional de la grúa :	10 m
Peso de la carga:	14500 kg

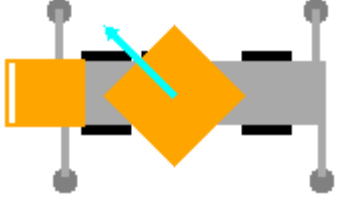
Angulo de giro: 0° = atrás		Frente Derecha:	39180 kg		Atrás Derecho:	32122 kg
Max carga = 15500 kg		Frente Izquierda:	39180 kg		Atrás Izquierda:	32122 kg

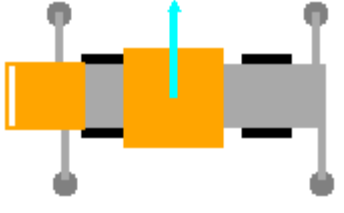
Angulo giro: 45° =		Frente Derecha:	41148 kg		Atrás derecha:	40225 kg
Max carga Load = 15500 kg		Frente izquierda:	33270 kg		Atrás izquierda:	27961 kg

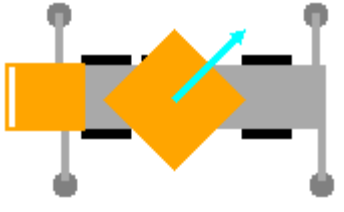
Angulo giro: 90° = Side		Frente Derecha:	37977 kg		Atrás derecha:	47557 kg
Max carga Load =	15500 kg	Frente izquierda:	26916 kg		Atrás izquierda:	30248 kg

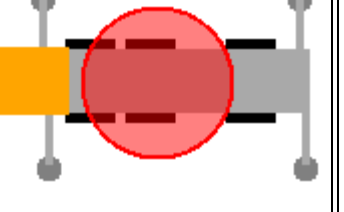
Angulo giro: 135° = Outrigger		Frente Derecha:	31622 kg		Atrás derecha:	49751 kg
Max carga Load =	15500 kg	Frente izquierda:	23839 kg		Atrás izquierda:	37487 kg

Angulo giro: 180° = Front		Frente Derecha:	25713 kg		Atrás derecha:	45589 kg
Max carga Load =	15500 kg	Frente izquierda:	25713 kg		Atrás izquierda:	45589 kg

Angulo giro: 225° = Outrigger		Frente Derecha:	23839 kg		Atrás derecha:	37487 kg
Max carga Load =	15500 kg	Frente izquierda:	31622 kg		Atrás izquierda:	49751 kg

Angulo giro: 270° = Right Side		Frente Derecha :	26916 kg		Atrás derecha:	30248 kg
Max carga Load =	15500 kg	Frente izquierda:	37977 kg		Atrás izquierda:	47557 kg

Angulo giro: 315° = Outrigger		Frente Derecha:	33270 kg		Atrás derecha:	27961 kg
Max carga Load =	15500 kg	Frente izquierda:	41148 kg		Atrás izquierda:	40225 kg

Angulo giro : Máximo Outrigger Pad Loads		Frente Derecha:	41148 kg		Atrás derecha:	49751 kg
Max Chart Load	15500 kg	Frente izquierda:	41148 kg		Atrás izquierda:	<b>49751</b> kg

**Nota.** Extraído del software Manitowoc GBP. Tomado de Manitowoc "Ground bearing pressure" [En línea]. Disponible: <https://www.manitowoc.com/es/soporte/calculadora-de-carga-de-la-base-del-estabilizador-para-modelos-antiguos-gmk>

De acuerdo al análisis anterior se identifica que la presión máxima ejercida al suelo es de 49751 Kilogramos puntuales, usando repartidores de carga de 4.00 m x 2.00 m se obtiene una presión de  $6218 \text{ kg/m}^2$ . O usando repartidores de carga de 2.00 m x 2.00 m se obtiene una presión de  $12437 \text{ kg/m}^2$  estos valores se deben tener en cuenta para compararlos con la capacidad portante del suelo del cliente.

## **4.2. Manual de operación del equipo**

Como parte del proyecto logístico del cliente de la compañía Transportes Montejo S.A.S y en aras de optimizar los tiempos del manejo de cargas y los equipos a emplear, se requiere realizar el izaje de una carga de 280 Ton, para el desarrollo de esta operación se define el siguiente procedimiento para la ejecución de las tareas mencionadas anteriormente.

### **4.2.1 Sitios de maniobra**

- Para realizar el ingreso de los equipos y personal se debe gestionar previamente los permisos requeridos por las autoridades de cada área.
- Se necesita un lote o área para ensamblar la estructura de por lo menos 35.00 x 18.00  $m^2$ .
- Se necesita que el lote o área para ensamblar tenga un terreno plano sin desniveles.
- Se necesita que en el lote o área para ensamblar el equipo no existan redes o eléctricas ni domiciliarias.
- Se requiere para el ensamble de la estructura y operación unas condiciones climáticas sin lluvias o tormentas.
- El equipo de trabajo deberá permanecer siempre con sus EPP y elementos de bioseguridad
- La ruta de acceso debe ser previamente conocida por el supervisor y/o ingeniero de operaciones.
- El terreno y espacio donde se ensamblará y se operará el equipo debe ser previamente conocido por el supervisor y/o ingeniero de operaciones
- Se deben conocer los puntos críticos del trayecto.
- Se deben conocer los sitios de atención inmediata dentro del job site.
- El equipo de trabajo en conjunto con el jefe de transporte terrestre y equipos de izaje deben reportar diariamente el avance y estado de los equipos de transporte y de la carga.
- Se debe hacer inspecciones del ensamble y de los aparejos a utilizar. (esta inspección la realiza un ente certificador)



#### 4.2.2 Recurso humano

**Tabla 43.**

*Recurso humano requerido*

<b>CANTIDAD</b>	<b>PERSONAL</b>
1	Ingeniero de operaciones
1	Ingeniero de soporte técnico
1	Supervisor de operaciones
1	Operador Strand Jack
1	Supervisor HSE
3	Operador de grúa
5	Auxiliares de grúa / Aparejadores
2	Auxiliares de transporte

**Nota.** Este es el personal de que debe usarse como mínimo

#### 4.2.3 Pre operacional

- Revisar los procedimientos y manuales de izaje de la carga (fabricante de la carga) con todo el personal involucrado en la maniobra antes de iniciar cualquier actividad
- Analizar los posibles riesgos (eléctricos, mecánicos y operativos) durante todas las maniobras en cada uno de los sitios y actividades a realizar.
- Realizar y difundir el análisis de trabajo seguro (ATS)
- Inspeccion visual de los puntos de izaje de la carga para realizar un buen aseguramiento. (Puntos de izaje sin discontinuidades y sin abollonaduras)
- Efectuar la reunión pre-operacional y definir actividades, funciones, roles y responsabilidades con el personal involucrado, antes de cada jornada laboral
- Verificar que los sitios de maniobra se encuentren en condiciones aceptables.
- Realizar la pre-inspección de todos los equipos que van a ser utilizados en las actividades
- Verificar que todos los equipos se van a utilizar de acuerdo con sus especificaciones técnicas y tablas de capacidades

- Verificar que todo el personal cuente con los EPP, elementos de bioseguridad, cursos de inducción y la documentación requerida por el cliente.

#### **4.2.4 Ensamble de equipo de transporte**

El equipo modular llevará una configuración de 8 Líneas lado a lado autopropulsadas en cada torre, este equipo cuenta con una capacidad de repartición de carga mediante su sistema de vasos comunicantes el cual es un circuito hidráulico especializado que logra brindar estabilidad, suspensión y repartición de carga lo más uniformemente posible alrededor de los ejes. Brindando una capacidad de 1240.00 Ton, el tiempo de ensamble es de 3 Días por lo tanto se debe realizar:

- Verificar el estado de las llantas del equipo, revisando con un profundímetro el labrado.
- Verificar estado de los grifos y tubería, revisando que los mecanismos de cierre o apertura se encuentren en óptimas condiciones.
- Verificar estado de los manómetros y tablero de mando o PLC, que el tablero no tenga pixeles muertos y los manómetros no estén golpeados.
- Realizar predisposición de llaves o coordenadas cartesianas y puntos de estabilidad (4 PUNTOS):

***NOTA. ESTAS OPERACIONES DEBEN SER EFECTUADAS DESPUES DE HABER CONECTADO TODOS LOS ACOPLER HIDRAULICOS, NEUMATICOS Y ELECTRICOS***

- Verificar circuito hidráulico de dirección (que su funcionamiento sea correcto)
- Verificar circuito eléctrico ( que el control remoto del modular autopropulsado no presente códigos de error)
- Verificar circuito neumático de freno (cambio de todas las zapatas de freno)
- Dar aval por parte del ingeniero de operaciones y el supervisor de transporte.
- Proceder con el arme de la estructura metálica de acuerdo al manual de ensamble del equipo.

#### **4.2.5 Ensamble del sistema estructural**

Para un correcto ensamble del sistema estructural se debe seguir el manual de ensamble y realizar inspecciones visuales constantemente del estado de cada componente metálico. El tiempo del armado del sistema estructural es 12 días de 12 horas

- Verificar el estado de las conexiones metálicas (inspección visual de que se instale la totalidad de los tornillos) y la tubería estructural (inspección visual de estado de corrosión de los elementos)
- Realizar las conexiones y armado de la sección #1 y verticalizar con grúas de 200 toneladas
- Izaje de sección #1 y descargue sobre el equipo de transporte autopropulsado.
- Realizar las conexiones y armado de la sección #2 y verticalizar con grúas de 200 toneladas
- Izaje de sección #2 y descargue sobre el equipo de transporte autopropulsado.
- Realizar conexiones metálicas de la sección #1 con la sección #2.
- Realizar las conexiones y armado de la sección #3 y verticalizar con grúas de 200 toneladas
- Izaje de sección #3 y descargue sobre el equipo de transporte autopropulsado.
- Realizar conexiones metálicas de la sección #2 con la sección #3.
- Realizar izaje y conexiones metálicas de la armadura transversal a cada torre.
- Realizar el izaje y conexiones metálicas de la armadura longitudinal a cada armadura transversal.

#### **4.2.6 Movilización con el equipo de izaje**

Luego de armar el equipo completamente, se debe realizar prueba en vacío y posteriormente dirigirse hacia la carga a elevar:

- Proceder a realizar la movilización de toda la estructura en velocidad “tortuga” o cuasi estática programada en el control remoto del equipo.
- La velocidad máxima será de 2 Km/hr
- Encender el Smart box y el software del Strand Jack.
- Realizar prueba en vacío del funcionamiento del equipo

- Dirigirse a la ubicación de la carga a elevar.

#### **4.2.7 Izaje de la carga**

Se realiza el izaje utilizando el sistema Strand Jack en simultáneo:

- Accionar el sistema de los Strand Jacks y se descienden los cables de acero con su gancho para aparejar la carga.
- Aparejar la carga de sus puntos de izaje autorizados por el cliente.
- Elevación de la carga utilizando los Strand Jacks.
- Verificar durante el levantamiento el correcto funcionamiento del sistema Strand Jack (que sea sincrónico) y que las mangueras hidráulicas se encuentren en buen estado. (esta verificación se hace con el software del strand Jack)
- Una vez se alcanza la altura máxima de izaje con Strand Jacks se acciona el sistema autopulsado de transporte y se traslada la carga.
- Verificar durante la traslación el correcto funcionamiento de los equipos modulares en cuanto a nivelación, estabilidad y presiones de trabajo. (esta verificación se hace revisando los manómetros y que el PLC no arroje alertas)

**NOTA. POR NINGUN MOTIVO SE DEBE ELEVAR LA CARGA MIENTRAS EL EQUIPO DE TRANSPORTE SE ENCUENTRE PROPULSADO O RODANDO.**

#### **4.2.8 Descenso de la carga**

- Posicionar la carga de acuerdo a los requerimientos del cliente y la validación previa entre los líderes de la operación.
- Realizar descargue de la carga sobre coordenadas dirigidas por el ingeniero de operaciones.
- Verificar la nivelación, y adecuada condición del posicionamiento de la carga utilizando el software del programa del Strand Jack.
- Descargar la pieza liberando el 100% de su peso.
- Realizar liberación de aparejos.
- Ascenso de los cables y aparejos del Strand Jack.
- Realizar retroceso con los equipos modulares hasta salir de la zona crítica de trabajo.
- Inspeccionar el comportamiento del equipo y del terreno.

- Firmar cumplidos y entrega a satisfacción del cliente.
- Realizar desensamble del equipo de izaje (tiempo estimado: 10 días)
- Retiro de equipos.

#### **4.2.9 Condiciones especiales y de seguridad**

Las siguientes son las condiciones especiales y de seguridad que se deben tener en cuenta antes y en cada una de las operaciones de movilización e izaje con el fin de controlar la ocurrencia de accidentes:

- Revisar los procedimientos de montaje e izaje de la carga a elevar con todo el personal involucrado en la maniobra, antes de iniciar cualquier actividad.
- Difundir el análisis de trabajo seguro realizado por el supervisor HSE
- Analizar los posibles riesgos durante todas las maniobras en cada uno de los sitios y actividades a realizar.

Riesgos:

- Atrapamiento
- Riesgo mecánico (golpes, caídas e impactos a las articulaciones o partes del cuerpo)
- Caída
- Arco eléctrico
- Efectuar la reunión diaria de seguridad y definir actividades, funciones, roles y responsabilidades con el personal involucrado.
- Todo el personal que participa en las actividades debe contar con los elementos de protección personal.
- Señalizar las áreas o sitios de trabajo.
- Cumplir con los Programas de Seguridad Vial y Operación Segura de equipos de transporte e izaje.

### 4.3. Manual de mantenimiento

Con el objetivo de mantener la disponibilidad de los equipos se implementa técnicas de mantenimiento productivo total donde los siguientes, son aspectos a analizar:

- 1) Partes de estructura metálica defectuosas
- 2) Repuestos de equipos de izaje y transportes defectuosos
- 3) Paradas o tiempos muertos

Lo anterior va encaminado hacia la productividad lo cual se establece la cultura de la compañía Transportes Montejo y su enfoque a que el personal se vea totalmente involucrado tanto administrativo como operativo.

Para garantizar la máxima disponibilidad de los equipos es necesario realizar paradas programadas a los equipos modulares de transporte y a Strand jacks, estar al tanto de las maniobras y de la bitácora de cada equipo y así mismo tener un control interno de las herramientas y actividades en las cuales se ve involucrado todos los aspectos operativos del equipo de izaje en general.

Este control interno está estipulado mediante informes, registros y reportes al jefe de mantenimiento y gerencia de operaciones.

**Tabla 44.**  
*Rutina de mantenimiento preventivo programado*

Mantenimiento preventivo programado		SISTEMA ESTRUCTURAL	OBSERVACIONES	SISTEMA ELECTROHIDRAULICO	OBSERVACIONES	SISTEMA DE TRANSPORTE	OBSERVACIONES	FIRMA RESPONSABLE
90	Días	Visual		Unidad electrohidraulica		Sistema electrico		
180	Días	Uniones		Valvulas /Strand jack		Cambio de llantas		
270	Días	Visual		Unidad electrohidraulica		Filtros		
360	Días	Perfileria		Cilindros hidraulicos		Aceite		
NOTA: Remitirse al cuadro y formato de inspecciones y fallas								

**Nota.** Estos mantenimientos se ejecutarán y se debe llevar registros del mismo como evidencia

**Tabla 45.**  
*Formato de inspección de fallas*

FECHA	NIVEL DE FLUIDO DEL TANQUE	ESTANQUEIDAD DEL SISTEMA HACIA EL EXTERIOR	VERIFICACION DE PRESIONES	INSPECCION DE FUGAS	INSPECCION DE ACEITE HIDRAULICO	INSPECCION DE FILTROS	INSPECCION DE EMPAQUES Y RETENEDORES	INSPECCION DE BOQUILLAS
NOVEDADES								
NOVEDADES								
NOVEDADES								
NOVEDADES								
<b>CONTROL DE CAMBIOS</b>								
FECHA	PIEZA A CAMBIAR	Ref	Comentarios			Tecnico	firma	

**Nota.** Este formato se debe diligenciar antes de realizar una operación en caso de presentar alguna falla.

**Tabla 46.***Formato de reporte de mantenimiento*

<b>Reporte del mantenimiento</b>		
Fecha de recibido:	Fecha de entrega:	n° reporte:
<b>Datos del Tecnico encargado</b>		
Nombre:	Telefono:	
<b>Datos del proveedor</b>		
Representante o Empresa:	NIT:	Telefono:
Descripcion del numero parte		
<b>Equipo</b>	<b>Marca y modelo</b>	<b>sistema y aspectos adicionales</b>
<b>Diagnostico del Equipo</b>		
<b>Falla</b>	<b>Causa</b>	<b>Solucion</b>
<b>Observaciones</b>		

**Nota.** Este formato se debe diligenciar cada que se haga mantenimientos preventivos y correctivos.

Verificar aspectos operativos para la verificación periódica de cada componente del equipo de izaje.



**Tabla 47.***Formato de orden de mantenimiento*

Orden de mantenimiento		N°	
<i>Requerido por:</i>		<i>Fecha:</i>	
<i>Equipo:</i>			
<i>Descripcion del problema:</i>			
<i>tecnico a cargo:</i>		<i>Ubicación de la parte:</i>	
<i>material y herramienta necesaria:</i>			
<i>Coordinador a cargo:</i>		<i>Departamento:</i>	
<i>Descripcion del servicio ejecutado:</i>			
<i>Regreso a operación</i>	<i>fecha:</i>	<i>Hora:</i>	<i>Entregado a:</i>
<i>Servicio verificado</i>	SI	NO	
<i>terminacion de correccion falla: dd/mm/aaaa</i>		<i>Hora:</i>	
<i>Comentarios sobre las fallas:</i>			
<i>Horas-hombre estimadas</i>	<i>Horas-hombre reales</i>	<i><u>Nombres</u></i>	
<i>Comentarios con respecto al n° horas-hombre:</i>			

**Nota.** Este formato lo diligenciará el jefe de mantenimiento para generar autorización y proceder con el mantenimiento.

**Tabla 48.**  
*Guía de inspección general del equipo*

INSPECCION GENERAL DEL EQUIPO DE IZAJE PARA OPERACIONES MULTIMODALES						
SISTEMA	ELEMENTO	OPERACIÓN	INSUMO	PERIODICIDAD	CRITICIDAD	
SISTEMA ESTRUCTURAL	Perfilería metálica	Uso de imprimante anticorrosivo	Rust oleum premium	18 meses	Media	
	Pasadores	Engrase de pasadores	MC-1630	Antes de cada operación	ALTA	
	Uniones	Forrar con papel vinipel	Vinipel standart	6 meses	Baja	
	Vigas Longitudinales	Uso de Barrera epoxica y esmalte	Sika- componente A	18 meses	Media	
	Vigas Extensibles	de uretano	Sika -AR			
SISTEMA ELECTROHIDRAULICO	Válvulas	Limpieza	Kit limpieza 3M equipos hidraulicos	6 meses	Alta	
		Limpieza de sellos		6 meses	Media	
		Limpieza de filtros		12 Meses	Media	
		Limpieza de palancas		Antes de cada operación	Baja	
	Unidad electrihidraulica	Operación de expurgo y purgo	Aceite iso 68	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion visual mangueras	Visual	6 Meses	Alta	
	Cilindros hidraulicos	Inspeccion empaquetaduras	Visual	18 meses	Media	
		Lubricacion	N/A	18 meses	Media	
		Inspeccion a las articulaciones	MC-1630	12 Meses	Alta	
		Inspeccion acoples rapidos	Visual	12 meses	Media	
	Strand Jack	Inspeccion cableado	Cable 1x7 x 15.70mm x 10.4 ton	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion Mordazas	Mordaza Enerpac	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion electrica power pack	Multimetro	6 Meses	ALTA	
		Revison operacional smartbox	Software Enerpac	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion fuente de poder	Multimetro	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion Software y computador	Tecnico sistemas	Antes de cada operación	Media	
	SISTEMA DE TRANSPORTE	Tablero de control vigas	Inspeccion de instrumentacion	mecanico hidraulico	6 Meses	Alta
			Inspeccion de labrado	profundimetro	6 Meses	Alta
			Inspeccion de aire	manometro	Antes de cada operación	Baja
			Inspeccion de rines	alineador y balanceador	12 Meses	Baja
Cilindros de suspension		Inspeccion de rodamientos	visual	6 Meses	Media	
		Inspeccion de fugas	visual	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion de carrera	tecnico hidraulico	Antes de cada operación	Alta	
		Inspeccion de sellos y empaques	visual	3 Meses	Alta	
		Inspeccion de lineas 8 y 9	manguera hidraulica	Antes de cada operación	media	
Sistema de direccion		Inspeccion de tornillos sinfin	Tornillo sinfin Goldhofer	12 meses	Alta	
		Inspeccion de coronas	Corona Goldhofer	12 meses	Alta	
		Inspeccion de tijeras de direccion	Visual	Antes de cada operación	Media	
PLC		Inspeccion de tablero o pantalla	PLC Goldhofer	1 Mes	Alta	
		Inspeccion de botones	destornillador y llave alemana	1 mes	Alta	
	Revison del control remoto	juego herramientas cabotec	1 Mes	Alta		
	Limpieza de potenciómetros	Limpiador 3M comp electronic	Antes de cada operación	Alta		
	Inspeccion del hidronico	Limpiador 3M comp electronic	6 meses	Media		
Chasis	Revison de cableado	Multimetro	Antes de cada operación	Baja		
	Inspeccion visual del camber	Separadores goldhofer	Antes de cada operación	Baja		
	Inspeccion de la plataforma	Visual	Antes de cada operación	Baja		
	Inspeccion de timones lado a lado	Visual	Antes de cada operación	Alta		

**Nota.** El jefe de mantenimiento debe tener en cuenta esta tabla para hacer las respectivas revisiones periódicas.

De acuerdo con la tabla anterior es muy importante mencionar que los equipos Strand Jack y los modulares son recursos de la compañía el cual están en constante operación nacional y por tanto podrían presentarse mantenimientos más seguidos de acuerdo al nivel de uso que tengan en un periodo de tiempo determinado, entonces es muy importante que los departamentos de mantenimiento y operaciones trabajen de la mano con las hojas de vida de los equipos para poder realizar las revisiones y los correctivos necesarios para evitar contra tiempos y fallos en la operación, adicional que

muchos repuestos de estos equipos especiales se deben de importar desde Alemania o Estados Unidos debido a su nula disponibilidad en el mercado latinoamericano.

A continuación, se mencionarán las fallas más frecuentes que el equipo podría presentar para poder prestarle más atención y lograr reaccionar lo más pronto posible, y así brindar una confiabilidad y disponibilidad del equipo.

**Tabla 49.**  
*Guía de fallas del equipo*

FALLAS DEL EQUIPO DE IZAJE PARA OPERACIONES MULTIMODALES				
SISTEMA	ELEMENTO	FALLA	ACTIVIDAD	
SISTEMA ESTRUCTURAL	Perfileria metalica	CORROSION	GUARDAR EN AMBIENTE CERRADO A TEMPERATURA AMBIENTE	
	Pasadores	CORROSION		
	Uniones	FRACTURAS		
	Vigas Longitudinales	CORROSION		
	Vigas Extensibles	CORROSION		
SISTEMA ELECTROHIDRAULICO	Válvulas	NO CONMUTA	CAMBIO DE RESORTE	
			CALIBRACION	
		PRESIONES BAJAS	CAMBIO DE MANGUERA	
			REVISION CORRECTIVA	
	Unidad electrohidraulica	FALLO POTENCIA	FALLO EN LA BOMBA	
	Cilindros hidraulicos		ALINEAR EJE	
		FUGAS	CAMBIAR SELLOS	
		PANDEO	CAMBIAR VASTAGO	
	Strand Jack		BLOQUEO	HACER PURGA
		MORDAZAS RODADAS		REEMPLAZAR MORDAZAS
		5 HILOS ROTOS		REEMPLAZAR CABLE
		ERROR SMARTBOX		REINICIAR SMARTBOX
		NO RECONOCIMIENTO DE STRAND JACK		CONECTAR PLUG AL FIN DE CARRERA

**Nota.** Guía para proceder a corregir fallas en el equipo.

## 5. ANALISIS FINANCIERO

De acuerdo con el análisis y validación técnica del proyecto es vital realizar un ejercicio financiero con el fin de poder concluir la viabilidad y rentabilidad del mismo, mediante una discretización de los costos inherentes a la operación como lo es la nómina para la ejecución, la inversión requerida para la fabricación de la estructura metálica, el costos de los equipos requeridos para la movilización desde la bodega de almacenamiento o sede principal de la compañía hasta cualquier destino del país, el ensamble y el desensamble del equipo, los costos operacionales que incluyen Strand jacks, modulares y aparejos, y por último el análisis financiero a partir de la adquisición de un crédito y su amortización de acuerdo con la DTF aproximada para la compañía Transportes Montejo de un 14% EA. Todo esto para poder establecer mediante indicadores financieros la viabilidad del proyecto a través del tiempo y lograr comparar el equipo de izaje contra una grúa de 1250 toneladas que homologaría el servicio.

De acuerdo con las cotizaciones para la estructura metálica, se revisó la cotización que la empresa Taesmet S.A.S oferta para la fabricación de la estructura metálica a partir de los requerimientos generados para el estudio técnico y los planos de ensamble, para lo cual finalmente el total de la oferta comercial es \$1,355,342,126 COP.

Con respecto a los equipos modulares, Strand jacks, aparejos, grúas de montaje y equipos de transporte, siendo estos propiedad y activos fijos de la compañía Transportes Montejo, se realizó una estructura de costos para el cliente a partir de los tarifarios y análisis por parte de la gerencia comercial de la compañía para obtener valores globales del servicio:

**Tabla 50.**  
*Costos de fabricación*

Fabricación de la estructura	
Descripcion	Valor COPS
Costo de Fabricacion	\$ 1.355.342.125
Imprevistos de Fabricacion	\$ 135.534.213
Transporte Fabrica-Bodega	\$ 5.400.000
Descargue en Bodega con grúa	\$ 4.200.000
<b>VR TOTAL</b>	<b>\$ 1.500.476.338</b>
VALOR RENTA MES	\$ 250.000.000

**Nota.** El costo de fabricación está asociado al precio por la fabricación de la estructura metálica + accesorios hidráulicos, el transporte de fábrica a bodega y su descargue contempla los tráileres necesarios junto con las grúas necesarias para descargar. Costos brindados por la compañía Transportes Montejo.

**Tabla 51.**  
*Costos de transporte del proyecto*

Transporte en la Ruta Bogota - Cartagena 1100 km						
Cantidad	Descripcion	tipo de Vehiculo	Cantidad estimada de viajes	Vr Viaje ida	Vr Viaje regreso	VR TOTAL
2	viga montante	Cama Baja 8 Ej + 2 Escoltas	1	\$ 52.000.000	\$ 52.000.000	\$ 104.000.000
2	Viga Extensible					
4	Tubo 16 mts HSS 10x0.50	Cama Alta	1	\$ 5.850.000	\$ 5.850.000	\$ 11.700.000
2	viga montante					
6	Contenedor 40 ft	Cama Alta	6	\$ 5.850.000	\$ 5.850.000	\$ 70.200.000
1	Contenedor 40 ft (Strand Jack)	Cama Alta	1	\$ 5.850.000	\$ 5.850.000	\$ 11.700.000
1	Contenedor 40 ft (unidades)	Cama Alta	1	\$ 5.850.000	\$ 5.850.000	\$ 11.700.000
32	Lineas de Modular	Cama Alta	4	\$ 5.850.000	\$ 5.850.000	\$ 46.800.000
2	Power pack					
<b>VR TOTAL MOVILIZACION IDA Y REGRESO</b>						<b>\$ 256.100.000</b>

**Nota.** Síntesis de la lista de los vehículos a utilizar con su precio para el cliente, estimando una ruta desde Bogotá hasta Cartagena. Costos brindados por la compañía Transportes Montejo.

**Tabla 52.**  
Costo de ensamble y desensamble de la estructura

COSTO ARME-DESARME				
Descripcion	Cantidad	Vr unitario Semana	Vr Unitario Mov-Desmov	Vr Total
Grúa 200 ton	2	\$ 43.800.000	\$ 4.500.000	\$ 96.600.000
Grúa 55 Ton + Jib	1	\$ 18.200.000	\$ 1.200.000	\$ 19.400.000
Canasta de Izaje	1	\$ 1.400.000	\$ 600.000	\$ 2.000.000
Spreader 5 mts	1	\$ 1.800.000		\$ 1.800.000
COSTO DE ARME				\$ 119.800.000
Descripcion	Cantidad	Vr unitario Semana	Vr Unitario Mov-Desmov	Vr Total
Grúa 200 ton	2	\$ 43.800.000	\$ 4.500.000	\$ 96.600.000
Grúa 55 Ton + Jib	1	\$ 18.200.000	\$ 1.200.000	\$ 19.400.000
Canasta de Izaje	1	\$ 1.400.000	\$ 600.000	\$ 2.000.000
Spreader 5 mts	1	\$ 1.800.000		\$ 1.800.000
COSTO DESARME				\$ 119.800.000
VALOR TOTAL ARME DESARME DE ESTRUCTURA				\$ 239.600.000

**Nota.** Síntesis de la lista de los equipos de izaje a utilizar con su precio para el cliente estimando días de 12 horas. Costos brindados por la compañía Transportes Montejo.

**Tabla 53.**  
Costo de modulares y Strand Jack

EQUIPOS DE APOYO				
Descripcion	Cantidad	Vr Mes 240 horas	Vr Total	Observaciones
Equipo Modular SPMT con Power pack 16 L	2	\$ 279.300.000	\$ 558.600.000	Configuracion 8 Lado a Lado
Strand Jacks juego de 4 unidades	1	\$ 80.000.000	\$ 80.000.000	70 Ton C/U
VALOR TOTAL EQUIPOS DE APOYO			\$ 638.600.000	

**Nota.** Síntesis de la lista de los equipos de apoyo a utilizar con su precio para el cliente. Costos brindados por la compañía Transportes Montejo.

