

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Instalación de un turbogenerador de 160 MW: Transporte, izaje y
ubicación en sitio del estator, generador y turbina”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

Carlos Alberto Mosquera Molina

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2015

AGRADECIMIENTO

A mis padres que me inculcaron el deseo del aprendizaje, a mi hermano competidor y ejemplo de toda la vida, y a mi familia que me apoyaron, y lo siguen haciendo.

A mis amigos por hacer de los años de estudio los mejores.

DEDICATORIA

A mi madre, aun no se inventan las palabras necesarias para expresarle mi amor, por ahora solo puedo decirle que sin ella, esto no hubiera sido posible.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

MSc. Gonzalo Zabala O.
VOCAL

Dr. Freddy Jervis C.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Carlos Alberto Mosquera M.

RESUMEN

La instalación mecánica de maquinarias es una parte importante del proceso de ingeniería. Una vez desarrollada, y fabricada la maquinaria debe ser trasladada y ubicada en sitio, ensamblada de ser necesario y puesta en marcha, para que así cumpla su objetivo. Es necesario por lo tanto desarrollar una procedimientos para el transporte y montaje de estos equipos o partes de los mismos, en especial para aquellos de peso crítico, para este proyecto se consideran críticas las cargas mayores a 100 toneladas.

Para la instalación de los equipos en se desarrolló el procedimiento de montaje, seleccionando los equipos de izaje, diseñando y construyendo estructuras auxiliares de soporte, debido a que los equipos estandarizados no se adaptaban al área de montaje.

El diseño del soporte se realizó mediante un software de cálculo por elementos finitos. Luego se fabricó la estructura metálica, con materiales de adquisición local, para disminuir los costos y los tiempos de entrega.

Gracias a esta planificación, el transporte e izaje de los equipos se realizaron de una manera eficaz, por debajo de los márgenes presupuestados, y de manera. Los equipos más importantes de la planta fueron instalados a tiempo y sin inconvenientes a satisfacción del cliente.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE DE FIGURAS	IV
ÍNDICE DE PLANOS	V
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1	2
<i>Antecedentes</i>	2
CAPITULO 2	5
<i>DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA</i>	5
<i>SELECCIÓN DE RUTA DE ACCESO</i>	6
<i>TRANSPORTE DE LOS EQUIPOS</i>	6
<i>ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO</i>	6
<i>DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS</i>	7
CAPITULO 3	9
<i>PROCEDIMIENTO DE MONTAJE</i>	9
Metodología de instalación.	9
Secuencia del izaje	14
Refuerzo de la fundación	16
<i>INSTALACIÓN EQUIPOS DE IZAJE</i>	19
Instalación de vigas riel	19
Instalación de grúa de portal	19
Instalación de elevadores hidráulicos de cable.	20
Instalación de sistema de giro.	20
Transporte del equipo.	21
Izaje del estator del generador.	21
Giro del generador	22
Ubicación en su posición definitiva	22
CAPITULO 4	24
<i>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	24
Conclusiones	24
Recomendaciones	25
Bibliografía	27
ANEXOS	28

ÍNDICE DE FIGURAS

figura 1. Ruta de acceso al área de montaje	6
figura 2. Estructura de soporte del equipo	7
figura 3. Dibujo de la turbina de alta y media presión	8
figura 4. Dibujo del estator del generador	8
figura 5. Izaje de generador con puente grúa	9
figura 6. Izaje de generador con grúa móvil	10
figura 7. Izaje con grúa móvil mas sistema de rieles.....	11
figura 8. Izaje con gantry y strand jacks	12
figura 9. Esquema de izaje de turbina.....	13
figura 10. Esquema de izaje del estator del generador	14
figura 11. Secuencia de montaje a.....	15
figura 12. Secuencia de montaje b.....	15
figura 13. Secuencia de montaje 0.....	16
figura 14. Modelo de estructura.	18

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1. Implementación general de la planta

PLANO 2. Plano de transporte de equipos

PLANO 3. Plano del edificio de turbina

PLANO 4. Izaje del generador

PLANO 5. Movilización del generador al skid de giro

PLANO 6. Giro del generador

PLANO 7. Posicionamiento final del generador

PLANO 8. Izaje de la turbina

PLANO 9. Movilización de la turbina al skid de giro

PLANO 10. Giro de la turbina

PLANO 11. Posicionamiento final de la turbina

PLANO 12. Detalle del pórtico

PLANO 13. Plano de fabricación de la viga superior

PLANO 14. Plano de fabricación de la columna

PLANO 15. Plano de fabricación de la riostra larga

PLANO 16. Plano de fabricación de la riostra corta

INTRODUCCION

El proyecto describe las actividades de izaje de cargas extra pesadas en la una planta de generación eléctrica, como preámbulo se hace una introducción al izaje pesado, su historia y a la turbomaquinaria y su clasificación.

El presente trabajo incluye una descripción general de la planta de generación, su ubicación y características generales del área de trabajo, se describen también los equipos a instalar para conocer su manejo correcto y seguro.

Se desarrolla el procedimiento de montaje total y la secuencia del izaje paso a paso contemplando el giro de los equipos y ubicación en su posición final. Se incluye las actividades colaterales como el refuerzo de la fundación utilizando una estructura metálica como apoyo, y el cargue manual y movilización sobre modular de las piezas hasta la zona de izaje. Proveyendo de esta manera, servicios de ingeniería, que abarcan al personal y a los equipos necesarios, para concretar todas las operaciones citadas y entregar al cliente para su posterior revisión y aprobación.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo realizado.

CAPITULO 1

Antecedentes

Izaje de cargas

Se ha encontrado en las pirámides de Egipto, bloques de piedra de más de 50 toneladas y en Roma, la columna de Trajano, que pesa más de 53 toneladas, la cual fue de alguna forma izada más de 30 metros; cuando incluso en nuestros tiempos una torre grúa no sobrepasa las 20 toneladas de capacidad. Así hay muchos ejemplos de que los izajes pesados iniciaron temprano en la historia de la tierra, a pesar de esto previo a la revolución industrial, cualquier construcción se basaba en la fuerza muscular humana, una gran organización y habilidades de planeación así como en muy ingeniosos mecánicos.

Planos inclinados y palancas

Al mover elementos a lo largo de un plano inclinado, la fuerza requerida para impulsarlo es menor, pero se incrementa la distancia que se tiene que recorrer. La ventaja mecánica de la palanca es dividir la fuerza necesaria para mover un elemento en función del cociente de la distancia del punto de aplicación de la fuerza al punto de apoyo entre la distancia del punto de apoyo a la carga.

Poleas y cabrestantes

La polea aparece en el siglo 6 AC en Grecia. Los romanos adoptaron y desarrollaron esta tecnología, para el siglo 4 AC ya se contaba con poleas compuestas que disminuían la fuerza necesaria para elevar una carga como la resistencia necesaria de la soga.

La polea es otro ejemplo de distancia contra velocidad de izaje, a más distancia menos fuerza es necesaria.

Para aumentar la fuerza de tensión, inicialmente generada por la fuerza humana y de animales, se implementa el cabrestante el cual multiplica la fuerza aplicada.

Torres de izaje.

Una vez desarrollada la tecnología para izar cargas pesadas el siguiente paso fue llevarlas a mayor altura. Ante esta necesidad se desarrollan las torres de izaje.

Para el siglo 16 DC ante la decisión del Papa Sixto V de mover el obelisco del vaticano de 344 toneladas, los maestros constructores fabricaron una estructura de madera de 27.3 metros con sogas de 220 metros de largo y mediante 4 cabestrantes, 800 hombres y 140 caballos izaron el obelisco en 13 horas y 52 min, aunque en si toda la movilización tomó más de un año.

Grúas en la edad moderna

En los siglos siguientes se implementaron medidas de seguridad para evitar el contragiro de los cabrestantes y el descenso no deseado de la carga.

Con la llegada del siglo 19, aparecen también importantes mejoras como el uso de hierro en vez de estructuras de madera, los reductores de potencia hacen las grúas más eficientes y reducen su volumen. No solo la madera fue cambiada por el metal, también la soga de fibra fue cambiada por cables de acero o cadenas. Y la innovación más importante, el motor a vapor, el cual podía mover cualquier carga a cualquier velocidad, siempre y cuando el motor fuera lo suficientemente poderoso.

Hoy en día hay mucha más variedad de grúas y aplicaciones para las mismas. Entre las más destacadas tenemos la Liebherr Mobile Crane LTM 11200-9.1, con una capacidad de izaje de 1200 toneladas métricas, que cuenta con el boom más largo también (100 metros completamente extendido), y la Taisun Gantry Crane con una capacidad de 20 000 toneladas métrica que ostenta el record Guinness de las grúas.

Máquinas a vapor y energía eléctrica

La razón principal de una central de generación es la producción de energía, con el máximo rendimiento posible, de acuerdo a la inversión que se pueda realizar y el beneficio que se espera obtener.

En el caso del vapor ya en el año 150 AC, Hero de Alejandría producía lo que sería la primera máquina de vapor, describiendo aun de forma incompleta la ley de la acción y reacción.

Pasando por Watt y Edison estos equipos fueron desarrollándose y automatizándose hasta lograr los equipos que en la actualidad nos proveen de la energía necesaria para la producción, el desarrollo industrial, y nuestras actividades cotidianas.

Turbina a vapor

Las turbinas son máquinas accionadas por un fluido en movimiento en este caso, el fluido es el vapor, el cual debido a la presión que ejerce sobre la tobera y los alabes causa el movimiento. La turbina consta de un rotor, formado por planos de circunferencia que en los bordes contienen los alabes, los cuales impulsan a la rueda que están unidas a un eje principal y de dos carcasas que soportan el rotor y contienen el fluido. La turbina de vapor acciona un generador que produce energía eléctrica transmitiéndola a través de un sistema de distribución.

CAPITULO 2

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La planta es un proyecto de generación de 161.6 MW (neto) de energía eléctrica en base a carbón pulverizado. En el plano 1 del Anexo 1 se puede encontrar una implantación general de la planta de generación.

La planta se ha diseñado para quemar carbón extraído localmente entregado por camiones al sitio.

Incluye sistemas de limpieza de gases de combustión para reducir las partículas contaminantes creadas durante la combustión para cumplir o superar las actuales directrices del Banco Mundial.

El enfriamiento del vapor es proporcionado por un condensador enfriado por agua de circuito cerrado que finalmente rechaza el calor en una torre de enfriamiento húmeda.

La turbina a instalar es de eje sencillo, de acción con presión escalonada, con recalentamiento y de condensación. Genera 161.6 MW de potencia mecánica a 3600 RPM.

La turbina combina una turbina de alta presión, una turbina de media presión de flujo sencillo de doble carcasa, con una turbina de baja presión de doble flujo y salida radial de vapor hacia el condensador.

El generador eléctrico es de dos polos enfriado por aire con una capacidad de 169 MW a 3600 RPM.

El principal reto de ingeniería local, más allá de la instalación mecánica del equipo es el izaje de las partes extra pesadas, las cuales son la turbina de alta-media presión que viene ensamblada de fábrica y tiene un peso de 140 toneladas y el estator del generador que tiene un peso de 200 toneladas.

SELECCIÓN DE RUTA DE ACCESO

El primer paso es seleccionar la vía de acceso al área de montaje, de preferencia evitando el ingreso a la planta existente, por este motivo se seleccionó la ruta indicada en la figura 1 por ser la más adecuada y espaciosa.

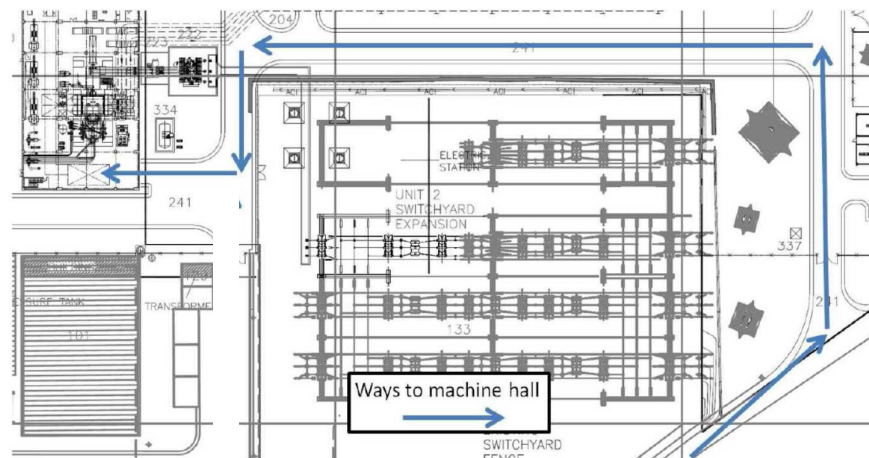


FIGURA 1. RUTA DE ACCESO AL ÁREA DE MONTAJE

Fuente [4]

TRANSPORTE DE LOS EQUIPOS

Los equipos vienen sobre plataforma, conforme a la información del transportista se debe preparar la ruta con los respectivos radios de giro. Las dimensiones, radios de giro y otra información necesaria pueden ser encontrados en el plano 2 del Anexo 1 de este trabajo.

ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO

La base del equipo es una estructura monolítica de hormigón reforzado con armadura de acero, tipo pórtico con muros pantalla para mejorar su sismo resistencia, con una altura promedio de 12 750 mm sobre el nivel de planta. En el modelado de la planta que

se muestra en la figura 2 se puede visualizar la estructura y el equipo.

La turbina y el generador tienen su línea centro de operación 1225mm por sobre el nivel del hormigón, por lo que parte del equipo queda por debajo, requiriendo durante la instalación un movimiento descendente que lo ubique en su posición final.

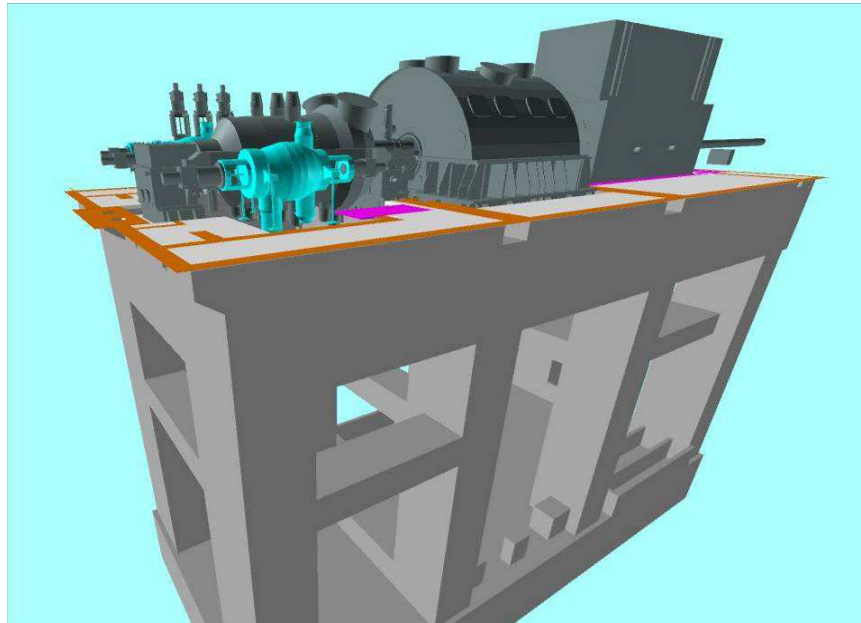


FIGURA 2. ESTRUCTURA DE SOPORTE DEL EQUIPO

Fuente [5]

DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

El cuerpo de la turbina de alta y media presión consta de una carcasa externa con dos carcasas internas, como se muestra en la figura 3, el flujo de vapor ingresa desde el supercalentador a la turbina de alta, retorna al recalentador e ingresa a la turbina de media presión, luego pasa directamente a la turbina de baja. Como se mencionó en la descripción de la panta, el peso de este equipo es de 140 toneladas.

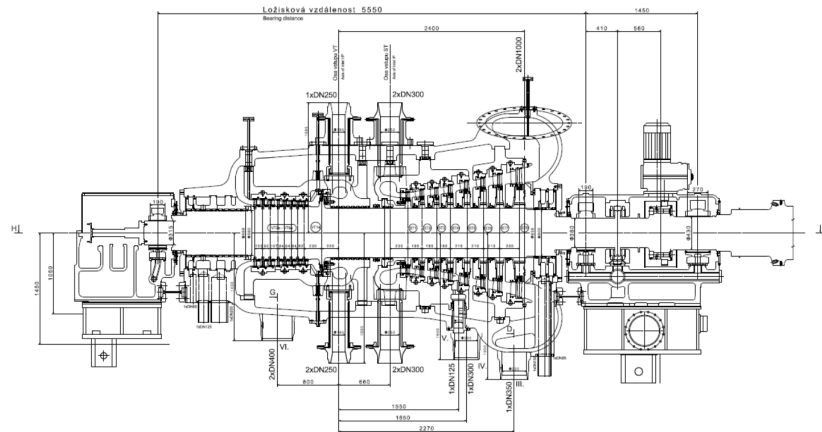


FIGURA 3. DIBUJO DE LA TURBINA DE ALTA Y MEDIA PRESIÓN
Fuente [5]

El estator del generador es la parte más crítica en cuanto a peso y dimensiones con un peso de 200 toneladas, una longitud de 8150 mm y un ancho total de 4200 mm, como se puede ver en la figura 4.

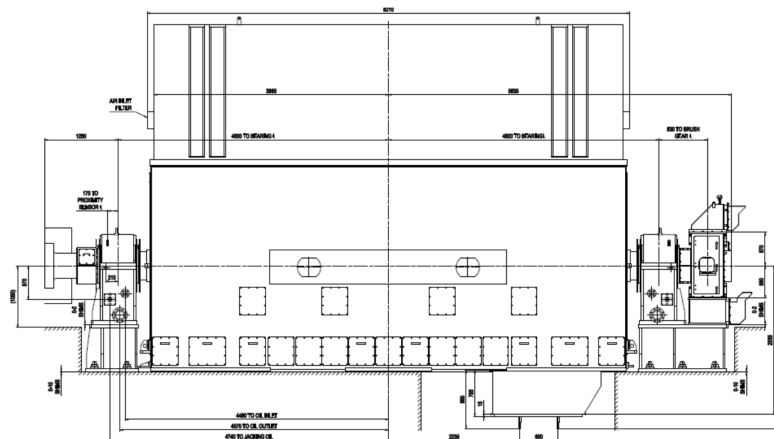


FIGURA 4. DIBUJO DEL ESTATOR DEL GENERADOR
Fuente [6]

CAPITULO 3

PROCEDIMIENTO DE MONTAJE

Metodología de instalación.

Existen varias metodologías posibles para trasladar los equipos desde la parte exterior del edificio, hasta el interior y luego llevarlo a la elevación requerida y posicionarlo. A continuación se evalúan las posibles soluciones.

Puente grúa de la sala de máquinas.

El uso del puente grúa implica el ingreso a través de la puerta principal del edificio en tráiler o cama baja, su descarga, en función del peso y geometría puede requerir eslingas, vigas de izaje u otros accesorios. La figura 5 muestra un generador siendo izado con puente grúa. En el caso analizado, el puente grúa es de 60 toneladas, por lo que este método no aplica.



FIGURA 5. IZAJE DE GENERADOR CON PUENTE GRÚA

Fuente [7]

Grúa móvil

Mediante el uso de grúas móviles las partes pueden descargarse en la parte exterior del edificio, izarse como se muestra en la figura 6, e introducirse al edificio por el techo. En el caso analizado se requeriría por el radio y la altura una grúa de 1000 toneladas de capacidad, pero debido a su escasez, complejidad de transporte y ensamble, así como su elevado costo, esta opción es descartada. La opción de usar dos grúas es más sencilla de ejecutar pero es más riesgosa por lo que tampoco es la solución.



FIGURA 6. IZAJE DE GENERADOR CON GRÚA MÓVIL.

Fuente [8]

Grúa móvil más rieles y rodillos.

Combinando una grúa con un sistema de rieles y rodillos se disminuye la capacidad necesaria de la misma; aunque el equipo se debe izar a la misma altura, el radio disminuye al mínimo. En

este caso se puede izar la carga con una grúa de 600 toneladas (tipo oruga) hasta los rieles que sobresalgan del edificio y luego, colocando sobre rodillos, llevar la carga hasta el interior del edificio (skidding), como se muestra en la figura 7. Una vez en posición se requiere un sistema de gateo (jacking) para remover rodillos y vigas.