A continuación, se profundizará en aspectos financieros para la solidez y viabilidad económica que requiere el proyecto plasmando y conceptualizando diversos métodos contables como la inversión, amortización, proyección de ventas, costos fijos y variables, flujo de caja de cada año durante los años de operación, margen de contribución, punto de equilibrio; la viabilidad del proyecto en la cual se calcularan y manejaran la TIO (tasa de interés de Oportunidad) y la TIR (tasa Interna de Retorno), el indicador del C.A.U.E (Costo Anual Uniforme Equivalente); concluyendo con la relación de costo – beneficio.

## 5.1 Inversión y tabla de amortización

La inversión total para el proyecto se distribuirá de la siguiente manera: 30% capital de la empresa, el 70% con un crédito bancario para un total del 100% (\$ 1.398.000.000), siendo estos \$419.400.000 y \$978.600.000 respectivamente; la tasa será semestral del 6, 77% y del 14% E.A; según la tabla de amortización expuesta a continuación se logró un pago en 12 cuotas a lo largo de 6 años con pagos programados e iguales de \$100.585,201.

**Tabla 54.**

*Inversión requerida total para el proyecto*

<b>INVERSIÓN REQUERIDA TOTAL</b>	
<b>APORTES</b>	<b>\$ 419.400.000</b>
<b>CRÉDITO</b>	<b>\$ 978.600.000</b>
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1.398.000.000</b>

**Nota.** Se debe solicitar un crédito ante una entidad financiera para poder suplir el costo de fabricación de la estructura.

**Tabla 55.**

*Amortización del crédito*

<b>Condiciones para el crédito</b>	
Importe del préstamo	\$ 978.600.000
Interés semestral	6,77 %
Período del préstamo en años	6
Número de pagos anuales	2
Fecha inicial del préstamo	25/06/2021
Pagos extra opcionales	

<b>Resumen del Crédito</b>	
Pago programado	\$ 100.585.201
Número de pagos programados	12
pago total	\$ 1.207.022.408
Interés total	\$ 228.422.408

Cuota No.	fecha de pago	Cuota	capital	intereses	saldo
1	25/07/2021	\$ 100.585.201	\$ 67.459.591	\$ 33.125.610	\$ 911.140.409
2	25/08/2021	\$ 100.585.201	\$ 69.743.098	\$ 30.842.103	\$ 841.397.312
3	25/09/2021	\$ 100.585.201	\$ 72.103.902	\$ 28.481.299	\$ 769.293.410
4	26/10/2021	\$ 100.585.201	\$ 74.544.619	\$ 26.040.582	\$ 694.748.791
5	26/11/2021	\$ 100.585.201	\$ 77.067.954	\$ 23.517.247	\$ 617.680.837
6	27/12/2021	\$ 100.585.201	\$ 79.676.704	\$ 20.908.496	\$ 538.004.133
7	27/01/2022	\$ 100.585.201	\$ 82.373.761	\$ 18.211.440	\$ 455.630.372
8	27/02/2022	\$ 100.585.201	\$ 85.162.113	\$ 15.423.088	\$ 370.468.259
9	30/03/2022	\$ 100.585.201	\$ 88.044.850	\$ 12.540.351	\$ 282.423.409
10	30/04/2022	\$ 100.585.201	\$ 91.025.168	\$ 9.560.032	\$ 191.398.241
11	31/05/2022	\$ 100.585.201	\$ 94.106.370	\$ 6.478.830	\$ 97.291.871
12	1/07/2022	\$ 100.585.201	\$ 97.291.871	\$ 3.293.330	\$ 0

**Nota.** Detalle de la amortización del crédito y sus pagos.

## 5.2 Proyección de ventas

La proyección de ventas se realizó basado en un escenario pesimista en el cual el volumen de ventas es de un (1) servicio al año y de seis (6) servicios a lo largo de 6 años; siendo el valor de la venta \$1.398.000.000 de acuerdo con el análisis anterior y con un aumento anual del 1% con el transcurrir de los años restantes; la proyección arroja que las ventas totales serian de \$8.600.517.054 COP; claramente la proyección de ventas puede verse modificada con el incremento de ventas al realizar más de un servicio al año y su comportamiento seria en aumento en las ganancias.

**Tabla 56.**

*Costo del servicio para el cliente que solicite*

COSTO DEL SERVICIO	
DESCRIPCION	VALOR
Alquiler Gantry Autopropulsado cap 280 Ton	\$ 888.600.000
Movilizacion - Desmovilizacion 1100 km	\$ 256.100.000
Arme - Desarme Gantry	\$ 239.600.000
<b>Vr Total del Servicio Mes</b>	<b>\$ 1.384.300.000</b>

**Nota.** Costos transmitidos al cliente para el servicio.

**Tabla 57.**

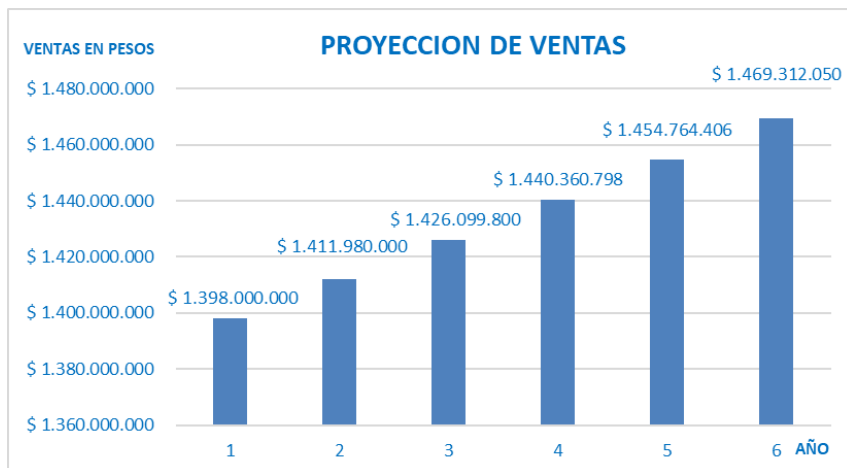
*Proyección de ventas del servicio en 6 años*

SERVICIO	NOMBRE SERVICIO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	TOTAL SERVICIOS
CANTIDAD	SERVICIO DE GANTRY	1	1	1	1	1	1	6
VALOR \$		\$ 1.398.000.000,0	\$ 1.411.980.000,0	\$ 1.426.099.800,0	\$ 1.440.360.798,0	\$ 1.454.764.406,0	\$ 1.469.312.050,0	\$ 8.600.517.054
TOTAL CANTIDAD		1	1	1	1	1	1	6
TOTAL \$		1.398.000.000,0	1.411.980.000,0	1.426.099.800,0	1.440.360.798,0	1.454.764.406,0	1.469.312.050,0	8.600.517.054

**Nota.** Esta proyección es con un crecimiento anual de un 1% en ventas que en teoría sería el incremento del costo del servicio por insumos.



**Figura 101.**  
*Gráfico de las proyecciones de ventas*



**Nota.** Esta proyección es con un crecimiento anual de un 1% en ventas que en teoría sería el incremento del costo del servicio por insumos.

### 5.3 Costos y gastos fijos

Los costos y gastos arrojados por el proyecto se dividen en fijos y variables; siendo el valor de la nómina constante al transcurrir de los 6 años de proyección de ventas; el año con más gastos y costos se ve reflejado en el uno (1) con mayor flujo de dinero a pagar por los ítem relacionados: costos de fabricación, el pago de las cuotas del crédito, costos de monte y desmonte de la operación para efectos de la certificación, imprevistos de fabricación, transportes y descargues en bodega; con un valor total de \$2.514.519.606 COP; del año 2 al 6, estos gastos y costos se ven notablemente reducidos porque la carga financiera solo recae en las cuotas del banco dadas por la amortización y la nómina, no superando los \$577.200.000 aproximadamente.

**Tabla 58.**  
Costo del recurso humano

**RELACION DE PERSONAL REMUNERADO PARA EL PROYECTO.**  
**COSTO FIJO POR EMPLEADOS PARA LA OPERACIÓN**

SALARIO BASICO MENSUAL VIGENTE	\$ 877.803
AUXILIO DE TRANSPORTE VIGENTE	\$ 102.854

CARGO	SUELDO BASICO ACORDADO	PRESTACIONAL	AUXILIO DE TRANSPORTE	TOTAL	NUMERO DE EMPLEADOS MENSUALES					
					año 1	año 2	año 3	año 4	año 5	año 6
Ingeniero de operaciones	\$ 8.000.000	NO		\$ 8.000.000	1	1	1	1	1	1
Ingeniero de soporte técnico	\$ 4.000.000	NO		\$ 4.000.000	1	1	1	1	1	1
Supervisor de operaciones	\$ 3.500.000	NO		\$ 3.500.000	1	1	1	1	1	1
Operador Strand Jack	\$ 2.500.000	NO		\$ 2.500.000	1	1	1	1	1	1
Supervisor HSE	\$ 2.500.000	NO		\$ 2.500.000	1	1	1	1	1	1
Operador de grúa	\$ 2.300.000	SI		\$ 3.496.000	3	3	3	3	3	3
Auxiliares de grúa / Aparejadores	\$ 877.803	SI	\$ 102.854	\$ 1.437.115	5	5	5	5	5	5
Auxiliares de transporte	\$ 877.803	SI	\$ 102.854	\$ 1.437.115	2	2	2	2	2	2
<b>TOTAL NOMINA</b>				<b>\$ 26.870.229</b>						

**Nota.** Personal mínimo a tener en cuenta.

**Tabla 59.**  
Costos y gastos fijos alrededor de 6 años

COSTOS Y GASTOS FIJOS	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
NOMINA	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229
COSTO DE FABRICACION	\$ 1.355.342.125	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TRANSPORTE DE FABRICA A BODEGA	\$ 5.400.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
COSTO OPERACIONAL 10% VENTA DEL SERVICIO	\$ 139.800.000	\$ 141.198.000	\$ 142.609.980	\$ 144.036.080	\$ 145.476.441	\$ 146.931.205
GASTOS FINANCIEROS						
30% VALOR INVERSION	\$ 406.602.638	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
1 Y 2 CUOTA CREDITO	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401
COSTO MONTE Y DESMONTE DE LA OPERACIÓN	\$ 239.600.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
TOTAL GASTOS FINANCIEROS	\$ 847.373.039	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401
SUB TOTAL	\$ 2.374.785.393	570.409.032	571.821.012	573.247.112	574.687.472	576.142.237
GASTOS VARIABLES						
IMPREVISTOS DE FABRICACION	\$ 135.534.213	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
MANTENIMIENTO	\$ 10.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
DESCARGUE EN BODEGA	\$ 4.200.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
SUB TOTAL	\$ 149.734.213	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000	20.000.000
SUB TOTAL						
TOTAL COSTOS FIJOS Y GASTOS FIJOS	2.524.519.606	590.409.032	591.821.012	593.247.112	594.687.472	596.142.237
TOTAL COSTOS FIJOS	2.524.519.606	590.409.032	591.821.012	593.247.112	594.687.472	596.142.237
						<b>5.490.826.470</b>

**Nota.** Síntesis de todos los costos y gastos para el proyecto para los 6 años de análisis del proyecto.

## 5.4. Flujo de caja

El flujo de caja es una herramienta financiera para analizar el comportamiento económico del proyecto, en que se toma como referencia el año 0 para ubicar gastos financieros ( crédito), el capital de la empresa, dando utilidades negativas porque es un numero base para empezar los cambios positivos en los años siguientes; como se muestra en la utilidad después de impuestos la cifra es positiva con lo cual muestra un aumento considerable, después de asumir las obligaciones financieras adquiridas.

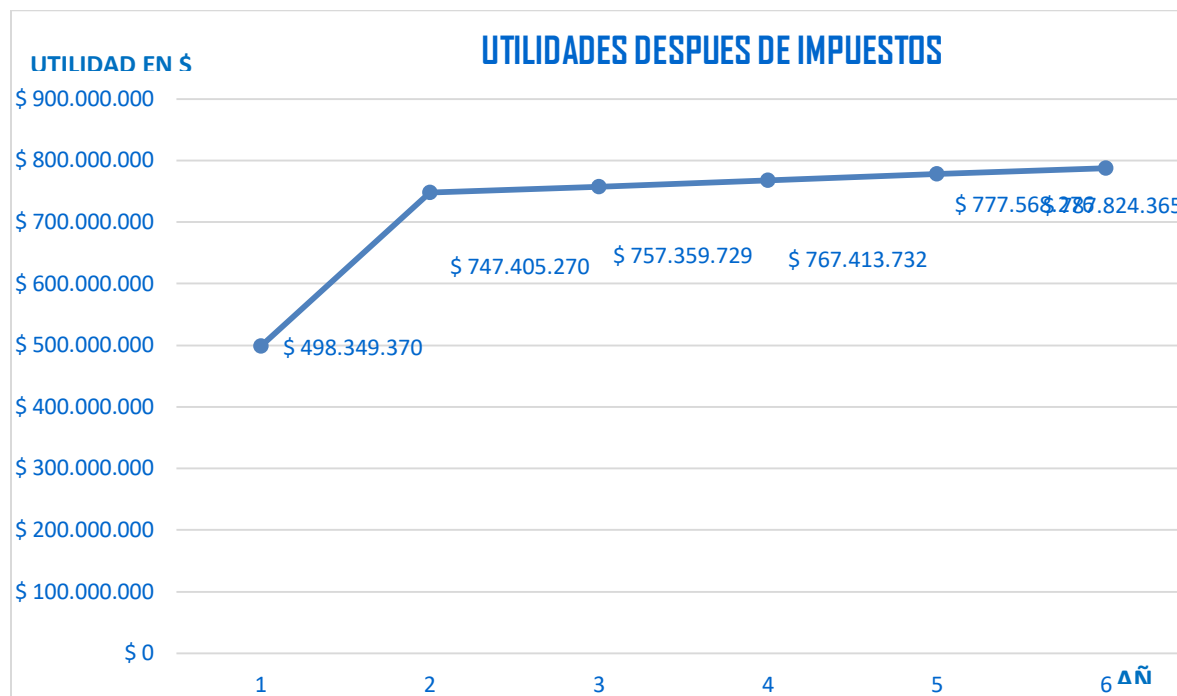
**Tabla 60.**  
*Flujo de caja alrededor de 6 años*

CONCEPTO	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6
<b>INGRESOS OPERATIVOS</b>							
VENTAS		\$ 1.398.000.000	\$ 1.411.980.000	\$ 1.426.099.800	\$ 1.440.360.798	\$ 1.454.764.406	\$ 1.469.312.050
<b>TOTAL INGRESOS OPERATIVOS</b>		\$ 1.398.000.000	\$ 1.411.980.000	\$ 1.426.099.800	\$ 1.440.360.798	\$ 1.454.764.406	\$ 1.469.312.050
<b>GASTOS OPERACIONALES</b>							
GASTOS DE VENTA VARIABLES		\$ 139.800.000	\$ 141.198.000	\$ 142.609.980	\$ 144.036.080	\$ 145.476.441	\$ 146.931.205
MANO DE OBRA DIRECTA FIJA		\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229	\$ 26.870.229
OTROS COSTOS DE PRODUCCION		\$ 249.200.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
GASTOS ADMINISTRATIVOS		\$ 6.990.000	\$ 7.059.900	\$ 7.130.499	\$ 7.201.804	\$ 7.273.822	\$ 7.346.560
MANTENIMIENTO		\$ 10.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000	\$ 20.000.000
<b>TOTAL GASTOS OPERACIONALES</b>		\$ 432.860.229	\$ 195.128.129	\$ 196.610.708	\$ 198.108.113	\$ 199.620.492	\$ 201.147.994
<b>FLUJO NETO OPERATIVO</b>		\$ 965.139.771	\$ 1.216.851.871	\$ 1.229.489.092	\$ 1.242.252.685	\$ 1.255.143.914	\$ 1.268.164.056
<b>INGRESOS NO OPERATIVOS</b>							
APORTES	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
CAPITAL DE TRABAJO	\$ 406.602.638		\$ -	\$ -			
FINANCIACION			\$ -	\$ -			
<b>TOTAL INGRESOS NO OPERATIVOS</b>			\$ -	\$ -			
<b>EGRESOS NO OPERACIONALES</b>							
GASTOS PREOPERATIVOS							
GASTOS FINANCIEROS	\$ 948.739.488	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401	\$ 201.170.401
IMPUESTOS 19%	\$ -	\$ 265.620.000	\$ 268.276.200	\$ 270.958.962	\$ 273.668.552	\$ 276.405.237	\$ 279.169.290
ACTIVOS DIFERIDOS	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
COMPRA DE ACTIVOS FIJOS	\$ 1.355.342.125	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>TOTAL GASTOS NO OPERACIONALES</b>	\$ -	\$ 466.790.401	\$ 469.446.601	\$ 472.129.363	\$ 474.838.953	\$ 477.575.638	\$ 480.339.691
<b>FLUJO NETO NO OPERATIVO</b>	\$ -	\$ 931.209.599	\$ 942.533.399	\$ 953.970.437	\$ 965.521.845	\$ 977.188.768	\$ 988.972.359
<b>UTILIDAD DESPUES DE IMPUESTOS</b>	<b>-\$ 1.355.342.125</b>	<b>\$ 498.349.370</b>	<b>\$ 747.405.270</b>	<b>\$ 757.359.729</b>	<b>\$ 767.413.732</b>	<b>\$ 777.568.276</b>	<b>\$ 787.824.365</b>
+ SALDO INICIAL	\$ -	-\$ 1.355.342.125	-\$ 856.992.755	-\$ 109.587.486	\$ 647.772.243	\$ 1.415.185.975	\$ 2.192.754.251
<b>SALDO FINAL ACUMULADO</b>	\$ -	-\$ 856.992.755	-\$ 109.587.486	\$ 647.772.243	\$ 1.415.185.975	\$ 2.192.754.251	\$ 2.980.578.615

**Nota.** Para esta tabla se tienen en cuenta todos los ingresos y egresos para el proyecto en los 6 años de análisis.

**Figura 102.**

*Grafico de las utilidades después de impuestos*



**Nota.** Utilidades para el proyecto.

### 5.5 Margen de contribución y punto de equilibrio

De acuerdo con el resultado del precio de venta inicial del servicio se puede mencionar que el margen de contribución o dicho de otra forma, el porcentaje de ganancia por servicio es del 90% debido a que este tipo de servicio no es común dentro de la industria por ser un equipo nuevo y además los dispositivos y accesorios que incluye el servicio son maquinaria muy especializada la cual no es empleada frecuentemente debido a su exclusividad técnica por tanto este análisis da luz verde para poder ser una alternativa viable para el desarrollo de las actividades comerciales de la empresa soporte. Por tanto de acuerdo con el desarrollo comercial del servicio para un escenario pesimista el proyecto generará punto de equilibrio y recuperación de la inversión en 4 años y 4 meses.

**Tabla 61.**  
*Margen de contribución*

RESUMEN DE MARGEN DE CONTRIBUCION							
PRODUCTO	PRECIO DE VENTA	COSTO VARIABLE			MARGEN DE CONTRIBUCION	% DE COSTO	% DE MARGEN DE CONTRIBUCION
		MP o INS	MO	GAS VAR			
SERVICIO DE GANTRY	\$ 1.398.000.000	\$ 139.800.000			\$ 1.258.200.000	10,00%	90,00%

**Nota.** Esta tabla simboliza que Transportes Montejo solo tendrá como costo un 10% del precio total de venta del servicio.

**Tabla 62.**  
*Punto de equilibrio*

DETERMINACION DEL PUNTO DE EQUILIBRIO DE LA EMPRESA								
PRODUCTO	PROYECCION DE VENTA #AÑOS	PRECIO DE VENTA AÑO1	COSTO VARIABLE	MARGEN DE CONTRIBUCION	VENTAS ESPERADAS	PORCENTAJE DE PARTICIPACION EN VENTAS	% DE MARGEN DE CONTRIBUCION	MARGEN DE CONTRIBUCION PROMEDIO PONDERADO
SERVICIO DE GANTRY	6	\$ 1.398.000.000	\$ 139.734.213	\$ 1.258.200.000	\$ 8.600.517.054	100,00%	90,00%	90,00%
					\$ 8.600.517.054	100,00%		90,00%

$$\text{punto de equilibrio} = \frac{\text{costos} + \text{gastos fijos}}{\text{m/c \%}}$$

$$\text{punto de equilibrio} = \frac{5.380.826.470}{90,00\%} = \$ 5.978.696.078$$

**Nota.** Esta tabla representa el ingreso necesario requerido en pesos para lograr punto de equilibrio.

**Tabla 63.**  
*Tiempo en lograr el punto de equilibrio*

DETERMINACION DEL PUNTO DE EQUILIBRIO POR SERVICIO						
PRODUCTO	PUNTO DE EQUILIBRIO EMPRESA	PORCENTAJE DE PARTICIPACION EN VENTAS	PUNTO DE EQUILIBRIO PRODUCTO \$	PRECIO DE VENTA	PUNTO DE EQUILIBRIO UNIDADES	
SERVICIO DE GANTRY	\$ 6.071.896.078	100,00%	\$ 6.071.896.078	\$ 1.398.000.000	5,00	REDONDEADO
					4,34	EXACTAMENTE
<b>CONCLUSION: EL PROYECTO GENERA PUNTO DE EQUILIBRIO EN 4 AÑOS Y 4 MESES</b>						

**Nota.** Esta tabla representa el tiempo necesario requerido para lograr punto de equilibrio.

## 5.6 Viabilidad financiera

Para la viabilidad financiera es importante conocer los dos tipos de tasa que se utilizarán con el fin de saber si es viable invertir o no en el proyecto; y de qué manera este influye en los estados financieros. Es importante conocer el costo beneficio del proyecto, ya que del resultado se pueden dar tres escenarios:

- Resultado es inferior a 1: el proyecto no es viable económicamente y se tendrán que replantear los costos, inversión, o punto de equilibrio, y por ende buscar alternativas o estrategias de mejora.
- Resultado es 1: el proyecto financieramente es estable y no afecta la decisión de inversión, ni las utilidades netas; se encuentra en un punto de equilibrio y es viable para invertir.
- el resultado es superior a 1: el proyecto se encuentra en un estudio financiero viable y por cada unidad ganada después del 1, son puntos positivos (0.5 hacia arriba).

Como se evidenciará en las tasas e impuestos con el cálculo y la aplicación, se concluye que es conveniente invertir y no presenta riesgo a ser no viable.

### Indicadores financieros

**Tabla 64.**

*Indicadores financieros*

<b>T.I.R.</b>	45,18%
<b>V.N.A.</b>	\$ 2.121.779.310
<b>T.I.O.</b>	6,00%
<b>C.A.U.E</b>	-\$ 431.490.617,55

**Nota.** El proyecto muestra indicadores financieros favorables con una tasa interna de oportunidad del 6%.

## Relación costo – beneficio

Tabla 65.

*Relación costo beneficio*

INVERSION	\$ 1.398.000.000
INGRESOS	
AÑO	VENTAS
1	\$ 1.398.000.000
2	\$ 1.411.980.000
3	\$ 1.426.099.800
4	\$ 1.440.360.798
5	\$ 1.454.764.406
6	\$ 1.469.312.050

TIR	45,18%
SUMA INGRESOS	\$ 2.805.596.715
SUMA EGRESOS	\$ 2.861.686.399
COSTOS - INVERSION	\$ 4.259.686.399
BENEFICIO / COSTO	1

**Nota.** En este caso la relación beneficio/costo es 1 y por tanto el proyecto es viable.

Finalmente se realizó una cotización con la compañía internacional Sarens la cual ofertó a la compañía Transportes Montejo una grúa Demag CC6800 de 1250 toneladas de capacidad por mes.

**Tabla 66.***Cotización proveedor que supla la necesidad*

Proveedor	Localización grúa	Descripción	Valor
Sarens	Europa - EEUU	Grúa Celosia sobre Oruga 1250 Ton	€ 181.200
		Movilización Marítima (ida y regreso)	€ 1.120.000
		Vr Total del Servicio en Euros	€ 1.301.200

**Nota.** Costo del servicio en euros para una grúa que supla el proyecto.

**Tabla 67***Cotización proveedor que supla la necesidad en COP*

TRM 02/Abril/2021	\$ 3.661
Descripción	Valor
Grúa Celosia sobre Oruga 1250 Ton	\$ 663.373.200
Movilización Marítima (ida y regreso)	\$ 4.100.320.000
Vr Total del Servicio en COPS	\$ 4.763.693.200

**Nota.** Costos del servicio para una grúa que supla el proyecto en COP.



## 6. CONCLUSIONES

Para un proyecto energético, civil o relacionado con los hidrocarburos en la actualidad las condiciones y los nuevos retos que agobian la parte logística al querer desarrollar mayores capacidades de producción se crea la necesidad de poder contar con aliados estratégicos en el momento de la planeación y ejecución de las grandes obras de ingeniería que permiten el montaje y el manejo de cargas cada vez más extra dimensionadas y pesadas debido a los equipos que los proyectos demandan, por tanto para la ejecución de un servicio de izaje una carga de hasta 280 toneladas, este proyecto compite con grúas del rango de 1250 toneladas hasta 1600 toneladas.

En la actualidad, en Colombia no se encuentra un equipo de izaje de estas capacidades por tanto es necesario realizar la movilización, la importación temporal y el traslado de la grúa al job site y posterior su desmovilización hasta el país de origen, sumando el costo del servicio de izaje. Una grúa de estas proporciones las posee muy pocas empresas a nivel mundial por tanto otro reto que se sumaría es el encontrar la disponibilidad del equipo para traerlo a Colombia.

De acuerdo a los datos de la tabla 67 se puede concluir que el proyecto diseñado ahorraría al cliente final \$ 3.379.393.200 lo cual lo convierte en 3.44 veces más barato.

Adicionalmente en temas técnicos se puede concluir que:

En temas relacionados con el primer objetivo *Estado del arte asociado al manejo de cargas en Colombia*.

- 1- Se describió el contexto del proceso del manejo de cargas en Colombia.
- 2- Se logró contextualizar acerca de la industria del heavy lifting and special transport.
- 3- Se describe los aspectos técnicos y nomogramas para seleccionar un equipo de izaje que sirva para ensamblar el equipo.
- 4- Se describe los aspectos técnicos para entender el porque y el como se valida un equipo de transporte que sirva para la logística asociada al proyecto.

En temas relacionados con el segundo objetivo *Evaluación de alternativas asociadas al sistema estructural*.

- 1- Se analizaron los cuatro pilares fundamentales (operación, mantenimiento, capacidad estructural, y ensamble) para la correcta y segura ejecución de ingeniería para un proyecto de heavy lifting.
- 2- Se delimitó el proyecto para poder pre establecer los puntos de partida del diseño.
- 3- Se ilustró las ventajas y desventajas de una alternativa hidráulica vs alternativa rígida estructural.

En temas relacionados con el tercer objetivo *Diseño del equipo de izaje*.

- 1- El equipo de izaje diseñado es apto para izar 280 toneladas a una altura de 50 metros con un factor de seguridad de la estructura metálica es de 1.75
- 2- El elemento más crítico se encuentra sometido a tensión pura.
- 3- Se debe ensamblar en tierra la armadura antes de elevarse y conectar a las torres.
- 5- Se prohíbe elevar o descender carga mientras el equipo realiza su translación.
- 6- Se necesita de terreno nivelado y compactado para realizar el armado y la operación de izaje.
- 7- El peso bruto vehicular de todo el equipo de izaje es de 661.60 toneladas repartidas en 256 llantas que tiene todo el modular genera una presión al suelo de  $7.75 \text{ ton}/\text{m}^2$  debido a que en un metro cuadrado caben 3 llantas .
- 8- La capacidad portante del terreno como mínimo debe ser de  $7.75 \text{ ton}/\text{m}^2 + 30\%$  de más a criterio de la empresa Transportes Montejo. Es decir  $10 \text{ ton}/\text{m}^2$  para el terreno el cual se encontrará transitando el modular.

En temas relacionados con el cuarto objetivo *Manuales de ensamble, operación y mantenimiento del equipo*.

- 1- Se requieren 2 grúas de 200 toneladas cada una para ensamblar la estructura
- 2- Se requiere 1 grúa de 50 ton con jib y canasta para izar personal y que realice el ensamble.

- 3- Cada sección de las torres se arma en tierra para luego ser izada al conjunto para que solo se ensamblen las juntas de donde inicia y/o termina cada sección de torre.
- 4- Se debe realizar la sujeción de la estructura metálica al modular utilizando tornillos en los orificios que trae el modular en los extremos o laterales y así restringir grados de libertad.
- 5- Las extensiones del sistema estructural superior se conectan por medio de juntas atornilladas
- 6- La sujeción de la base del strand Jack al sistema estructural superior es por medio de tornillo o varilla roscada pasante entre la base del strand Jack y una lámina metálica entre la cuerda superior de la armadura y se aprieta con tuerca de seguridad.
- 7- La velocidad máxima de tránsito con el modular y estructura será de 2 Km/hr.
- 8- De acuerdo a la experiencia de la compañía Transportes Montejo (empresa soporte) se puede concluir que asincronía entre dos equipos modulares autopropulsados como los empleados en este proyecto de grado, es despreciable debido a que como premisa se debe contar obligatoriamente con un terreno nivelado y compactado o de lo contrario la maniobra en campo es inviable.
- 9- Los equipos Modulares autopropulsados tienen una capacidad de transitar por pendientes en ascenso y descenso de hasta el 15% sin embargo como lo ya mencionado en el punto anterior, se prohíbe totalmente el tránsito con el equipo modular y el equipo de izaje en un terreno que no se encuentre nivelado y compactado.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G.Arlin, [En línea]. Available: <https://www.gruasarlin.com/maniobra-gruas-glosario-terminos/#:~:text=Estrobos%3A%20Son%20cables%20de%20acero.> [Último acceso: 20 10 2020].
- [2] SLIDESHARE, «SLIDESHARE,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/yanetyolanda/izaje-seguro-75875598>. [Último acceso: 20 10 2020].
- [3] Asociacion Colombiana de Ingenieria Sísmica, Reglamento colombiano de construccion sismo resistente NSR10, Bogotá D.C, 2010.
- [4] G. D. Escobar, «<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3243>,» 23 05 2009. [En línea]. [Último acceso: 2020].
- [5] J. E. Martinez Hoyos, Interviewee, *historia del manejo de cargas en Colombia*. [Entrevista]. 18 06 2020.
- [6] Transportes Montejo, «Repositorio de imagenes».
- [7] Parts supply worldwide BV, «Crane parts supply,» [En línea]. Available: <https://www.cranepartssupply.com/es/actualizacion-de-la-grua/sistema-de-seguridad-de-grua#:~:text=con%20sistema%20LMI-,Seguridad%20de%20gr%C3%BAas%20con%20sistema%20LMI,los%20espectadores%20contra%20situaciones%20inseguras..> [Último acceso: 02 08 2020].
- [8] LIEBHERR, Influencias del viento en la operacion con grúas, 2017.
- [9] Gruas y aparejos, «[gruasyaparejos.com](http://gruasyaparejos.com),» 22 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.gruasyaparejos.com/grua-telescopica/clasificacion-de-gruas/>. [Último acceso: 04 08 2020].
- [10] L. K. Shapiro y J. P. Shapiro, *Cranes and Derricks*, Mc Graw Hill, 2011.
- [11] Enerpac, «[Enerpac.com](http://enerpac.com),» [En línea]. Available: <https://www.enerpac.com/en-gb/strand-jacks/GBStrandJacksHydraulic>. [Último acceso: 07 08 2020].
- [12] Mammoet, «[Youtube.com](http://youtube.com),» 23 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=lzFilfrHUVU>. [Último acceso: 07 08 2020].
- [13] Enerpac, «User Manual SCC v ENG,» 2011.
- [14] A. Creus, *Instrumentacion industrial*, Alfaomega, 2016.
- [15] Western, «[Westernmechanical.net](http://westernmechanical.net),» [En línea]. Available: <http://www.westernmechanical.net/projects/cn-railway-bridge-span-replacement-project-in-sainte-anne-de-bellevue-near-montreal/>. [Último acceso: 09 08 2020].
- [16] Mammoet, «[Khl.com](http://khl.com),» Mammoet, 02 03 2020. [En línea]. Available: <https://www.khl.com/international-cranes-and-specialized-transport/mammoet-installs-1500-ton-airport-bridge/142604.article>. [Último acceso: 09 08 2020].

- [17] Mammoet, «Youtube.com,» 28 11 2016. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=sX-DClyDeLo>. [Último acceso: 09 08 2020].
- [18] ASME, «ASME B30.1 2015,» 2015.
- [19] D. Duerr, «Gantry system stability,» de *Telescopic hydraulic gantry systems*, 2DM Associates inc, 2013, p. 112.
- [20] Industrial Training International, «<https://www.slideshare.net/>,» 22 03 2016. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/jonahhobson/re140-alternative-load-handling-equipment-applications-engineering>. [Último acceso: 16 08 2020].
- [21] A. Dahm, «Testing completed on DLT 5,000 tonne jacking tower system,» *International cranes and specialized transport* , p. 1, 2015.
- [22] P. E. Rivera, «04b Metodos de desicion multicriterio,» Bogotá, 2017.
- [23] UNE-EN, «UNE-EN 13000:2010+A1,» de *Aparatos de elevacion de carga suspendida* , Madrid, 2014.
- [24] H. Ernest, *Aparatos de elevacion y transporte tomo 1*, Barcelona: Blume, 1970.
- [25] J. R. Vilorio, «Prontuario de hidraulica industrial,» de *Cilindros hidraulicos* , paraninfo, 2001.
- [26] Manitowoc, «Calculadora de presiones ejercidas al suelo,» [En línea]. Available: <https://www.manitowoc.com/es/soporte/calculadora-de-carga-de-la-base-del-estabilizador-para-modelos-antiguos-gmk>. [Último acceso: 11 04 2021].
- [27] Goldhofer, «Hidronico PST».

## GLOSARIO

**ANSI:** Instituto Nacional Americano de Estándares.

**Aparejador:** Es el auxiliar del operador de la grúa, el cual se encarga de estrobar la carga o instalar los aparejos a la misma.

**Aparejo:** Todo aquel dispositivo con el cual se realiza la sujeción de una carga al gancho de la grúa, como por ejemplo eslingas, estrobos y grilletes.

**Boom:** Cada una de las partes mecánicas de extensión del brazo.

**Carga nominal o máxima:** peso máximo de la carga.

**Centro de rotación:** Es la marca del centro o punto central de rotación del equipo, desde el que se mide el radio de operación para el izaje.

**Cilindros hidráulicos:** Son dispositivos hidráulicos utilizados en los equipos de izaje para realizar movimientos tales como de levante, extensión o retracción de componentes del equipo.

**Equipo Modular:** Es un equipo de transporte especial con la posibilidad de unir varias líneas o ejes y poder configurar hidráulicamente sus puntos de estabilidad y adaptarse a las condiciones del terreno con la ayuda de su suspensión especial y gran maniobrabilidad a la hora de realizar giros críticos.

**Eslingas:** Elementos sintéticos que son usados para izar carga, tienen ojales en sus extremos o son sin fin y su característica principal es que son flexibles y de diferentes capacidades de carga. [1]

**Estabilizadores:** Cada uno de los elementos de anclaje de la grúa.

**Estrobos:** Cables de acero que en sus extremos poseen ojales y sirven para izaje de carga, son más rígidos que las eslingas. [1]

**Grillete:** Elementos de acero, cerrados por un pasador especial donde se puede colocar el eslabón maestro y los ojales de los estrobos, de las eslingas, etc. [2]

**Izaje:** elevación de carga en todas sus direcciones (arriba, abajo, a los lados).

**LMI:** Dispositivo digital que indica el momento de carga.

**Method Statement:** Documento técnico que proporciona el paso a paso de operaciones como algún montaje, describiendo también pre operacional y también condiciones de seguridad y riesgos.

**Pads crane:** o repartidor de carga, se usa para distribuir la carga puntual generada por el estabilizador de la grúa transmitida al suelo

**Pandeo:** Estado limite e inestabilidad lateral del alma. [3]

**Pandeo local:** Estado limite consistente en el pandeo de un elemento de una sección transversal cuando es solicitado por compresión. [3]

**Perfil tubular estructural (PTE):** Sección hueca de acero estructural, de forma cuadrada, rectangular o circular, producida de conformidad con una especificación para productos tubulares. [3]

**Platina de diafragma:** Platina con rigidez y resistencia a cortante en su plano, que se usa para transferir fuerzas a los elementos de soporte. [3]

**Polea:** Dispositivo que guía una línea de carga.

**Pórtico:** Estructura metálica usada para soportar cargas verticales y/o vigas.

**Pórtico arriostrado:** Armadura vertical que proporciona estabilidad y resistencia frente a las cargas laterales al sistema estructural del cual forma parte. [3]

**Radio de operación:** Distancia horizontal existente entre el centro de rotación de la grúa y el centro de gravedad de la carga a manejar en cualquier momento de la operación.

**Rigidizador:** Elemento estructural, usualmente un ángulo o una platina, que se incorpora a un miembro para distribuir carga, transferir cortante o prevenir pandeo. [3]

**Rigidizador diagonal:** Rigidizador del alma en la zona de panel de la columna, orientado diagonalmente con respecto a las aletas, sobre uno o ambos lados del alma. [3]

**Rigidizador transversal:** Rigidizador del alma, conectado a ella y orientado perpendicularmente a las aletas. [3]

**Riostra diagonal:** En un pórtico arriostrado, miembro estructural inclinado que esta solicitado básicamente por carga axial. [3]

**Riostra nodal:** Riostra que impide el desplazamiento lateral o el giro sin depender de otros elementos de arriostramiento a puntos adyacentes. [3]

**Riostra relativa:** Riostra que controla el desplazamiento relativo entre dos puntos adyacentes de arriostramiento a lo largo de una viga o columna, o el desplazamiento lateral relativo entre dos pisos de un pórtico. [3]

**Smartbox:** Controlador automatizado para realizar la operación del Strand Jack.

**Spreader (palomier):** Es una estructura utilizada para el izaje de cargas la cual permite que los estrobos queden lo más verticalmente posible, evitando contactos y fuerzas hacia el interior que puedan afectar o dañar la carga.

**Strand Jack:** Dispositivo de izaje en vertical, con cableado conformado por mordazas accionadas hidráulicamente usado para levantar cargas a largas distancias.

**Tabla de capacidades:** Documento que indica las cargas absolutas máximas permisibles basadas en las limitaciones estructurales y de estabilidad de la grúa ante determinadas condiciones. Es aquella tabla elaborada por el fabricante de la grúa donde se especifica la capacidad, radio de operación, longitud de la pluma, radio de giro de la máquina y las condiciones generales bajo las cuales son válidas las capacidades indicadas.

**Tornamesa:** Elemento de máquina proporcionado para poder realizar el giro de una carga 360°.



**Trincado:** Es el aseguramiento de una carga por medio de cadenas o cinchas.

## **ANEXOS**

## **ANEXO 1**

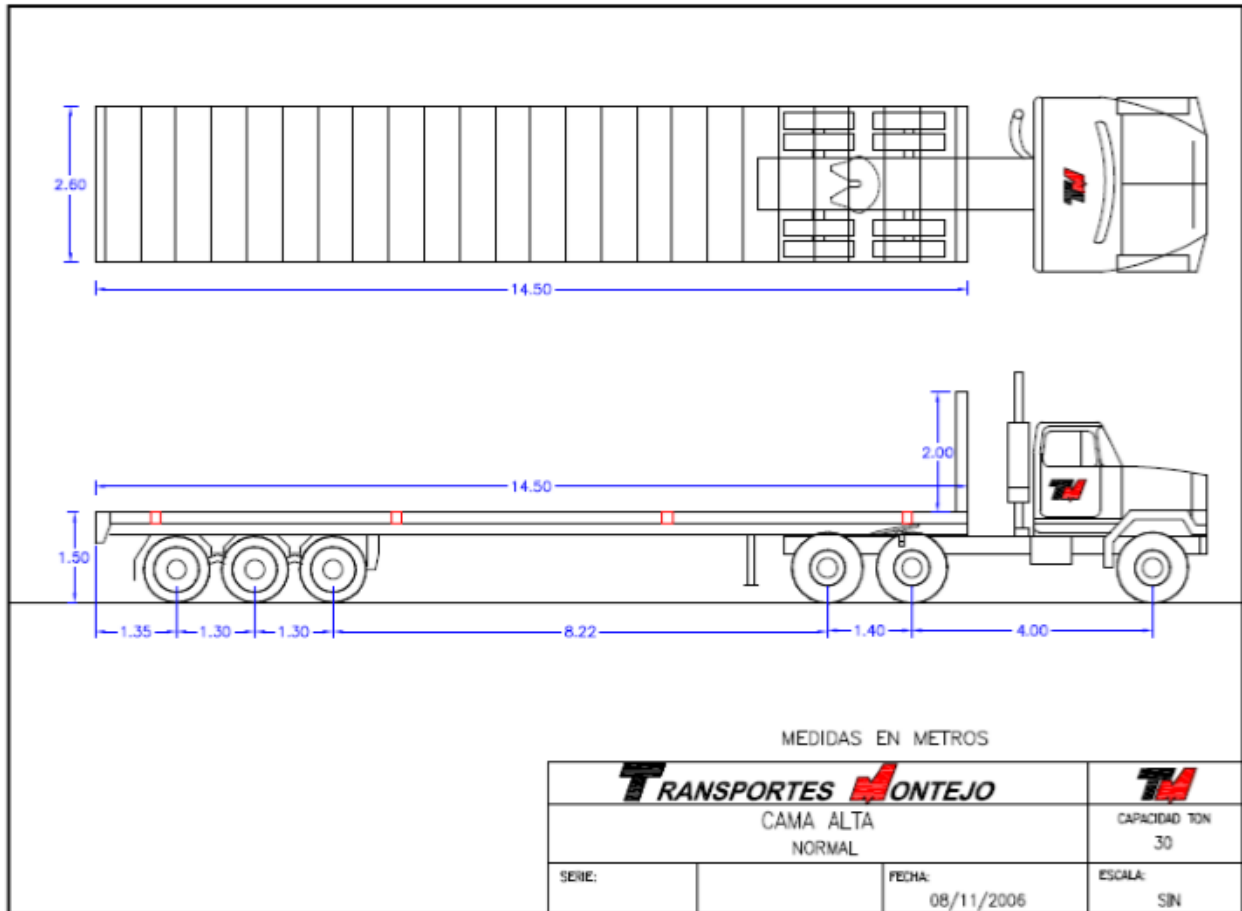
### **RECOMENDACIONES**

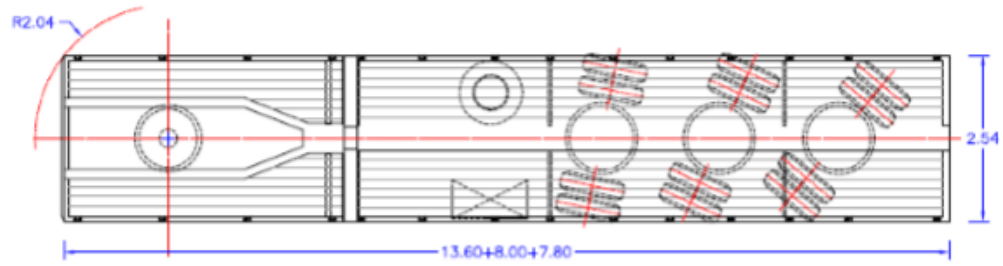
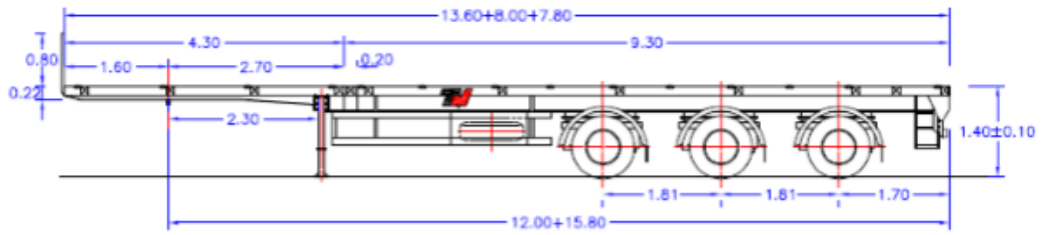
Durante el desarrollo del proyecto se evidencio que es importante analizar los impactos ambientales inherentes a la disposición final de los insumos a utilizar como eslingas, grilletes, estrobos y aceite hidráulico.

Adicionalmente se recomienda que en el momento de transportar todas las cargas con los componentes del proyecto a cualquier parte de Colombia, se haga un trincado y aseguramiento de las cargas, así mismo se recomienda usar 2 grúas telescópicas de 200 toneladas de capacidad para el montaje de las secciones del equipo y una grúa telescópica de 55 toneladas como grúa auxiliar con canasta para personal, también se debe tener presente que en el momento de ensamblar todo el equipo de izaje no deben haber cuerdas eléctricas cerca de la zona, así mismo se debe acordonar el área de trabajo y conocer la capacidad portante del terreno.

## ANEXO 2

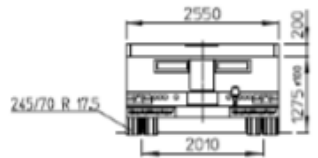
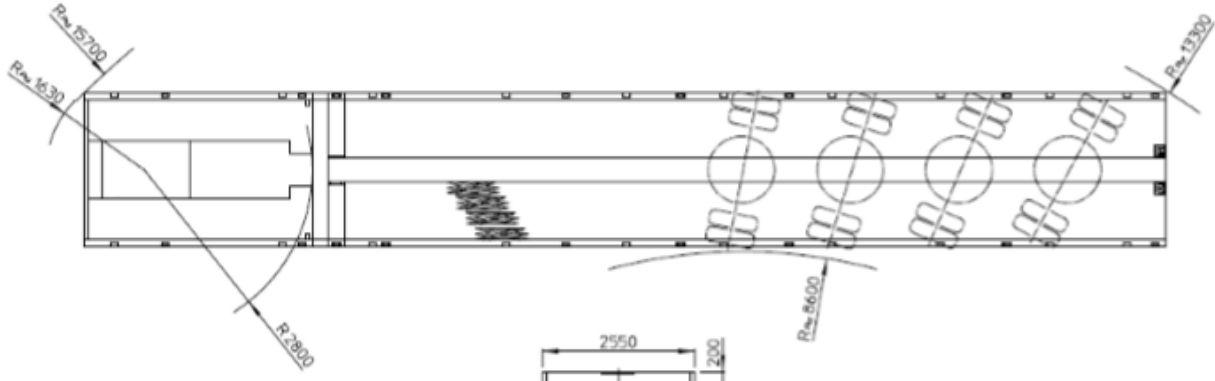
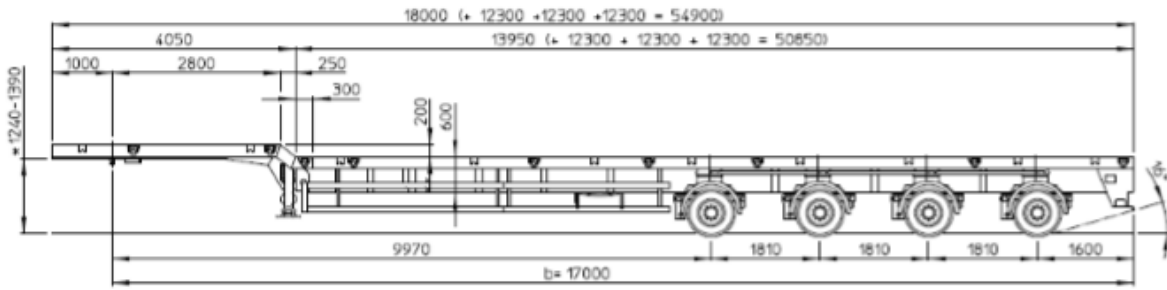
### PLANOS DE LOS EQUIPOS DE TRANSPORTE REFERENCIADOS EN LA TABLA 1. GENERALIDADES DEL TRANSPORTE ESPECIAL DE CARGA





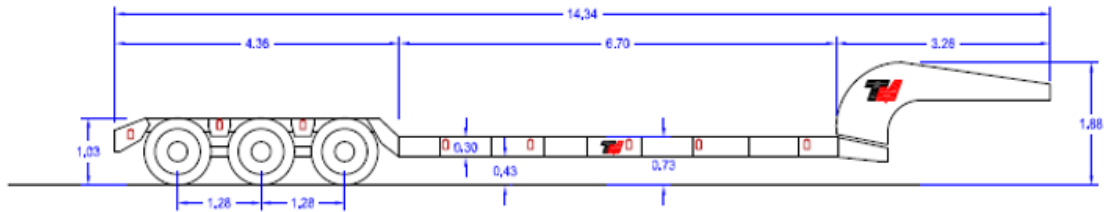
MEDIDAS EN METROS

<b>T</b> TRANSPORTES <b>MONTEJO</b>			<b>TM</b>
CAMA ALTA - A FAYMONVILLE-3 EJES			CAPACIDAD TON 35
PESO EQUIPO:	PLACA: T7728	FECHA: 14-12-2010	ESCALA: 1:75



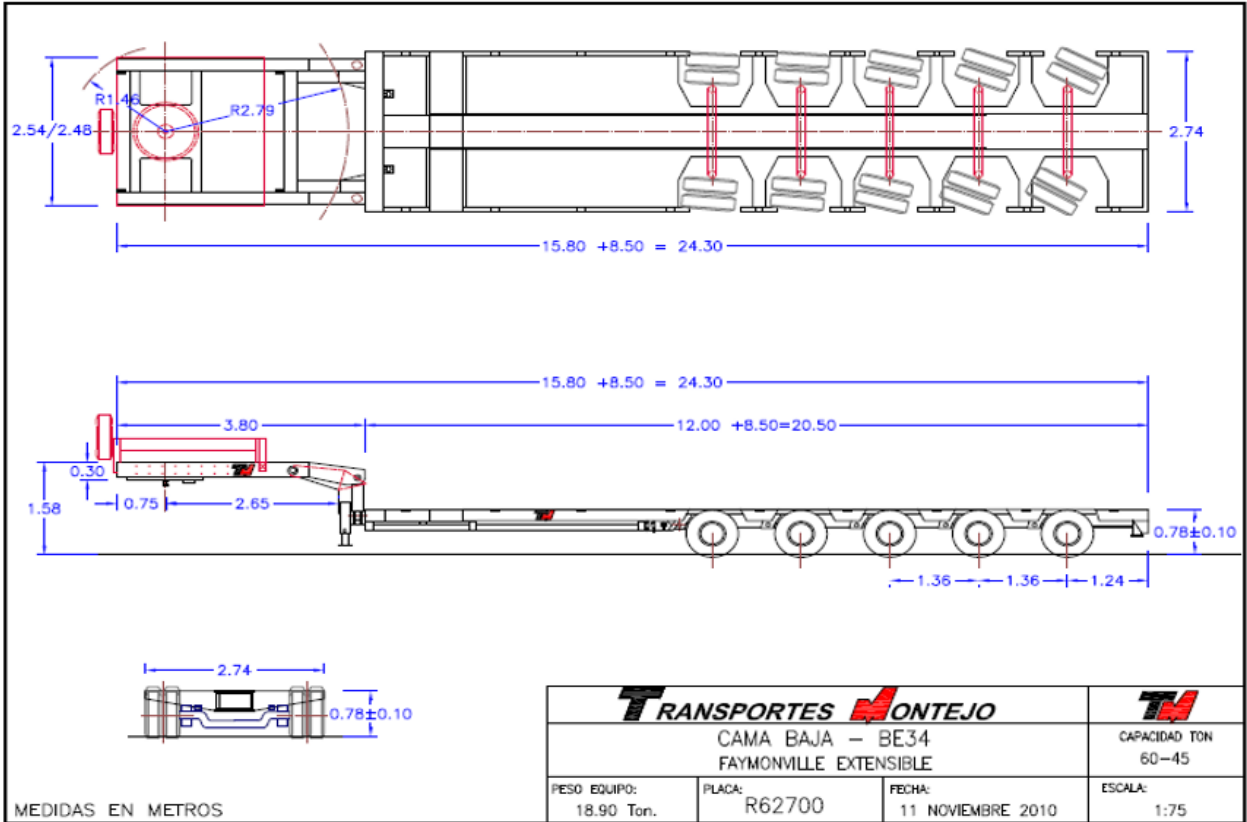
\* = beladen / laden  
 Technische Änderungen vorbehalten / Subject to technical alterations

SPZ-GL 4 (245) AAA			
LF 18000			
3060031	C	/ 03.09.2019	VP7987
<small>Druck</small>	<small>Version</small>	<small>Modifiziert am</small>	<small>By</small>



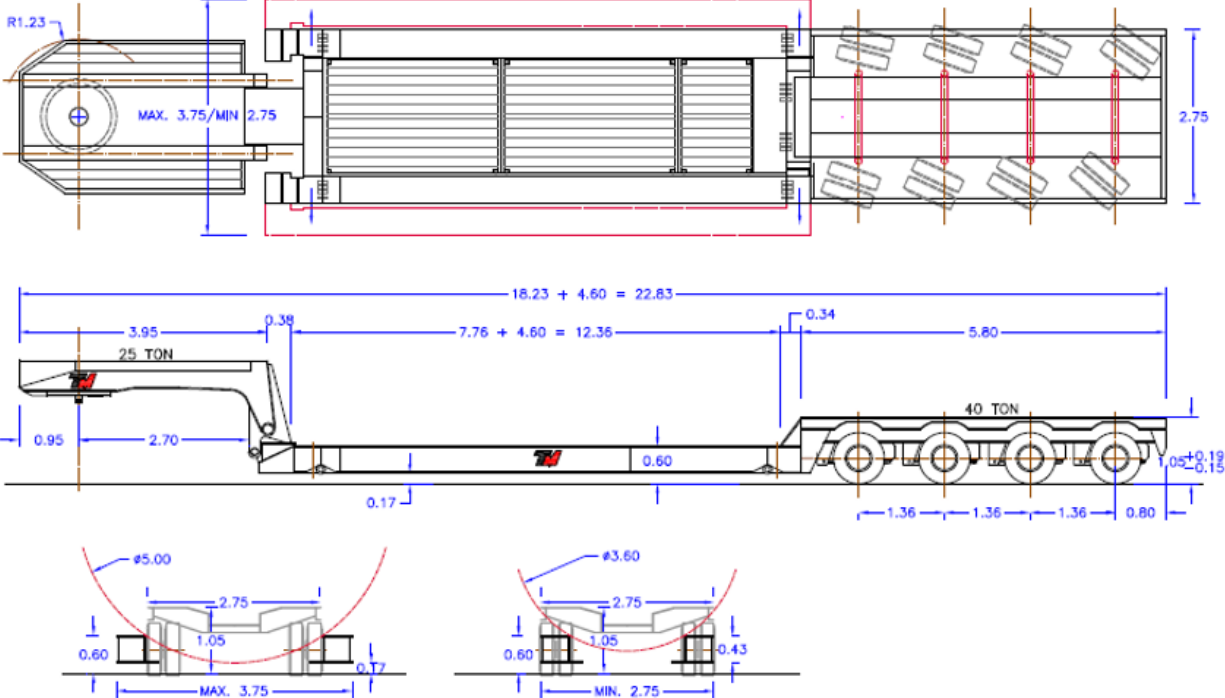
MEDIDAS EN METROS

<b>T TRANSPORTES MONTEJO</b>			<b>TU</b>
CAMA BAJA - PHELAN (NEGRO) CUELLO QUITABLE - B2			CAPACIDAD TON 52
PESO EQUIPO: 17,00 Ton	PLACA: R25088	FECHA: 21 OCTUBRE 2010	ESCALA: 1:75



MEDIDAS EN METROS

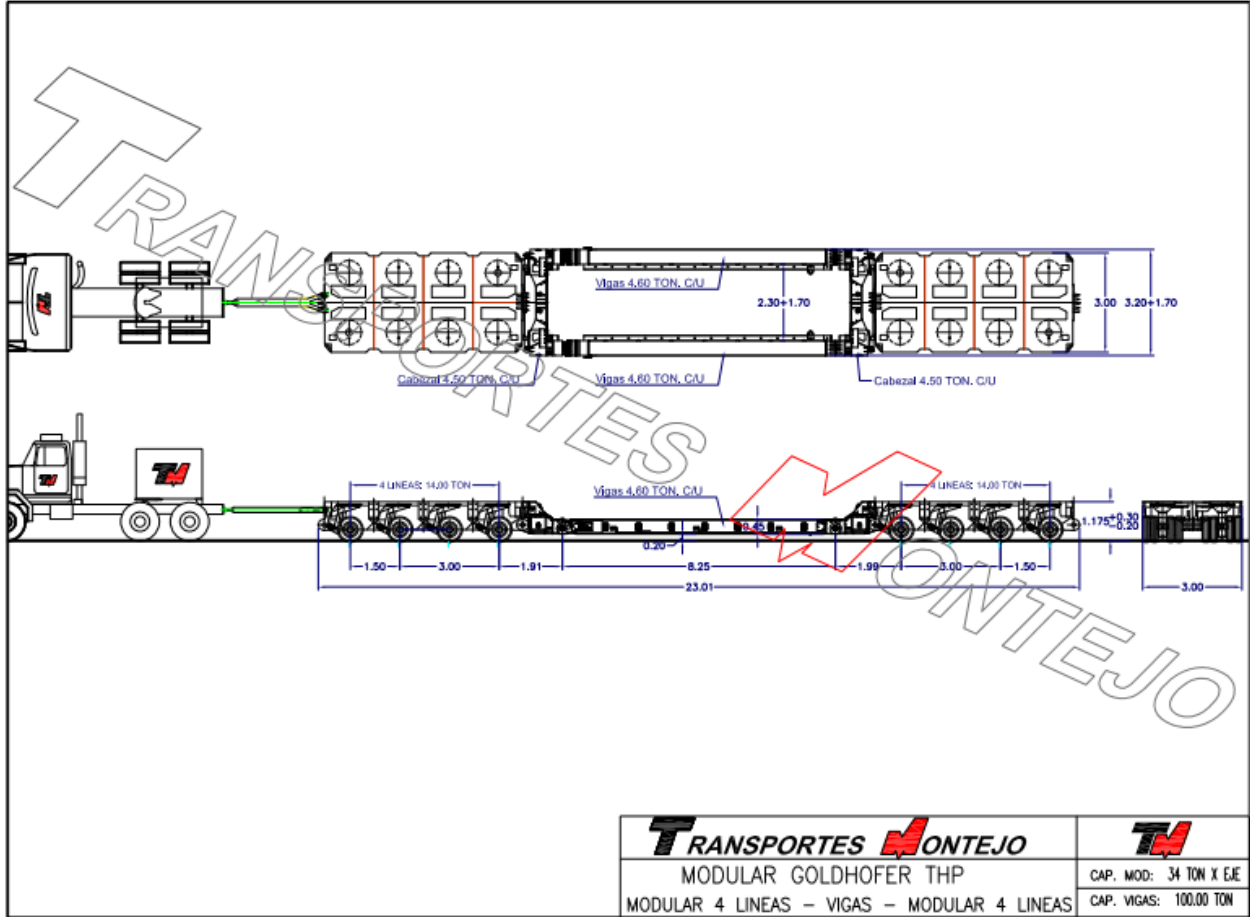




MEDIDAS EN METROS

Nota: Plna cada 1.0 m

<b>T TRANSPORTES MONTEJO</b>			<b>TW</b>
CAMA BAJA - BE31 FAYMONVILLE EXTENDIBLE LATERAL-AMARILLO			CAPACIDAD TON 65
PESO EQUIPO: 25.00 Ton	PLACA: T7511	FECHA: 11 NOVIEMBRE 2010	ESCALA: 1:75