FIGURA 7. IZAJE CON GRÚA MÓVIL MÁS SISTEMA DE RIELES

Fuente [5]

Grúa de portal (gantry) y elevadores hidráulicos (strand jacks).

Las partes deben ser transportadas hasta coincidir con la línea centro de la base; una vez en esta posición se izan mediante una combinación de grúa de portal y elevadores hidráulicos de cables. Las partes son izadas mediante uno o varios elevadores,

una vez en la altura requerida, el pórtico se desplaza de manera horizontal sobre rieles hasta alcanzar la posición final, donde el equipo se descarga mediante el uso de los elevadores hidráulicos. En la figura 8 se muestra un equipo instalado y listo para izar la carga.

Esta opción se seleccionó por contar con los equipos requeridos en el mercado, además de ser más económica, requerir menos logística de transporte y un factor de seguridad más alto que las otras opciones analizadas.



FIGURA 8. IZAJE CON GANTRY Y STRAND JACKS

Fuente [9]

La fotografía muestra los equipos utilizados para el izaje que consta de cuatro strand jacks, sin modificaciones, instalados en un doble pórtico con torres hidráulicas que trabajan sobre rieles dobles de vigas que fueron adaptados a la geometría del piso del edificio. Más detalles se presentan adelante en la descripción de proceso de izaje y en el Anexo 2

Esquemas de izaje para turbina y estator del generador.

Para el manejo seguro de las cargas se debe seguir las indicaciones del fabricante, respetando los puntos de izaje, las distancias para los aparejos, y los ángulos mínimos de las eslingas y estrobos.

Las especificaciones entregadas por el fabricante son:

- Peso de la turbina de alta-media presión ensamblada 114,7 Ton
- Peso del ensamble de turbina con pedestal de transporte 120,0 Ton
- Eslingas de izaje sin fin con carga máxima individual de 50,0 Ton

En el caso de la turbina, se utilizará estrobos de acero con una capacidad de 58 toneladas. El esquema de izaje se muestra a través de la figura 9.

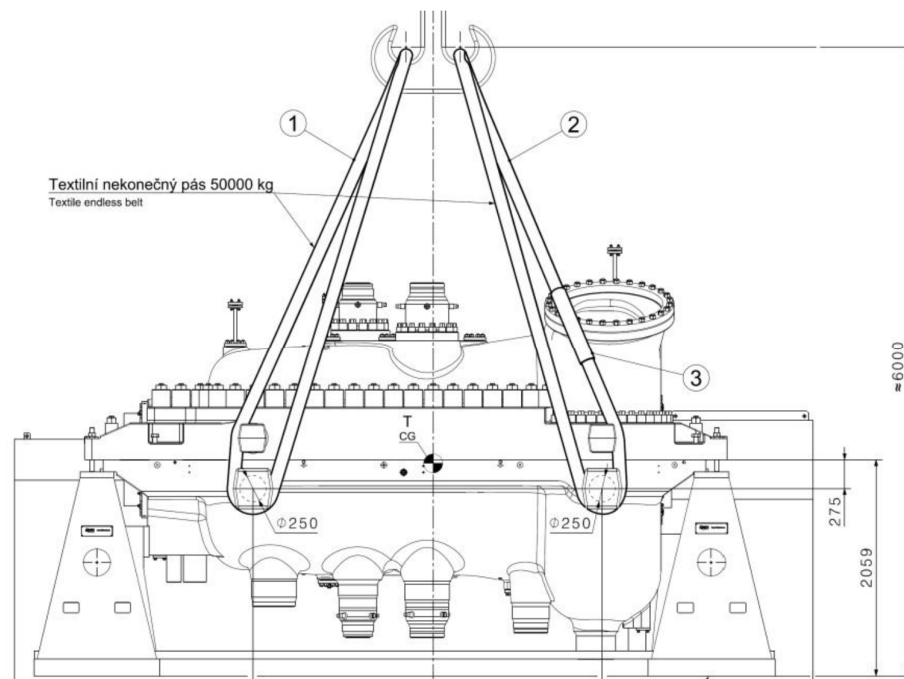


FIGURA 9. ESQUEMA DE IZAJE DE TURBINA

Fuente [4]

Para el generador también se cuenta con un esquema de izaje enviado por el fabricante (ver fig. 10), En este caso se utilizará estrobo de acero con una capacidad de 100 toneladas usándolos en canasta. Al usar el pórtico de izaje, el ángulo del estrobo se reduce a 0 por lo que no genera reducción de capacidad.

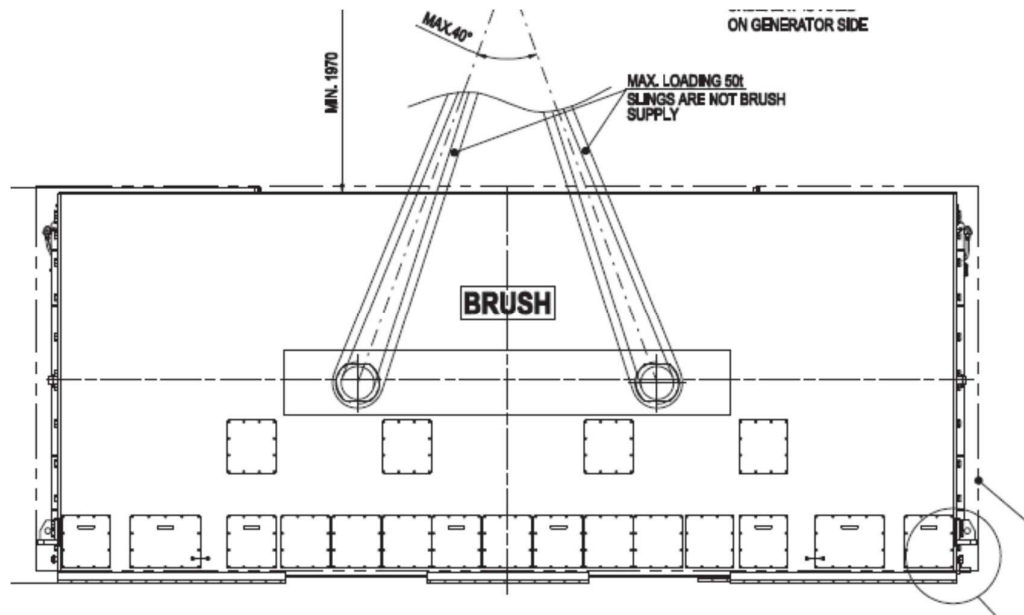


FIGURA 10. ESQUEMA DE IZAJE DEL ESTATOR DEL GENERADOR

Fuente [6]

Secuencia del izaje

El esquema propuesto por el fabricante implicaba izar los equipos desde la parte exterior del edificio y llevarlo mediante un sistema de rieles directamente a su posición, como se muestra en la figura 11, pero al existir una columna impidiendo el paso del equipo se descartó esta alternativa. El detalle del edificio de turbina se encuentra en el plano 3 del Anexo 1 –Piso operativo de turbina (operating floor)

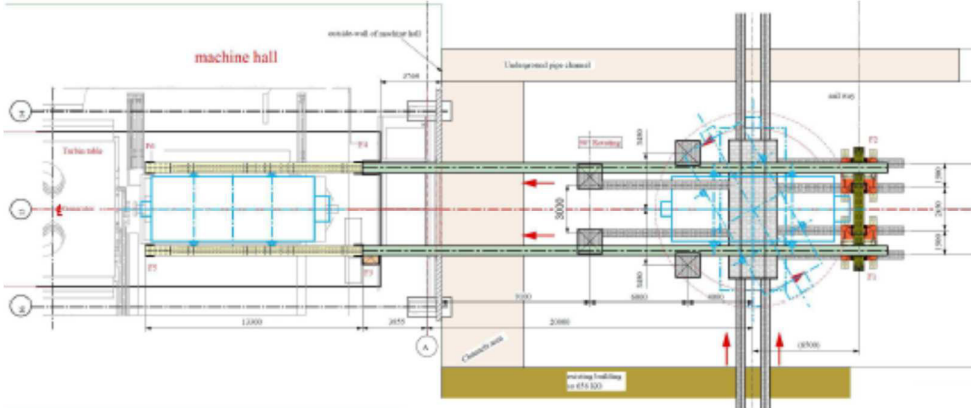


FIGURA 11. SECUENCIA DE MONTAJE A
Fuente [5]

La segunda opción fue hacer el movimiento de manera similar pero fuera del eje, requiriendo en un punto un desplazamiento lateral para ubicar el equipo en su línea centro de acuerdo a la figura 12. Esta opción se desechó debido a la dificultad de realizar este movimiento lateral.

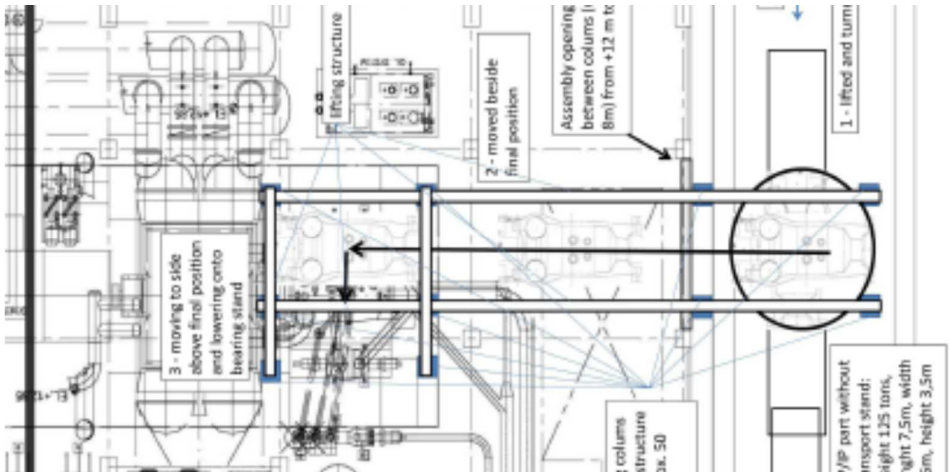


FIGURA 12. SECUENCIA DE MONTAJE B
Fuente [5]

Finalmente se decidió usar la bahía de descarga del edificio, con la restricción de que los equipos debían ser izados con su línea centro girado 90 grados con respecto a su posición final, en este caso la maniobra debía incluir un movimiento giratorio. La versión preliminar de la maniobra se muestra en la figura 13

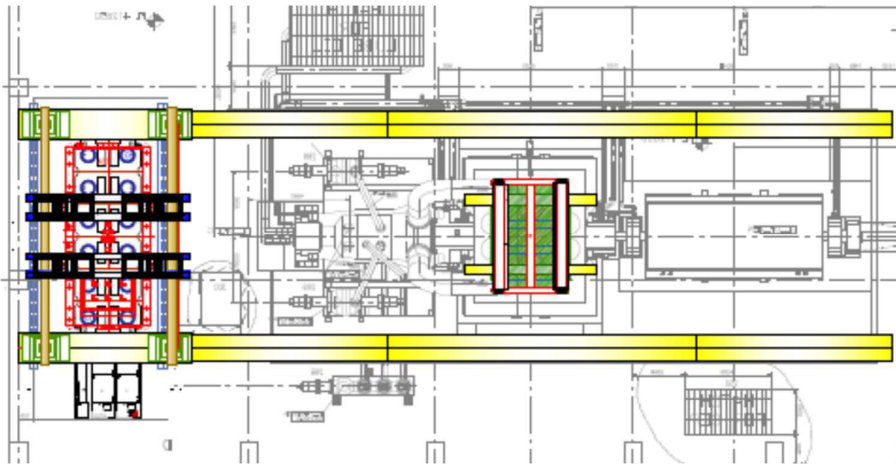


FIGURA 13. SECUENCIA DE MONTAJE 0

Fuente [10]

Refuerzo de la fundación

Dado que la estructura de hormigón del edificio no fue diseñada para soportar la carga de las rieles del portal de izaje, es necesario construir una estructura temporal que sirva como apoyo durante el izaje de los equipos en la bahía de descarga, la estructura es diseñada de manera que las juntas no reciban esfuerzos cortantes y se arriostra contra la estructura de hormigón para mejorar su estabilidad.

La evaluación del esfuerzo aplicado a la estructura se realizó mediante software de cálculo por elementos finitos. Los resultados del se presentan en el Anexo 3 – Cálculo de Estructura.

En este anexo también se encuentran las consideraciones tomadas para el análisis, como el peso de los equipos a izar sumado al peso de las vigas, estructuras y demás elementos de los equipos de izaje. Las secciones utilizadas fueron las existentes en el mercado, para que la construcción pueda realizarse de manera similar al modelo. El material utilizado también es de fácil adquisición en el mercado local (ASTM A36). Las cargas que recibe la estructura se colocaron en el punto de ubicación de las torres, estas pueden ser modeladas sin mayor impacto como cargas puntuales debido a la configuración de las torres. Se consideró también en este análisis el peso propio de la estructura.

El estudio nos indicó que los puntos con mayor esfuerzo cortante son las partes superiores de las columnas. Teniendo en cuenta este resultado la estructura se arriostro contra las columnas de hormigón, lo cual mejora la condición de trabajo de las columnas disminuyendo los esfuerzos cortantes pues la columna trabaja de este modo solo a compresión.

Continuando la revisión del análisis las vigas longitudinales son los elementos que más desplazamiento sufren, su punto central se desplaza 5.5mm hacia abajo, debido a este resultado el desplazamiento de este punto de la estructura fue controlado durante la primera etapa del izaje, hasta que la estructura recibió el 100% de la carga.

Finalmente dado que el esfuerzo resultante es menor al esfuerzo de fluencia el material seleccionado se acepta el diseño con un factor de seguridad de 5.96.

El modelado 3D de la misma se observa en la figura 14.

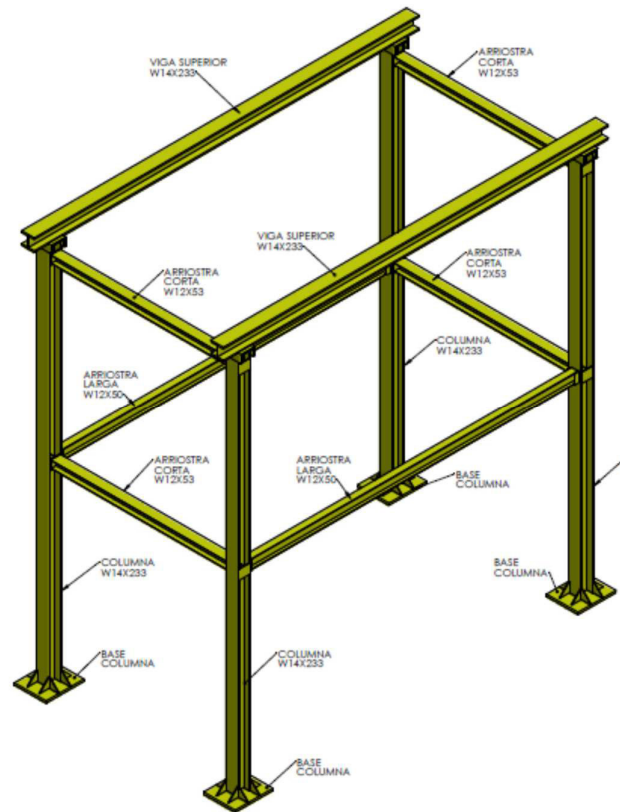


FIGURA 14. MODELO DE ESTRUCTURA.

Fuente [10]

En el Anexo 1, se puede encontrar los planos de construcción de la estructura de soporte. Para ver los planos de construcción, revisar el Anexo 1 planos del 13 al 16 (Estructura de soporte planos de construcción).

La estructura durante su etapa de instalación se muestra en el Anexo 2 – Foto 1 instalación de estructura de soporte.

DESCRIPCION DEL PROCESO DE IZAJE

Instalación de vigas riel

Una vez construida e instalada la estructura de refuerzo se instala sobre ella conectando con la base del equipo vigas rieles sobre las cuales rueda el portal de izaje. Para instalar estas vigas fue necesario con anterioridad trazar los ejes de los equipos mediante el uso de instrumentos de topografía. Luego las vigas fueron posicionadas mediante el uso del puente grúa del edificio. Seguidamente se instaló los rieles sobre la viga, verificando también su ubicación y paralelismo.

Instalación de grúa de portal

La grúa de portal a utilizar tiene una capacidad de izaje de 500 Ton. Consta de cuatro torres hidráulicas, dos cilindros hidráulicas de desplazamiento, dos unidades hidráulicas que alimentan a los cilindros de desplazamiento y a los de levantamiento, dos vigas transversales, y cuatro enlaces con capacidad de 200 Ton cada uno.

Luego de soldar refuerzos de las rieles y de ubicar los fines de carrera, se colocó las cuatro torres que conforman el sistema de grúa de portal. Las torres de ambos extremos van enlazadas mediante tirantes para que la estructura se mueva como un conjunto. Al final se instala el sistema de empuje del portal que consiste de dos cilindros hidráulicos con capacidad de 20 Ton. cada uno, y una carrera de 1,20 metros.

Una vez revisada la alineación, y las distancias diagonales entre las torres se instala las vigas transversales y se las nivela mediante el uso de linternas en los extremos.

El portal se acciona mediante dos unidades de potencia hidráulica, la potencia es generada por un motor de combustión

interna. Se instala estas unidades y se realiza la conexión al sistema.

Se realizan pruebas de funcionamiento para avance, retroceso, levantamiento y descenso del equipo.

Instalación de elevadores hidráulicos de cable.

Las unidades elevadoras de cable son cuatro con una capacidad individual de 100 toneladas accionadas en conjunto por una unidad hidráulica impulsada por motor eléctrico, por lo cual es necesario contar con un generador de emergencia para que la maniobra no se detenga en caso de interrupción de la energía eléctrica.

Para su instalación se monta, sobre las vigas del portal, cuatro vigas longitudinales y sobre estas se coloca el elevador que tiene su propia estructura de soporte.

Se realiza la conexión hidráulica de las unidades, y el enhebrado (colocación de los cables de acero). Se realizan pruebas de ascenso -descenso y se colocan los aparejos.

Instalación de sistema de giro.

El sistema de giro es una plataforma conformada por vigas tipo cajón, sobre las cuales hay dos superficies que giran concéntricamente una sobre la otra por medio de un pivote en el centro.

Para accionar el giro se utiliza cilindros hidráulicos que generan un momento al extenderse sujetos cada extremo a una de las dos superficies.

La instalación de este sistema consiste en su ubicación y nivelación, correcta alineación de su centro de giro con la línea centro de los equipos y lubricación de las superficies deslizantes previo a su uso.

Transporte del equipo.

El estator del generador por su peso no puede ser descargado por ninguno de los equipos móviles disponibles en la planta. Mediante el uso del sistema hidráulico de la plataforma de transporte fue embancado en soportes cilíndricos de acero, luego mediante el uso de una plataforma hidráulica autopropulsada, que también cuenta con sistema hidráulico de levantamiento, se levantó el equipo hasta tomar el 100% de la carga y fueron removidos estos soportes temporales; se colocaron cadenas y trinquetes para anclaje y el equipo quedó listo para ser transportado. La plataforma autopropulsada de 6 líneas tiene una capacidad de 216 Ton. El descargue del equipo se lo hace directamente en el sitio del izaje mediante el portal y los elevadores hidráulicos. En la foto 3 del Anexo 2 se muestra el transporte del generador.

Izaje del estator del generador.

Luego de realizar todas las pruebas de los equipos involucrados, se ubica el portal en la posición inicial, y se hace descender los cables de los elevadores hasta la planta baja.

Se procede a colocar los aparejos, para los enlaces se usó grilletes con capacidad individual de 85 toneladas. El plano de izaje del generador es el número 4 del Anexo 2.

Se eleva la carga mediante el sistema de elevadores de cables, en cada paso se verifica la nivelación del equipo, pequeños desniveles son corregidos de manera manual entre las etapas de izaje automático. El sistema controla la presión en cada uno de los cilindros y alarma ante posibles desbalances.

En el Anexo 2 se puede encontrar fotos del trabajo, la foto 4 fue tomada durante el izaje del generador, y la foto 6 durante el izaje de la turbina.

Giro del generador

El equipo se mueve longitudinalmente desde la posición de izaje hasta la posición del sistema de giro mediante los cilindros de desplazamiento. En cada etapa del movimiento se verifica que el avance de ambas torres sea similar y se corrige cualquier diferencia de manera manual.

El centro del generador debe ser alineado con el centro del sistema de giro, de esta manera después de ser girado coincida con la línea centro de la base previamente marcada.