<b>T</b> TRANSPORTES <b>M</b> MONTEJO		
MODULAR GOLDHOFER THP		CAP. MOD: 34 TON X EJE
MODULAR 4 LINEAS - VIGAS - MODULAR 4 LINEAS		CAP. VIGAS: 100.00 TON

## **ANEXO 3**

**MEMORIA DE CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DEL EQUIPO DE  
IZAJE PARA OPERACIONES MULTIMODALES PARA LA COMPAÑÍA  
TRANSPORTES MONTEJO S.A.S**

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
1. OBJETIVO Y ALCANCE	5
2. ESPECIFICACIONES GENERALES	7
3. EVALUACION DE CARGAS	8
3.1 CARGA MUERTA	8
3.2 CARGA VIVA	8
3.3 CARGA DE VIENTO	8
3.4 CARGA DE SISMO	9
4. COMBINACIONES DE CARGA	10
4.1 COMBINACION DE CARGA	10
5. ANALISIS ESTRUCTURAL	11
5.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES	11
5.2 FRAME SECTIONS (ELEMENTOS ESTRUCTURALES)	13
5.3 JOINTS (NODOS O UNIONES ESTRUCTURALES)	14
6. CARGAS	16
6.1 CARGA VIVA	16
6.2 CARGA SISMO EN X	17
6.3 CARGA SISMO EN Y	18
6.4 CARGA VIENTO EN X	19
6.4 CARGA VIENTO EN Y	20
7. REACCIONES	21
7.1 ASIGNACIONES DE CARGAS	21
7.2 REACCIONES EN LAS ARTICULACIONES Y APOYOS	21
8. SISMO	31
9. DESPLAZAMIENTOS	32
10. ESFUERZOS	60
11. CONEXIONES METALICAS	79
BIBLIOGRAFÍA	88

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ensamble de la estructura	11
Figura 2. Representación de los perfiles de la estructura	12
Figura 3. Representación de los elementos parte 1	13
Figura 4. Representación de los nodos	14
Figura 5. Detalle del sistema estructural superior	15
Figura 6. Representación de las cargas	16
Figura 7. Representación de cargas de sismo en X	17
Figura 8. Representación de cargas de sismo en Y	18
Figura 9. Representación de cargas de viento en x	19
Figura 10. Representación de cargas de viento en Y	20
Figura 11. Estado general de esfuerzos	73
Figura 12. Tensor de esfuerzos en elementos tridimensionales	75
Figura 13. Propiedades del material representados en sap2000	77
Figura 14. Representación de la conexión metálica de la estructura	79
Figura 15. Platina que lleva el tubo	79
Figura 16. Representación del diseño de la platina a cortante	81
Figura 17. Detalle de la platina que será ensamblada a la platina de los tubos	82
Figura 18. Detalle de la platina que sujeta la conexión	83
Figura 19. Detalle de la platina que sujeta la conexión	83
Figura 20. Detalle de la platina que sujeta la conexión	83
Figura 21. Detalle de la platina que sujeta la conexión	84
Figura 22. Diseño de platina a cortante	86

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Características de los tubos	5
Tabla 2. Características de las armaduras	6
Tabla 3. Especificaciones generales de la estructura	7
Tabla 4. Asignaciones de cargas	21
Tabla 5. Reacciones en los apoyos	21
Tabla 6. Fuerzas resultantes por amenaza sísmica	31
Tabla 7. Desplazamientos en los nodos	32
Tabla 8. Tabla resumen de esfuerzos en los elementos	60
Tabla 9. Discretización de esfuerzos en elementos tipo columna	61
Tabla 10. Discretización de esfuerzos en elementos tipo viga	64
Tabla 11. Discretización de esfuerzos en elementos tipo Riostra	66
Tabla 12. Discretización de esfuerzos en elementos del sistema estructural superior	71
Tabla 13. Discretización de fuerzas resultantes en elementos del sistema estructural superior	72
Tabla 14. Estado de esfuerzos para el elemento más crítico	74
Tabla 15. Diseño de conexión a tensión	80
Tabla 16. Diseño de conexión a cortante	81
Tabla 17. Diseño a tensión de la platina que sujeta la conexión	84
Tabla 18. Diseño a cortante de la platina que sujeta conexión	86

# 1. OBJETIVO Y ALCANCE

Como parte del proyecto de grado en ingeniería mecánica que exige la fundación universidad de América se realiza el cálculo estructural de cada nodo y elemento que compone la construcción de dos torres de 48 metros de alto y armaduras superiores del sistema estructural del equipo de izaje para operaciones multimodales el cual soportan a 4 dispositivos Strand Jack los cuales izaran cada uno setenta (70) toneladas para un total de doscientos ochenta (280) toneladas a izar.

Para efectos del cálculo el proyecto se ubicará en la ciudad de Villavicencio en el departamento del Meta. Se realizó un modelo 3D en el software SAP2000 versión 20 y así poder obtener resultados del análisis ante cargas vivas, muertas, sísmicas y de viento.

Una vez se obtengan los resultados se podrá analizar e inspeccionar todos factores y/o esfuerzos mecánicos que se generan sobre los nodos y elementos de la estructura, de esta forma se puede determinar la viabilidad operativa y técnica para garantizar la integridad estructural de cada componente del equipo dentro de las combinaciones de carga solicitadas por diseño:

$$1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W$$

Para los elementos de las dos torres se analizará bajo la siguiente característica:

**Tabla 1.**

*Características de los tubos*

PERFIL	MATERIAL
HSS 10 X 0,5	ACERO A500 Gr B

**Nota.** Descripción del perfil a utilizar para las torres

Para los elementos del sistema estructural superior se analizará bajo la siguiente característica:

**Tabla 2.**  
*Características de las armaduras*

<b>ARMADURA TRANSVERSAL</b>		
<b>SECTOR</b>	<b>PERFIL ARMADURA</b>	<b>MATERIAL</b>
CUERDAS SUPERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.500 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
CUERDAS INFERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.500 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
POSTES O COLUMNAS	HSS 2-1/2" X 0.125	ACERO A500 GRB
<b>ARMADURA LONGITUDINAL</b>		
<b>SECTOR</b>	<b>PERFIL ARMADURA</b>	<b>MATERIAL</b>
CUERDAS SUPERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.625 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
CUERDAS INFERIORES (VIGAS)	HSS 10X0.625 CATÁLOGO AISC	ACERO A500 GRB
POSTES O COLUMNAS	HSS 5" X 0.500	ACERO A500 GRB

**Nota.** Descripción de las características de las armaduras a emplear.



## 2. ESPECIFICACIONES GENERALES

**Tabla 3.**

*Especificaciones generales de la estructura*

<b>Tipo de estructura</b>	<p>Sistema tridimensional conformado por dos columnas arriostradas y armaduras superiores la cual soportan 4 equipos de izaje.</p> <p>Las dimensiones del todo el equipo son: 25,80 m X 12,00 m X 50,22 m</p> <p>Las torres se ensamblan a través de tres secciones o niveles las cuales se pre ensamblan con grúas telescópicas en tierra para ser izadas y ensambladas en la torre.</p> <p>La sección 1, tiene una altura de 12,00 metros, la sección 2 tiene una altura de 24,00 metros y la sección 3, una altura de 12 metros.</p>
<b>Extensión de sistema superior del pórtico</b>	14,00 metros – 21,00 metros
<b>Tipo de apoyos</b>	Apoyos articulados en la base y en los extremos de las armaduras
<b>Fachada</b>	Estructura abierta
<b>Arriostramientos</b>	Arriostramientos diagonales alrededor de todas las dos torres con el fin de rigidizar la estructura
<b>Código de diseño</b>	NSR-10, LFRD, AISC, EN13000.
<b>Método de diseño</b>	Resistencia LFRD – Combinación de carga
<b>Análisis estructural</b>	Tridimensional con método de las rigideces con el programa sap2000
<b>Material perfiles</b>	Acero ASTM A500 Gr b

**Nota.** Síntesis de todas las especificaciones y operación.

### 3. EVALUACION DE CARGAS

#### 3.1 CARGA MUERTA

Torre 1 y 2: Peso propio que conforman los elementos de la estructura de cada una de las torres del equipo de izaje.

Armaduras transversales: Peso propio de las dos Armaduras que conforman el sistema estructural superior.

Armaduras longitudinales: Peso propio de las Armaduras longitudinales que conforman el sistema estructural superior.

Strand Jacks: Peso propio de los cuatro Strand Jack que se instalaran al equipo de izaje.

#### 3.2 CARGA VIVA

Carga extra pesada a izar: reacción correspondiente al peso de la pieza o carga que se va a izar y transportar distribuida en cuatro puntos de izaje de los cuales ejercerán el izaje a través de los cuatro Strand Jack.

#### 3.3 CARGA DE VIENTO

La fuerza ejercida por el viento depende de la forma de la estructura y se compone de sobrepresiones y depresiones ejercidas sobre las superficies constituyentes. Se miden y se expresan como múltiplos de la presión dinámica  $q$ :

$$v = cq \left( \frac{kg}{m^2} \right)$$

**Dónde:**

$v$  = Fuerza ejercida por el viento.

$c$  = Coeficiente de  $c$  de sobrepresión y depresión

$q$  = Presión dinámica en servicio o fuera de servicio

$$1,6 * 110 = 176 \left( \frac{kg}{m^2} \right)$$

Distribuida según el área expuesta en los nodos donde se intersectan torres y Armaduras. La evaluación de la incidencia del viento se realizó en las herramientas de análisis de SAP 2000 De la cual se definió dos direcciones de viento:

- Viento en X

- Viento en Y

### **3.4 CARGA DE SISMO**

De acuerdo a la NSR-10:

Zona de amenaza sísmica: Alta

Aceleración horizontal  $A_a$ : 0,35

Velocidad horizontal  $A_v$ : 0,30

Coefficiente de importancia:  $I=1,00$

Coefficiente de amplificación  $F_a$ : 1,15

Coefficiente de amplificación  $F_v$ : 1,5

La evaluación del sismo se realizó en las herramientas de análisis auto seismic loads de SAP 2000 De la cual se definió dos direcciones de sismo en la herramienta:

- Sismo en X
- Sismo en Y

## 4. COMBINACIONES DE CARGA

Para el análisis de todo el conjunto estructural metálico se tomará en cuenta las combinaciones de carga con sus respectivas mayoraciones de acuerdo a la norma NSR-10 para Colombia.

### 4.1 COMBINACION DE CARGA

$$1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W$$

Corresponde al método de estado límite de resistencia con cargas muertas, vivas, viento y sísmicas, La evaluación de sus desplazamientos, reacciones en los apoyos, análisis del comportamiento sísmico, análisis del comportamiento de la influencia del viento en la estructura, esfuerzos máximos, esfuerzos cortantes máximos en la estructura y el peso muerto del ensamble.

Dónde:

D=Carga Muerta

L= Carga viva

Q= Carga sismo

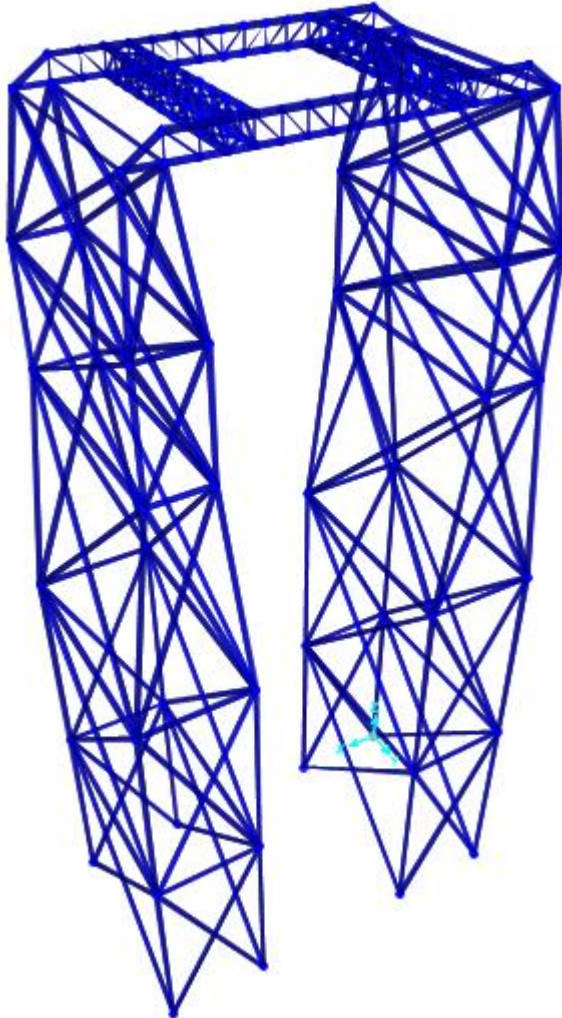
W= Carga de viento

## 5. ANALISIS ESTRUCTURAL

### 5.1 ELEMENTOS ESTRUCTURALES

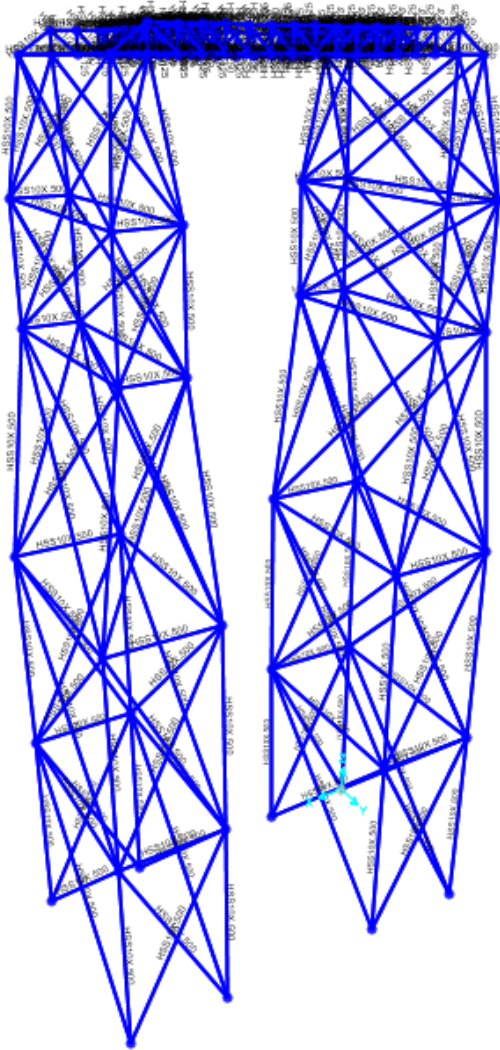
**Figura 1.**

*Ensamble de la estructura*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000

**Figura 2.**  
*Representación de los perfiles de la estructura*

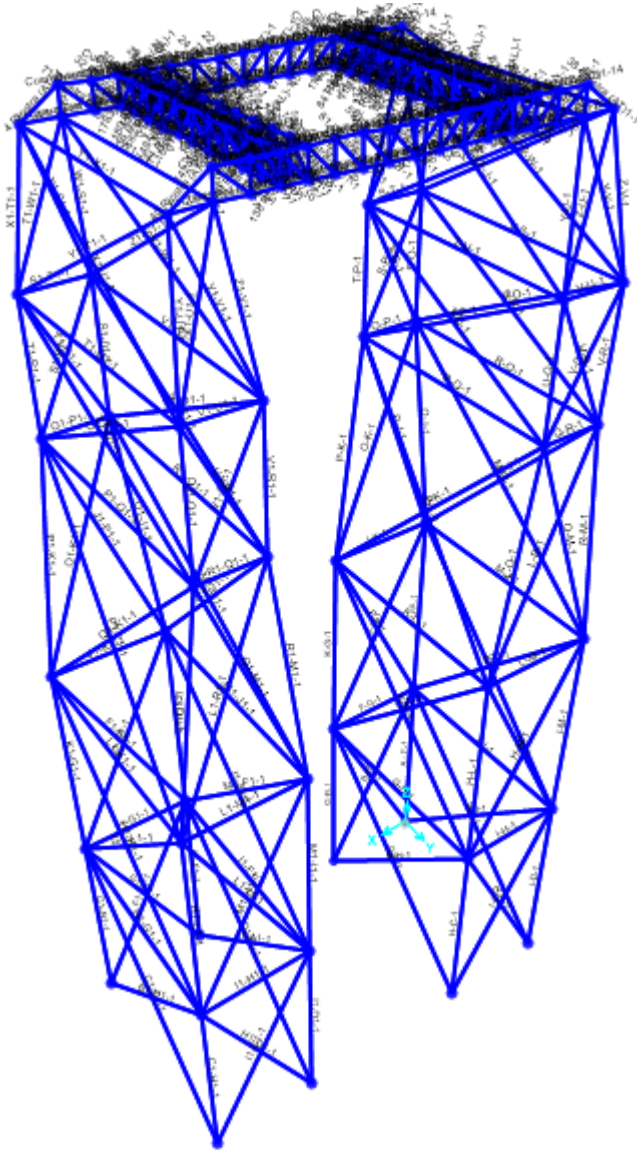


**Nota.** Construido en el software SAP 2000

## 5.2 FRAME SECTIONS (ELEMENTOS ESTRUCTURALES)

**Figura 3.**

*Representación de los elementos parte 1*

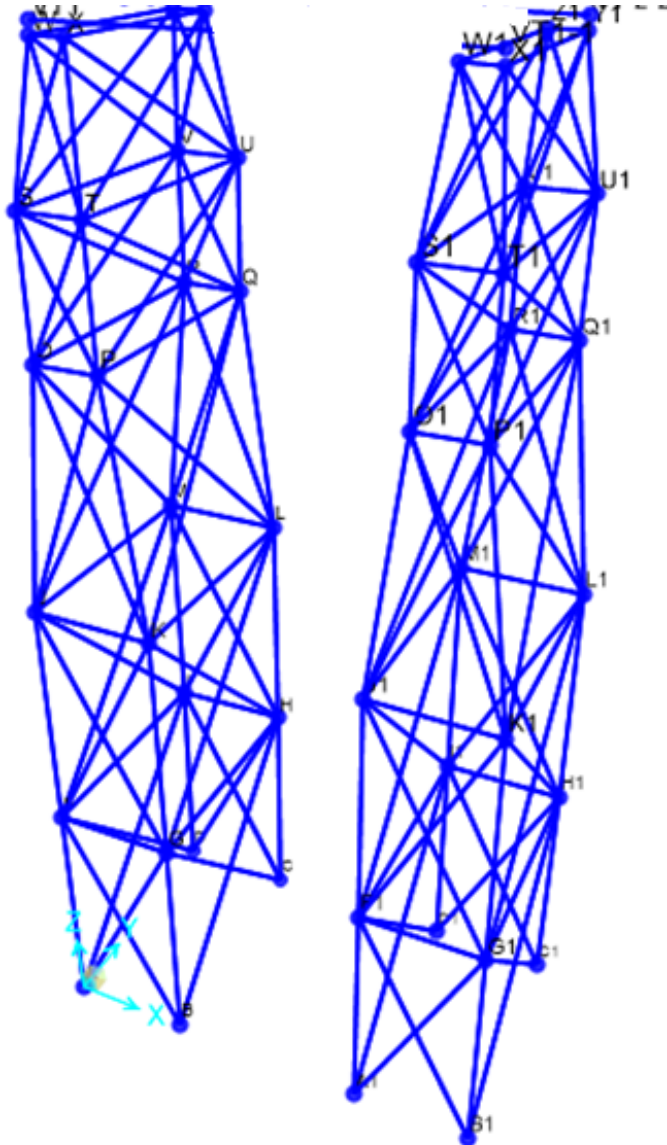


**Nota.** Construido en el software SAP 2000

### 5.3 JOINTS (NODOS O UNIONES ESTRUCTURALES)

**Figura 4.**

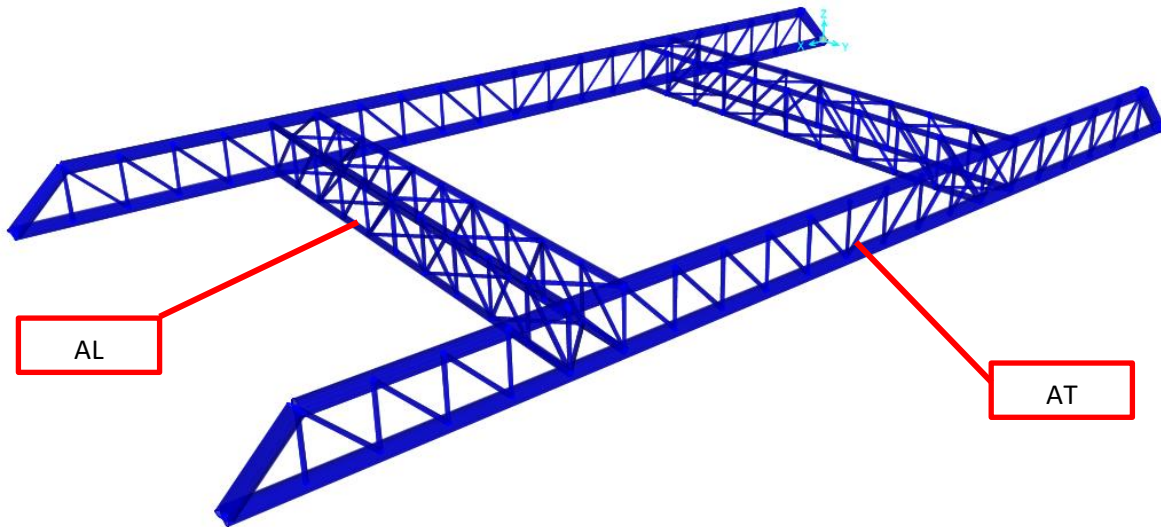
*Representación de los nodos*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000



**Figura 5.**  
*Detalle del sistema estructural superior*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000 Donde:

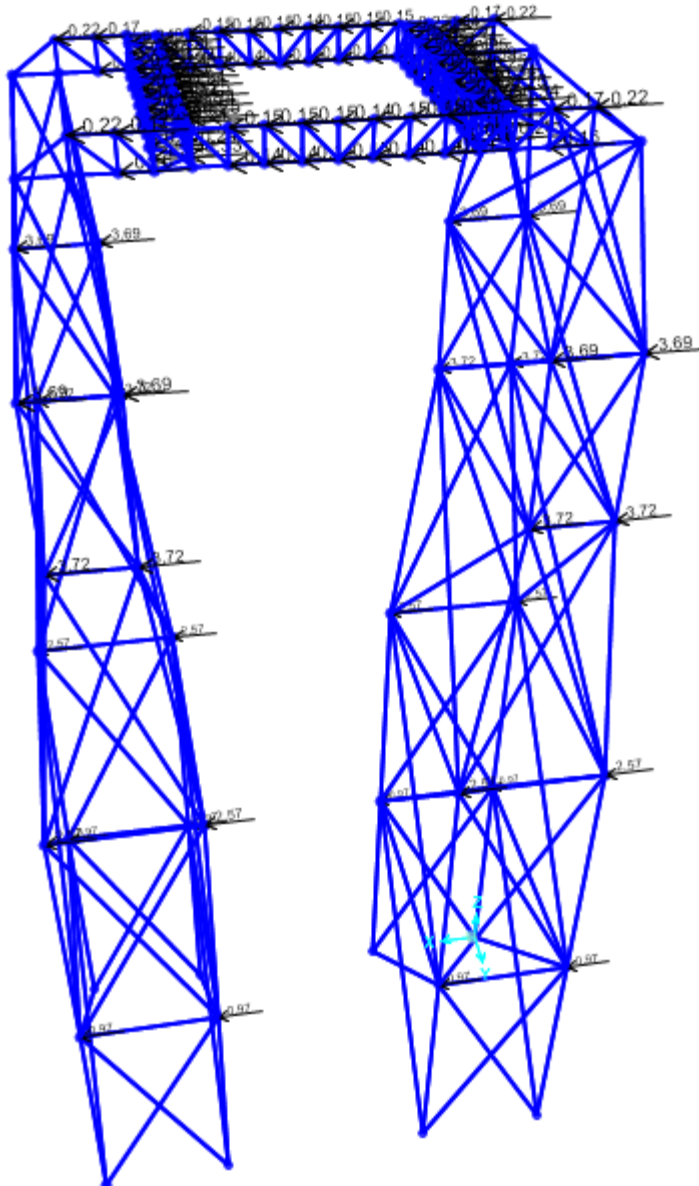
AT: Armadura transversal

AL: Armadura longitudinal



## 6.2 CARGA SISMO EN X

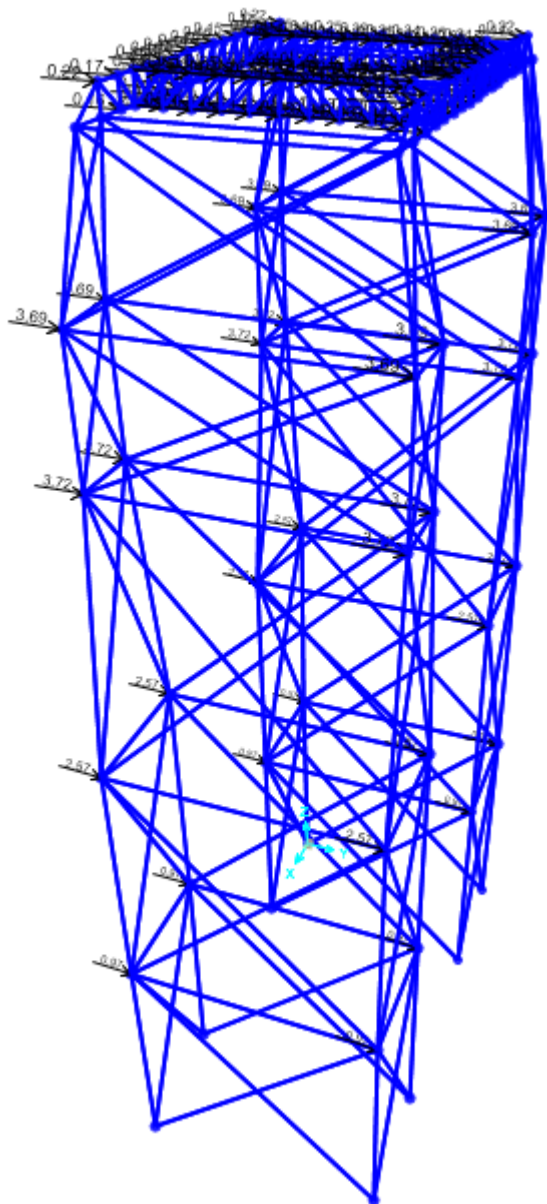
**Figura 7.**  
*Representación de cargas de sismo en X*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000

### 6.3 CARGA SISMO EN Y

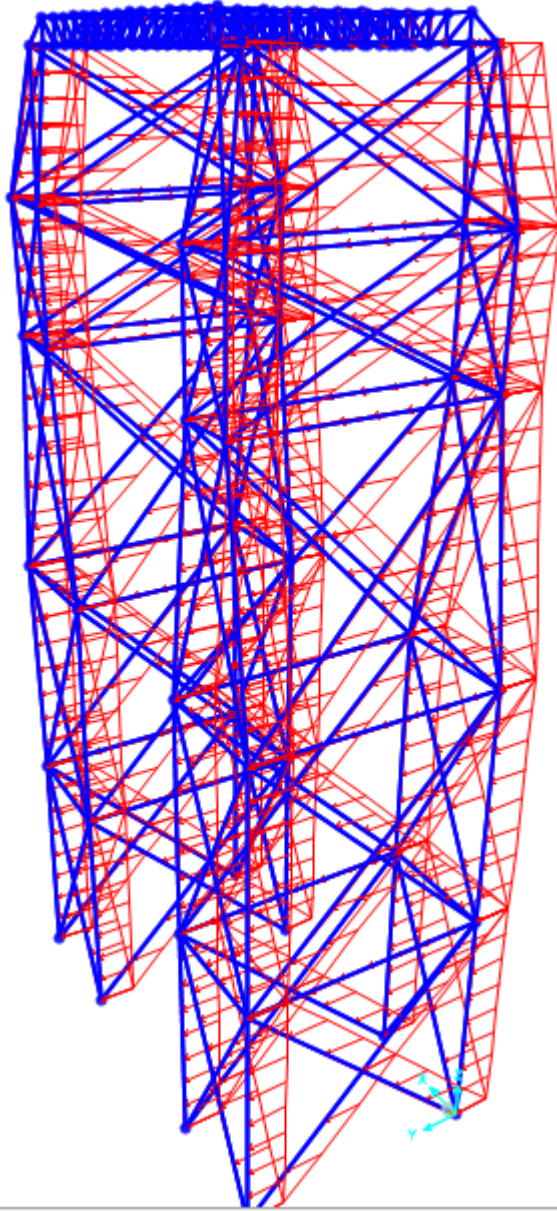
**Figura 8.**  
*Representación de cargas de sismo en Y*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000

## 6.4 CARGA VIENTO EN X

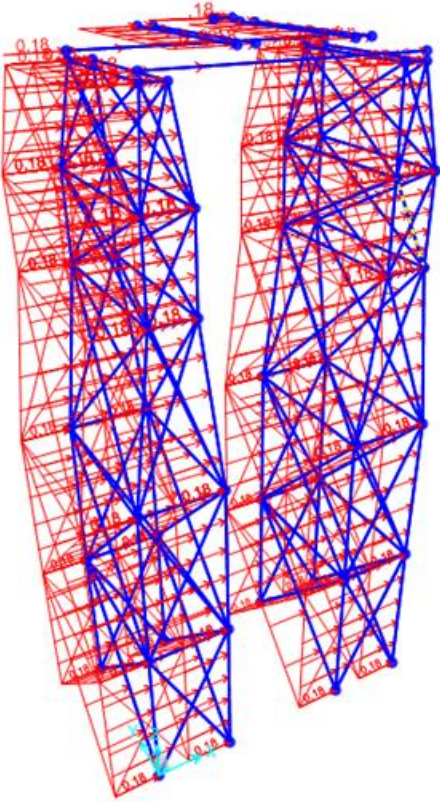
**Figura 9.**  
*Representación de cargas de viento en x*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000

## 6.4 CARGA VIENTO EN Y

**Figura 10.**  
*Representación de cargas de viento en Y*



**Nota.** Construido en el software SAP 2000

## 7. REACCIONES

### 7.1 ASIGNACIONES DE CARGAS

**Tabla 4.**

*Asignaciones de cargas*

TABLE: Case - Static 1 - Load Assignments		Asignaciones de carga	
Case	LoadType	LoadName	LoadSF
Text	Text	Text	Unitless
Sismo en x-LFRD	Load pattern	Sismo en X	0,5
Sismo en Y-LFRD	Load pattern	Sismo en Y	0,5
C.Muerta-LFRD	Load pattern	DEAD	1,2
Carga viva strand jack-LFRD	Load pattern	Carga viva strand jack	1,6
viento en X-LFRD	Load pattern	viento en x	0,5
viento en Y-LFRD	Load pattern	viento en Y	0,5

**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20.

### 7.2 REACCIONES EN LAS ARTICULACIONES Y APOYOS

**Tabla 5.**

*Reacciones en los apoyos*

TABLE: Joint Reactions		TABLA: REACCIONES EN LAS ARTICULACIONES Y APOYOS						
Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	Kip	Kip	Kip	Kip-in	Kip-in	Kip-in
A	Sismo en x-LFRD	LinStatic	15,326	33,476	183,029	0	0	0
A	Sismo en Y-LFRD	LinStatic	15,261	15,326	91,514	0	0	0
A	C.Muerta-LFRD	LinStatic	6,407	5,676	40,364	0	0	0
A	Carga viva strand jack-LFRD	LinStatic	8,542	7,568	53,819	0	0	0

A	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 42,0 53	- 62,97 9	- 362,9 24	0	0	0
A	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 28,6 37	- 42,05 3	- 181,4 62	0	0	0
B	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 15,3 26	- 33,47 6	- 183,0 29	0	0	0
B	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 15,2 61	- 15,32 6	- 91,51 4	0	0	0
B	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 6,40 7	- 5,676	- 40,36 4	0	0	0
B	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	- 8,54 2	- 7,568	- 53,81 9	0	0	0
B	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 42,0 53	- 62,97 9	- 362,9 24	0	0	0
B	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 28,6 37	- 42,05 3	- 181,4 62	0	0	0
C	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 15,3 26	- 33,47 6	- 183,0 29	0	0	0
C	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 15,2 61	- 15,32 6	- 91,51 4	0	0	0
C	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 6,40 7	- -5,676	- 40,36 4	0	0	0
C	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	- 8,54 2	- -7,568	- 53,81 9	0	0	0
C	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 42,0 53	- 62,97 9	- 362,9 24	0	0	0
C	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 28,6 37	- 42,05 3	- 181,4 62	0	0	0
D	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 15,3 26	- 33,47 6	- 183,0 29	0	0	0
D	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 15,2 61	- 15,32 6	- 91,51 4	0	0	0
D	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 6,40 7	- -5,676	- 40,36 4	0	0	0



D	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	8,54 2	-7,568	53,81 9	0	0	0
D	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 42,0 53	- 62,97 9	- 362,9 24	0	0	0
D	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 28,6 37	- 42,05 3	- 181,4 62	0	0	0
A1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 15,3 26	- 33,47 6	- 183,0 29	0	0	0
A1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 15,2 61	- 15,32 6	- 91,51 4	0	0	0
A1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 6,40 7	- 5,676	- 40,36 4	0	0	0
A1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	8,54 2	7,568	53,81 9	0	0	0
A1	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 42,0 53	- 62,97 9	- 362,9 24	0	0	0
A1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 28,6 37	- 42,05 3	- 181,4 62	0	0	0
B1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 15,3 26	- 33,47 6	- 183,0 29	0	0	0
B1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 15,2 61	- 15,32 6	- 91,51 4	0	0	0
B1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 6,40 7	- 5,676	- 40,36 4	0	0	0
B1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	- 8,54 2	- 7,568	- 53,81 9	0	0	0
B1	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 42,0 53	- 62,97 9	- 362,9 24	0	0	0
B1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 28,6 37	- 42,05 3	- 181,4 62	0	0	0
C1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 15,3 26	- 33,47 6	- 183,0 29	0	0	0
C1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 15,2 61	- 15,32 6	- 91,51 4	0	0	0
C1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 6,40	- -5,676	- 40,36 4	0	0	0

			7					
C1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	8,54 2	-7,568	53,81 9	0	0	0
C1	viento en X-LFRD	LinStat ic	42,0 53	62,97 9	362,9 24	0	0	0
C1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	28,6 37	42,05 3	181,4 62	0	0	0
D1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	15,3 26	33,47 6	183,0 29	0	0	0
D1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	15,2 61	15,32 6	91,51 4	0	0	0
D1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	6,40 7	-5,676	40,36 4	0	0	0
D1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	8,54 2	-7,568	53,81 9	0	0	0
D1	viento en X-LFRD	LinStat ic	42,0 53	62,97 9	362,9 24	0	0	0
D1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	28,6 37	42,05 3	181,4 62	0	0	0
IS (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	0.07 5	2.304	0.376	8.628	3.01 9	9.062
IS (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.20 1	-3.502	0.388	12.38 4	0.73 8	16.48 4
IS (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.39 2	-4.789	0.876	26.57 6	1.94 4	18.19 7
IS (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	3.62 8	109.2 75	20.13 1	640.5 03	2.52 2	101.2 12
IS (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	0.74 4	-8.564	1.774	48.92 1	4.13 3	- 33.99
IS (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.20 7	-1.436	0.383	- 4.827	1.25 5	18.60 9
IS (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	0.05 5	-2.306	0.379	- 8.631	3.03 6	- 9.151
IS (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.13 1	0.485	0.345	- 9.777	0.86 9	- 1.479

IS (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.40 5	4.785	0.884	- 26.58 2	- 1.91 2	18
IS (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	3.64 6	109.2 69	20.14 1	- 640.5 12	- 2.47 8	100.9 48
IS (AT)1	viento en X-LFRD	LinStat ic	0.77	8.555	1.777	- 48.93 4	-4.15	33.61 1
IS (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.23 2	2.129	0.376	- 26.60 7	-1	32.76
J I (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 2.57 9	7.57	1.889	15.6	-5.95	15.98
J I (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.04 7	0.952	1.515	16.44 5	0.42 8	- 1.755
J I (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	-0.05	6.515	3.78	42.86 6	1.33 5	0.982
J I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	- 1.34 1	144.5 61	109.7 27	816.9 18	23.7 11	- 25.69 6
J I (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	- 0.21 4	12.10 7	7.167	79.82 2	4.31 2	1.068
J I (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 0.15 8	2.953	1.618	12.93 3	1.67 4	1.135
K S (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- 2.60 8	-6.553	0.842	9.405	9.77 7	13.95 2
K S (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.41 7	-3.895	0.826	8.951	9.58 7	33.39 1
K S (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	1.14 1	-4.794	1.923	19.85 6	22.8 75	- 0.827
K S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	- 1.82 6	114.8 48	22.26 7	659.1 47	15.1 64	- 29.64 3
K S (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	2.87 9	-8.993	4.413	36.30 9	59.4 46	- 0.661
K S (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.33 2	-2.23	0.804	8.337	9.58 8	0.433
K1 S(AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	- -3.44	2.354	0.631	5.213	- 9.35 9	- 13.71 7
K1 S(AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	- 0.43 8	-3.656	0.7	7.107	- 9.65 3	- 33.22 5

K1 S(AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	- 1.17 6	- -4.284	1.615	15.30 1	- 23.1 15	- 1.087
K1 S(AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	0.98 4	105.0 53	16.94 7	587.1 35	20.8 53	34.27 1
K1 S(AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	-3.23	-7.604	3.855	28.08 9	59.7 59	2.706
K1 S(AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.62 6	-1.577	0.671	6.315	9.56 4	1.179
L I (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	1.27 5	-1.973	1.479	11.88 7	7.00 3	15.56 5
L I (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.34 5	0.453	1.534	11.28 4	7.00 5	33.07 2
L I (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	-0.72	6.226	3.827	25.70 1	16.6 05	- 2.973
L I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	0.55 5	140.9 86	108.6 62	761.6 67	29.0 19	43.82 9
L I (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	1.96 8	11.14 7	7.376	46.99 7	41.7 04	- 4.524
L I (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	-0.34	2.358	1.589	10.77 3	6.85 9	- 0.317
M1S (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	0.37 4	-6.116	0.358	14.85 7	1.39 4	25.24 8
M1S (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.20 8	-3.596	0.391	13.78 8	0.66 5	18.64 8
M1S (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.40 8	-4.975	0.882	29.52 6	1.77 9	22.58 7
M1S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	3.73 2	111.9 36	20.22 1	648.6	0.99 3	112.6 63
M1S (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	0.66 3	-9.166	1.76	49.91 9	3.19 5	34.43 1
M1S (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.10 8	-2.003	0.359	0.425	0.50 6	10.33 2
J I (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	2.57 5	-7.57	1.893	15.61 9	6.01 1	15.97 5
J I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStat	-	-4.477	1.636	-	-	-

		ic	0.088			19.314	0.697	2.566
J I (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStatistic	0.048	-6.515	3.782	42.907	1.364	0.972
J I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStatistic	1.338	144.56	109.731	816.972	23.672	25.71
J I (AT)1	viento en X-LFRD	LinStatistic	0.209	12.106	7.172	-79.9	4.377	1.047
J I (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStatistic	0.155	-2.909	1.607	48.358	1.346	0.536
K S (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStatistic	2.608	6.553	0.844	9.405	9.777	13.952
K S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStatistic	0.534	0.101	0.779	7.596	9.476	34.081
K S (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStatistic	1.141	4.794	1.928	19.856	22.875	0.827
K S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStatistic	1.826	114.848	22.274	659.147	15.164	29.643
K S (AT)1	viento en X-LFRD	LinStatistic	2.879	8.993	4.415	36.309	59.446	0.661
K S (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStatistic	0.332	2.23	0.806	8.337	9.588	0.433
K1 S(AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStatistic	-2.77	-1.719	0.795	8.728	8.469	10.044
K1 S(AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStatistic	0.662	0.000018	0.782	7.816	9.179	34.643
K1 S(AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStatistic	1.408	4.769	1.938	20.525	22.154	1.986
K1 S(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStatistic	5.317	110.266	22.229	656.441	21.79	69.21
K1 S(AT)1	viento en X-LFRD	LinStatistic	-3.63	8.366	4.415	36.489	59.099	4.456
K1 S(AT)1	viento en Y-LFRD	LinStatistic	0.666	1.826	0.808	8.629	-8.73	1.026
L I (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStatistic	1.27	1.973	1.484	11.88	6.982	15.56

			5			7		5
L I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.25 5	-4.736	1.66	10.13 3	6.81 2	35.55
L I (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	-0.72	-6.226	3.839	25.70 1	16.5 56	2.973
L I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	0.55 5	140.9 86	108.6 79	761.6 67	28.9 54	43.82 9
L I (AT)1	viento en X-LFRD	LinStat ic	1.96 8	11.14 7	7.381	46.99 7	41.6 84	4.524
L I (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	-0.34	-2.358	1.595	10.77 3	6.83 9	0.317
L1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	0.66 2	6.767	1.733	13.20 1	6.96 5	17.50 5
L1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.34 6	0.334	1.59	14.51 2	7.20 2	- 33.08
L1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.72 2	5.879	3.967	33.97 7	17.1 49	2.915
L1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	0.51 9	135.5 25	112.0 05	894.4 38	40.2 01	42.54 3
L1 I (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	1.89 5	10.92 9	7.699	62.56	42.7 96	6.14
L1 I (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.26	2.686	1.657	14.11 1	7.19 5	2.136
M1S (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	0.21 2	5.441	0.351	14.62 6	0.80 2	20.52 6
M1S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.16 5	0.715	0.349	10.85 5	0.85	1.103
M1S (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.48 1	5.326	0.893	29.64 4	1.81 2	- 24.52
M1S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	5.40 7	119.1 57	20.23 5	645.9 09	2.41 5	158.7 35
M1S (AT)1	viento en X-LFRD	LinStat ic	-0.78	9.721	1.757	49.68 9	3.10 9	37.56 6
M1S (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStat	-	2.646	0.35	-	0.23	-

		ic	0.137			24.649	8	29.739
N1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	-2.48	-1.779	1.352	22.868	4.942	14.763
N1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.052	0.945	1.539	19.33	0.23	1.788
N1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.039	6.544	3.849	48.831	0.857	1.037
N1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	1.07	143.633	110.553	835.296	32.174	23.989
N1 I (AT)	viento en X-LFRD	LinStat ic	0.071	11.713	7.217	81.762	1.545	1.615
N1 I (AT)	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.119	2.556	1.578	3.167	0.466	-1.41
L1 I (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	0.682	-7.463	2.068	12.115	6.369	16.878
L1 I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.269	-4.872	1.699	10.45	7.073	35.382
L1 I (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.73	-6.459	3.938	26.613	17.052	3.071
L1 I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	0.541	142.149	107.567	755.383	34.321	47.663
L1 I (AT)1	viento en X-LFRD	LinStat ic	1.911	11.839	7.403	47.157	42.54	6.127
L1 I (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	0.262	-2.968	1.675	11.243	7.181	2.237
N1 I (AT)1	Sismo en x-LFRD	LinStat ic	2.395	1.613	1.423	22.827	4.065	16.689
N1 I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	LinStat ic	0.027	-4.509	1.649	21.191	0.636	0.827
N1 I (AT)1	C.Muerta-LFRD	LinStat ic	0.059	-6.494	3.817	48.587	1.206	1.055
N1 I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	LinStat ic	0.044	142.402	108.563	823.548	27.763	48.491
N1 I (AT)1	viento en X-LFRD	LinStat	-	-	7.058	-	2.04	-

		ic	0.19 2	11.64 5		80.27 7	4	2.116
N1 I (AT)1	viento en Y-LFRD	LinStat ic	- 0.16 9	-2.506	1.56	- 43.76 8	- 0.71 4	- 0.727

**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20.



## 8. SISMO

**Tabla 6.**

*Fuerzas resultantes por amenaza sísmica*

<b>TABLE: Auto Seismic - User Coefficient</b>						
<b>LoadPat</b>	<b>Dir</b>	<b>UserZ</b>	<b>C</b>	<b>K</b>	<b>WeightUsed</b>	<b>BaseShear</b>
Text	Text	Yes/No	Unitless	Unitless	Kip	Kip
Sismo en X	X	No	1,01	1,42	<b>242,785</b>	<b>245,212</b>
Sismo en Y	Y	No	1,01	1,42	<b>242,785</b>	<b>245,212</b>

**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20.

## 9. DESPLAZAMIENTOS

**Tabla 7.**  
*Desplazamientos en los nodos*

TABLE: Joint Displacements		Desplazamientos					
Joint	OutputCase	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	in	in	in	Radians	Radians	Radians
A	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00055	0.000383	- 0.00021 7
A	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.0006	0.000244	- 0.00020 8
A	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.00134	0.000589	- 0.00050 6
A	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00179	0.000786	- 0.00067 5
A	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00198	0.000984	- 0.00085 3
A	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00542	0.000581	0.00040 7
B	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00056	-0.000108	0.00020 4
B	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.0006	-0.000244	0.00020 8
B	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.00134	-0.000589	0.00050 6
B	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00179	-0.000786	0.00067 5
B	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00194	-0.000735	0.00062 3
B	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00538	-0.000333	- 0.00063 7
C	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.00056 4	-0.000108	- 0.00020 4
C	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.00052 1	-0.000247	- 0.00021 4
C	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.00134 2	-0.000589	- 0.00050 6
C	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.00178 9	-0.000786	- 0.00067 5

C	viento en X-LFRD	0	0	0	0.001936	-0.000735	- 0.000623
C	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00431	0.00009	- 0.000828
D	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000554	0.000383	0.000217
D	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.000521	0.000247	0.000214
D	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.001342	0.000589	0.000506
D	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.001789	0.000786	0.000675
D	viento en X-LFRD	0	0	0	0.001978	0.000984	0.000853
D	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00426	0.000158	0.001058
F	Sismo en x-LFRD	0.070158	0.001297	0.01156	-0.00073	0.000417	- 0.000035
F	Sismo en Y-LFRD	-0.00043	0.018514	-0.0013	-0.00076	0.000261	- 0.000023
F	C.Muerta-LFRD	-0.00131	0.002124	-0.0114	-0.00175	0.000625	- 0.000056
F	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00175	0.002831	-0.0151	-0.00233	0.000833	- 0.000074
F	viento en X-LFRD	0.006499	0.002881	-0.015	-0.00255	0.00092	- 0.000165
F	viento en Y-LFRD	0.00805	0.079564	0.00676	0.000058	0.000286	0.001068
G	Sismo en x-LFRD	0.071244	0.003066	-0.021	-0.00073	-0.000104	0.000011
G	Sismo en Y-LFRD	0.000424	0.01852	-0.0013	-0.00076	-0.000261	0.000023
G	C.Muerta-LFRD	0.001296	0.002123	-0.0114	-0.00175	-0.000625	0.000056
G	Carga viva strand jack-LFRD	0.001726	0.002827	-0.0151	-0.00233	-0.000833	0.000074
G	viento en X-LFRD	0.0103	0.003315	-0.0182	-0.00255	-0.000903	-2.72E-06
G	viento en Y-LFRD	0.008774	0.079137	0.00354	0.000058	-0.000268	- 0.001236
H	Sismo en x-LFRD	0.071243	0.003067	-0.021	0.000726	-0.000104	- 0.00001

							1
H	Sismo en Y-LFRD	0.00065 5	0.02028 9	-0.0082	0.00069 8	-0.00026	- 0.00002 4
H	C.Muerta-LFRD	0.00129 4	0.00212 3	-0.0114	0.00174 9	-0.000625	- 0.00005 6
H	Carga viva strand jack-LFRD	0.00172	0.00283 4	-0.0151	0.00233 2	-0.000833	- 0.00007 4
H	viento en X-LFRD	0.0103	0.00331 3	-0.0182	0.00255 1	-0.000903	2.712E- 06
H	viento en Y-LFRD	0.00912 8	0.08134 2	-0.0162	0.00151 6	-0.000235	- 0.00111 4
I	Sismo en x-LFRD	0.07015 7	- 0.00129 7	0.0115 6	0.00073 1	0.000417	0.00003 5
I	Sismo en Y-LFRD	-0.00066	0.02028 4	-0.0082	0.00069 8	0.000259	0.00002 4
I	C.Muerta-LFRD	-0.00131	0.00212 3	-0.0114	0.00174 9	0.000625	0.00005 6
I	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00176	0.00283 2	-0.0151	0.00233 2	0.000833	0.00007 4
I	viento en X-LFRD	0.00649 9	0.00287 9	-0.0149	0.00255 1	0.00092	0.00016 5
I	viento en Y-LFRD	0.00768	0.08089 8	-0.013	0.00151 6	0.000252	0.00128 2
J	Sismo en x-LFRD	0.16061 7	- 0.00269 7	0.0073 8	-0.00071	0.000473	- 0.00001 2
J	Sismo en Y-LFRD	-0.00067	0.03550 5	-0.0055	-0.00073	0.000305	- 0.00002 5
J	C.Muerta-LFRD	-5.7E-05	0.00007	-0.0159	-0.00171	0.00073	- 0.00005 5
J	Carga viva strand jack-LFRD	-8.1E-05	0.00009 7	-0.0213	-0.00228	0.000973	- 0.00007 4
J	viento en X-LFRD	0.01639 6	-0.00018	-0.0222	-0.00249	0.001087	- 0.00016 8
J	viento en Y-LFRD	0.01438 8	0.11489 3	-0.0059	-0.00099	0.000288	0.00090 1
K	Sismo en x-LFRD	0.16064 7	0.00275 7	-0.0207	-0.00071	-0.000135	0.00003 4
K	Sismo en Y-LFRD	0.00065 9	0.03551 4	-0.0055	-0.00073	-0.000305	0.00002 6
K	C.Muerta-LFRD	0.00001 5	0.00007 1	-0.0159	-0.00171	-0.00073	0.00005 5
K	Carga viva strand jack-LFRD	0.00001 5	0.00010 1	-0.0212	-0.00228	-0.000973	0.00007 4

K	viento en X-LFRD	0.01650 2	0.00038 2	-0.0243	-0.00249	-0.001042	-6.8E-06
K	viento en Y-LFRD	0.01858	0.11547 1	-0.0081	-0.00099	-0.000244	- 0.00107 6
L	Sismo en x-LFRD	0.16064 4	- 0.00275 5	-0.0207	0.00071	-0.000135	- 0.00003 4
L	Sismo en Y-LFRD	-0.00065	0.03545 5	-0.0077	0.00069 7	-0.000304	-0.00002
L	C.Muerta-LFRD	0.00001 2	- 0.00007 1	-0.0159	0.00170 8	-0.00073	- 0.00005 5
L	Carga viva strand jack-LFRD	-9.3E-07	- 0.00008 7	-0.0212	0.00227 8	-0.000973	- 0.00007 4
L	viento en X-LFRD	0.01650 3	0.00038 7	-0.0243	0.00249 1	-0.001042	6.813E- 06
L	viento en Y-LFRD	0.01439 9	0.11484 9	-0.0073	0.00043 6	-0.00032	- 0.00094 7
M	Sismo en x-LFRD	0.16061 3	0.00269 7	0.0073 8	0.00071 4	0.000473	0.00001 2
M	Sismo en Y-LFRD	0.00062 3	0.03544 6	-0.0077	0.00069 7	0.000303	0.00002 1
M	C.Muerta-LFRD	-6.1E-05	- 0.00007 2	-0.0159	0.00170 8	0.00073	0.00005 5
M	Carga viva strand jack-LFRD	-9.7E-05	- 0.00009 2	-0.0213	0.00227 8	0.000973	0.00007 4
M	viento en X-LFRD	0.01639 7	0.00017 6	-0.0222	0.00249 2	0.001087	0.00016 8
M	viento en Y-LFRD	0.01853	0.11539 7	-0.0052	0.00043 8	0.000364	0.00112 2
O	Sismo en x-LFRD	0.20360 6	-0.00331	-0.0168	-0.00047	-0.000143	-8E-06
O	Sismo en Y-LFRD	-3.8E-05	0.03276 2	-0.009	-0.00044	0.000035	- 0.00005 8
O	C.Muerta-LFRD	0.00039 9	- 0.00010 7	-0.0133	-0.00113	0.000081	- 0.00013 6
O	Carga viva strand jack-LFRD	0.00052 5	- 0.00013 7	-0.0178	-0.00151	0.000109	- 0.00018 1
O	viento en X-LFRD	0.01918 4	0.00038 8	-0.0206	-0.00165	0.000076	- 0.00025 1
O	viento en Y-LFRD	0.01835	0.08614 5	-0.019	0.00061 9	-0.000037	0.00006 8
P	Sismo en x-LFRD	0.20324 5	0.00322 2	0.0057	-0.00047	-0.000211	0.00010 5
P	Sismo en Y-	0.00002	0.03277	-0.009	-0.00044	-0.000035	0.00005

	LFRD	2	3				8
P	C.Muerta-LFRD	-0.00047	0.000107	-0.0133	-0.00113	-0.000081	0.000136
P	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00063	0.000136	-0.0178	-0.00151	-0.000108	0.000181
P	viento en X-LFRD	0.017918	0.00007	-0.0182	-0.00164	-0.000162	0.000145
P	viento en Y-LFRD	0.018875	0.086616	-0.0166	0.000626	-0.000049	0.000174
Q	Sismo en x-LFRD	0.203239	0.003221	0.0057	0.000469	-0.000211	0.000105
Q	Sismo en Y-LFRD	-0.00041	0.032862	-0.0021	0.000498	-0.000033	0.000055
Q	C.Muerta-LFRD	-0.00048	0.000107	-0.0133	0.001129	-0.000081	0.000136
Q	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00066	0.000148	-0.0178	0.001505	-0.000108	0.000181
Q	viento en X-LFRD	0.01792	0.000076	-0.0182	0.001642	-0.000162	0.000145
Q	viento en Y-LFRD	0.01795	0.086248	0.00787	0.001559	-0.000105	0.000181
R	Sismo en x-LFRD	0.203601	0.003311	-0.0168	0.000471	-0.000143	7.992E-06
R	Sismo en Y-LFRD	0.000369	0.032851	-0.0021	0.000498	0.000033	0.000055
R	C.Muerta-LFRD	0.000393	0.000107	-0.0133	0.001129	0.000082	0.000136
R	Carga viva strand jack-LFRD	0.000497	0.000147	-0.0177	0.001506	0.000109	0.000181
R	viento en X-LFRD	0.019186	0.000383	-0.0206	0.00165	0.000076	0.000251
R	viento en Y-LFRD	0.019199	0.086693	0.0055	0.001566	0.000019	0.000287
S	Sismo en x-LFRD	0.120664	0.000671	-0.0269	-0.0003	-0.000445	0.000049
S	Sismo en Y-LFRD	0.000412	0.02135	-0.0082	-0.00024	0.000037	2.468E-06
S	C.Muerta-LFRD	0.001126	0.002836	-0.008	-0.00074	0.000091	0.000018
S	Carga viva strand jack-LFRD	0.001497	0.003784	-0.0107	-0.00098	0.000121	0.000024
S	viento en X-LFRD	0.012131	0.004187	-0.0139	-0.00107	0.00009	0.000018

S	viento en Y-LFRD	0.0112	0.04963	-0.0194	-0.00041	-2.798E-06	0.000082
T	Sismo en x-LFRD	0.1197	0.001691	0.02024	-0.00031	-0.000521	0.000034
T	Sismo en Y-LFRD	-0.00042	0.021361	-0.0082	-0.00024	-0.000036	-2.51E-06
T	C.Muerta-LFRD	-0.00119	0.002829	-0.008	-0.00074	-0.000092	-0.00002
T	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00159	0.003778	-0.0107	-0.00098	-0.000123	-0.000026
T	viento en X-LFRD	0.008758	0.00407	-0.0095	-0.00107	-0.000177	0.000074
T	viento en Y-LFRD	0.00981	0.049539	-0.015	-0.00042	-0.000081	-0.00017
U	Sismo en x-LFRD	0.119695	0.001689	0.02024	0.000312	-0.000521	0.000034
U	Sismo en Y-LFRD	-0.00057	0.019003	0.00154	0.000373	-0.000041	0.000014
U	C.Muerta-LFRD	-0.00119	0.002829	-0.008	0.000735	-0.000092	0.00002
U	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00162	-0.00376	-0.0107	0.000978	-0.000124	0.000026
U	viento en X-LFRD	0.00876	0.004077	-0.0095	0.001075	-0.000177	0.000074
U	viento en Y-LFRD	0.010191	0.047286	0.01269	0.0002	-0.000081	0.000064
V	Sismo en x-LFRD	0.120659	-0.00067	-0.0269	0.000301	-0.000445	0.000049
V	Sismo en Y-LFRD	0.000524	0.018987	0.00154	0.000375	0.000039	0.000013
V	C.Muerta-LFRD	0.00112	0.002837	-0.008	0.000737	0.000091	0.000018
V	Carga viva strand jack-LFRD	0.001468	0.003776	-0.0107	0.00098	0.00012	0.000023
V	viento en X-LFRD	0.012133	0.004193	-0.0139	0.001074	0.00009	0.000018
V	viento en Y-LFRD	0.010728	0.047158	0.00836	0.000199	-6.42E-06	0.000155
W	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00023	-0.00009	1.355E-06
W	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.0002	5.249E-06	0.00001
W	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.00054	0.000012	-

	LFRD						0.000013
W	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00072	0.000015	-0.000017
W	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00078	3.036E-07	-0.000034
W	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000387	-0.000014	0.000027
X	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00022	-0.00009	-2.51E-06
X	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.00018	-1.589E-06	-8.15E-06
X	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.00053	-2.939E-06	0.000018
X	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00071	-3.711E-06	0.000024
X	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00078	-0.000018	0.000038
X	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000379	-0.000015	0.000029
Y	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000221	-0.000088	3.534E-06
Y	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.000261	6.334E-08	7.934E-06
Y	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.00053	2.229E-08	0.00002
Y	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.000729	0.000012	0.000028
Y	viento en X-LFRD	0	0	0	0.000766	-0.00002	0.000041
Y	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000811	-0.000021	0.000013
Z	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000225	-0.00009	-1.57E-06
Z	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.000252	4.208E-06	0.00002
Z	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.000537	0.000011	0.000012
Z	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.000721	0.000012	0.000016
Z	viento en X-LFRD	0	0	0	0.000781	6.19E-07	0.000033
Z	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000832	-8.755E-06	0.000068
A1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00055	0.000383	0.000217



A1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.0006	0.000244	- 0.000208
A1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.00134	0.000589	- 0.000506
A1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00179	0.000786	- 0.000675
A1	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00198	0.000984	- 0.000853
A1	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00542	0.000581	0.000407
B1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00056	-0.000108	0.000204
B1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.0006	-0.000244	0.000208
B1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.00134	-0.000589	0.000506
B1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00179	-0.000786	0.000675
B1	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00194	-0.000735	0.000623
B1	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00538	-0.000333	- 0.000637
C1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000564	-0.000108	- 0.000204
C1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.000521	-0.000247	- 0.000214
C1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.001342	-0.000589	- 0.000506
C1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.001789	-0.000786	- 0.000675
C1	viento en X-LFRD	0	0	0	0.001936	-0.000735	- 0.000623
C1	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00431	0.00009	- 0.000829
D1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000554	0.000383	0.000217
D1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.000521	0.000247	0.000214
D1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.001342	0.000589	0.000506
D1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.001789	0.000786	0.000675