Una vez alineado, mediante los elevadores hidráulicos de cable, se descarga gradualmente el equipo sobre el sistema de giro, verificando la estabilidad y nivelación de sus soportes. Después de lograr estabilidad se asegura el equipo contra el sistema de giro y se libera completamente la tensión para remover los aparejos.

Una vez verificadas las condiciones, se procede a accionar el cilindro hidráulico del sistema de giro, el mismo se activa de forma manual. Se gira el estator 90 grados hasta que su línea centro coincida con la línea centro de la base. El movimiento de giro del generador se encuentra en el plano 6 del Anexo 1. En el Anexo 2 se encuentran fotos del trabajo realizado; la foto 5 es el momento del giro del generador, y la foto 7 corresponde al instante del giro de la turbina.

Al alcanzar esta posición se bloquea el sistema de giro.

Ubicación en su posición definitiva

El equipo se iza desde la plataforma de giro, esta vez se remueven los elevadores de cable, y el izaje se realiza simplemente con las torres del portal grúa, los aparejos se colocan directamente a los enlaces de las vigas transversales.

El movimiento longitudinal se realiza nuevamente mediante los cilindros de desplazamiento. El descenso en la posición final se

realiza con las torres, la posición final tiene una tolerancia de ± 2 mm, por lo que se debe ser muy preciso con el avance de los cilindros de desplazamiento. La posición lateral tiene la misma tolerancia, al no poseer movimiento lateral el ajuste no se puede hacer con el equipo, por lo que se instalan diferenciales de cadena para tensar el equipo ligeramente y lograr la posición requerida. La elevación se corrige mediante linternas calibradas, hasta lograr que la descarga del equipo en cada soporte sea la misma.

Una vez lograda la ubicación y nivelación final se descarga completamente el equipo. En el Anexo 1 se encuentra el plano 7 el cual muestra el posicionamiento final del generador, mientras en el plano 11 se muestra el posicionamiento final de la turbina.

Para la turbina se usó el mismo procedimiento, incluyendo un paso adicional, donde se retira el soporte de transporte después de realizado el giro.

En el Anexo 2, se incluye la foto 8 mostrando la turbina lista para ser descargada sobre sus soportes.

CAPITULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Planificar un trabajo mejora su desarrollo, disminuye su costo y su duración. En el caso de los izajes de carga, la correcta planificación puede ser la diferencia entre un trabajo culminado exitosamente y un fracaso rotundo, además de un riesgo potencial.

Izar carga sobredimensionada y extra pesada multiplica el riesgo, pues no solo implica el valor del equipo, sino los daños colaterales que se pueden causar, el lucro cesante del equipo, además de las vidas de los trabajadores involucrados. En estos casos el estudio exhaustivo del trabajo, la revisión y aprobación por parte de personal capacitado y la correcta implementación del procedimiento de izaje, es mandatorio.

El cuidado de la seguridad del personal operativo y de supervisión es una actividad primordial, ya que un trabajo que causa un accidente no puede considerarse exitoso.

La verificación del estado de todo elemento y equipo de izaje mediante los métodos adecuados, para asegurar las capacidades de carga entregadas en las tablas del fabricante es vital para el desarrollo seguro de las actividades.

Las pruebas de funcionamiento son otra de las verificaciones que no se puede pasar por alto.

Aun habiendo verificado todos los pasos y equipos, un izaje de carga sigue siendo un riesgo grande, por lo que debe hacerse, previo al trabajo, una revisión de los procedimientos de seguridad durante la maniobra.

La estructura metálica de soporte construida se comportó según lo calculado, porque al arriostrar correctamente las columnas entre ellas y arriostrar la totalidad de la estructura contra las columnas de hormigón la columna trabajo como un elemento sometido a compresión cumpliendo la condición de diseño, aumentado considerablemente su estabilidad.

Recomendaciones

Las siguientes son recomendaciones para realizar procedimientos de instalación de maquinaria, especialmente en casos que requieran equipos de izaje pesado.

Realizar reuniones de trabajo, para tomar las mejores decisiones sobre el procedimiento a efectuarse. Estas reuniones dirigidas por el superintendente de construcción, deben incluir al ingeniero de campo y supervisores de ser necesario, personal de seguridad industrial, personal de control de costos, y personal de ingeniería de esta manera se puede analizar todos los factores y reducir el tiempo de desarrollo del procedimiento.

En caso de una empresa con operaciones remotas, contar con un equipo en campo que pueda tomar las decisiones necesarias y desarrollar la ingeniería requerida sin recurrir a las oficinas principales, de esta manera las soluciones a los problemas que surgen son inmediatas y no dependen de la disponibilidad de terceros.

Reservar y movilizar equipo de izaje pesado con la anterioridad adecuada, siempre se debe tomar en cuenta que la importación,

definitiva o temporal de equipos de izaje puede tomar mucho tiempo. En estos casos asesorarse con las personas que tienen experiencia en este ámbito.

Previo al izaje realizar como mínimo las siguientes inspecciones:

- Inspecciones pre-operacionales de equipos y elementos de izaje.
- Aseguramiento de la capacitación del personal.
- Procedimiento de izaje.
- Identificación de riesgos e implementación de controles.
- Chequeo y delimitación del área de trabajo.
- Verificar estabilidad del equipo de izaje y la carga.
- Verificar que las estructuras construidas cumplan con la especificación.

Durante el izaje tomar las siguientes consideraciones:

- En la etapa inicial del izaje, de ser posible y seguro, mantener la carga a pocos centímetros del piso durante unos minutos y verificar todo el sistema.
- Si hay la posibilidad durante esta etapa inicial medir la deflexión en vigas de izaje de estructuras fabricadas.
- Revisar continuamente el conexionado hidráulico en busca de posibles fugas.
- Para guiar la carga, utilizar elementos auxiliares.
- Mantener la calma, evitar sobresaltos.

Se debe respetar completa y estrictamente las condiciones de diseño (materiales, dimensiones, tolerancias, restricciones) en caso de no poder cumplir con alguna condición de diseño se debe modificar el diseño realizado y realizar nuevamente los cálculos necesarios.

Bibliografía

1. Oliver Bachmann. The History of Cranes (The Classic Construction Series), KHL, 1997.
2. Randal Collins. Power Plant Primer, University of Oregon, Eugene, 2014
3. Luis Milla Lostaunau. Calderas y Turbinas de Vapor para la Generación de Energía Eléctrica, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú, 2007
4. Assembly manual – Instructions for steam turbine assembly, Doosan Skoda Power s.r.o.
5. Initial specification for TG SKODA installation, Doosan Skoda Power s.r.o.
6. Assembly manual – Generator and excitation system, Brush SEM s.r.o.
7. <http://ww1.prweb.com/prfiles/2012/08/26/9838974/Demag%20-%20Siemens%20Press%20Release%20-%20High%20Resolution%20Photo.jpg>
8. <http://www.taavura-cranes.com/wp-content/gallery/heavy-liftingeng/copy-of-350-tons-generator-to-iec1-low-res.jpg>
9. Fotos tomadas durante los trabajos de construcción.
10. Method statement for transport, movement, lifting and location of steam turbine generator. 2014.

ANEXOS

ANEXO 1
PLANOS

ANEXO 2
FOTOS DEL PROCESO DE IZAJE DE
TURBINA Y GENERADOR

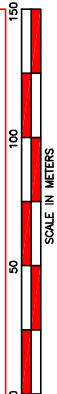
ANEXO 3
CALCULO DE LA ESTRUCTURA DE
SOPORTE



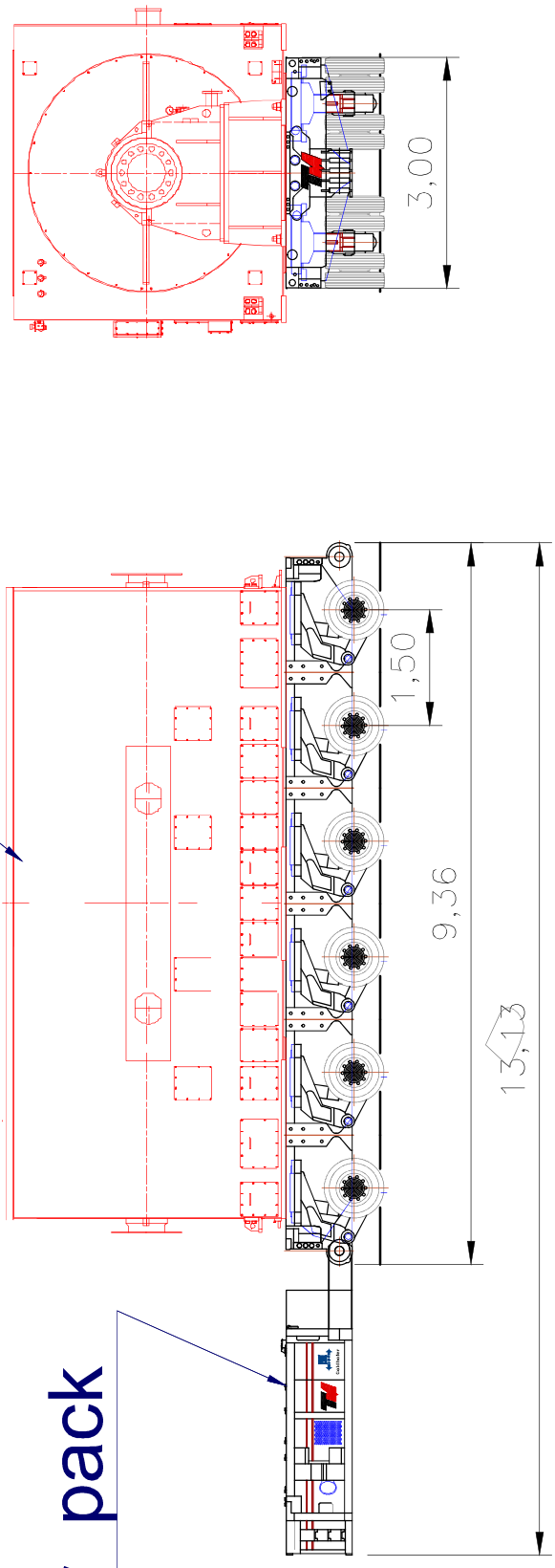
LEGEND
UNIT 1 EXISTING STRUCTURE
HAZARDOUS AREA

- NOTES:**
1. THIS DRAWING IS FOR THE UNIT 2 ARRANGEMENT AND IS SUBJECT TO REVISIONS AS A RESULT OF DETAILED DESIGN.
 2. ALL PLANT COORDINATES SHALL BE SHOWN ON DRAWING AS FOLLOWS PREPARED 4 DIGITS ARE OMITTED.
EXAMPLE)
1) N. 800.000 = N.1000.800.000
2) E. 800.000 = E.1000.800.000
 3. 6L+0.00 = EL+0.00 = MSL+258.25m
6L+10.30m = EL+10.30

PLANO 01
Implantación
General

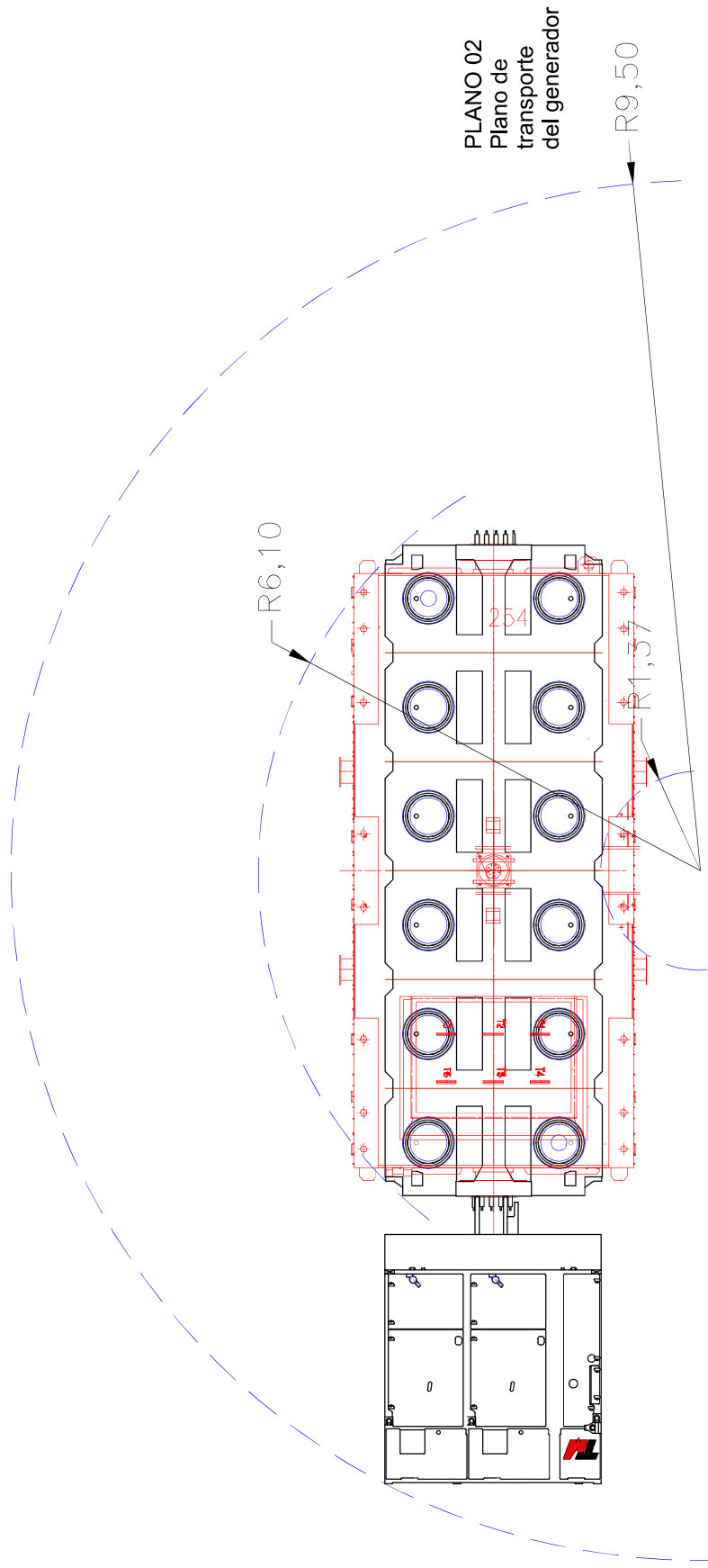


Generador



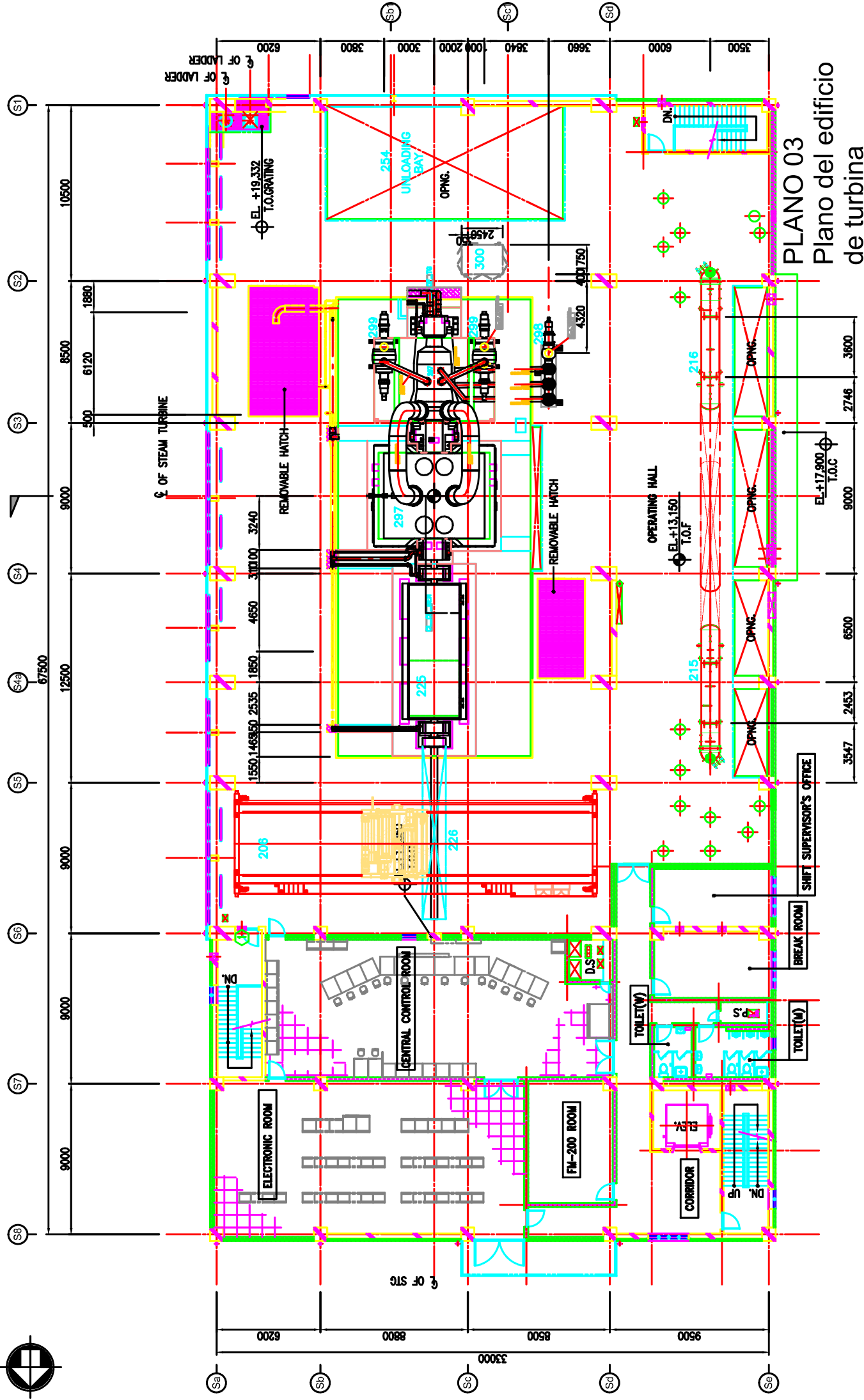
Power pack

PLANO 02
Plano de
transporte
del generador

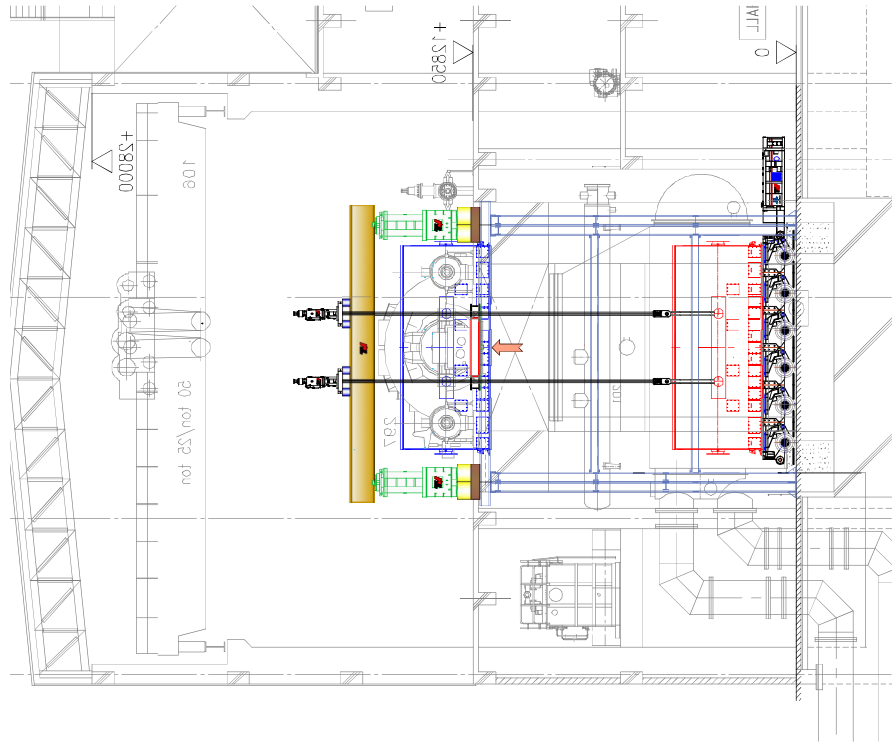




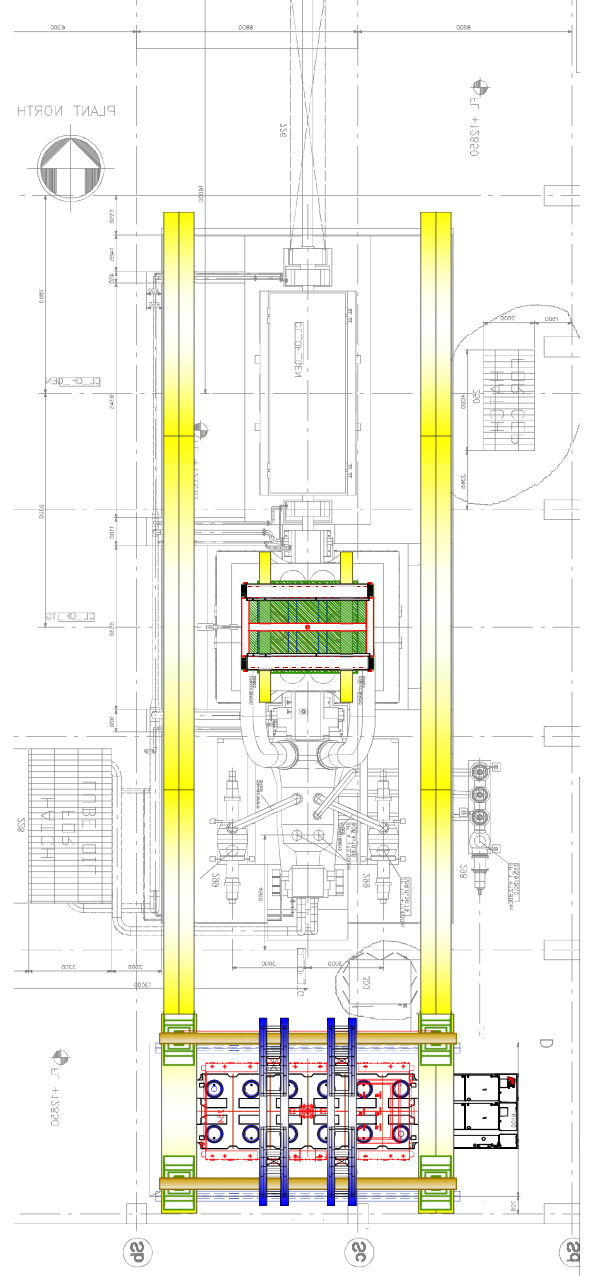
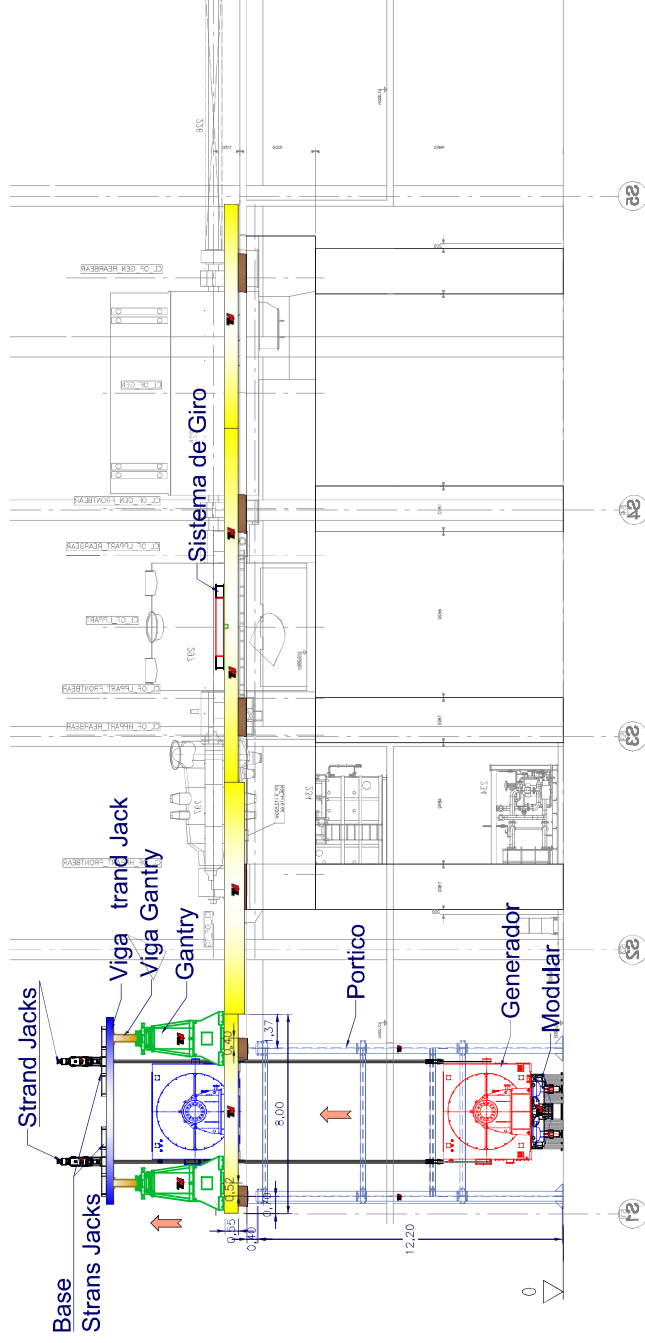
PLANT NORTH

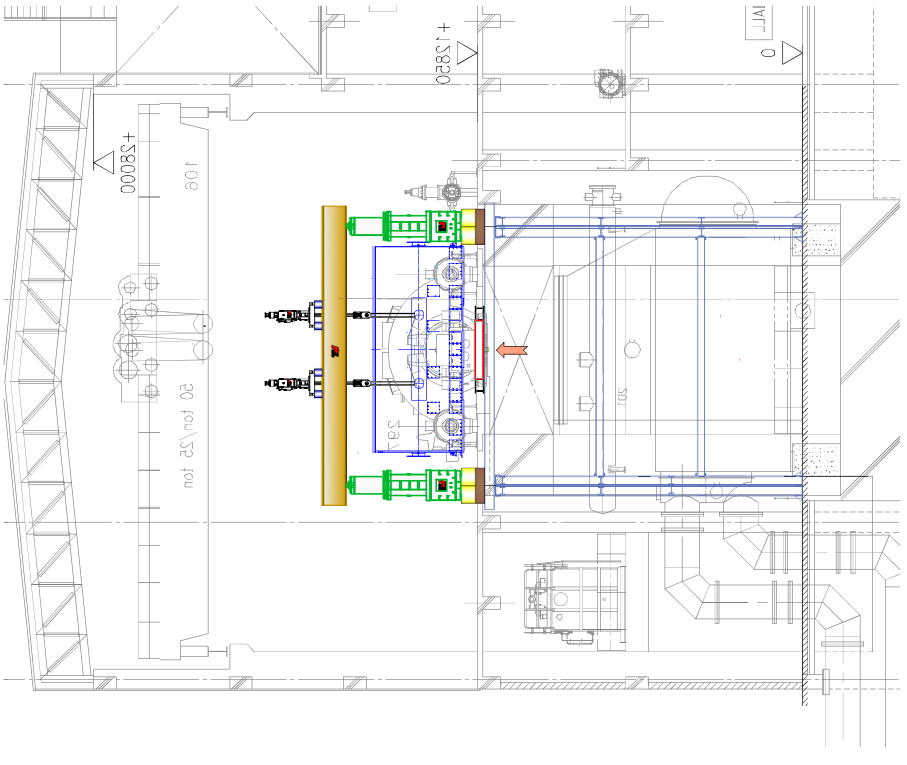


PLANO 03
Plano del edificio
de turbina

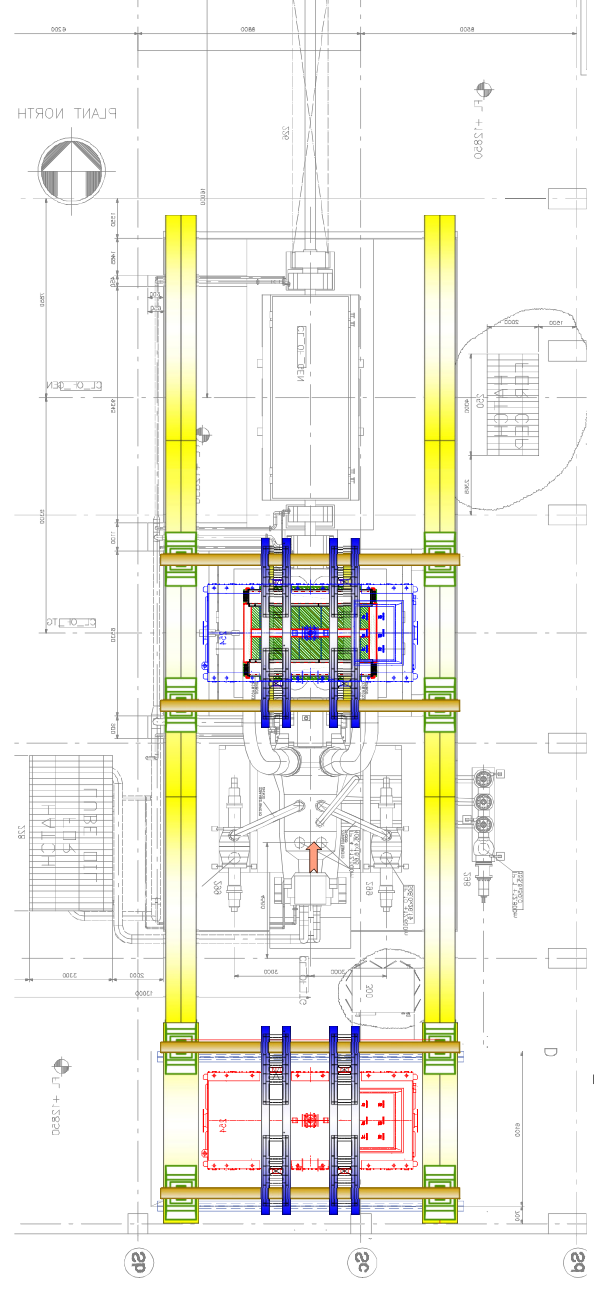
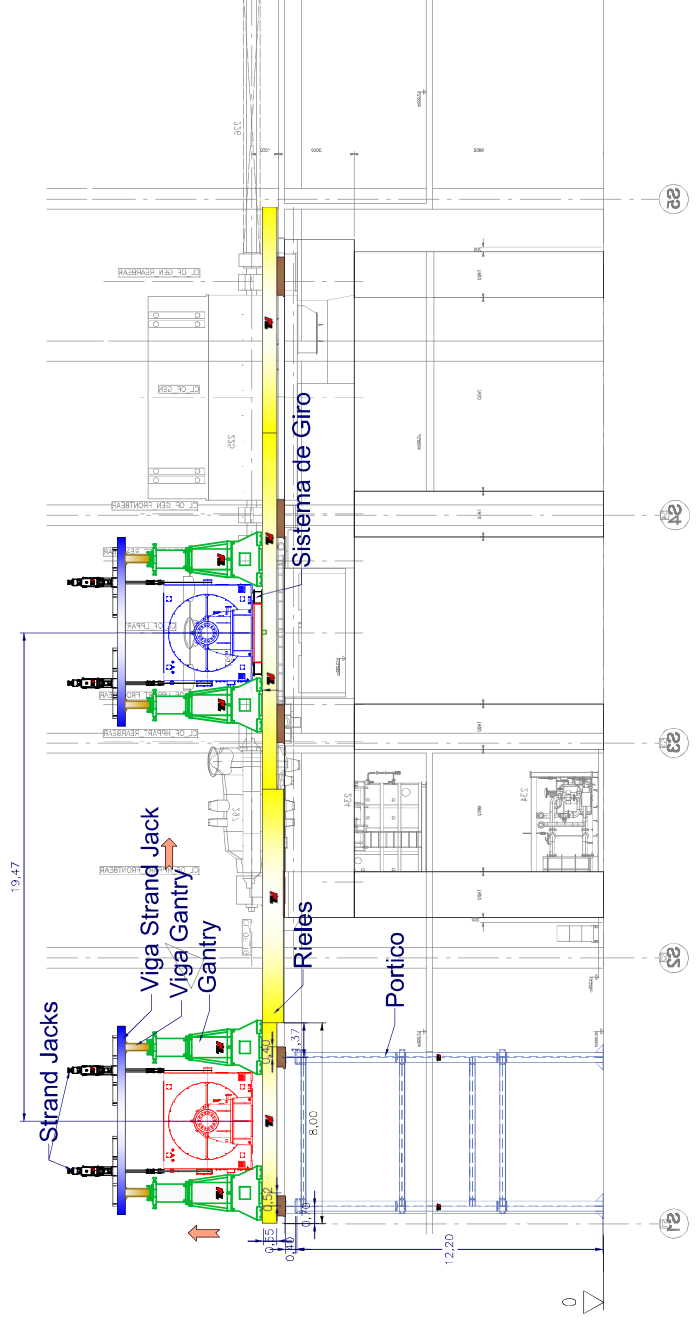


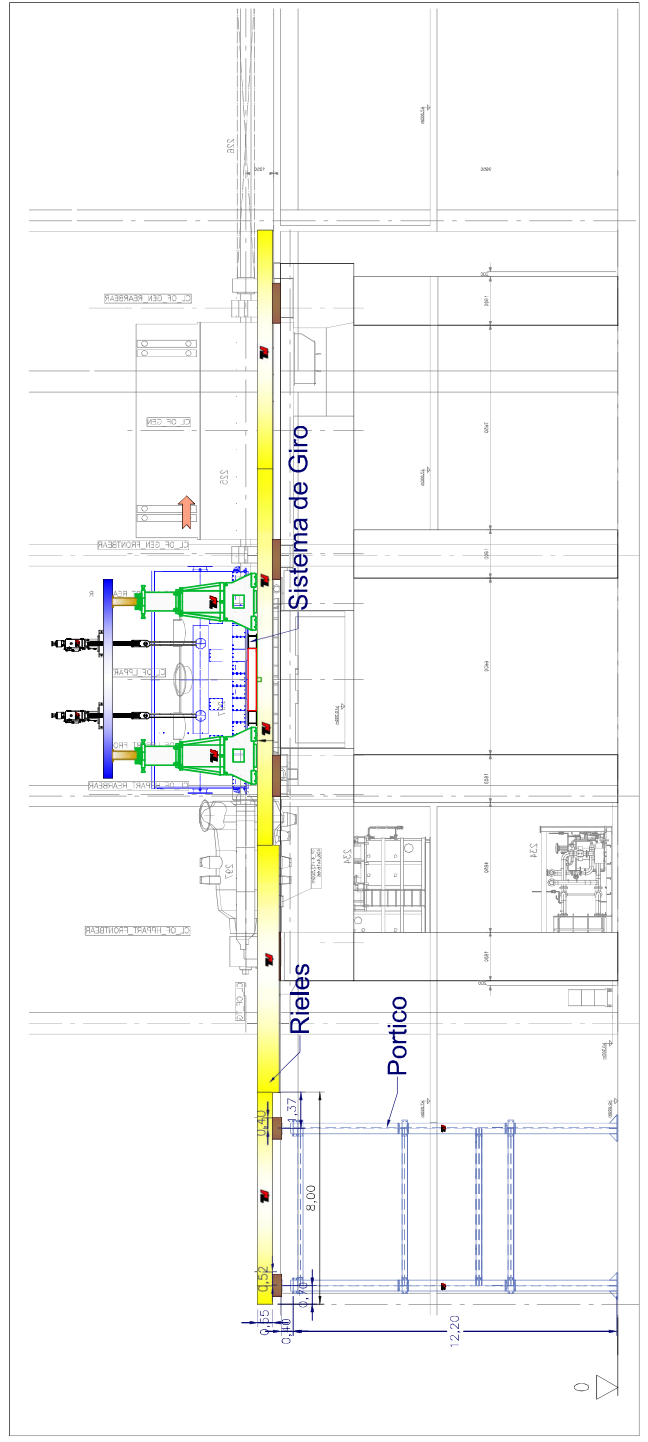
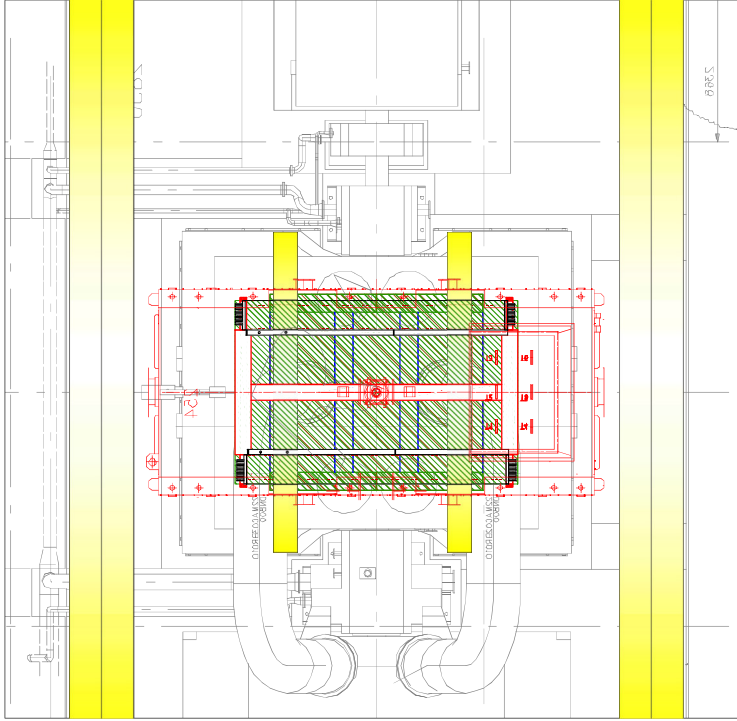
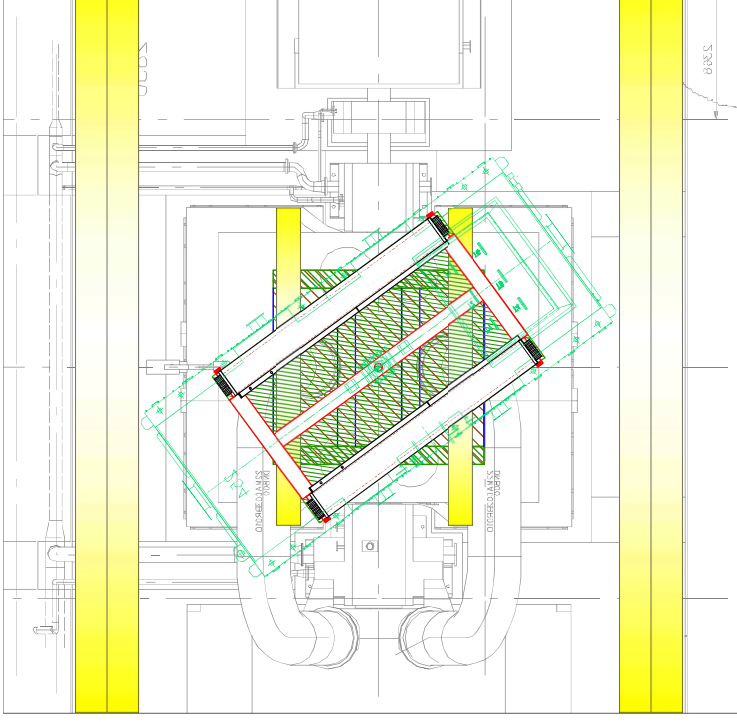
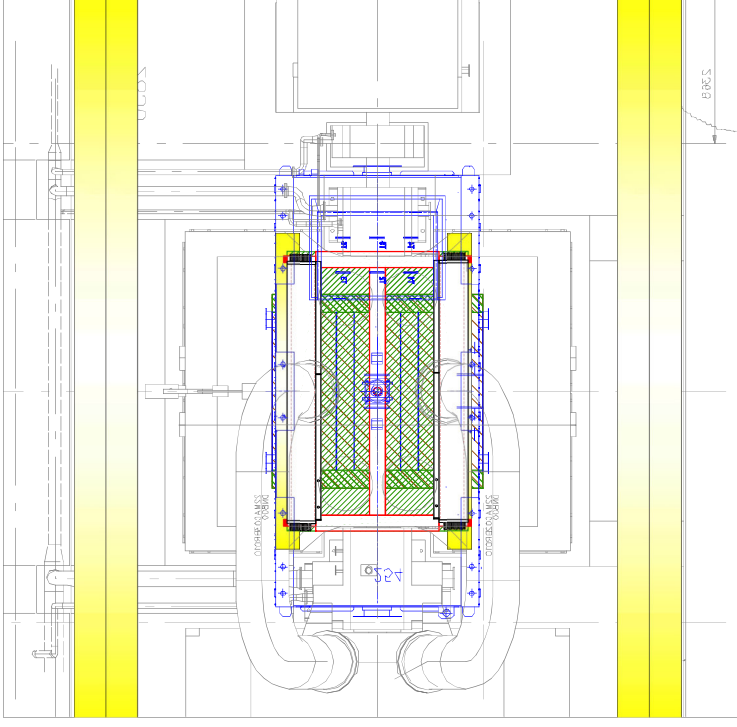
PLANO 04
Izaje del
generador