D1	viento en X-LFRD	0	0	0	0.001978	0.000984	0.000853
D1	viento en Y-LFRD	0	0	0	-0.00426	0.000158	0.001058
F1	Sismo en x-LFRD	0.070164	0.001297	0.01156	-0.00073	0.000417	-0.000035
F1	Sismo en Y-LFRD	-0.00043	0.018523	-0.0013	-0.00076	0.000261	-0.000023
F1	C.Muerta-LFRD	-0.0013	0.002124	-0.0114	-0.00175	0.000625	-0.000056
F1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00173	0.002832	-0.0151	-0.00233	0.000833	-0.000074
F1	viento en X-LFRD	0.006521	0.002878	-0.0149	-0.00255	0.00092	-0.000165
F1	viento en Y-LFRD	0.008046	0.079632	0.00677	0.000059	0.000286	0.001068
G1	Sismo en x-LFRD	0.07125	0.003067	-0.021	-0.00073	-0.000104	0.000011
G1	Sismo en Y-LFRD	0.000428	0.018517	-0.0013	-0.00076	-0.000261	0.000023
G1	C.Muerta-LFRD	0.00131	0.002125	-0.0114	-0.00175	-0.000625	0.000056
G1	Carga viva strand jack-LFRD	0.001747	0.002833	-0.0151	-0.00233	-0.000833	0.000074
G1	viento en X-LFRD	0.010323	0.003315	-0.0182	-0.00255	-0.000903	-2.72E-06
G1	viento en Y-LFRD	0.008769	0.079184	0.00355	0.000058	-0.000268	0.001236
H1	Sismo en x-LFRD	0.07125	0.003067	-0.021	0.000726	-0.000104	0.000011
H1	Sismo en Y-LFRD	0.000664	0.020288	-0.0082	0.000698	-0.000259	0.000024
H1	C.Muerta-LFRD	0.001311	0.002125	-0.0114	0.001749	-0.000625	0.000056
H1	Carga viva strand jack-LFRD	0.001747	0.002833	-0.0151	0.002332	-0.000833	0.000074
H1	viento en X-LFRD	0.010323	0.003315	-0.0182	0.002551	-0.000903	2.721E-06
H1	viento en Y-LFRD	0.009145	0.08139	-0.0162	0.001516	-0.000235	0.001114

I1	Sismo en x-LFRD	0.07016 4	- 0.00129 7	0.0115 6	0.00073 1	0.000417	0.00003 5
I1	Sismo en Y-LFRD	-0.00066	0.02029 3	-0.0082	0.00069 8	0.00026	0.00002 4
I1	C.Muerta-LFRD	-0.0013	0.00212 4	-0.0114	0.00174 9	0.000625	0.00005 6
I1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00173	0.00283 2	-0.0151	0.00233 2	0.000833	0.00007 4
I1	viento en X-LFRD	0.00652 2	0.00287 9	-0.0149	0.00255 1	0.00092	0.00016 5
I1	viento en Y-LFRD	0.00769 4	0.08096 6	-0.013	0.00151 6	0.000252	0.00128 2
J1	Sismo en x-LFRD	0.16063 3	- 0.00269 7	0.0073 8	-0.00071	0.000473	- 0.00001 2
J1	Sismo en Y-LFRD	-0.00066	0.03552 3	-0.0055	-0.00073	0.000305	- 0.00002 5
J1	C.Muerta-LFRD	-1.7E-05	0.00007 2	-0.0159	-0.00171	0.00073	- 0.00005 5
J1	Carga viva strand jack-LFRD	-2.3E-05	0.00009 6	-0.0213	-0.00228	0.000973	- 0.00007 3
J1	viento en X-LFRD	0.01646 1	- 0.00017 8	-0.0222	-0.00249	0.001087	- 0.00016 8
J1	viento en Y-LFRD	0.01437 6	0.11503 7	-0.0059	-0.00099	0.000288	0.00090 2
K1	Sismo en x-LFRD	0.16066 4	0.00275 6	-0.0207	-0.00071	-0.000135	0.00003 4
K1	Sismo en Y-LFRD	0.00067 1	0.03551 2	-0.0055	-0.00073	-0.000305	0.00002 5
K1	C.Muerta-LFRD	0.00005 6	0.00007 2	-0.0159	-0.00171	-0.00073	0.00005 5
K1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00007 5	0.00009 6	-0.0213	-0.00228	-0.000973	0.00007 3
K1	viento en X-LFRD	0.01656 6	0.00038 5	-0.0243	-0.00249	-0.001042	-6.81E-06
K1	viento en Y-LFRD	0.01857 2	0.11557 9	-0.0081	-0.00099	-0.000244	- 0.00107 6
L1	Sismo en x-LFRD	0.16066 4	- 0.00275 6	-0.0207	0.00071	-0.000135	- 0.00003 4
L1	Sismo en Y-LFRD	-0.00062	0.03545 2	-0.0077	0.00069 7	-0.000303	- 0.00002 1
L1	C.Muerta-LFRD	0.00005 6	- 0.00007 2	-0.0159	0.00170 9	-0.00073	- 0.00005 5
L1	Carga viva	0.00007	-	-0.0213	0.00227	-0.000973	-

	strand jack-LFRD	5	0.000096		8		0.000073
L1	viento en X-LFRD	0.016567	0.000385	-0.0243	0.002491	-0.001042	6.805E-06
L1	viento en Y-LFRD	0.014436	0.114956	-0.0074	0.000435	-0.00032	0.000948
M1	Sismo en x-LFRD	0.160634	0.002697	0.00738	0.000714	0.000473	0.000012
M1	Sismo en Y-LFRD	0.000646	0.035463	-0.0077	0.000697	0.000304	0.00002
M1	C.Muerta-LFRD	-1.7E-05	0.000071	-0.0159	0.001709	0.00073	0.000055
M1	Carga viva strand jack-LFRD	-2.3E-05	0.000095	-0.0213	0.002278	0.000973	0.000073
M1	viento en X-LFRD	0.016461	0.000179	-0.0222	0.002492	0.001087	0.000168
M1	viento en Y-LFRD	0.018572	0.11554	-0.0052	0.000436	0.000365	0.001122
O1	Sismo en x-LFRD	0.203634	0.003316	-0.0168	-0.00047	-0.000143	-7.92E-06
O1	Sismo en Y-LFRD	-2.4E-05	0.032778	-0.009	-0.00044	0.000034	0.000058
O1	C.Muerta-LFRD	0.000466	-0.00012	-0.0133	-0.00113	0.000081	0.000136
O1	Carga viva strand jack-LFRD	0.000621	-0.00016	-0.0178	-0.0015	0.000108	0.000181
O1	viento en X-LFRD	0.019292	0.000385	-0.0206	-0.00165	0.000075	0.000251
O1	viento en Y-LFRD	0.018324	0.086317	-0.019	0.000628	-0.000037	0.000065
P1	Sismo en x-LFRD	0.203273	0.003216	0.00569	-0.00047	-0.000211	0.000105
P1	Sismo en Y-LFRD	0.000037	0.032765	-0.009	-0.00044	-0.000034	0.000058
P1	C.Muerta-LFRD	-0.0004	-0.00012	-0.0133	-0.00113	-0.000081	0.000136
P1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00054	-0.00016	-0.0178	-0.0015	-0.000108	0.000181
P1	viento en X-LFRD	0.018026	0.000072	-0.0182	-0.00164	-0.000162	0.000145
P1	viento en Y-LFRD	0.018854	0.086755	-0.0166	0.000635	-0.000049	0.000172
Q1	Sismo en x-LFRD	0.203273	0.00321	0.00569	0.000469	-0.000211	0.00010

			6				5
Q1	Sismo en Y-LFRD	-0.00037	0.03286 5	-0.0021	0.00049 7	-0.000033	- 0.00005 5
Q1	C.Muerta-LFRD	-0.0004	0.00012	-0.0133	0.00112 7	-0.000081	- 0.00013 6
Q1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00054	0.00016	-0.0178	0.00150 3	-0.000108	- 0.00018 1
Q1	viento en X-LFRD	0.01802 6	- 0.00007 2	-0.0182	0.00164 3	-0.000162	- 0.00014 5
Q1	viento en Y-LFRD	0.01802 1	0.08639 8	0.0078 7	0.00156 7	-0.000105	- 0.00017 8
R1	Sismo en x-LFRD	0.20363 5	0.00331 6	-0.0168	0.00047	-0.000143	7.911E- 06
R1	Sismo en Y-LFRD	0.00041 2	0.03287 8	-0.0021	0.00049 7	0.000033	0.00005 5
R1	C.Muerta-LFRD	0.00046 6	0.00012 1	-0.0133	0.00112 7	0.000081	0.00013 6
R1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00062 2	0.00016 1	-0.0178	0.00150 3	0.000108	0.00018 1
R1	viento en X-LFRD	0.01929 3	0.00038 6	-0.0206	0.00165	0.000075	0.00025 1
R1	viento en Y-LFRD	0.01927 3	0.08687 5	0.0055 1	0.00157 5	0.000018	0.00028 4
S1	Sismo en x-LFRD	0.12068 9	0.00068 3	-0.0269	-0.00031	-0.000444	0.00005 5
S1	Sismo en Y-LFRD	0.00041 7	0.02138 9	-0.0082	-0.00025	0.000037	8.064E- 06
S1	C.Muerta-LFRD	0.00118 5	0.00286 8	-0.008	-0.00075	0.000093	0.00003 2
S1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00158	0.00382 4	-0.0107	-0.001	0.000124	0.00004 3
S1	viento en X-LFRD	0.01222 8	0.00418	-0.0139	-0.00107	0.000092	- 0.00001 4
S1	viento en Y-LFRD	0.01116 4	0.04986 4	-0.0194	-0.00046	-1.395E- 06	0.0001
T1	Sismo en x-LFRD	0.11972 4	0.00170 8	0.0202 4	-0.00032	-0.000521	0.00002 9
T1	Sismo en Y-LFRD	-0.00042	0.02137 7	-0.0082	-0.00025	-0.000037	-8.46E- 06
T1	C.Muerta-LFRD	-0.00113	0.00287 3	-0.008	-0.00075	-0.000092	-0.00003
T1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00151	0.00383 1	-0.0107	-0.00101	-0.000123	-0.00004
T1	viento en X-LFRD	0.00885 4	0.00408 5	-0.0095	-0.00108	-0.000175	- 0.00007 1

T1	viento en Y-LFRD	0.00977 7	0.04973 4	-0.0151	-0.00046	-0.000086	-0.00019
U1	Sismo en x-LFRD	0.11972 5	0.00170 8	0.0202 4	0.00032	-0.000521	0.00002 9
U1	Sismo en Y-LFRD	-0.00053	0.01898 2	0.0015 4	0.00038	-0.000039	0.00001 7
U1	C.Muerta-LFRD	-0.00113	0.00287 3	-0.008	0.00075 4	-0.000092	0.00003
U1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00151	-0.00383	-0.0107	0.00100 5	-0.000123	0.00004
U1	viento en X-LFRD	0.00885 5	0.00408 5	-0.0095	0.00107 7	-0.000175	0.00007 1
U1	viento en Y-LFRD	0.01026 9	0.04744 4	0.0127 3	0.00017	-0.000076	0.00007 6
V1	Sismo en x-LFRD	0.12068 9	0.00068 3	-0.0269	0.00030 8	-0.000444	0.00005 5
V1	Sismo en Y-LFRD	0.00057 1	0.019	0.0015 4	0.00037 8	0.000041	0.00001 8
V1	C.Muerta-LFRD	0.00118 6	0.00286 7	-0.008	0.00075 3	0.000093	0.00003 2
V1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00158 1	0.00382 3	-0.0107	0.00100 4	0.000124	0.00004 3
V1	viento en X-LFRD	0.01222 9	0.00417 9	-0.0139	0.00107 1	0.000092	0.00001 4
V1	viento en Y-LFRD	0.01081	0.04736 9	0.0083 9	0.00016 4	-6.177E-06	0.00016 2
W1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00017	-0.000088	0.00001 3
W1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.00011	1.394E-06	9.02E-06
W1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	-0.0004	2.573E-06	0.00001 9
W1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00053	3.431E-06	0.00002 6
W1	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00077	-0.000013	0.00001 8
W1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.00061 1	-0.000017	0.00001
X1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	-0.00017	-0.000099	8.098E-06
X1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	-0.00013	-5.027E-06	0.00001 7
X1	C.Muerta-	0	0	0	-0.00041	-0.000011	3.13E-06

	LFRD						
X1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	-0.00054	-0.000015	4.173E-06
X1	viento en X-LFRD	0	0	0	-0.00078	-0.000033	4.534E-06
X1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000624	-0.000018	-0.0000077
Y1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000168	-0.000099	-8.34E-06
Y1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.000207	-4.246E-06	-0.00002
Y1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.000405	-0.000011	-3.65E-06
Y1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.00054	-0.000015	-4.87E-06
Y1	viento en X-LFRD	0	0	0	0.000782	-0.000033	-5.53E-06
Y1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000961	-0.000024	-0.0000055
Z1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0.000169	-0.000088	0.000013
Z1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0.00022	7.46E-07	-6.87E-06
Z1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0.000401	2.562E-06	0.000019
Z1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0.000535	3.416E-06	-0.0000025
Z1	viento en X-LFRD	0	0	0	0.00077	-0.000013	-0.0000017
Z1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0.000943	-0.000011	0.0000014
IS (AT)	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
IS (AT)	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
IS (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
IS (AT)	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
IS (AT)	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
C S (AT)	Sismo en x-LFRD	-9.4E-05	0.00298	-0.0003	-8.4E-05	0.000018	0.0000045
C S (AT)	Sismo en Y-LFRD	-2.6E-05	0.004596	-9E-05	-0.0001	8.481E-08	0.0000037

C S (AT)	C.Muerta-LFRD	-6.2E-05	0.00746 1	-0.0002	-0.0002	-5.945E-08	0.00010 9
C S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-8.2E-05	0.00994 8	-0.0003	-0.00027	-7.927E-08	0.00014 6
C S (AT)	viento en X-LFRD	-0.00013	0.01441 9	-0.0004	-0.00039	3.862E-07	0.00021 1
C S (AT)	viento en Y-LFRD	-4.3E-05	- 0.01026 3	-0.0001	0.00031 8	2.113E-06	-0.00016
C1 S(AT)	Sismo en x-LFRD	0.00009	0	-0.0012	0	0.000044	0
C1 S(AT)	Sismo en Y-LFRD	0.00003 3	0.00455 5	-0.0012	-1.5E-07	0.000044	0.00019 1
C1 S(AT)	C.Muerta-LFRD	0.00007 9	0	-0.0029	0	0.000106	0
C1 S(AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.00010 5	0	-0.0039	0	0.000141	0
C1 S(AT)	viento en X-LFRD	0.00020 1	0	-0.0074	0	0.000271	0
C1 S(AT)	viento en Y-LFRD	0.00003 3	0	-0.0012	0	0.000044	0
D1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00004 3	0	-0.0025	0	0.00004	0
D1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	-4.8E-05	0.01305 4	-0.0025	1.27E-07	0.00004	0.00021 7
D1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	-0.00012	0	-0.0061	0	0.000095	0
D1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00015	0	-0.0081	0	0.000127	0
D1 I (AT)	viento en X-LFRD	-0.00029	0	-0.0155	0	0.000242	0
D1 I (AT)	viento en Y-LFRD	-4.7E-05	0	-0.0025	0	0.00004	0
E S (AT)	Sismo en x-LFRD	-2.8E-05	0.00081 5	-0.0002	-3.7E-05	2.549E-06	0.00003 6
E S (AT)	Sismo en Y-LFRD	-0.00001	0.00173 1	-9E-05	-4.4E-05	1.885E-06	0.00006 5
E S (AT)	C.Muerta-LFRD	-2.4E-05	0.00206 3	-0.0002	-8.8E-05	4.576E-06	0.00009
E S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-3.2E-05	0.00275 1	-0.0003	-0.00012	6.101E-06	0.00012
E S (AT)	viento en X-LFRD	-0.00005	0.00399	-0.0005	-0.00017	8.227E-06	0.00017 4
E S (AT)	viento en Y-LFRD	-1.7E-05	- 0.00274 3	-0.0001	0.00013 9	2.302E-06	- 0.00012 1
F I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00001 2	- 0.00013 3	-0.0007	-7.4E-05	0.000022	-3.45E-06
F I (AT)	Sismo en Y-LFRD	-3.9E-07	0.00007 5	-8E-05	-5.1E-05	4.558E-07	-1.3E-06



F I (AT)	C.Muerta-LFRD	-8.7E-07	-	0.00019 9	-0.0002	-0.00018	1.28E-06	-5.05E-06
F I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-1.2E-06	-	0.00026 5	-0.0003	-0.00024	1.707E-06	-6.73E-06
F I (AT)	viento en X-LFRD	-6.3E-07	-	0.00019 4	-0.0005	-0.00034	6.446E-06	-4.69E-06
F I (AT)	viento en Y-LFRD	3.04E-07	-	0.00008 1	-0.0002	0.00026 8	4.994E-06	-2.56E-06
IS (AT)1	Sismo en x-LFRD	0		0	0	0	0	0
IS (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0
IS (AT)1	C.Muerta-LFRD	0		0	0	0	0	0
IS (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0		0	0	0	0	0
IS (AT)1	viento en X-LFRD	0		0	0	0	0	0
IS (AT)1	viento en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0
JI (AT)	Sismo en x-LFRD	0		0	0	0	0	0
JI (AT)	Sismo en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0
JI (AT)	C.Muerta-LFRD	0		0	0	0	0	0
JI (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0		0	0	0	0	0
JI (AT)	viento en X-LFRD	0		0	0	0	0	0
JI (AT)	viento en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0
KS (AT)	Sismo en x-LFRD	0		0	0	0	0	0
KS (AT)	Sismo en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0
KS (AT)	C.Muerta-LFRD	0		0	0	0	0	0
KS (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0		0	0	0	0	0
KS (AT)	viento en X-LFRD	0		0	0	0	0	0
KS (AT)	viento en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0
K1 S(AT)	Sismo en x-LFRD	0		0	0	0	0	0
K1 S(AT)	Sismo en Y-LFRD	0		0	0	0	0	0

K1 S(AT)	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
M S (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000024	0	-0.0012	0	-0.000044	0
M S (AT)	Sismo en Y-LFRD	-3.3E-05	0.004555	-0.0012	-1.5E-07	-0.000044	-0.000191
M S (AT)	C.Muerta-LFRD	-7.9E-05	0	-0.0029	0	-0.000106	0
M S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00011	0	-0.0039	0	-0.000141	0
M S (AT)	viento en X-LFRD	-0.0002	0	-0.0074	0	-0.000271	0
M S (AT)	viento en Y-LFRD	-3.2E-05	0	-0.0012	0	-0.000044	0
M1S (AT)	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
N I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000087	0	-0.0009	0	-0.000037	0
N I (AT)	Sismo en Y-LFRD	0.000034	0.004503	-0.0009	1.09E-07	-0.000037	-0.000189
N I (AT)	C.Muerta-LFRD	0.00008	0	-0.0022	0	-0.000089	0

	LFRD	2					
N I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.000109	0	-0.003	0	-0.000119	0
N I (AT)	viento en X-LFRD	0.00021	0	-0.0057	0	-0.000227	0
N I (AT)	viento en Y-LFRD	0.000035	0	-0.0009	0	-0.000037	0
O S (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00006	0	-0.0029	0	-0.000038	0
O S (AT)	Sismo en Y-LFRD	-3.7E-05	0.013173	-0.0029	-4E-07	-0.000038	-0.000218
O S (AT)	C.Muerta-LFRD	-8.9E-05	0	-0.007	0	-0.000091	0
O S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00012	0	-0.0093	0	-0.000121	0
O S (AT)	viento en X-LFRD	-0.00023	0	-0.0178	0	-0.000232	0
O S (AT)	viento en Y-LFRD	-3.6E-05	0	-0.0029	0	-0.000038	0
O1 S(AT)	Sismo en x-LFRD	-9.2E-06	0.001151	5.7E-05	-4.9E-05	-1.098E-06	-0.00005
O1 S(AT)	Sismo en Y-LFRD	0.000011	0.002021	-1E-04	-5.8E-05	-1.94E-06	0.000077
O1 S(AT)	C.Muerta-LFRD	0.000026	0.002656	-0.0002	-0.00012	-4.711E-06	0.000117
O1 S(AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.000034	0.003545	-0.0003	-0.00016	-6.291E-06	0.000155
O1 S(AT)	viento en X-LFRD	0.000036	0.003779	-0.0005	-0.00017	-8.068E-06	0.000166
O1 S(AT)	viento en Y-LFRD	1.95E-06	0.001807	-8E-05	0.000085	-1.844E-06	0.00008
P I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000139	0	-0.0026	0	-0.00004	0
P I (AT)	Sismo en Y-LFRD	0.000048	0.013054	-0.0025	1.27E-07	-0.00004	0.000217
P I (AT)	C.Muerta-LFRD	0.000116	0	-0.0061	0	-0.000095	0
P I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.000154	0	-0.0081	0	-0.000127	0
P I (AT)	viento en X-LFRD	0.000297	0	-0.0155	0	-0.000242	0
P I (AT)	viento en Y-LFRD	0.00005	0	-0.0025	0	-0.00004	0
Q S (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000129	0	-0.0045	0	2.771E-07	0

Q S (AT)	Sismo en Y-LFRD	7.31E-20	0.023254	-0.0045	-6.4E-07	2.806E-20	-3.71E-19
Q S (AT)	C.Muerta-LFRD	1.26E-19	0	-0.0107	0	1.107E-19	0
Q S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	2.93E-19	0	-0.0143	0	1.115E-19	0
Q S (AT)	viento en X-LFRD	1.6E-06	0	-0.0273	0	8.18E-09	0
Q S (AT)	viento en Y-LFRD	1.6E-06	0	-0.0045	0	8.18E-09	0
R I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000148	0	-0.0039	0	-0.000024	0
R I (AT)	Sismo en Y-LFRD	0.000034	0.020336	-0.0038	1.19E-07	-0.000024	-0.000136
R I (AT)	C.Muerta-LFRD	0.000081	0	-0.0092	0	-0.000058	0
R I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.000109	0	-0.0123	0	-0.000078	0
R I (AT)	viento en X-LFRD	0.00021	0	-0.0236	0	-0.000148	0
R I (AT)	viento en Y-LFRD	0.000036	0	-0.0038	0	-0.000024	0
S S (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000143	0	-0.004	0	0.00002	0
S S (AT)	Sismo en Y-LFRD	0.000022	0.020472	-0.0041	-6E-07	0.00002	0.000136
S S (AT)	C.Muerta-LFRD	0.000052	0	-0.0097	0	0.000048	0
S S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.00007	0	-0.013	0	0.000064	0
S S (AT)	viento en X-LFRD	0.000135	0	-0.0249	0	0.000123	0
S S (AT)	viento en Y-LFRD	0.000023	0	-0.0041	0	0.00002	0
S1 S(AT)	Sismo en x-LFRD	-4.5E-05	0.004163	0.00018	-0.00011	0.000018	-0.000061
S1 S(AT)	Sismo en Y-LFRD	0.000027	0.005676	-9E-05	-0.00013	-1.479E-07	-0.000054
S1 S(AT)	C.Muerta-LFRD	0.000065	0.009686	-0.0002	-0.00027	-6.755E-08	-0.000144
S1 S(AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.000086	0.012924	-0.0003	-0.00036	-6.139E-08	-0.000192
S1 S(AT)	viento en X-LFRD	0.000096	0.013865	-0.0003	-0.00039	5.665E-06	-0.000209
S1 S(AT)	viento en Y-LFRD	6.22E-06	-0.00667	-4E-05	0.000195	3.635E-06	0.000102

T I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00012 2	0	-0.0044	0	3.938E-07	0
T I (AT)	Sismo en Y-LFRD	-7.7E-20	0.02312 8	-0.0044	1.25E-07	1.262E-20	-2.58E-19
T I (AT)	C.Muerta-LFRD	-1.9E-19	0	-0.0104	0	2.548E-20	0
T I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-2.4E-19	0	-0.0139	0	3.345E-20	0
T I (AT)	viento en X-LFRD	1.87E-06	0	-0.0267	0	3.855E-08	0
T I (AT)	viento en Y-LFRD	1.87E-06	0	-0.0044	0	3.855E-08	0
U S (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00013 4	0	-0.0029	0	0.000038	0
U S (AT)	Sismo en Y-LFRD	0.00003 7	0.01317 3	-0.0029	-4E-07	0.000038	0.00021 8
U S (AT)	C.Muerta-LFRD	0.00008 9	0	-0.007	0	0.000091	0
U S (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0.00011 9	0	-0.0093	0	0.000121	0
U S (AT)	viento en X-LFRD	0.00023	0	-0.0178	0	0.000232	0
U S (AT)	viento en Y-LFRD	0.00003 8	0	-0.0029	0	0.000038	0
V I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00008	0	-0.0038	0	0.000024	0
V I (AT)	Sismo en Y-LFRD	-3.4E-05	0.02033 6	-0.0038	1.19E-07	0.000024	0.00013 6
V I (AT)	C.Muerta-LFRD	-8.1E-05	0	-0.0092	0	0.000058	0
V I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00011	0	-0.0123	0	0.000078	0
V I (AT)	viento en X-LFRD	-0.00021	0	-0.0236	0	0.000148	0
V I (AT)	viento en Y-LFRD	-3.2E-05	0	-0.0038	0	0.000024	0
C S (AT)1	Sismo en x-LFRD	-9.9E-05	- 0.00295 5	-0.0004	0.00008 4	0.000018	- 0.00004 5
C S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	-2.7E-05	- 0.00157 7	-9E-05	0.00006 9	-1.256E-07	- 0.00005 4
C S (AT)1	C.Muerta-LFRD	-6.5E-05	- 0.00740 5	-0.0002	0.00020 2	-3.515E-08	- 0.00010 9
C S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-8.6E-05	- 0.00987 3	-0.0003	0.00026 9	-4.687E-08	- 0.00014 6
C S (AT)1	viento en X-LFRD	-0.00014	- 0.01431 2	-0.0004	0.00038 9	4.138E-07	- 0.00021 1
C S (AT)1	viento en Y-	-4.8E-05	-	-0.0002	0.00048	3.939E-06	-

	LFRD		0.01677 3		3		0.00025 4
C1 S(AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00009	0	-0.0012	0	0.000044	0
C1 S(AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.00003 3	0.00455 5	-0.0012	-1.5E-07	0.000044	0.00019 1
C1 S(AT)1	C.Muerta-LFRD	0.00007 9	0	-0.0029	0	0.000106	0
C1 S(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00010 5	0	-0.0039	0	0.000141	0
C1 S(AT)1	viento en X-LFRD	0.00020 1	0	-0.0074	0	0.000271	0
C1 S(AT)1	viento en Y-LFRD	0.00003 3	0	-0.0012	0	0.000044	0
D1 I(AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00004 3	0	-0.0025	0	0.00004	0
D1 I(AT)1	Sismo en Y-LFRD	-4.8E-05	0.01305 4	-0.0025	1.27E-07	0.00004	0.00021 7
D1 I(AT)1	C.Muerta-LFRD	-0.00012	0	-0.0061	0	0.000095	0
D1 I(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00015	0	-0.0081	0	0.000127	0
D1 I(AT)1	viento en X-LFRD	-0.00029	0	-0.0155	0	0.000242	0
D1 I(AT)1	viento en Y-LFRD	-4.7E-05	0	-0.0025	0	0.00004	0
E S(AT)1	Sismo en x-LFRD	-0.00003	-	0.00080 4	-0.0003	0.00003 7	2.839E-06
E S(AT)1	Sismo en Y-LFRD	-1.1E-05	0.00003 2	-1E-04	0.00003	1.993E-06	-
E S(AT)1	C.Muerta-LFRD	-2.6E-05	0.00203 9	-0.0002	0.00008 8	4.733E-06	0.00008 9
E S(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-3.4E-05	-	0.00271 8	-0.0003	0.00011 8	6.311E-06
E S(AT)1	viento en X-LFRD	-5.2E-05	-	0.00394 3	-0.0005	0.00017	8.563E-06
E S(AT)1	viento en Y-LFRD	-0.00002	-	0.00455 7	-0.0001	0.00021 1	2.028E-06
F I(AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00001 1	0.00013 3	-0.0007	0.00007 4	0.000022	3.439E-06
F I(AT)1	Sismo en Y-LFRD	-3.8E-07	0.00024	-9E-05	0.00009 6	6.175E-07	2.882E-06
F I(AT)1	C.Muerta-LFRD	-9.9E-07	0.00019 8	-0.0002	0.00017 6	1.296E-06	5.017E-06
F I(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-1.3E-06	0.00026 3	-0.0003	0.00023 5	1.728E-06	6.689E-06
F I(AT)1	viento en X-	-8.9E-07	0.00019	-0.0005	0.00033	6.489E-06	4.625E-

	LFRD		2		9		06
F I (AT)1	viento en Y-LFRD	-3.4E-07	0.000109	-0.0002	0.000414	3.501E-06	-3.52E-06
F1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.000019	0	-0.0009	0	0.000037	0
F1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	-3.4E-05	0.004503	-0.0009	1.09E-07	0.000037	0.000189
F1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	-8.2E-05	0	-0.0022	0	0.000089	0
F1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00011	0	-0.003	0	0.000119	0
F1 I (AT)	viento en X-LFRD	-0.00021	0	-0.0057	0	0.000227	0
F1 I (AT)	viento en Y-LFRD	-3.3E-05	0	-0.0009	0	0.000037	0
J I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
J I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
J I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
J I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
J I (AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
J I (AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
K S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
K S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
K S (AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
K S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
K S (AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
K S (AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
K1 S(AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0