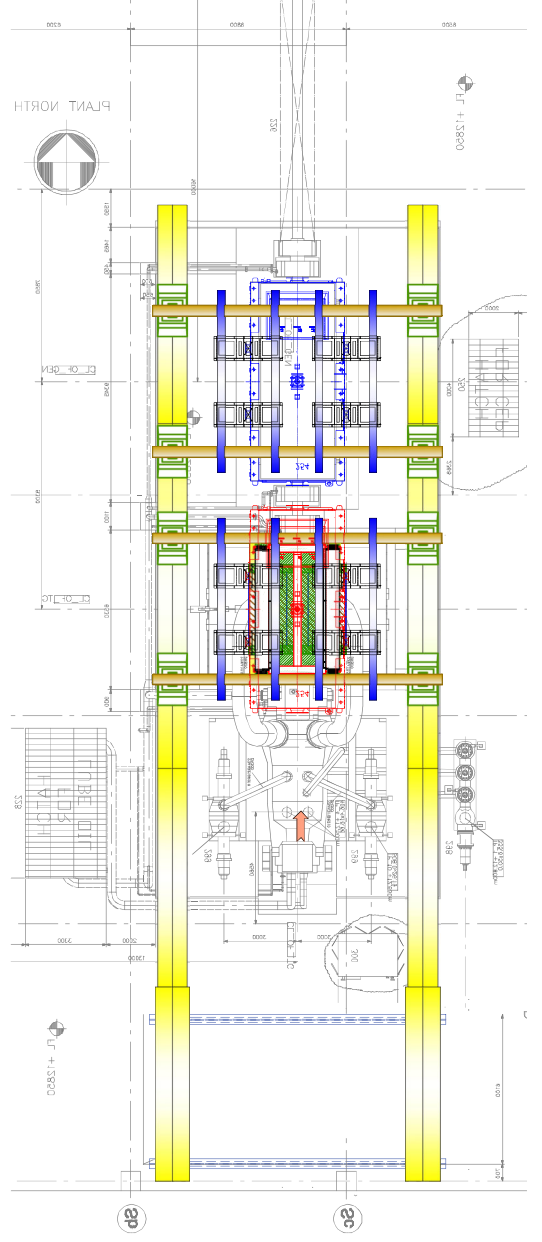
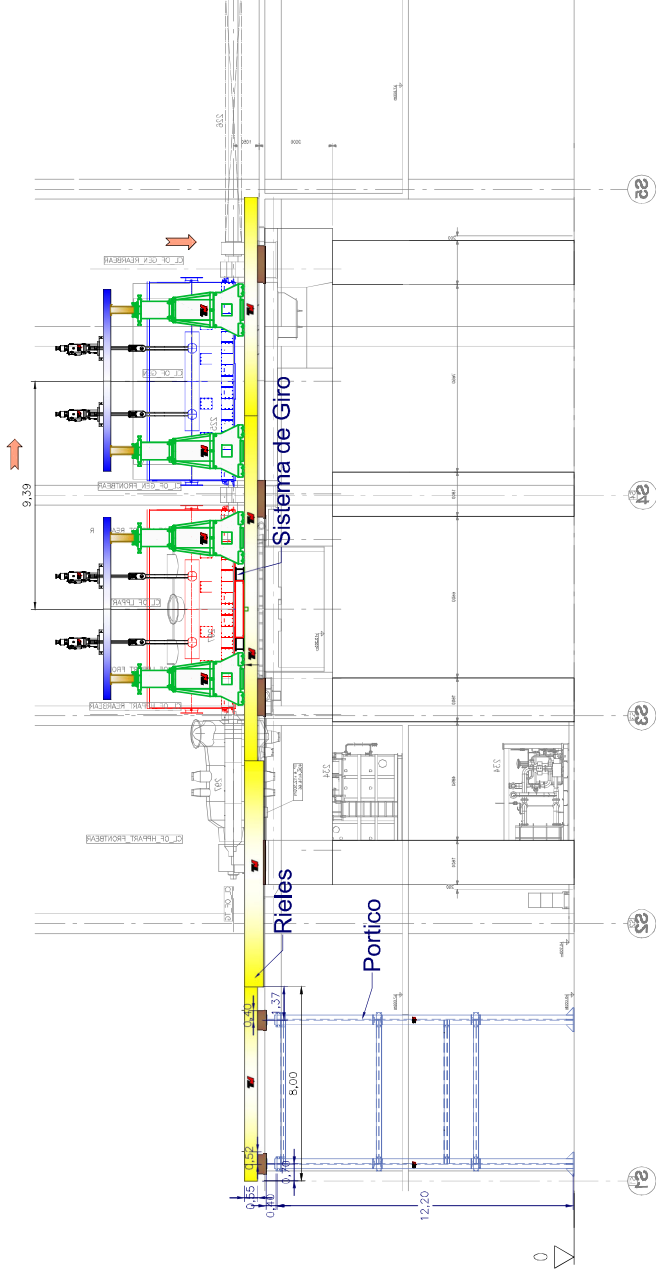
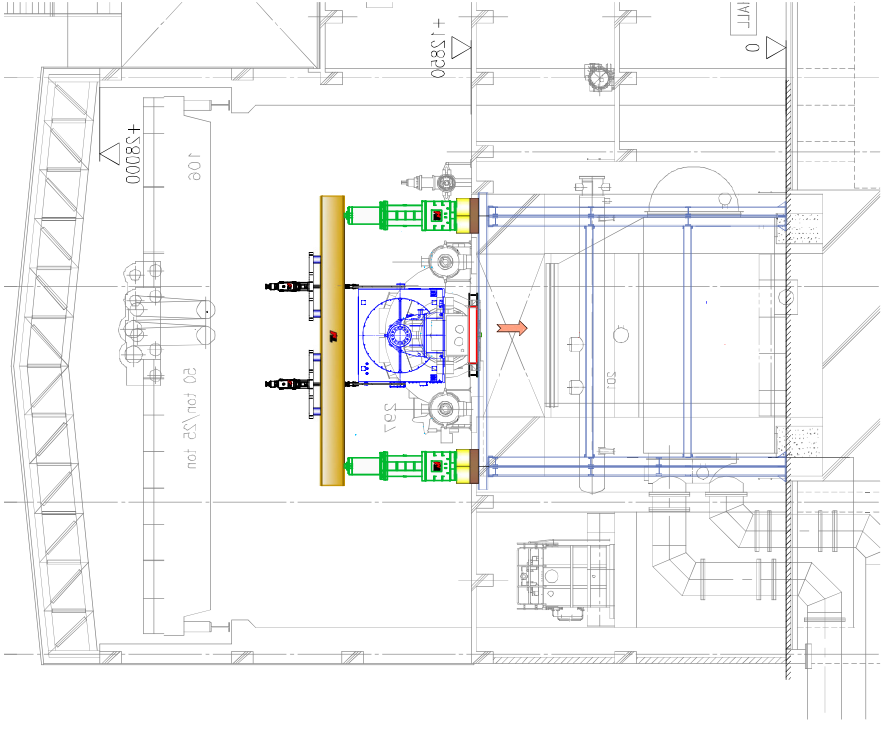


PLANO 05
Movilizacion
del generador
al skid de giro

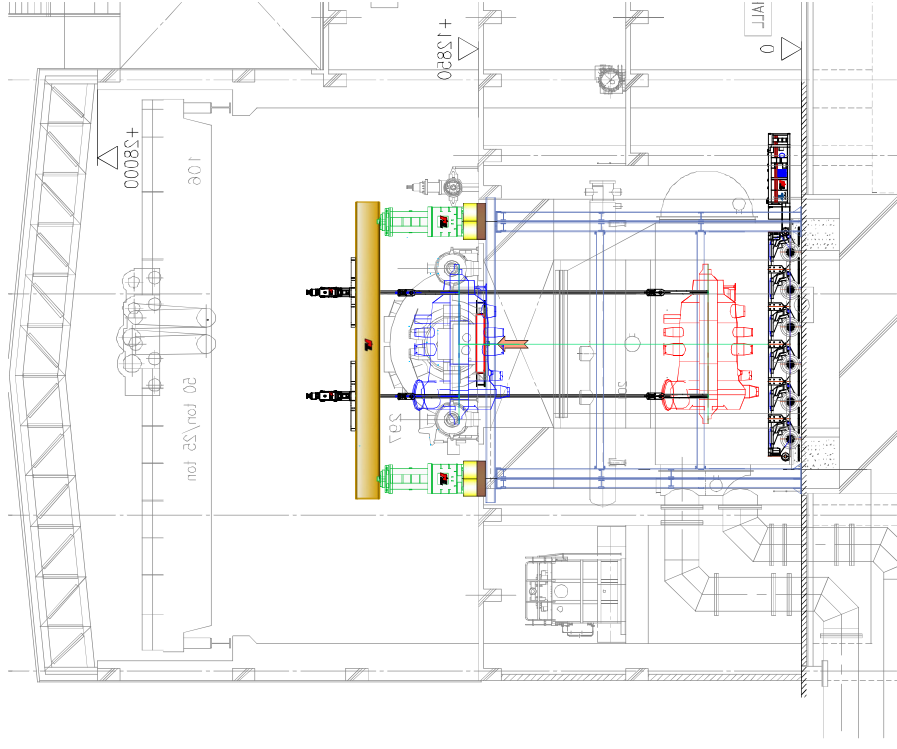




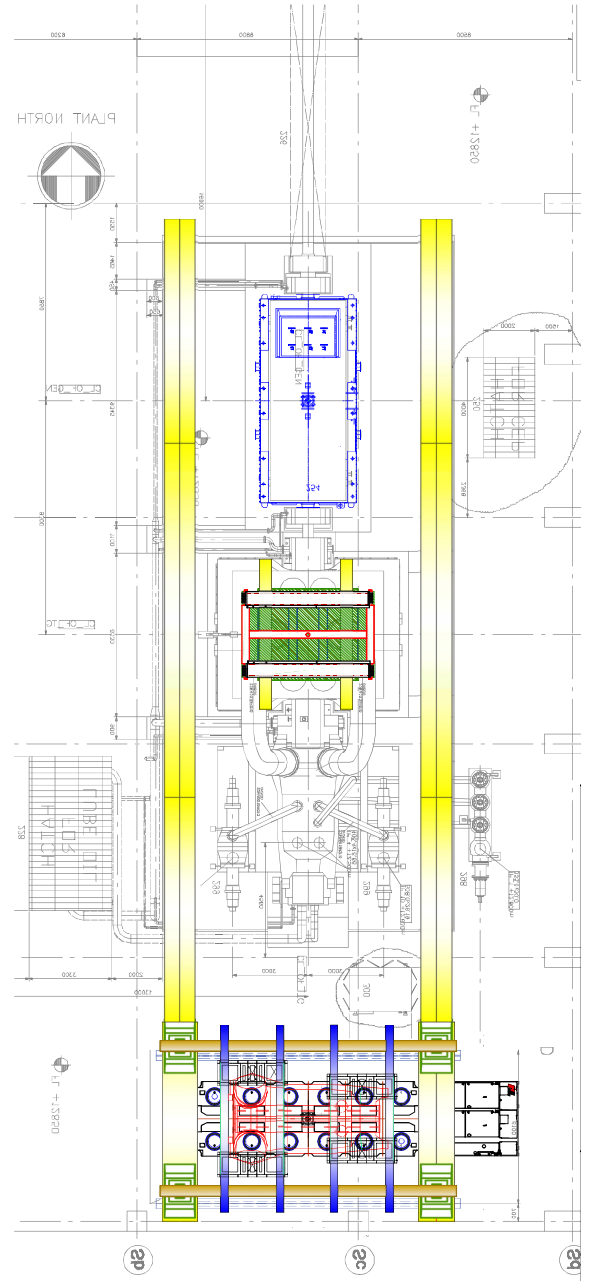
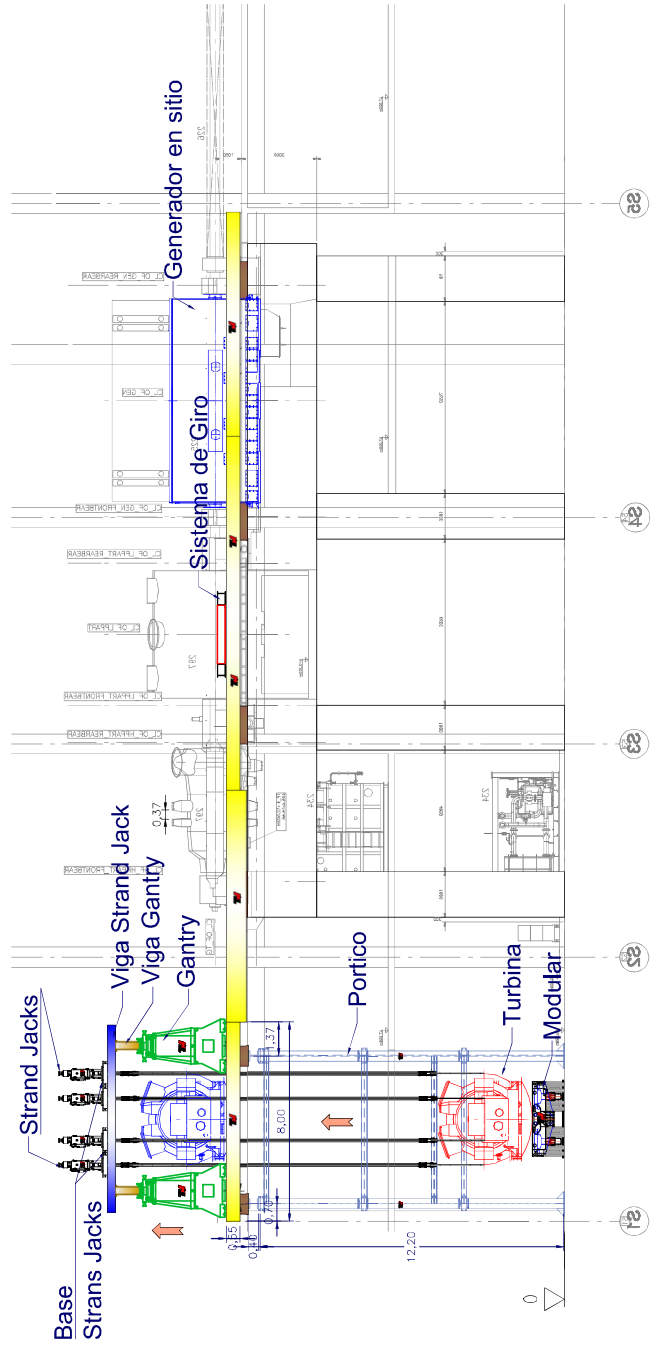
PLANO 06
Giro del
generador

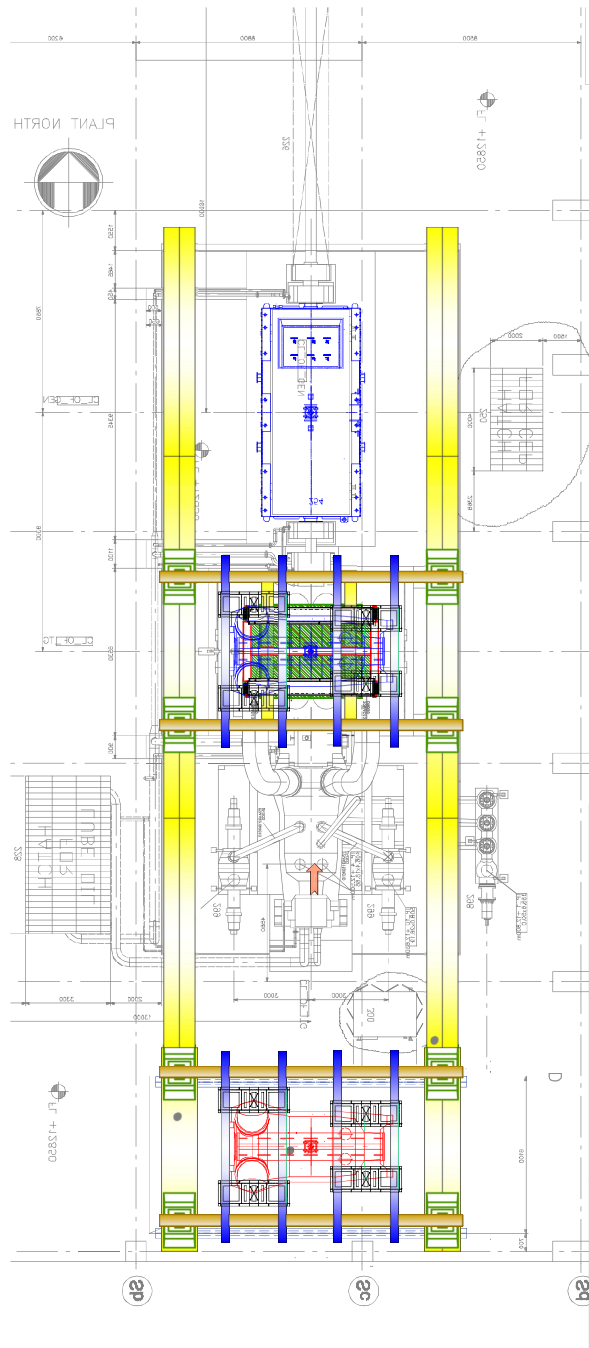
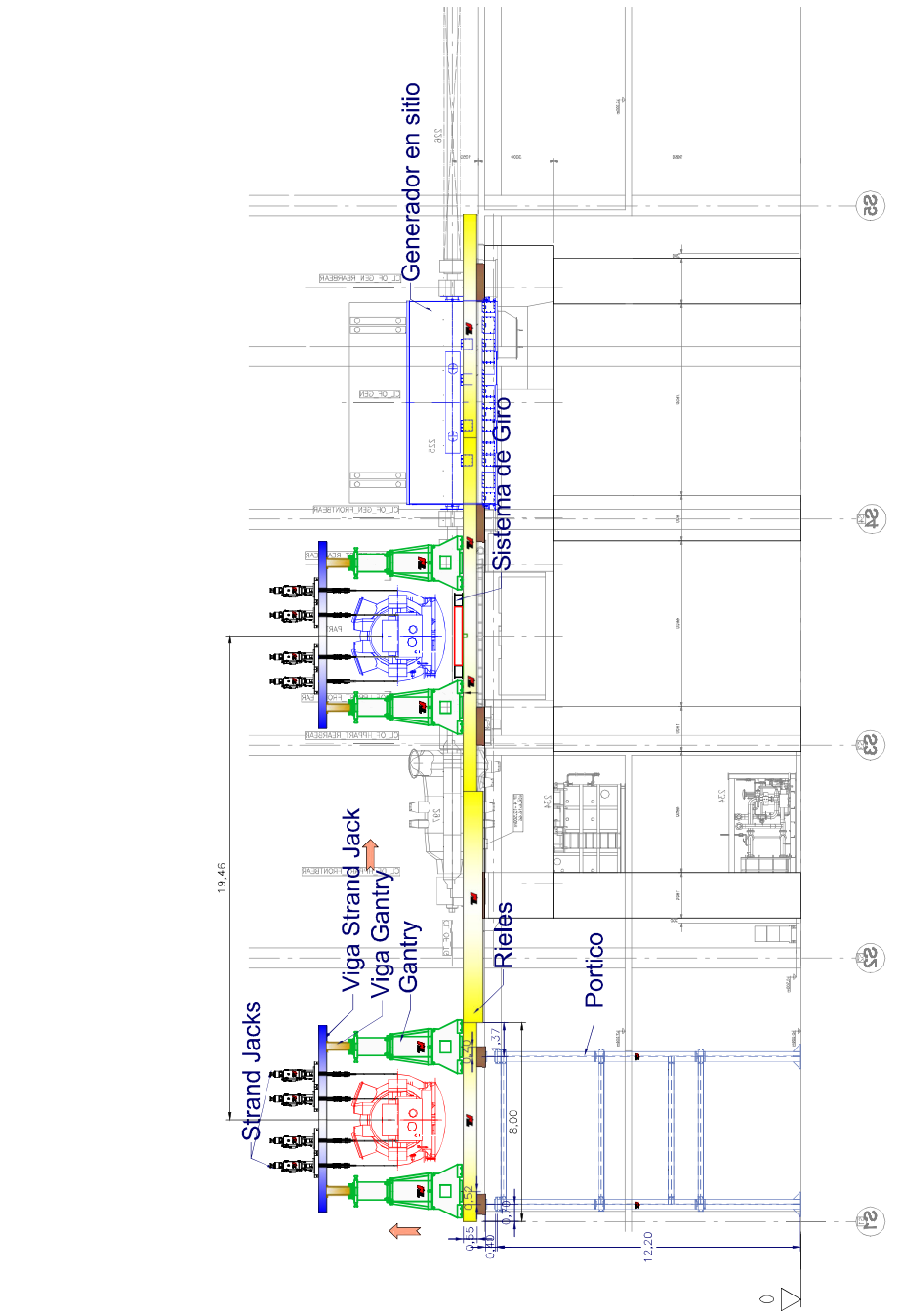
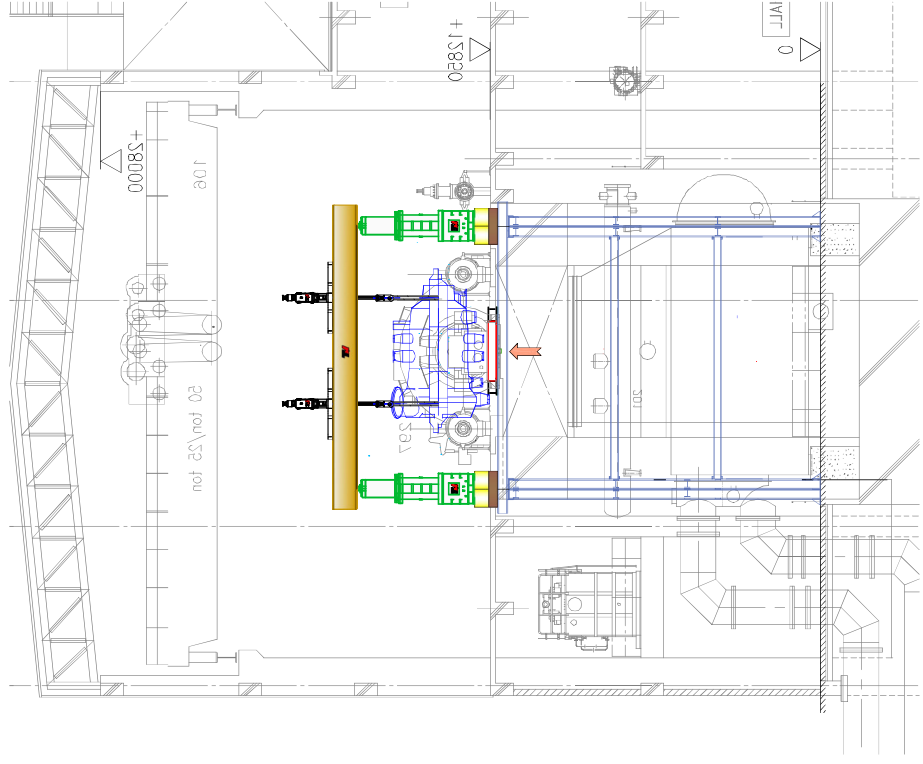


PLANO 07
 Posicionamiento
 final del generador

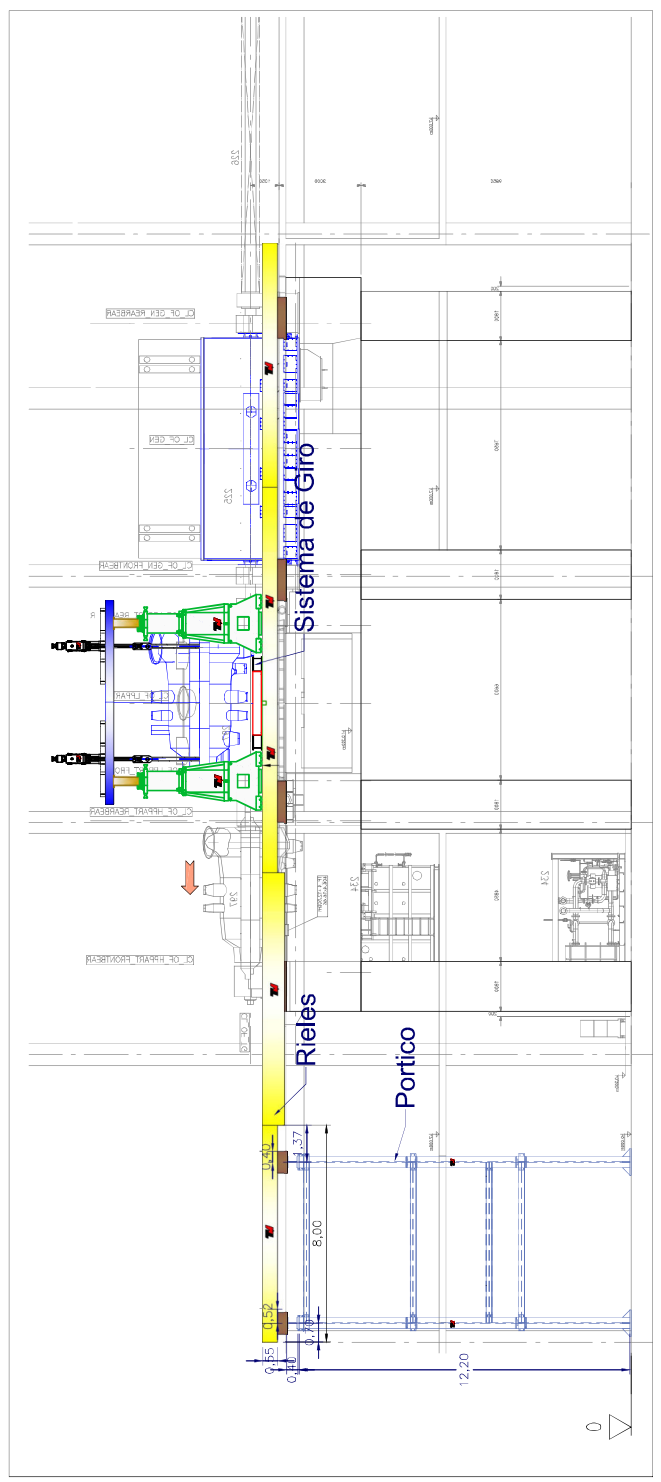
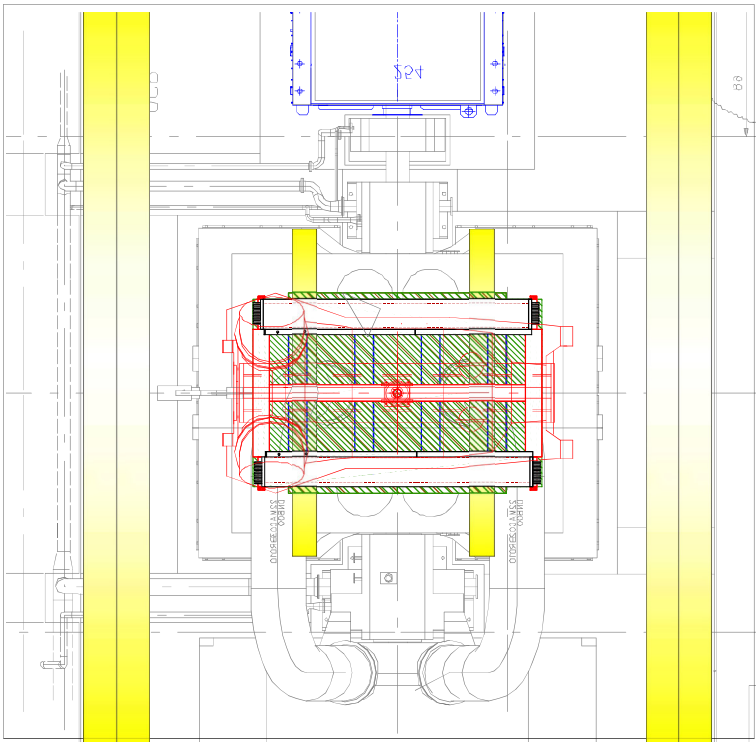
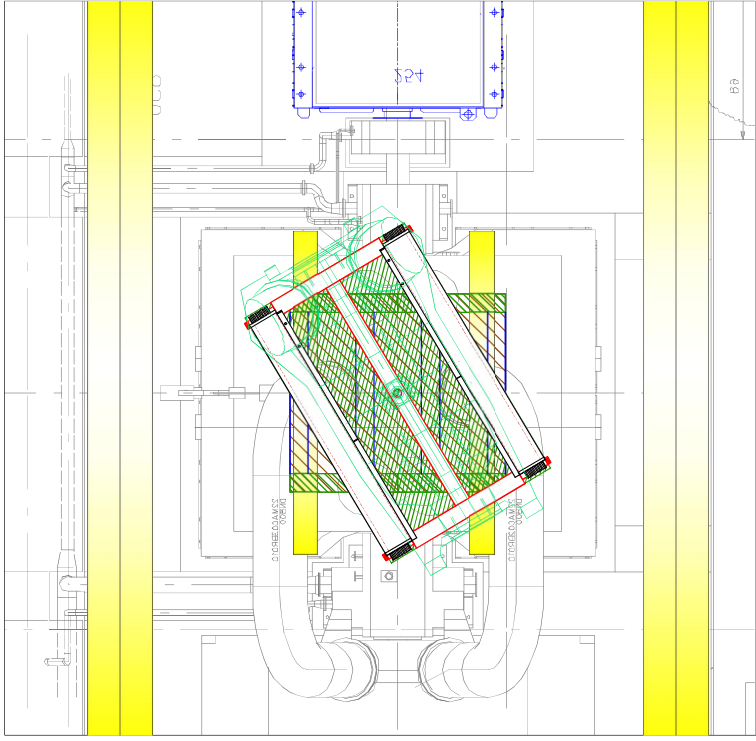
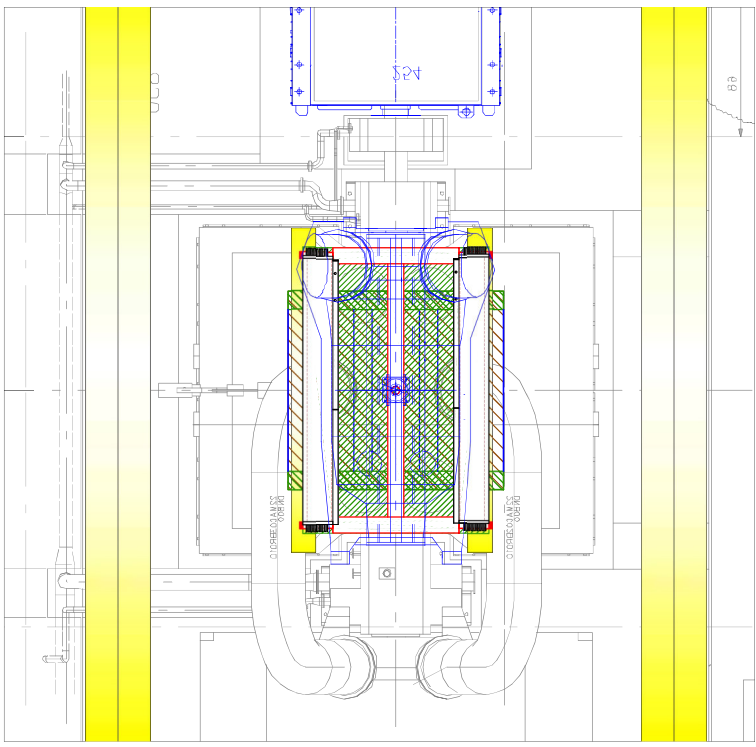


PLANO 08
Izaje de la
turbina

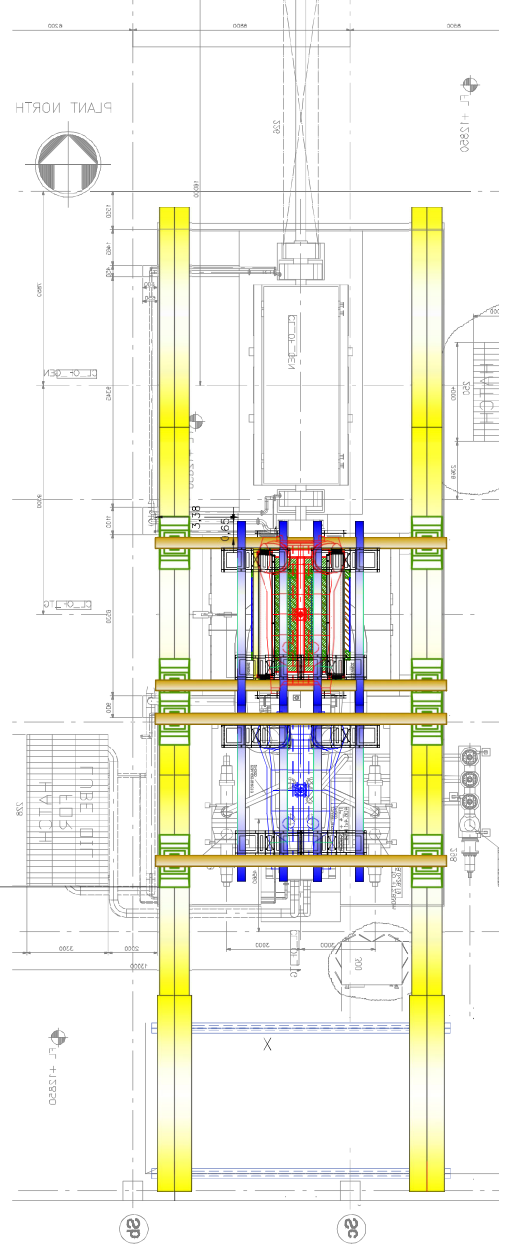
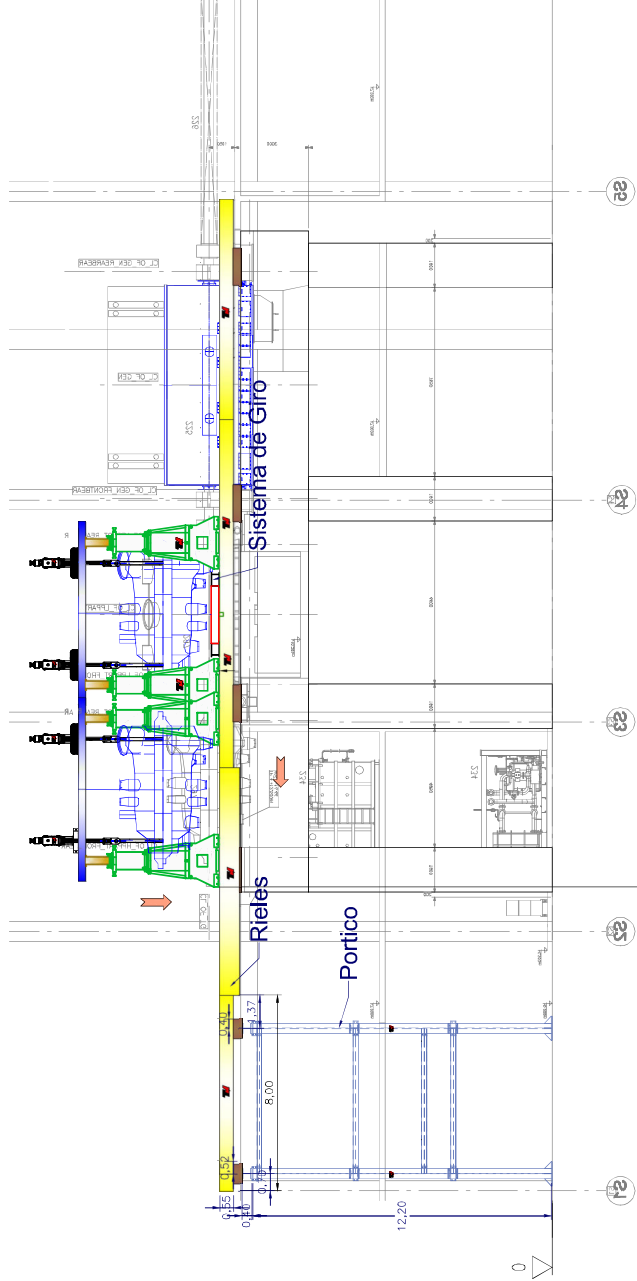
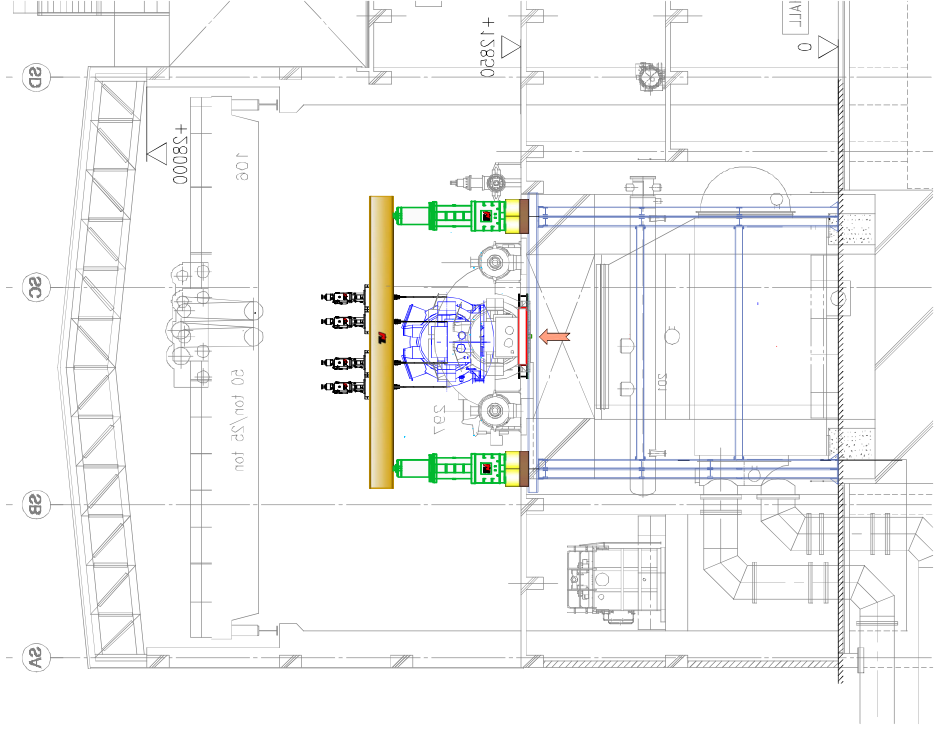