K1 S(AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
L I (AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
M S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000024	0	-0.0012	0	-0.000044	0
M S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	-3.3E-05	0.004555	-0.0012	-1.5E-07	-0.000044	-0.000191
M S (AT)1	C.Muerta-LFRD	-7.9E-05	0	-0.0029	0	-0.000106	0
M S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00011	0	-0.0039	0	-0.000141	0
M S (AT)1	viento en X-LFRD	-0.0002	0	-0.0074	0	-0.000271	0
M S (AT)1	viento en Y-LFRD	-3.2E-05	0	-0.0012	0	-0.000044	0
M1S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
M1S (AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0



N I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000087	0	-0.0009	0	-0.000037	0
N I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.000034	0.004503	-0.0009	1.09E-07	-0.000037	-0.000189
N I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0.000082	0	-0.0022	0	-0.000089	0
N I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.000109	0	-0.003	0	-0.000119	0
N I (AT)1	viento en X-LFRD	0.00021	0	-0.0057	0	-0.000227	0
N I (AT)1	viento en Y-LFRD	0.000035	0	-0.0009	0	-0.000037	0
N1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
O S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00006	0	-0.0029	0	-0.000038	0
O S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	-3.7E-05	0.013173	-0.0029	-4E-07	-0.000038	-0.000218
O S (AT)1	C.Muerta-LFRD	-8.9E-05	0	-0.007	0	-0.000091	0
O S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00012	0	-0.0093	0	-0.000121	0
O S (AT)1	viento en X-LFRD	-0.00023	0	-0.0178	0	-0.000232	0
O S (AT)1	viento en Y-LFRD	-3.6E-05	0	-0.0029	0	-0.000038	0
O1 S(AT)1	Sismo en x-LFRD	-8.9E-06	-0.001154	4.9E-05	0.000049	-1.22E-06	0.00005
O1 S(AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.000011	-0.000192	-0.0001	0.000039	-2.026E-06	0.00002
O1 S(AT)1	C.Muerta-LFRD	0.000026	-0.002657	-0.0002	0.000117	-4.837E-06	0.000117
O1 S(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.000035	-0.003575	-0.0004	0.000158	-6.972E-06	0.000157
O1 S(AT)1	viento en X-LFRD	0.000036	-0.00377	-0.0005	0.000171	-7.993E-06	0.000166

O1 S(AT)1	viento en Y-LFRD	2.87E-06	- 0.00381 8	-5E-05	0.00018 4	-1.474E- 06	0.00016 9
P I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00013 9	0	-0.0026	0	-0.00004	0
P I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.00004 8	0.01305 4	-0.0025	1.27E-07	-0.00004	- 0.00021 7
P I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0.00011 6	0	-0.0061	0	-0.000095	0
P I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00015 4	0	-0.0081	0	-0.000127	0
P I (AT)1	viento en X-LFRD	0.00029 7	0	-0.0155	0	-0.000242	0
P I (AT)1	viento en Y-LFRD	0.00005	0	-0.0025	0	-0.00004	0
P1 I (AT)	Sismo en x-LFRD	0.00001 2	- 0.00003 1	0.0005	-9.7E-05	0.000021	6.842E- 07
P1 I (AT)	Sismo en Y-LFRD	4.63E-07	0.00008 2	-8E-05	-7.9E-05	-4.143E- 07	1.091E- 06
P1 I (AT)	C.Muerta-LFRD	1.03E-06	- 0.00019 3	-0.0002	-0.00023	-1.205E- 06	4.799E- 06
P1 I (AT)	Carga viva strand jack-LFRD	1.36E-06	- 0.00025 7	-0.0003	-0.00031	-1.657E- 06	6.403E- 06
P1 I (AT)	viento en X-LFRD	1.61E-06	- 0.00039 6	-0.0003	-0.00034	9.602E-07	0.00001
P1 I (AT)	viento en Y-LFRD	5.97E-07	- 0.00027 3	3.1E-06	0.00016 6	2.716E-06	7.522E- 06
Q S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00012 9	0	-0.0045	0	2.771E-07	0
Q S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	4.18E-20	0.02325 4	-0.0045	-6.4E-07	2.122E-20	4.888E- 19
Q S (AT)1	C.Muerta-LFRD	1.25E-19	0	-0.0107	0	4.549E-20	0
Q S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	1.42E-19	0	-0.0143	0	1.059E-19	0
Q S (AT)1	viento en X-LFRD	1.6E-06	0	-0.0273	0	8.18E-09	0
Q S (AT)1	viento en Y-LFRD	1.6E-06	0	-0.0045	0	8.18E-09	0
R I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00014 8	0	-0.0039	0	-0.000024	0
R I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.00003 4	0.02033 6	-0.0038	1.19E-07	-0.000024	- 0.00013 6
R I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0.00008 1	0	-0.0092	0	-0.000058	0
R I (AT)1	Carga viva	0.00010	0	-0.0123	0	-0.000078	0

	strand jack-LFRD	9					
R I (AT)1	viento en X-LFRD	0.00021	0	-0.0236	0	-0.000148	0
R I (AT)1	viento en Y-LFRD	0.000036	0	-0.0038	0	-0.000024	0
S S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000143	0	-0.004	0	0.00002	0
S S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.000022	0.020472	-0.0041	-6E-07	0.00002	0.000136
S S (AT)1	C.Muerta-LFRD	0.000052	0	-0.0097	0	0.000048	0
S S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.00007	0	-0.013	0	0.000064	0
S S (AT)1	viento en X-LFRD	0.000135	0	-0.0249	0	0.000123	0
S S (AT)1	viento en Y-LFRD	0.000023	0	-0.0041	0	0.00002	0
S1 S(AT)1	Sismo en x-LFRD	-4.4E-05	0.004172	0.00018	0.000112	0.000019	0.000061
S1 S(AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.000027	0.002392	-9E-05	0.000091	1.713E-07	0.000067
S1 S(AT)1	C.Muerta-LFRD	0.000066	0.009687	-0.0002	0.000268	1.901E-07	0.000144
S1 S(AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.000091	0.013026	-0.0003	0.00036	1.325E-06	0.000194
S1 S(AT)1	viento en X-LFRD	0.000095	-0.01383	-0.0003	0.000392	5.51E-06	0.000208
S1 S(AT)1	viento en Y-LFRD	7.7E-06	0.014171	-4E-05	0.000421	2.157E-06	0.000218
T I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000122	0	-0.0044	0	3.938E-07	0
T I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0.023128	-0.0044	1.25E-07	1.831E-20	8.197E-20
T I (AT)1	C.Muerta-LFRD	-1.5E-20	0	-0.0104	0	4.74E-20	0
T I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-2.1E-20	0	-0.0139	0	6.032E-20	0
T I (AT)1	viento en X-LFRD	1.87E-06	0	-0.0267	0	3.855E-08	0
T I (AT)1	viento en Y-LFRD	1.87E-06	0	-0.0044	0	3.855E-08	0
U S (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000134	0	-0.0029	0	0.000038	0
U S (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0.000037	0.013173	-0.0029	-4E-07	0.000038	0.000218
U S (AT)1	C.Muerta-LFRD	0.000089	0	-0.007	0	0.000091	0

U S (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0.000119	0	-0.0093	0	0.000121	0
U S (AT)1	viento en X-LFRD	0.00023	0	-0.0178	0	0.000232	0
U S (AT)1	viento en Y-LFRD	0.000038	0	-0.0029	0	0.000038	0
V I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.00008	0	-0.0038	0	0.000024	0
V I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	-3.4E-05	0.020336	-0.0038	1.19E-07	0.000024	0.000136
V I (AT)1	C.Muerta-LFRD	-8.1E-05	0	-0.0092	0	0.000058	0
V I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00011	0	-0.0123	0	0.000078	0
V I (AT)1	viento en X-LFRD	-0.00021	0	-0.0236	0	0.000148	0
V I (AT)1	viento en Y-LFRD	-3.2E-05	0	-0.0038	0	0.000024	0
F1 I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000019	0	-0.0009	0	0.000037	0
F1 I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	-3.4E-05	0.004503	-0.0009	1.09E-07	0.000037	0.000189
F1 I (AT)1	C.Muerta-LFRD	-8.2E-05	0	-0.0022	0	0.000089	0
F1 I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00011	0	-0.003	0	0.000119	0
F1 I (AT)1	viento en X-LFRD	-0.00021	0	-0.0057	0	0.000227	0
F1 I (AT)1	viento en Y-LFRD	-3.3E-05	0	-0.0009	0	0.000037	0
L1 I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
L1 I (AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)1	C.Muerta-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	0	0	0	0	0	0

N1 I (AT)1	viento en X-LFRD	0	0	0	0	0	0
N1 I (AT)1	viento en Y-LFRD	0	0	0	0	0	0
P1 I (AT)1	Sismo en x-LFRD	0.000012	0.000041	0.00048	0.000097	0.00002	-9.52E-07
P1 I (AT)1	Sismo en Y-LFRD	3.39E-07	0.000252	-1E-04	0.000115	-8.125E-07	-3.17E-06
P1 I (AT)1	C.Muerta-LFRD	8.54E-07	0.00021	-0.0002	0.000233	-1.919E-06	-5.28E-06
P1 I (AT)1	Carga viva strand jack-LFRD	4.25E-07	0.000294	-0.0004	0.000321	0.0000055	-7.38E-06
P1 I (AT)1	viento en X-LFRD	1.71E-06	0.00042	-0.0003	0.000337	1.386E-06	0.000011
P1 I (AT)1	viento en Y-LFRD	1.13E-06	0.00015	4.9E-05	0.000357	4.371E-06	-3.48E-06
Cuerda sup (AL)1	Sismo en x-LFRD	0.006301	0.000318	-0.0033	-6.9E-06	3.053E-06	0.000019
Cuerda sup (AL)1	Sismo en Y-LFRD	-0.00011	0.000397	-0.0036	-9.6E-06	-2.7E-08	6.352E-07
Cuerda sup (AL)1	C.Muerta-LFRD	-0.00028	0.000286	-0.0084	-2.6E-05	6.854E-07	1.103E-06
Cuerda sup (AL)1	Carga viva strand jack-LFRD	-0.00578	0.003846	-0.1403	-0.00014	-0.000058	5.338E-06
Cuerda sup (AL)1	viento en X-LFRD	-0.00018	0.000533	-0.0154	-4.7E-05	4.054E-06	1.13E-06
Cuerda sup (AL)1	viento en Y-LFRD	0.000211	0.000129	-0.0035	-1.1E-05	-1.942E-07	-5.18E-07
valor máximo		0.20363	0.11557	0.0202	0.0025	0.001087	0.001282
Valor mínimo		-0.00613	-0.01677	-0.1478	-0.00542	-0.001042	0.00123

**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20.

Se puede evidenciar que el valor máximo de desplazamiento ocurre en dirección lateral en el momento en que ocurra un sismo en el nodo R1.

## 10. ESFUERZOS

**Tabla 8.**

*Tabla resumen de esfuerzos en los elementos*

<b>Tabla: esfuerzos en los elementos</b>	
Cantidad de elementos y output cases evaluados	97768
Esfuerzo máximo	26.34 KSI

**Nota.** Datos extraídos del visor de resultados de SAP2000

A continuación se muestra una tabla de discretización de elementos tipo columnas, tipo vigas y tipo riostras la cual se evidencia los esfuerzos máximos normales y esfuerzos máximos cortantes de cada elemento, además se analiza los resultados partiendo de que esfuerzos normales positivos significan tensiones, esfuerzos normales negativos significan compresión y esfuerzos cortantes se presentan positivos o negativos según sea el caso.

**Tabla 9.**

*Discretizacion de esfuerzos en elementos tipo columna*

Unidades		Kip/in 2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2
ELEMENTOS: COLUMNAS		SISMO EN X ESFUERZO MAX	SISMO EN X SVM	SISMO EN Y ESFUERZO MAX	SISMO EN Y SVM	CARGA MUERTA ESFUERZO MAX	CARGA MUERTA SVM	CARGA VIVA ESFUERZO MAX	CARGA VIVA SVM	VIENTO EN X ESFUERZO MAX	VIENTO EN X SVM	VIENTO EN Y ESFUERZO MAX	VIENTO EN Y ESFUERZO SVM
SECCION 1-TORRE 1 Y 2	A-F	8,940 6	8,9406	3,3403	3,3403	-3,6603	3,661	-4,8804	4,8813	20,000 0	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	A1-F1	8,940 6	8,9406	3,3403	3,3403	-3,6603	3,661	-4,8804	4,8813	20,000 0	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	G-B	- 8,940 5	8,9406	3,3403	3,3083	3,6603	3,6603	-4,8804	4,8813	- 20,000 0	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	G1-B1	- 8,940 5	8,9406	3,3403	3,3083	3,6603	3,6603	-4,8804	4,8813	- 20,000 0	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	I-D	8,940 6	8,9406	-3,3403	3,3403	-3,6603	3,661	-4,8804	4,8813	20,000 0	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	I1D1	8,940 6	8,9406	-3,3403	3,3403	-3,6603	3,661	-4,8804	4,8813	20,000 0	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	H-C	- 8,940 6	8,9406	-3,3403	3,3403	-3,6603	3,661	-4,8804	4,8813	- 19,002 2	20,000 0	10,462 6	10,462 8
	H1-C1	- 8,940 6	8,9406	-3,3403	3,3403	-3,6603	3,661	-4,8804	4,8813	- 19,002 2	20,000 0	10,462 6	10,462 8
SECCION 2-TORRE 1 Y 2	J-F	6,143 4	6,1434	2,2303	2,2303	-3,6961	3,6962	-4,9282	4,9283	13,687 7	13,687 9	7,2857	7,2857
	F1-J1	6,143 4	6,1434	2,2303	2,2303	-3,6961	3,6962	-4,9282	4,9283	13,687 7	13,687 9	-7,2857	7,2857
	I-M	6,143 4	6,1434	-2,2303	2,2303	-3,6961	3,6962	-4,9282	4,9283	13,687 7	13,687 9	-7,2857	7,2857
	I1-M1	6,143 4	6,1434	-2,2303	2,2303	-3,6961	3,6962	-4,9282	4,9283	13,687 7	13,687 9	-7,2857	7,2857
	H-L	- 5,113 6	5,1136	-1,972	1,972	-3,6961	3,6962	-4,6902	13,687 9	13,687 7	13,687 9	-7,2857	7,2857

	H1-L1	- 6,143 4	6,1434	-1,972	1,972	-3,6961	3,6962	-4,6902	13,687 9	13,687 7	13,687 9	-7,2857	7,2857
	K-G	- 6,143 4	6,1434	2,2303	1,972	-3,6961	3,6962	-4,6902	13,687 9	13,687 7	13,687 9	7,2857	7,2857
	K1-G1	- 6,143 4	6,1434	2,2303	1,972	-3,6961	3,6962	2,0457	-4,9282	13,687 7	13,687 9	7,2857	7,2857
	O-J	3,328	3,328	0,9354	0,8084	-2,8906	2,8906	2,0457	-4,9282	7,6402	7,6411	4,3598	4,3606
	O1-J1	3,328	3,328	0,9354	0,8084	-2,8906	2,8906	2,0457	-4,9282	7,6402	7,6411	4,3598	4,3606
	R-M	3,328	3,328	-0,8084	0,8084	-2,8906	2,8906	-4,6902	13,687 9	7,6402	7,6411	-4,3598	4,3606
	R1-M1	3,328	3,328	-0,8084	0,8084	-2,8906	2,8906	-4,6902	13,687 9	7,6402	7,6411	-4,3598	4,3606
	L-Q	- 3,328	3,328	-0,8084	0,8084	-2,8906	2,8906	-3,8542	3,8542	7,6402	7,6411	-4,3598	4,3606
	L1-Q1	- 3,328	3,328	-0,8084	0,8084	-2,8906	2,8906	-3,8542	3,8542	7,6402	7,6411	-4,3598	4,3606
	P-K	0,730 5	0,7305	0,7305	0,6352	0,7305	0,7305	-4,6902	13,687 9	0,7305	0,7305	-4,3598	4,3606
	P1-K1	0,730 5	0,7305	0,7305	0,6352	0,7305	0,7305	-4,6902	13,687 9	0,7305	0,7305	-4,3598	4,3606
SECCION 3-TORRE 1 Y 2	S-O	2,210 2	2,2102	0,3521	0,2254	-3,3626	3,3627	-4,6902	13,687 9	4,7464	4,7473	2,7989	2,7989
	S1-O1	2,210 2	2,2102	0,3521	0,2254	-3,3626	3,3627	-4,6902	13,687 9	4,7464	4,7473	2,7989	2,7989
	V-R	2,210 2	2,2102	-0,2254	0,2254	-3,3626	3,3627	-4,6902	13,687 9	4,7464	4,7473	-2,7989	2,7989
	V1-R1	2,210 2	2,2102	-0,2254	0,2254	-3,3626	3,3627	-4,6902	13,687 9	4,7464	4,7473	-2,7989	2,7989
	U-Q	- 2,210 2	2,2102	-0,2254	0,2254	-3,3626	3,3627	-4,6902	13,687 9	4,7464	4,7473	-2,7989	2,7989
	U1-Q1	- 2,210 2	2,2102	-0,2254	0,2254	-3,3626	3,3627	-4,6659	13,687 9	4,7464	4,7473	-2,7989	2,7989
	T-P	- 2,210 2	2,2102	0,3521	0,3521	-3,3626	3,3627	-4,4834	4,4836	-4,7464	4,7473	2,7989	2,7989
	T1-P1	- 2,210 2	2,2102	0,3521	0,3521	-3,3626	3,3627	-4,4834	4,4836	-4,7464	4,7473	2,7989	2,7989



	W-S	0,481 4	0,4815	0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	W1-S1	0,481 4	0,4814	0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	Z-V	0,481 4	0,4814	-0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	Z1-V1	0,481 4	0,4814	-0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	Y-U	- 0,070 1	0,0701	-0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	-1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	Y1-U1	- 0,481 4	0,4815	-0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	-1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	X-T	- 0,481 4	0,4815	0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	-1,1628	1,1797	2,7989	2,7989
	X1-T1	- 0,481 4	0,4815	0,0773	0,0773	-2,1617	2,1621	-2,8823	2,8829	-1,1628	1,1797	2,7989	2,7989

**Nota.** Datos exportados y ordenados en el programa Microsoft Excel

**Tabla 10.**

*Discretización de esfuerzos en elementos tipo viga*

Unidades		Kip/in 2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	
<b>ELEMENTOS: VIGAS</b>		SISMO EN X ESFUE RZO MAX	SISMO EN X SVM	SISMO EN Y ESFUE RZO MAX	SISMO EN Y SVM	CARGA MUERT A ESFUE RZO MAX	CARGA MUERT A SVM	CARGA VIVA ESFUE RZO MAX	CARGA VIVA SVM	VIENTO EN X ESFUE RZO MAX	VIENTO EN X SVM	VIENTO EN Y ESFUE RZO MAX	VIENTO EN Y SVM	
SECCI ON 1- TORRE 1 Y 2	F-G	-	0,2814	-	1,7454	1,7279	1,7279	2,3039	2,3039	-7,7364	7,7365	-4,6536	4,6536	
	F1- G1	-	0,2814	-	1,7454	1,7279	1,7279	2,3039	2,3039	-7,7364	7,7365	-4,6536	4,6536	
	F-I	-	3,5766	-	3,5766	1,7279	1,7279	2,8314	2,8314	-9,3677	9,3677	-4,6536	4,6536	
	F1-I1	-	3,5766	-	3,5766	1,7279	1,7279	2,8314	2,8314	-9,3677	9,3677	-4,6536	4,6536	
	I-H	-	0,2814	-	1,7454	1,7279	1,7279	2,3039	2,3039	-7,7364	7,7365	4,6536	4,6536	
	I1-H1	-	0,2814	-	1,7454	1,7279	1,7279	2,3039	2,3039	4,6536	4,6536	4,6536	4,6536	
	G-H	-	3,5766	-	3,5766	0,0067	0,0067	2,4995	2,4995	2,8314	2,8314	4,6536	4,6536	
	G1- H1	-	3,5766	-	3,5766	0,0067	0,0067	2,4995	2,4995	2,8314	2,8314	4,6536	4,6536	
SECCI ON 2- TORRE 1 Y 2	J-K	-	0,2209	-	1,0928	1,6614	1,6614	2,2152	2,2152	-6,7346	6,7346	-3,0859	3,0859	
	J1- K1	-	0,2209	-	1,0928	1,6614	1,6614	2,2152	2,2152	-6,7346	6,7346	-3,0859	3,0859	
	M-J	-	1,7884	-	-0,114	0,114	2,5661	3	2,2697	2,2697	-1,7648	1,7648	-3,0859	3,0859
	M1- J1	-	1,7884	-	-0,114	0,114	2,5661	3	2,2697	2,2697	-1,7648	1,7648	-3,0859	3,0859
	L-M	-	0,2209	-	1,0677	1,6614	1,6614	2,2697	2,2697	-6,7346	6,7346	3,0859	3,0859	
	L1- M1	-	0,2209	-	1,0677	1,6614	1,6614	2,2697	2,2697	-6,7346	6,7346	3,0859	3,0859	
	K-L	-	1,7884	-	-0,114	0,114	1,6614	1,6614	2,2697	2,2697	-6,7346	6,7346	3,0859	3,0859
	K1- L1	-	1,7884	-	-0,114	0,114	1,6614	1,6614	2,2697	2,2697	-6,7346	6,7346	3,0859	3,0859
	O-P	-	0,3304	-	0,7667	0,7668	-0,5254	0,5256	2,2697	2,2697	-6,7346	6,7346	3,0859	3,0859

	O1-P1	-	0,3304	0,3304	0,7667	0,7668	-0,5254	0,5256	2,2697	2,2697	-6,7346	6,7346	3,0859	3,0859
	R-O	-	0,7305	0,7305	0,0799	0,0799	0,0357	0,0357	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,5578	1,5579
	R1-O1	-	0,7305	0,7305	0,0799	0,0799	0,0357	0,0357	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,5578	1,5579
	Q-R	0,3304	0,3304	0,7667	0,7668	0,7667	0,7668	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,5578	1,5579	
	Q1-R1	0,3304	0,3304	0,7667	0,7668	0,7667	0,7668	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,5578	1,5579	
	P-Q	0,7305	0,7305	0,0799	0,0799	0,7667	0,7668	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,5578	1,5579	
	P1-Q1	0,7305	0,7305	0,0799	0,0799	0,7667	0,7668	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,5578	1,5579	
SECCI ON 3- TORRE 1 Y 2	S-T	-0,216	0,216	0,5674	0,5674	0,4521	0,4521	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,4321	1,4321	
	S1-T1	-0,216	0,216	0,5674	0,5674	0,4521	0,4521	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	-1,4321	1,4321	
	V-S	0,1851	0,1851	-0,042	0,042	-0,042	0,042	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	0,5782	0,5782	
	V1-S1	0,1851	0,1851	-0,042	0,042	-0,042	0,042	2,2697	2,2697	2,1178	2,1178	0,5782	0,5782	
	V-U	-0,216	0,216	0,5674	0,5674	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	2,1178	2,1178	0,5782	0,5782	
	V1-U1	-0,216	0,216	0,5674	0,5674	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	2,1178	2,1178	0,5782	-0,5782	
	T-U	0,1851	0,1851	-0,042	0,042	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	-1,9909	1,9909	-0,5782	0,5783	
	T1-U1	0,1851	0,1851	-0,042	0,042	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	-1,9909	1,9909	-0,5782	0,5783	
	X-W	0,3157	0,3168	-0,09	0,0904	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	-1,9909	1,9909	1,1109	1,1109	
	X1-W1	0,3157	0,3168	-0,09	0,0904	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	-1,9909	1,9909	1,1109	1,1109	
	W-Z	0,0277	0,0277	0,0102	0,0102	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	-1,9909	1,9909	-1,1109	1,1109	
	W1-Z1	0,0277	0,0277	0,0102	0,0102	-0,042	0,042	-1,4095	-1,4095	-1,9909	1,9909	-1,1109	1,1109	
	Y-Z	0,3157	0,3168	0,09	0,0904	-0,042	0,042	-1,4095	1,4095	-1,9909	1,9909	-1,1109	1,1109	
	Y1-Z1	0,3157	0,3168	0,09	0,0904	-0,042	0,042	-1,4095	1,4095	-1,9909	1,9909	-1,1109	1,1109	
	Y-X	0,0277	0,0277	-0,017	0,017	-0,042	0,042	-1,4095	1,4095	-1,9909	1,9909	-1,1109	1,1109	
	Y1-X1	0,0277	0,0277	-0,017	0,017	-0,042	0,042	-1,4095	1,4095	-1,9909	1,9909	-1,1109	1,1109	

**Nota.** Datos exportados y ordenados en el programa Microsoft Excel

**Tabla 11.**

*Discretización de esfuerzos en elementos tipo Riostra*

Unidades		Kip/in 2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2	Kip/in2
ELEMENTO: RIOSTRAS		SISMO EN X ESFUERZO MAX	SISMO EN X SVM	SISMO EN Y ESFUERZO MAX	SISMO EN Y SVM	CARGA MUERTA A ESFUERZO MAX	CARGA MUERTA A SVM	CARGA A VIVA ESFUERZO MAX	CARGA VIVA SVM	VIENTO EN X ESFUERZO MAX	VIENTO EN X SVM	VIENTO EN Y ESFUERZO MAX	VIENTO EN Y SVM
	SECCION 1-TORRE 1 Y 2	B-F	- 2,899 7	2,8997	2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	- 11,551 4	11,552	9,0234
B1-F1		- 2,899 7	2,8997	2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	- 11,551 4	11,552	9,0234	9,0236
A-G		2,899 7	2,8997	2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	11,551 4	11,552	9,0234	9,0236
A1-G1		2,899 7	2,8997	2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	11,551 4	11,552	9,0234	9,0236
A-I		3,621 4	3,622	1,6572	1,6572	-4,2309	4,2311	-5,6412	5,6415	12,783	12,785	9,1257	9,1258
A1-I1		3,621 4	3,622	1,6572	1,6572	-4,2309	4,2311	-5,6412	5,6415	12,783	12,785	9,1257	9,1258
D-F		3,621 4	3,622	-1,6572	1,6572	-4,2309	4,2311	-5,6412	5,6415	12,783	12,785	-9,1257	9,1258
D1-F1		3,621 4	3,622	-1,6572	1,6572	-4,2309	4,2311	-5,6412	5,6415	12,783	12,785	-9,1257	9,1258
D-H		2,899 7	2,8997	-2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	11,551 4	11,552	-9,0234	9,0236
D1-H1		2,899 7	2,8997	-2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	11,552	11,552	-9,0234	9,0236
I-C		- 2,899 7	2,8997	-2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	- 11,551 4	11,552	-9,0234	9,0236
I1-C1		- 2,899 7	2,8997	-2,5317	2,5317	-3,1372	3,1378	-4,1829	4,1837	- 11,551 4	11,552	-9,0234	9,0236
G-C		- 2,484 2	2,4842	-0,9212	0,9213	-1,2282	1,2284	-5,5888	4,1837	-4,6182	4,62	-3,5578	3,5583

	G1-C1	- 2,484 2	2,4842	-0,9212	0,9213	-1,2282	1,2284	-5,5888	4,1837	-4,6182	4,62	-3,5578	3,5583
	B-H	- 2,431 1	2,4312	-0,0044	0,4901	-0,0059	0,6535	-4,6328	4,1837	-4,3177	4,3184	-3,4312	3,4318
	B1-H1	- 2,431 1	2,4312	-0,0044	0,4901	-0,0059	0,6535	-4,6328	4,1837	-4,3177	4,3184	-3,4312	3,4318
SECCI ON 2- TORR E 1 Y 2	J-G	- 2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	J1-G1	- 2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	F-K	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	F1-K1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	I-L	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	I1-L1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	H-M	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	H1-M1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	F-M	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	F1-M1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	I-J	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	I1-J1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	G-L	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	G1-L1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	K-H	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904
	K1-H1	2,673 4	2,6734	1,5275	1,5275	-3,1948	3,1951	-4,2597	4,2601	-8,9774	8,9775	6,3841	6,3904

	P-J	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	P1- J1	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	O-K	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	O1- K1	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	Q-M	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	Q1- M1	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	L-R	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	L1- R1	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	R-J	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	R1- J1	1,212 8	1,2128	0,7642	0,7642	-2,6161	2,6168	-3,4881	3,4891	5,254	5,2548	4,2611	4,2618
	M-O	1,098 4	1,0996	-1,1776	1,1776	-3,8988	3,8988	-5,1984	5,1984	6,7463	6,7516	6,7463	6,7516
	M1- O1	1,098 4	1,0996	-1,1776	1,1776	-3,8988	3,8988	-5,1984	5,1984	6,7463	6,7516	6,7463	6,7516
	P-L	8,723 E-07	1,1619	-2,2728	2,2738	-3,0305	3,0317	-2,6525	2,6598	1,1979	1,2023	0,0026	1,0486
	P1- L1	8,723 E-07	1,1619	-2,2728	2,2738	-3,0305	3,0317	-2,6525	2,6598	1,1979	1,2023	0,0026	1,0486
	Q-K	1,224 E-06	1,1589	-0,1374	0,2606	-0,1832	0,3475	-3,8435	3,8526	0,0243	1,7604	0,0028	0,9952
	Q1- K1	1,224 E-06	1,1589	-0,1374	0,2606	-0,1832	0,3475	-3,8435	3,8526	0,0243	1,7604	0,0028	0,9952
SECCI ON 3- TORR E 1 Y 2	S-P	- 1,418 4	1,4184	0,2357	0,2357	-2,5517	2,5538	-3,4023	3,4051	-4,0728	4,0743	2,4219	2,4219
	S1- P1	- 1,418 4	1,4184	0,2357	0,2357	-2,5517	2,5538	-3,4023	3,4051	-4,0728	4,0743	2,4285	2,4219
	T-O	- 5,91E- 06	0,2271	0,0018	2,1451	-2,8589	2,8601	-0,928	0,9367	-0,0122	1,7698	0,8988	0,8988
	T1- O1	- 5,91E- 06	0,2271	0,0018	2,1451	-2,8589	2,8601	-0,928	0,9367	-0,0122	1,7698	0,8989	0,8988

	S-R	- 9,39E-13	0,2231	0,0041	2,5538	-3,4023	3,4051	-2,8952	2,9015	-0,0133	2,4285	1,1124	1,1124
	S1-R1	- 9,39E-13	0,2231	0,0041	2,5538	-3,4023	3,4051	-2,8952	2,9015	-0,0133	2,4285	1,1124	1,1124
	V-O	- 9,39E-13	0,2231	0,0041	2,5538	-3,4023	3,4051	-2,8952	2,9015	-0,0133	2,4285	1,1181	1,1124
	V1-O1	- 9,39E-13	0,2231	0,0041	2,5538	-3,4023	3,4051	-2,8952	2,9015	-0,0133	2,4285	1,3277	1,1124
	T-Q	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	T1-Q1	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	U-P	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	U1-P1	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	U-R	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	U1-R1	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	V-Q	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	V1-Q1	- 8,68E-02	6,7516	-0,6055	0,6055	2,9841	2,9841	3,9788	3,9788	3,3105	3,3105	-3,1387	3,1387
	X-S	0,4915	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
	X1-S1	0,4915	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
	T-W	0,4915	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
	T1-W1	0,4915	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258

Z-S	0,491 5	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
Z1-S1	0,491 5	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
V-W	0,491 5	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
V1-W1	0,491 5	0,4915	0,0623	0,0623	-1,9507	1,9511	-2,6009	2,6014	1,6283	1,6352	0,8245	0,8258
X-J	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
X1-J1	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
Y-T	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
Y1-T1	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
Y-V	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
Y1-V1	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
Z-U	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045
Z1-U1	- 0,037 5	0,038	-0,2363	0,2363	-2,3789	2,3789	-3,1719	3,1719	3,1828	3,1833	-1,8045	1,8045

**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20 y discretizado en Microsoft Excel



**Tabla 12.**

*Discretización de esfuerzos en elementos del sistema estructural superior*

ARMADURA SISTEMA ESTRUCTURAL SUPERIOR	SVM MAX Kip/in <sup>2</sup>	CONDICION	CASO DE CARGA	UBICACIÓN
POSTES O COLUMNAS	23.9891	115 poste (AL)	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL
RIOSTRAS	21.2939	114 riostra (AL)	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL
CUERDA SUPERIOR ARMADURA	23.4736	Cuerda sup (AL)2.2	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL
CUERDAS INFERIORES	26.3492	Cuerda inf (AL)2	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL

**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20 y discretizado en Microsoft Excel. Se evidencia que el esfuerzo más crítico se ubica en las cuerdas inferiores de la armadura longitudinal.