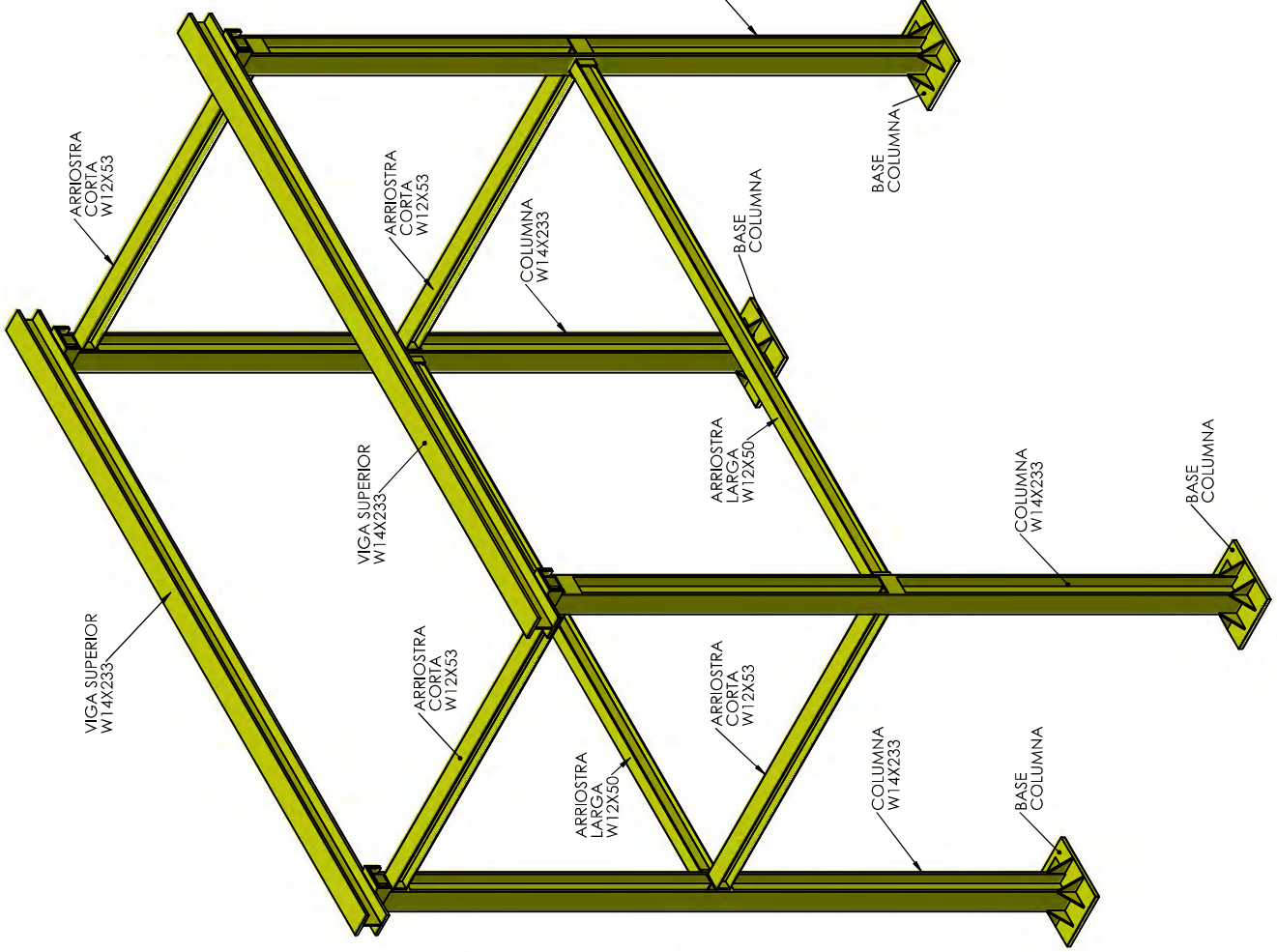
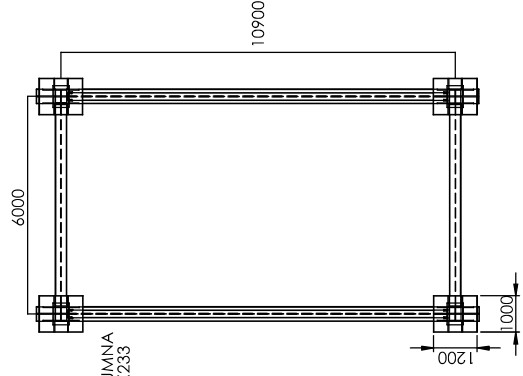
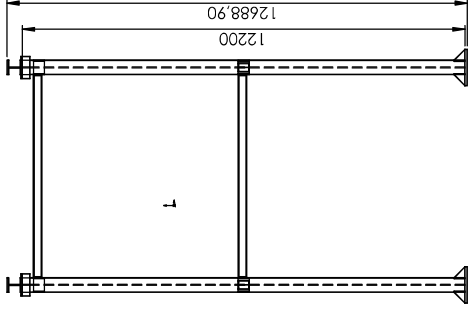
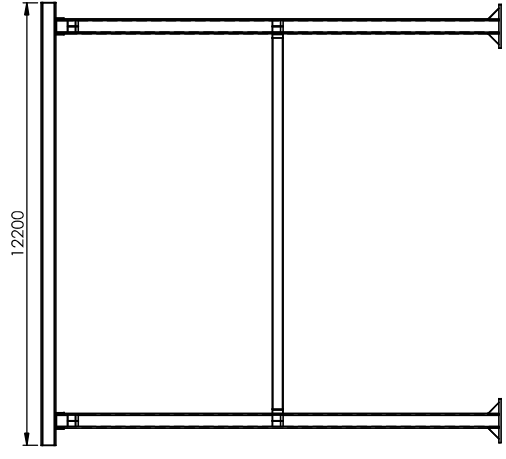
PLANO 09
Movilización
de la turbina
al skid de giro



PLANO 10
Giro de la
turbina



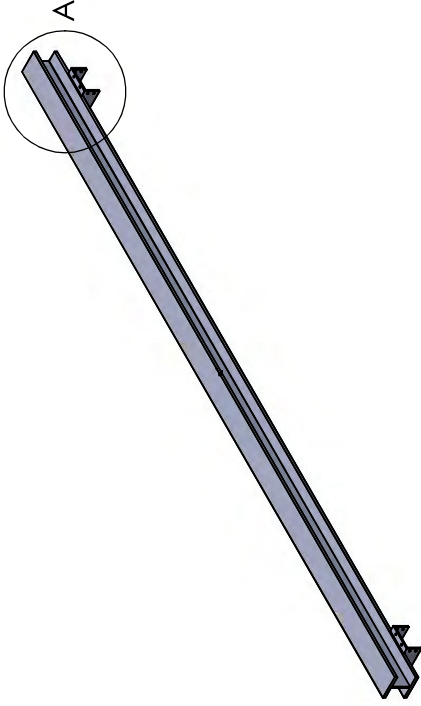
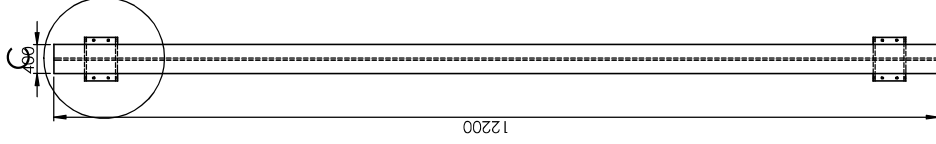
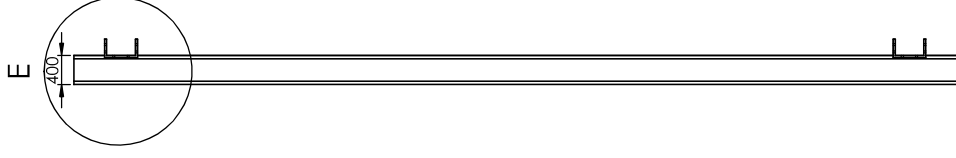
PLANO 11
Posicionamiento
final de la turbina



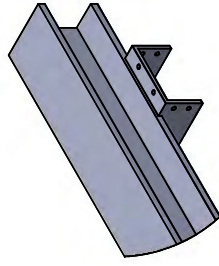
PLANO 12
Detalle de
pórtico de izaje

PLANO 13

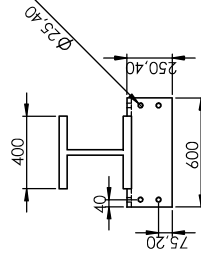
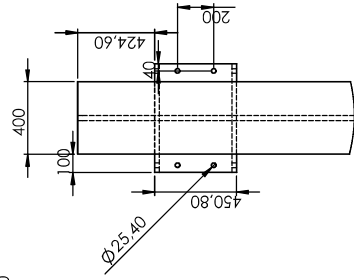
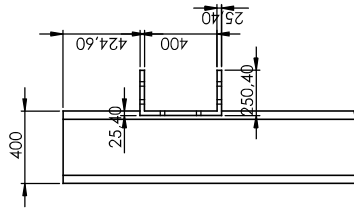
Plano de fabricación de la viga superior



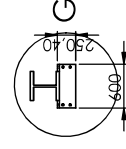
ESCALA 1 : 50



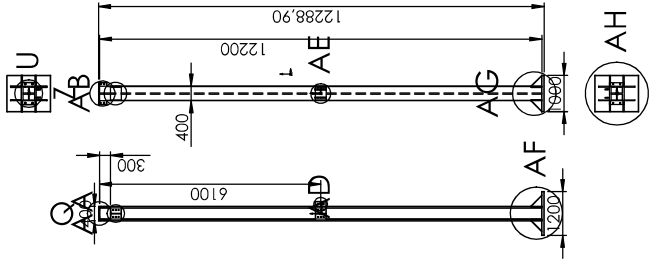
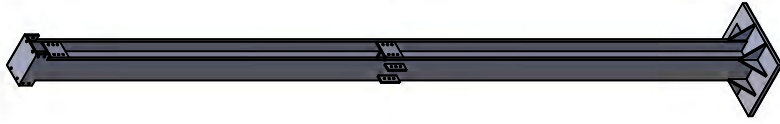
DETALLE A
ESCALA 1 : 20



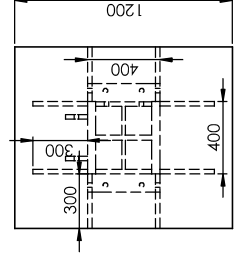
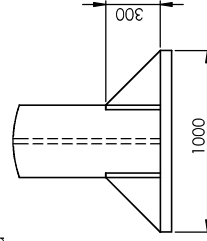
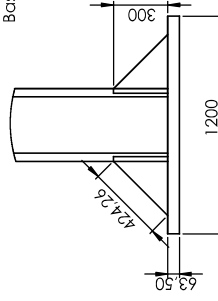
DETALLE C
ESCALA 1 : 20



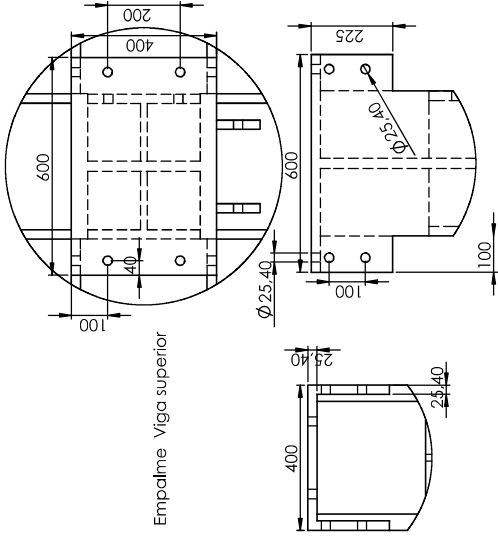
DETALLE G
ESCALA 1 : 20



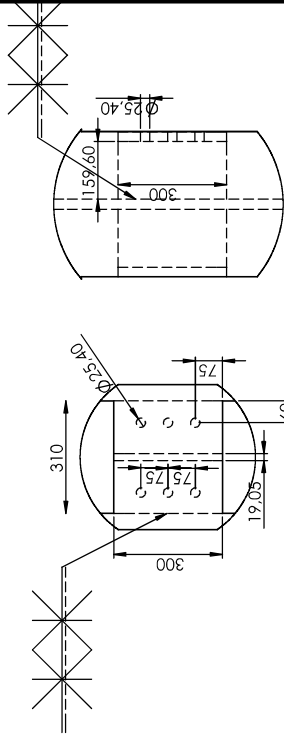
Base Columna



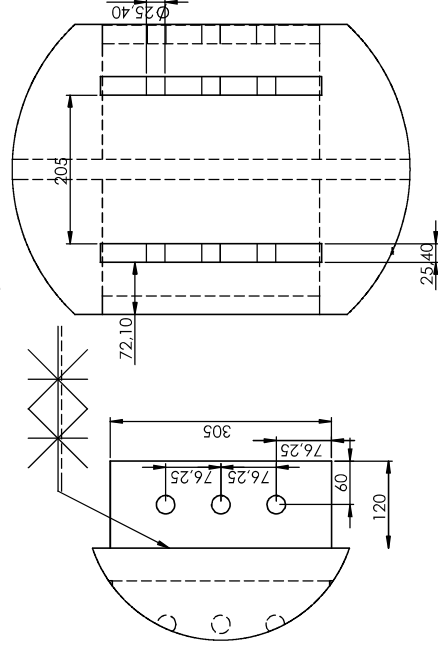
Empalme Viga superior



Empalme Arriostro Corta

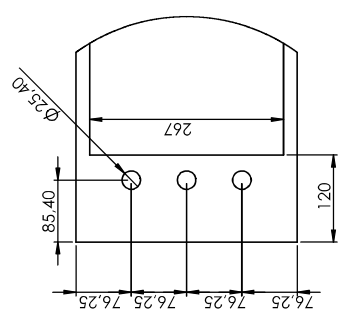
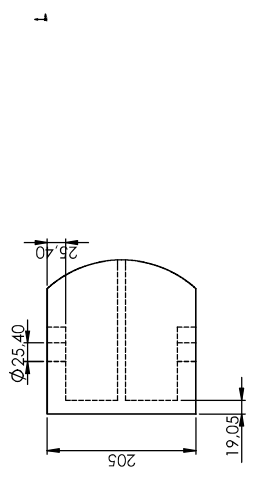
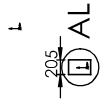
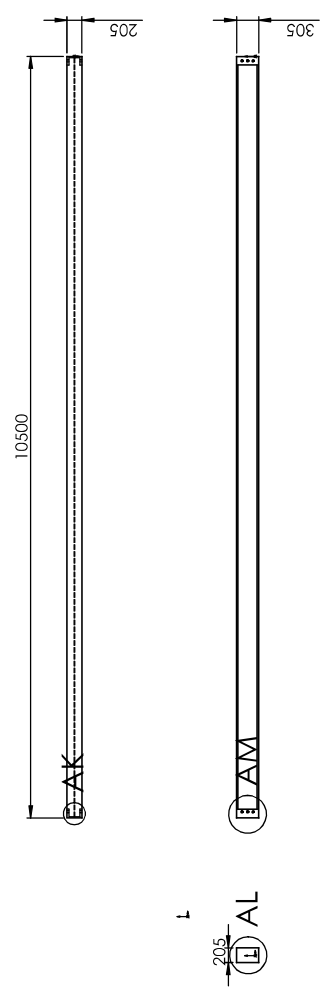
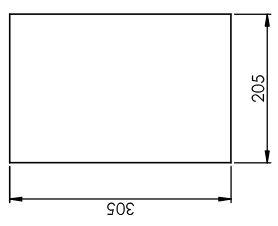
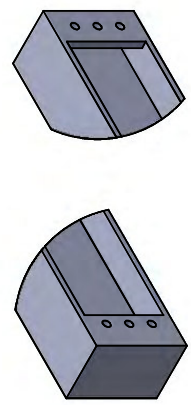


Empalme Arriostro Larga

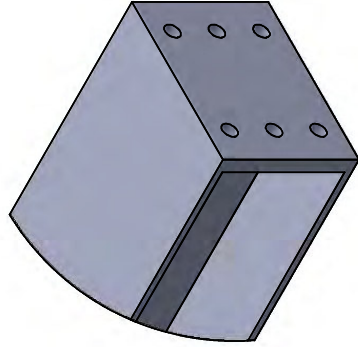
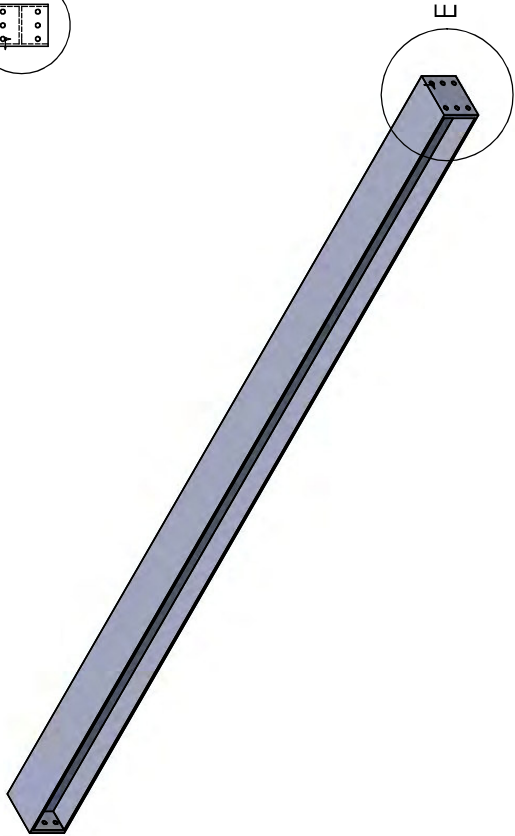
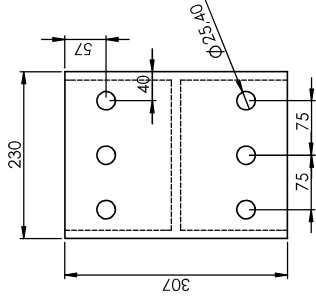
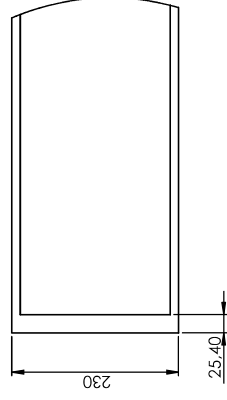
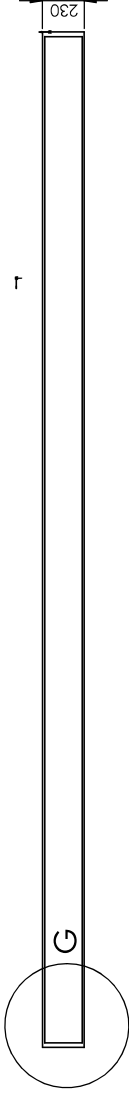
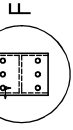
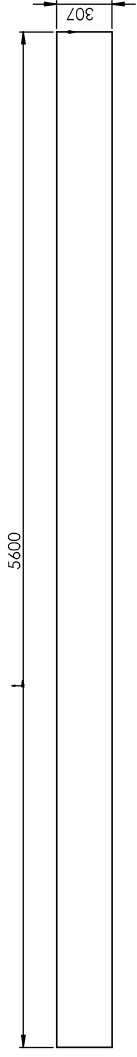


PLANO 14

Plano de fabricación de columna



PLANO 15
Plano de fabricación
de la riostra larga



DETALLE E
ESCALA 1 : 5

DETALLE F
ESCALA 1 : 5

DETALLE G
ESCALA 1 : 5

PLANO 16

Plano de fabricación de la riostra corta



Foto 1 Instalacion de estructura de soporte



Foto 2 Instalación de estructura de soporte



Foto 3 Transporte del generador



Foto 4 Izaje del generador



Foto 5 Giro del generador



Foto 6 Izaje de la turbina



Foto 7 Giro de la turbina



Foto 8 Posicionamiento final de la turbina

Simulación de POR 001 003

Fecha: martes, 04 de agosto de 2015

Nombre de estudio: Estudio 2 POR 001 003

Tipo de análisis: Análisis estático



Descripción

El presente informe muestra el análisis de la estructura usada para el izaje del generador, en el proyecto Termotasajero II 160.3 MW en la vereda puente Zulia, municipio de San Cayetano, Norte de Santander, Colombia. Tomando en cuenta que ésta estructura es temporal y debe ser retirada una vez se terminen las maniobras de izaje y traslación.