**Tabla 13.***Discretización de fuerzas resultantes en elementos del sistema estructural superior*

ARMADURA SISTEMA ESTRUCTURAL SUPERIOR	F MAX Kip	Tension/Compresion	CONDICION	CASO DE CARGA	UBICACIÓN
POSTES O COLUMNAS	35.968	tensión	112 Poste (AL)	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL
RIOSTRAS	13.057	tensión	93 Riostra sup (AL)	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL
CUERDA SUPERIOR	118.805	tensión	Cuerda sup (AL)2.2	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL
CUERDA INFERIOR	-60.544	Compresión	Cuerda inf (AL)2	Carga viva strand jack-LFRD	ARMADURA LONGITUDINAL

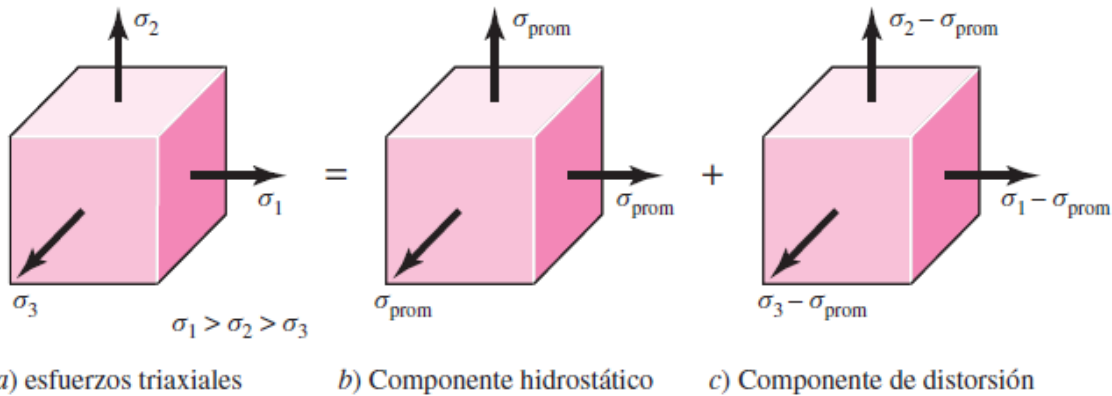
**Nota.** Realizado con apoyo del software sap2000 V20 y discretizado en Microsoft Excel. Se evidencia que todos los elementos analizados a tensión y compresión cumplen con los requisitos para la estabilidad y resistencia de la estructura.

De acuerdo a la teoría de deformación máxima planteada en el libro “diseño en ingeniería mecánica” de Shigley, se puede apreciar que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o a su vez excede la energía de deformación por unidad de volumen que corresponde a la resistencia en tensión o en compresión del mismo material.

De este modo el texto de shigley ilustra que dentro del estado general de esfuerzos se puede deducir un esfuerzo promedio de acuerdo a la ecuación

$$\sigma_{prom} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3}$$

**Figura 11.**  
*Estado general de esfuerzos*



**Nota.** Se ilustra a) esfuerzos triaxiales donde el elemento experimenta cambios de volumen y distorsión angular, b) donde el elemento es sometido a tensión hidrostática donde solo implica cambio de volumen y c) donde evidencia el elemento con distorsión angular sin cambio de volumen. Tomado de: R. Budynas , Diseño en ingeniería mecánica de shigley, Bogota, Mc Graw hill, 2008, pag 219.

Para el caso de simple tensión  $\sigma$  entonces se da que la fluencia puede suceder cuando  $\sigma \geq F_y$  por lo tanto la ecuación  $\left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}} \geq F_y$  es un equivalente del estado general de esfuerzos por  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$  y  $\sigma_3$  llamado esfuerzo de von mises entonces de acuerdo a lo presentado en el capítulo prevención de fallas del diseño en ingeniería mecánica se obtiene que:

$$\sigma' = F_y$$

Donde el esfuerzo de von mises se representa como

$$\sigma' = \left[ \frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Y para el esfuerzo plano debido a que una componente es cero entonces se obtendría que

$$\sigma' = (\sigma_A^2 - \sigma_A \sigma_B + \sigma_B^2)^{\frac{1}{2}}$$

Por tanto para estimar el factor de seguridad de la estructura se puede apreciar que la condición de esfuerzo más crítico para la estructura se encuentra en la tabla de esfuerzos por el elemento tipo columna “A-F” donde se tiene el siguiente estado de esfuerzos promedio extraído del análisis generado por el software sap2000:

**Tabla 14.**

*Estado de esfuerzos para el elemento más crítico*

Frame	Station	OutputCase	CaseType	Point	X2	X3	S11	S12	S13	SMax	SMin	SVM
Cuerda inf (AL)2	0	Carga viva strand jack-LFRD	LinStatic	1	-5	0	-26.3491	0	-0.0363	0.00004989	-26.3492	26.3492

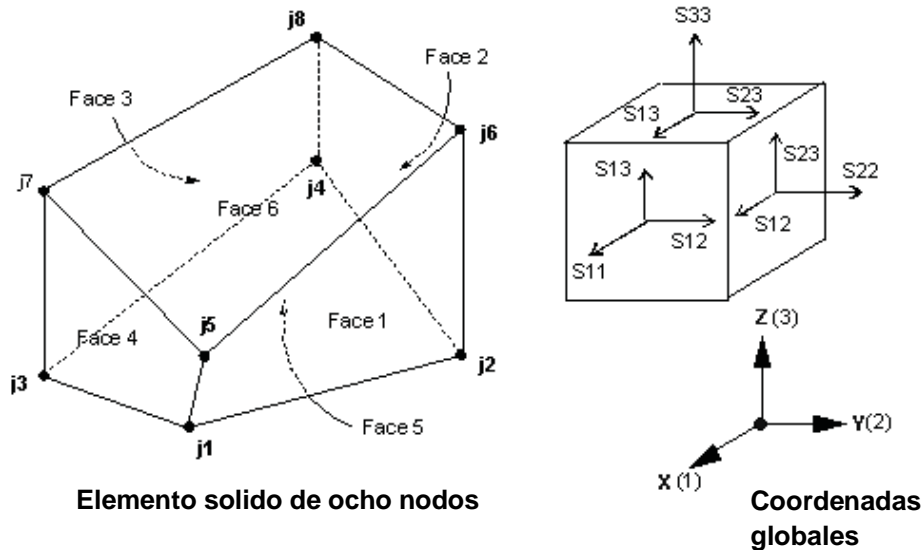
**Nota.** (Extraído de sap2000)

## 10.1 Interpretación de los datos generados por el software SAP2000

De acuerdo al manual de usuario del software SAP2000 adaptado al español por el ingeniero Eliud Hernández en el capítulo 10.4.4 Solids: Fuerzas en elementos de área de comportamiento tipo Shell (utilizados en estructuras como torres, puentes y edificios y son de área constante) [2]

**Figura 12.**

*Tensor de esfuerzos en elementos tridimensionales*



**Nota.** Representación del estado de esfuerzos encontrado en el manual de SAP2000. Tomado de civilgeeks, "manual sap2000". [En línea]. Disponible: <https://civilgeeks.com/2014/06/23/manual-de-sap2000-ing-eliud-hernandez/>. [Acceso: 10 abril 2021]

«Dónde:

**S11:** Esfuerzo (Fuerza local por unidad de área) actuando en las caras 1 (positiva y negativa) en la dirección del eje local 1.

**S12:** Esfuerzo de corte (Fuerza por unidad de área) actuando en las caras 1 (positiva y negativa) en la dirección del eje local 2. Y también actuando en las caras 2 (positiva y negativa) en la dirección del eje local 1.

**S13:** Esfuerzo de corte fuera del plano (Fuerza por unidad de área) actuando en las caras 1 (positiva y negativa) en la dirección del eje local 3.

**SMAX:** Esfuerzo principal máximo (Fuerza por unidad de área). Por definición este esfuerzo está orientado donde los esfuerzos por corte son nulos.

**SMIN:** Esfuerzo principal mínimo (Fuerza por unidad de área). Por definición este esfuerzo está orientado donde los esfuerzos por corte son nulos.

**SVM:** Esfuerzo de von mises (Fuerza por unidad de área)»

Esfuerzo Von mises:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2]}$$

SAP 2000

Por tanto

$$\begin{vmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{vmatrix}$$

Aplicando las ecuaciones de Mohr:

$$\sigma_{13} = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right) \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_{13} = \left(\frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right) \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2}$$

De acuerdo a lo mostrado por el software SAP2000 el esfuerzo en «y» es nulo así mismo los  $\tau_{xy}$  por tanto el elemento más crítico se encuentra sometido a tensión pura y se puede resolver que:

$$\sigma_{13} = \left(\frac{S_{11} + S_{22}}{2}\right) \mp \sqrt{\left(\frac{S_{11} - S_{22}}{2}\right)^2 + S_{12}^2}$$

$$\sigma_{13} = \left(\frac{-26.3491 + \cancel{\sigma_y}}{2}\right) \mp \sqrt{\left(\frac{-26.3491 - \cancel{\sigma_y}}{2}\right)^2 + 0.0363^2}$$

$$Max = \sigma_1 = 0 \text{ kip/in}^2$$

$$Min = \sigma_3 = 26.3491 \text{ kip/in}^2$$

$$\sigma_{vonmises} = \sqrt{\frac{1}{2}[(26.3491 - \cancel{\sigma_2})^2 + (26.3491 - 0)^2 + (\cancel{\sigma_2} - 0)^2]}$$

$$\sigma_{vonmises} = 26.3491 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$\sigma_{13} = \left(\frac{S_{11} + S_{22}}{2}\right) \mp \sqrt{\left(\frac{S_{11} - S_{22}}{2}\right)^2 + S_{13}^2}$$

$$\sigma_{13} = \left( \frac{-26.3491 + \cancel{\sigma_y}}{2} \right) \mp \sqrt{\left( \frac{-26.3491 - \cancel{\sigma_y}}{2} \right)^2 + -0,1564^2}$$

$$Max = \sigma_1 = -26,3650 \text{ kip/in}^2$$

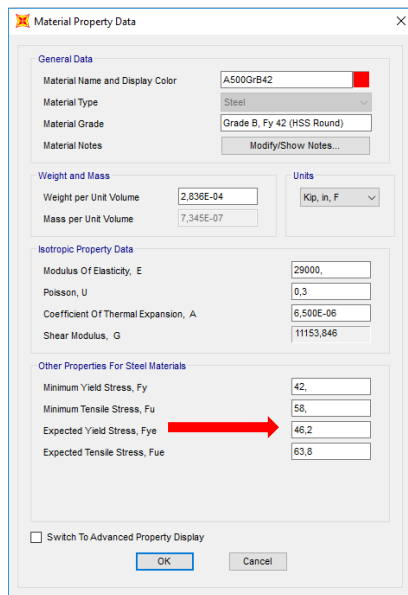
$$Min = \sigma_3 = 0.01407 \text{ kip/in}^2$$

$$\sigma_{vonmises} = \sqrt{\frac{1}{2} [(-26,3650 - \cancel{\sigma_2})^2 + (-26,3650 - 0.01407)^2 + (\cancel{\sigma_2} - 0.01407)^2]}$$

$$\sigma_{vonmises} = 26,37 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

**Figura 13.**

*Propiedades del material representados en sap2000*



**Nota.** Representacion del Fy

$$F_{y \text{ acero a500 grB}} = 46.2 \text{ KSI (SAP2000)}$$

$$n = \frac{46.2}{26.37} = 1.75 = \text{Factor de seguridad}$$

De acuerdo a los estados de esfuerzos máximos presentados: se ingresan los valores de S11, S12 Y S13 en las ecuaciones de mohr respectivamente para analizar los dos  $\sigma_{13}$  posibles y así aplicarlos en la ecuación de vonmises para lo cual se selecciona el

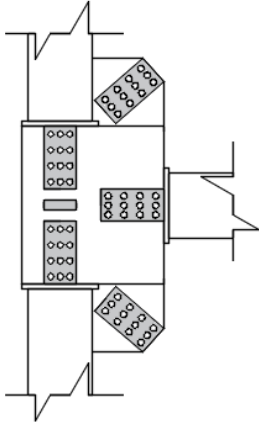
valor más bajo de esfuerzo vonmises, y poder obtener un factor de seguridad, donde se evidencia que se obtiene el mismo esfuerzo von mises presentado por el SAP2000 y así poder definir que la estructura se encuentra actuando en una zona segura con un factor de seguridad de 1.75 **brindando la capacidad estructural requerida para izar una carga de 280 toneladas teniendo en cuenta las cargas mayoradas sugeridas por la LFRD de  $1,2D + 1,6L + 0,5Q+0,5W$ .**



## 11. CONEXIONES METALICAS

**Figura 14.**

*Representación de la conexión metálica de la estructura*

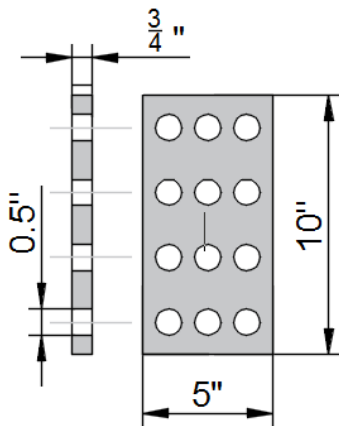


**Nota.** Se evidencia conexión atornillada

Una vez se obtienen los valores máximos de esfuerzos y cargas se procede a realizar la evaluación del diseño de la conexión metálica ilustrada en la figura.

**Figura 15.**

*Platina que lleva el tubo*



**Nota.** Dimensiones para las platinas

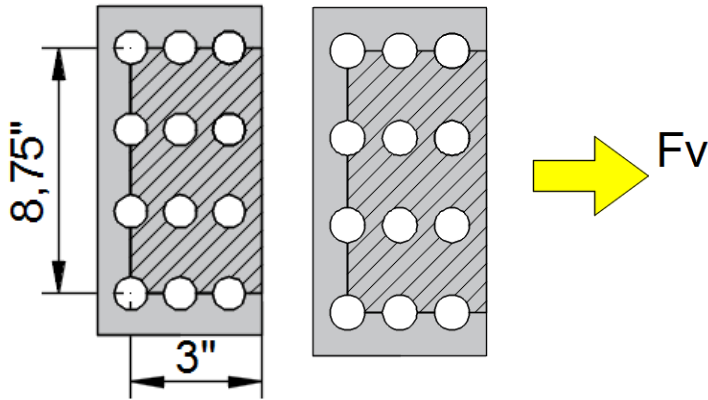
**Tabla 15.**  
*Diseño de conexión a tensión*

<b>Diseño de conexión a tensión</b>		
Nodo a evaluar	F	N/A
Elemento a evaluar	248	N/A
Carga combinada	1,2D+1,6L+0,5Q+0,5W	N/A
Valor de carga en ese punto	300	kips
Material de la platina	Acero A500 Gr B	N/A
Esfuerzo a fluencia Fy	46.2	Ksi
Esfuerzo a fractura Fu	63.8	Ksi
Base platina	63.8	In
Alto platina	10	In
Area total "Ag"	638	In <sup>2</sup>
Diametro "d" del hueco	0.5	In
Diametro "d" con tolerancia	0.625	In
Espesor "t" de platina	0.75	In
#filas de huecos	4	N/A
Area neta "Ae"	636.125	In <sup>2</sup>
Resistencia nominal a la fluencia	Fy*Ag	Kips
Pn	29475.6	kips
Resistencia nominal a la fractura	Fu*Ae	Kips
Pnf	40584.775	Kips
Resistencia de diseño basada en fluencia	Ø* Pn	Kips
Øfluencia	0.9	N/A
Resistencia de diseño basada en fluencia	26528.04	Kips
# Platinas que actuaran	2	
Resistencia total de diseño basada en fluencia	53056.08	Kips
Resistencia de diseño basada en fractura	Ø* Pnf	Kips
Øfractura	0.75	
	30438.58125	Kips
# Platinas que actuaran	2	
Resistencia total de diseño basada en fractura Øfracturatotal	60877.1625	Kips
Øfracturatotal>valor de carga en ese punto	<b>cumple</b>	

**Nota.** Las dimensiones para las platinas son de 10" x 5" x 3/4" y el diámetro de la misma es de 1/2"

**Figura 16.**

*Representación del diseño de la platina a cortante*



**Nota.** Análisis a cortante

**Tabla 16.**

*Diseño de conexión a cortante*

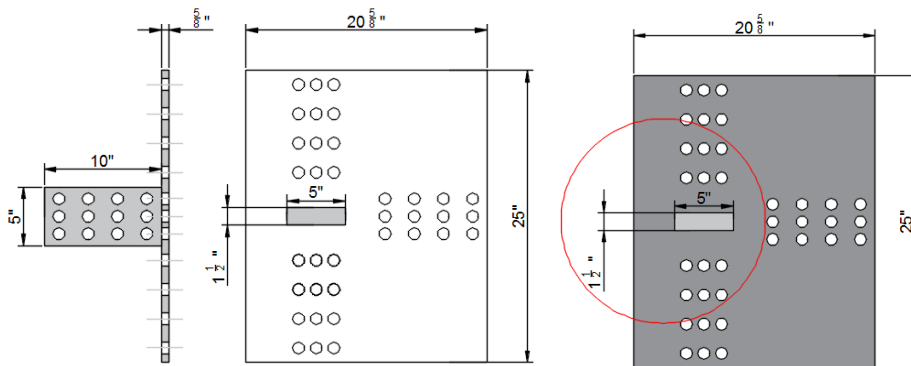
<i>Diseño de conexión a cortante</i>		
Nodo a evaluar	F	N/A
Elemento a evaluar	248	N/A
Esfuerzo cortante maximo S13	-0.0363	Ksi
Material de la platina	Acero A500 Gr B	N/A
Esfuerzo a fluencia Fy	46.2	Ksi
Esfuerzo a fractura Fu	63.8	Ksi
Base platina	5	In
Alto platina	10	In
Area total "Ag"	50	In2
Fuerza Cortante en la platina "Fv"	-1.815	Kips
Area total al corte "Agv"	$3 * t_w * x$	in2
	$3*0,75*8,75$	in2
	19.6875	in2
Area neta al corte "Anv"	$4*t_w*(x-n*d)$	in2
	$4*0,75*(8,75 - 3,5 * (0,5+0,125))$	in2
	19.6875	in2
Area de tension "Ant"	$3*t_w*(y-n*d)$	

	$1*(3-2*(0,5+0,125))$	
	3.9375	
Factor por uniformidad de esfuerzo "U <sub>bs</sub> "		
1= uniforme 0,5=no uniforme	1	N/A
Resistencia nominal "R <sub>n</sub> "	$0,6F_uA_{nv} + U_{bs}F_uA_{nt}$	Kips
	1004.85	Kips
Resistencia nominal a bloque cortante "R <sub>nv</sub> "	$0,6F_yA_{gv} + U_{bs}F_uA_{nt}$	Kips
	796.95	Kips
Resistencia de diseño LFRD "ØR <sub>n</sub> "	$0.75(R_{nv})$	Kips
	597.7125	kips
Resistencia nominal de diseño total "ØR <sub>nt</sub> "	$ØR_n * 2$	kips
	1195.425	kips
$ØR_{nt} > F_v$	cumple	

**Nota.** La platina es apta para su resistencia máxima a cortante

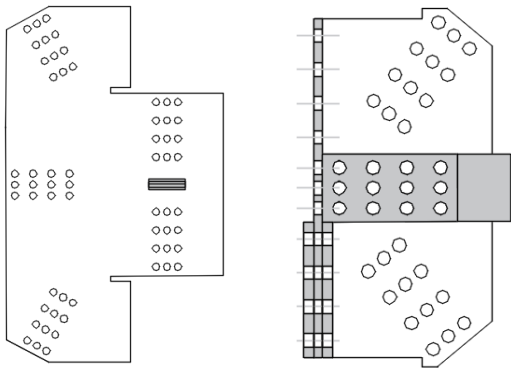
**Figura 17.**

*Detalle de la platina que será ensamblada a la platina de los tubos*



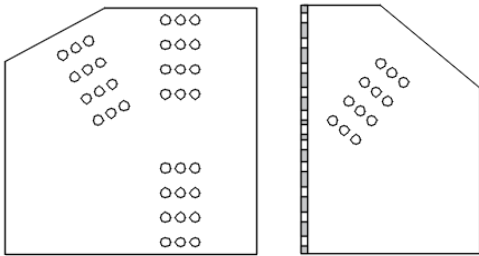
**Nota.** platina en material acero A500 Gr B

**Figura 18.**  
*Detalle de la platina que sujeta la conexión*



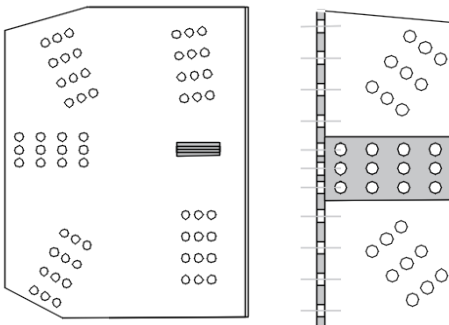
**Nota.** Platina para sección

**Figura 19.**  
*Detalle de la platina que sujeta la conexión*



**Nota.** Platina para sección

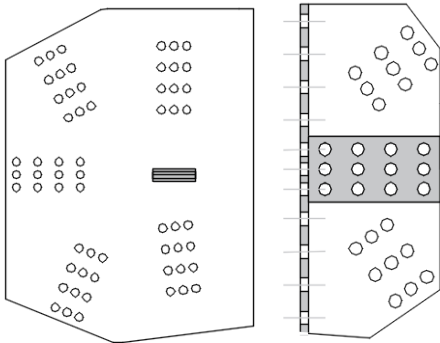
**Figura 20.**  
*Detalle de la platina que sujeta la conexión*



**Nota.** Platina para sección

**Figura 21.**

*Detalle de la platina que sujeta la conexión*



**Nota.** Platina para sección

**Tabla 17.**

*Diseño a tensión de la platina que sujeta la conexión*

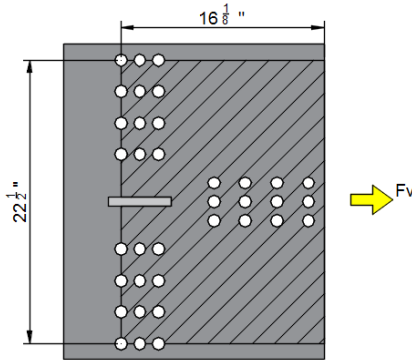
<b><i>Diseño de platina que sujeta la conexión a tensión</i></b>		
Nodo a evaluar	F	N/A
Elemento a evaluar	248	N/A
Carga combinada	$1,2D+1,6L+0,5Q+0,5W$	N/A
Valor de carga en ese punto	300	kips
Material de la platina	Acero A500 Gr B	N/A
Esfuerzo a fluencia $F_y$	46.2	Ksi
Esfuerzo a fractura $F_u$	63.8	Ksi
Base platina	20.625	In
Alto platina	25	In
Area total " $A_g$ "	515.625	In <sup>2</sup>
Diametro " $d$ " del hueco	0.5	In
Diametro " $d$ " con tolerancia	0.625	In
Espesor " $t$ " de platina	0.625	In
#filas de huecos	11	N/A
Area neta " $A_e$ "	511.328125	In <sup>2</sup>
Resistencia nominal a la fluencia	$F_y \cdot A_g$	Kips
$P_n$	23821.875	kips
Resistencia nominal a la fractura	$F_u \cdot A_e$	Kips
$P_{nf}$	32622.73438	Kips
Resistencia de diseño basada en fluencia	$\phi \cdot P_n$	Kips

Øfluencia	0.9	N/A
Resistencia de diseño basada en fluencia	21439.6875	Kips
# Platinas que actuaran	2	
Resistencia total de diseño basada en fluencia	42879.375	Kips
Resistencia de diseño basada en fractura	Ø* Pnf	Kips
Øfractura	0.75	
	24467.05078	Kips
# Platinas que actuaran	2	
Resistencia total de diseño basada en fractura	48934.10156	Kips
<b>Platina soldada</b>		
L	5	in
W	1.5	in
Parametro U	L > 2W ; U=1.0	
	1,5W < L < 2W ; U=0.87	
	W < L < 1,5W ; U=0.75	
U SELECCIONADO	1	
Area efectiva Ae	Ag*U	in2
Ae	7.5	in2
Resistencia nominal a la fluencia Pn	Fy*Ag	kips
	346.5	Kips
Area neta "Ae"	7.5	in2
Resistencia nominal a la fractura Pnf	Fu*Ae	kips
	478.5	kips
Resistencia de diseño basada en fluencia LFRD	Ø* Pn	kips
Pu	311.85	kips
Resistencia de diseño basada en fractura	Ø* Pnf	kips
Pu	358.875	kips

**Nota.** Las dimensiones y espesores cumplen para su utilización.

**Figura 22.**

*Diseño de platina a cortante*



**Nota.** Fuerza cortante actuando sobre la platina

**Tabla 18.**

*Diseño a cortante de la platina que sujeta conexión*

<b><i>Diseño de conexión a cortante de platina que sujeta la conexión</i></b>		
Nodo a evaluar	F	N/A
Elemento a evaluar	248	N/A
Esfuerzo cortante maximo S13	-0.0363	Ksi
Material de la platina	Acero A500 Gr B	N/A
Esfuerzo a fluencia Fy	46.2	Ksi
Esfuerzo a fractura Fu	63.8	Ksi
Base platina	20.625	In
Alto platina	25	In
Area total "Ag"	515.625	In2
Fuerza Cortante en la platina "Fv"	-3.010347656	Kips
Area total al corte "Agv"	11 * tw * x	in2
	11*tw*16,125	in2
	110.859375	in2
Area neta al corte "Anv"	11*tw*(x-n*d)	in2
	11*tw*(16,125 - 7 * (0,5+0,125))	in2
	82.9296875	in2
Area de tension "Ant"	tw*(y-n*d)	
	7*tw*(22,5-7*(0,5+0,125))	
	79.296875	
Factor por uniformidad de esfuerzo "Ubs"		
1= uniforme 0,5=no	1	N/A



uniforme		
Resistencia nominal "Rn"	$0,6F_{uAnv} + U_{bs}F_{uAnt}$	Kips
	8233.689063	Kips
Resistencia nominal a bloque cortante "Rnv"	$0,6F_{yAgv} + U_{bs}F_{uAnt}$	Kips
	8132.1625	Kips
Resistencia de diseño LFRD " $\phi Rn$ "	$0.75(R_{nv})$	Kips
	6099.121875	kips
Resistencia nominal de diseño total " $\phi Rnt$ "	$\phi Rn * 1$	kips
	6099.121875	kips
$\phi Rnt > Fv$	cumple	

**Nota.** Las dimensiones y espesores cumplen para soportar este tipo de fuerzas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Budynas, «Prevencion de fallas,» de *Diseño en ingeniería mecanica*, Bogota, McGraw hill, 2008, p. 219.
- [2] E. Hernandez, «civilgeeks,» 23 06 2014. [En línea]. Available: <https://civilgeeks.com/2014/06/23/manual-de-sap2000-ing-eliud-hernandez/>. [Último acceso: 10 04 2021].