Tabla de Contenidos

Descripción	1
Suposiciones	2
Esquema de montaje.....	2
Información de modelo	3
Propiedades del estudio	7
Unidades	7
Propiedades de material	8
Cargas y sujeciones.....	9
Información de malla	10
Fuerzas resultantes.....	11
Vigas	12
Resultados del estudio.....	16
Conclusión	19

Suposiciones

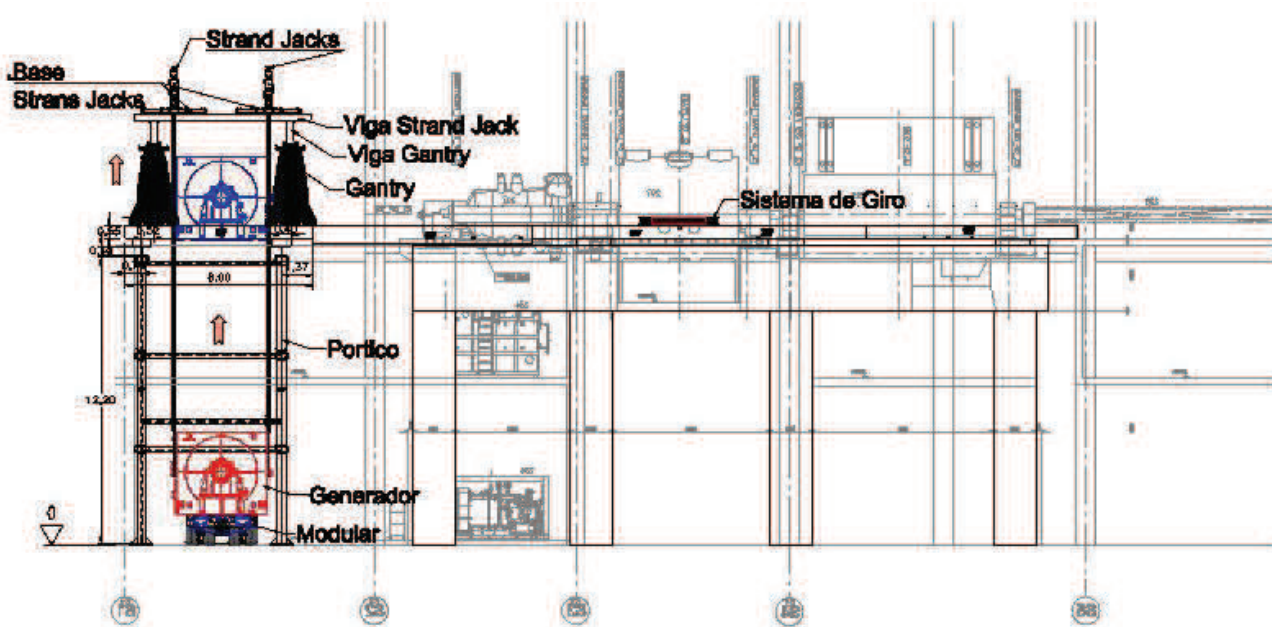
Para éste análisis, la estructura es soportada por el piso y las siguientes cargas son transmitidas directamente al piso. Las cargas que soportará la estructura, son las siguientes:

- Generador: 200 000 Kg
- Vigas para gantry: 7 200 Kg x 2
- Vigas de strand jack: 3000 Kg x 4
- Strand Jack: 1 200 Kg x 4
- Gantries: 7 000 Kg x 4

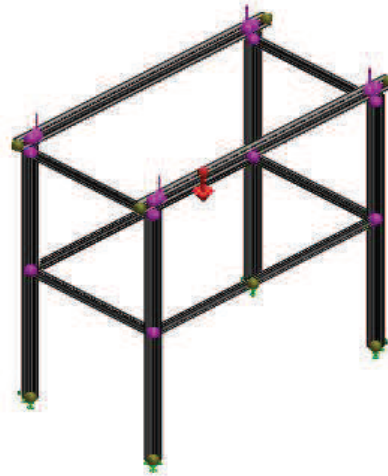
Carga total: 259 200 Kg; Carga para cada punto de aplicación: 64 800 Kg = 648 000 N

Esquema de montaje

La siguiente imagen muestra cuales son los componentes del sistema.

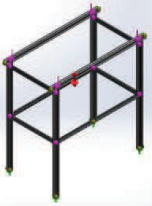
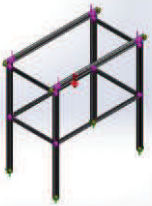


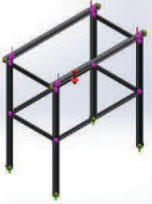
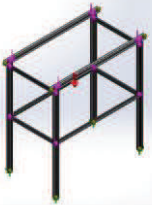
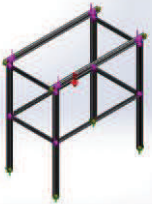
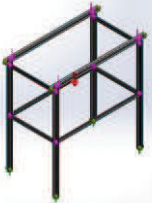
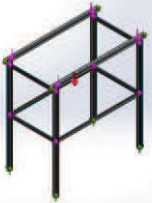
Información de modelo

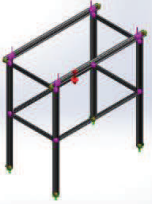
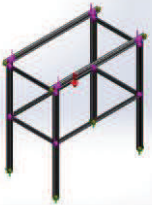
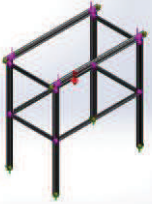
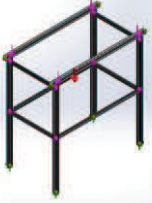
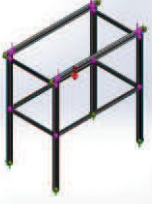


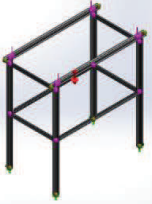
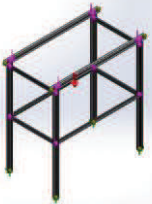
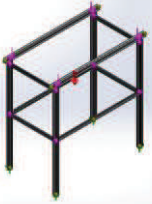
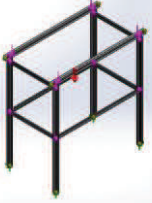
Nombre del modelo: POR 001 003
Configuración actual: Predeterminado<Como mecanizada>

Sólidos de viga:

Nombre de documento y referencia	Formulación	Propiedades
Viga-1(Miembro estructural1[6]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in ² Longitud:10300mm Volumen:0.454878m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:3570.79kg Peso:34993.8N
Viga-2(Miembro estructural1[4]) 	Viga - Sección transversal uniforme	Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in ² Longitud:12200mm Volumen:0.538787m ³ Densidad:7850kg/m ³ Masa:4229.48kg Peso:41448.9N

<p>Viga-3(Miembro estructural1[1])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:12200mm Volumen:0.538787m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:4229.48kg Peso:41448.9N</p>
<p>Viga-4(Recortar/Extender2[1])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- Área de sección: 9476.19in² Longitud:5972.82mm Volumen:0.0565996m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:444.307kg Peso:4354.21N</p>
<p>Viga-5(Miembro estructural1[9])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:950mm Volumen:0.0419548m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:329.345kg Peso:3227.58N</p>
<p>Viga-6(Recortar/Extender2[2])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W12x50 Área de sección: 9476.19in² Longitud:5972.82mm Volumen:0.0565996m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:444.307kg Peso:4354.21N</p>
<p>Viga-7(Miembro estructural1[2])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:12200mm Volumen:0.538787m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:4229.48kg Peso:41448.9N</p>

<p>Viga-8(Recortar/Extender1[1])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- Área de sección: 9476.19in² Longitud:5972.82mm Volumen:0.0565996m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:444.307kg Peso:4354.21N</p>
<p>Viga-9(Miembro estructural1[8])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:950mm Volumen:0.0419548m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:329.345kg Peso:3227.58N</p>
<p>Viga-10(Recortar/Extender1[3])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección- Área de sección: 9476.19in² Longitud:5972.82mm Volumen:0.0565996m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:444.307kg Peso:4354.21N</p>
<p>Viga-11(Miembro estructural1[7])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:950mm Volumen:0.0419548m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:329.345kg Peso:3227.58N</p>
<p>Viga-12(Miembro estructural1[3])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:12200mm Volumen:0.538787m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:4229.48kg Peso:41448.9N</p>

<p>Viga-13(Miembro estructural1[10])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:950mm Volumen:0.0419548m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:329.345kg Peso:3227.58N</p>
<p>Viga-14(Miembro estructural1[5])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W14x233 Área de sección: 44162.9in² Longitud:10300mm Volumen:0.454878m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:3570.79kg Peso:34993.8N</p>
<p>Viga-15(Recortar/Extender1[4])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W12x50 Área de sección: 9476.19in² Longitud:10492.6mm Volumen:0.0994297m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:780.523kg Peso:7649.13N</p>
<p>Viga-16(Recortar/Extender1[2])</p> 	<p>Viga - Sección transversal uniforme</p>	<p>Estándar de sección-iso/W/W12x50 Área de sección: 9476.19in² Longitud:10492.6mm Volumen:0.0994297m³ Densidad:7850kg/m³ Masa:780.523kg Peso:7649.13N</p>

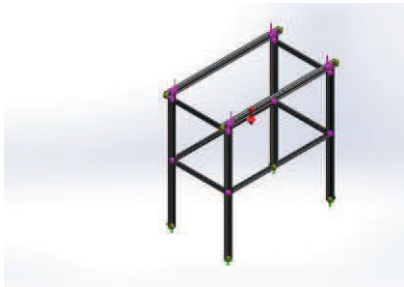
Propiedades del estudio

Nombre de estudio	Estudio 2 POR 001 003
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla de viga
Tipo de solver	Direct sparse solver
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automática
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar

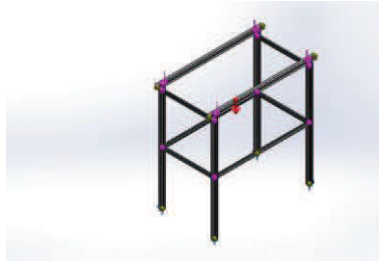
Unidades

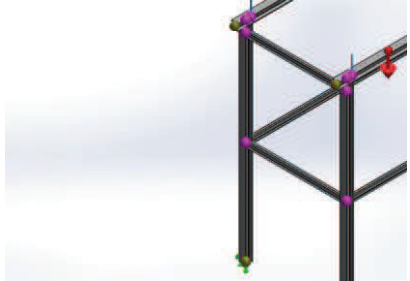
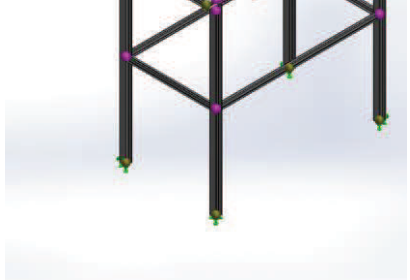
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ASTM A36 Acero Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Límite elástico: 2.5e+008 N/m² Límite de tracción: 4e+008 N/m² Módulo elástico: 2e+011 N/m² Coefficiente de Poisson: 0.26 Densidad: 7850 kg/m³ Módulo cortante: 7.93e+010 N/m² </p>	<p> Sólido 1(Miembro estructural1[6])(POR 001 003), Sólido 2(Miembro estructural1[4])(POR 001 003), Sólido 3(Miembro estructural1[1])(POR 001 003), Sólido 4(Recortar/Extender2[1])(POR 001 003), Sólido 5(Miembro estructural1[9])(POR 001 003), Sólido 6(Recortar/Extender2[2])(POR 001 003), Sólido 7(Miembro estructural1[2])(POR 001 003), Sólido 8(Recortar/Extender1[1])(POR 001 003), Sólido 9(Miembro estructural1[8])(POR 001 003), Sólido 10(Recortar/Extender1[3])(POR 001 003), Sólido 11(Miembro estructural1[7])(POR 001 003), Sólido 12(Miembro estructural1[3])(POR 001 003), Sólido 13(Miembro estructural1[10])(POR 001 003), Sólido 14(Miembro estructural1[5])(POR 001 003), Sólido 15(Recortar/Extender1[4])(POR 001 003), Sólido 16(Recortar/Extender1[2])(POR 001 003) </p>

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		<p>Entidades: 4 Joint(s) Tipo: Geometría fija</p>

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 4 Juntas Referencia: Arista< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---, ---, 648000 N Momentos: ---, ---, --- N.m</p>
Gravedad-1		<p>Referencia: Planta Valores: 0 0 -9.81 Unidades: SI</p>

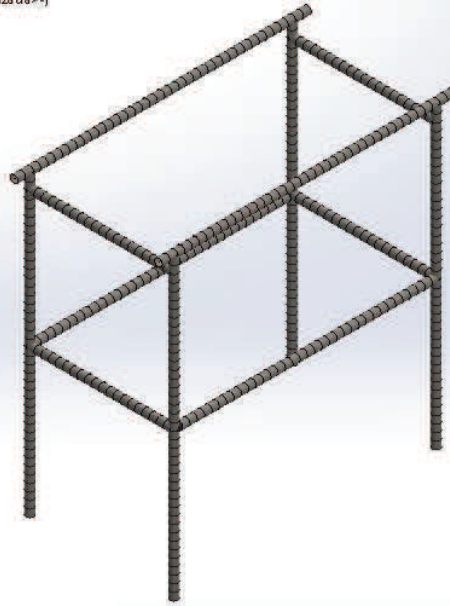
Información de malla

Tipo de malla	Malla de viga
---------------	---------------

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	408
Número total de elementos	396
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:02

Nombre de modelo: POR 001.003
Nombre de estudio: Estudio 2 POR 001.003{-Pre determinado-<Como mecanizada->}
Tipo de malla:



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N	1.52588e-005	2.8768e+006	0	2.8768e+006

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Suma X	Suma Y	Suma Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	-4.21141	4.92407	6.47939

Vigas

Fuerzas de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial(N)	Corte1(N)	Corte2(N)	Momento 1(N.m)	Momento 2(N.m)	Torsión(N.m)
Viga-1(Miembro estructural1[6])	1	-33026.7	-1.17449	17489.5	-34978.1	18.6677	-0.158175
	2	33026.7	4.71362	17540.2	34717.2	11.6561	0.158175
Viga-2(Miembro estructural1[4])	1	719192	160.988	8014.76	-14097.7	344.803	-1.03636
	2	-668720	-2.94149	33026.8	164103	0.158223	-16.0162
	3	-673153	-601.233	33032.5	142354	1937.57	1.28926
	4	-698446	-160.988	-8014.76	-34792.3	637.224	1.03636
Viga-3(Miembro estructural1[1])	1	719210	-152.4	8031.06	-13746.7	-295.514	-1.06937
	2	-673186	595.341	33021	142630	-1920.47	1.26189
	3	-698464	152.4	-8031.06	-35242.8	-634.127	1.06937
	4	-668771	-2.95018	33026.7	164379	0.157945	-16.0853
Viga-4(Recortar/Extender2[1])	1	598.295	-1147.63	-9.43957	17.8352	-1761.76	0.0286597
	2	-598.295	-1146.68	9.43975	17.8501	1756.25	-0.0280347
Viga-5(Miembro estructural1[9])	1	0	1.36424e-012	-3.84531e-006	1.93948e-007	6.82121e-013	-2.55795e-013
	2	33026.8	2.94149	-665489	34978.1	-15.1337	0.158223
	3	-33026.8	-2.94149	666510	164822	16.0162	-0.158223
Viga-6(Recortar/Extender2[2])	1	-598.292	-1151.35	9.43561	17.8533	1783.5	-0.0286616
	2	0	0	0	0	0	0
Viga-7(Miembro estructural1[2])	1	719183	-160.986	-8014.76	14097.7	-342.337	-1.03672
	2	-673145	601.245	-33032.5	-142354	-1944.96	1.29411
	3	-668720	2.95018	-33026.7	-164103	-0.157945	-16.0717
	4	-698437	160.986	8014.76	34792.3	-639.679	1.03672
Viga-8(Recortar/Extender1[1])	1	441.593	-1151.24	3.88011	7.4118	1937.9	-0.0990704
	2	0	0	0	0	0	0
Viga-9(Miembro estructural1[8])	1	0	-8.18545e-012	-3.84555e-006	-1.94064e-007	4.83169e-013	2.27374e-013
	2	33026.7	2.95018	666510	-164822	16.0717	0.157945
	3	-33026.7	-2.95018	-665489	-34978.1	-15.1866	-0.157945
Viga-10(Recortar/Extender1[3])	1	-441.607	-1150.42	-3.88013	7.41019	-1933.15	0.0990694
	2	441.607	-1143.89	3.88032	7.25846	1895.05	-0.0984445
Viga-11(Miembro estructural1[7])	1	0	-1.18234e-011	-3.84549e-006	1.93832e-007	-6.82121e-013	2.55795e-013
	2	-33026.7	-2.95018	666560	165098	16.0853	-0.157945
	3	33026.7	2.95018	-665540	34717.2	-15.2002	0.157945
Viga-12(Miembro estructural1[3])	1	719219	152.398	-8031.06	13746.7	297.971	-1.06897
	2	-674260	-595.353	-33021	-132274	1726.46	1.25596
	3	-698474	-152.398	8031.06	35242.8	631.658	1.06897
	4	-668771	2.94149	-33026.8	-164379	-0.158223	-16.0461
Viga-13(Miembro estructural1[10])	1	0	-7.95808e-012	-3.84561e-006	-1.93948e-007	-8.52651e-013	-2.55795e-013

)	2	-33026.8	-2.94149	-665540	-34717.2	-15.1636	-0.158223
	3	33026.8	2.94149	666560	-165098	16.0461	0.158223
Viga-14(Miembro estructural1[5])	1	33026.7	4.71719	17489.5	34978.1	11.6527	0.157897
	2	-33026.7	-1.17806	17540.2	-34717.2	18.7078	-0.157897
Viga-15(Recortar/Extender1[4])	1	41049.7	-2011.63	-2.18669	-7.29267	8244.4	-0.00742663
	2	-41049.7	-2011.9	2.18702	-7.38092	-8247.25	0.00742663
Viga-16(Recortar/Extender1[2])	1	41049.7	-2011.9	-2.18763	-7.38362	8247.25	-0.00742779
	2	0	0	0	0	0	0

Tensiones de viga

Nombre de viga	Juntas	Axial (N/m ²)	Dir. de pliegue1 (N/m ²)	Dir. de pliegue2(N/m ²)	Torsional (N/m ²)	Peor caso(N/m ²)
Viga-1(Miembro estructural1[6])	1	-747838	5.6951e+006	-7859.49	-1803.52	6.4508e+006
	2	-747838	5.65262e+006	4907.47	1803.52	6.40537e+006
Viga-2(Miembro estructural1[4])	1	-	2.29538e+006	145170	-11817.9	1.87255e+007
	2	-	2.67191e+007	-66.6153	-182636	4.18613e+007
	3	-	2.3178e+007	-815758	14701.7	3.92362e+007
	4	-	5.66485e+006	-268285	11817.9	2.17484e+007
Viga-3(Miembro estructural1[1])	1	-	2.23822e+006	-124418	-12194.3	1.8648e+007
	2	-	2.32229e+007	808559	14389.6	3.92748e+007
	3	-	5.7382e+006	266981	12194.3	2.18208e+007
	4	-	2.67641e+007	-66.4982	-183425	4.19074e+007
Viga-4(Recortar/Extender2[1])	1	-63136.6	-78031.2	-1.66282e+006	6976.02	1.80398e+006
	2	-63136.6	78096.4	-1.65761e+006	-6823.91	1.79884e+006
Viga-5(Miembro estructural1[9])	1	0	3.15784e-005	-2.87188e-010	-2.91658e-009	3.15787e-005

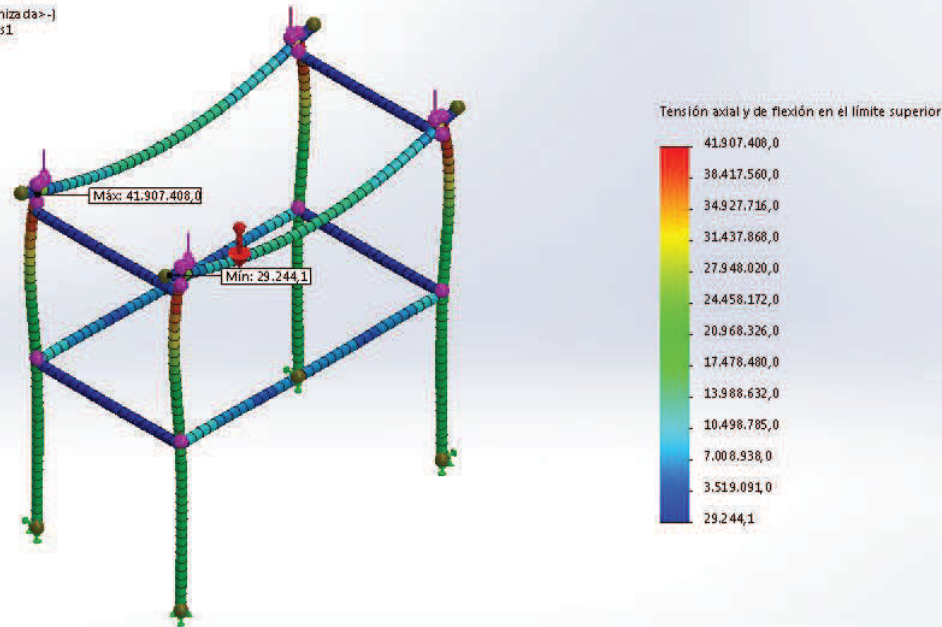
	2	-747839	5.6951e+006	-6371.64	1804.06	6.44931e+006
	3	-747839	2.68361e+007	-6743.17	-1804.06	2.75907e+007
Viga-6(Recortar/Extender2[2])	1	-63136.3	78110.2	-1.68333e+006	-6976.5	1.82458e+006
	2	0	0	0	0	0
Viga-7(Miembro estructural1[2])	1	1.62848e+007	2.29538e+006	-144131	-11821.9	1.87243e+007
	2	1.52423e+007	2.3178e+007	818871	14757	3.92392e+007
	3	1.51421e+007	2.67191e+007	66.4982	-183269	4.18613e+007
	4	1.5815e+007	5.66485e+006	269319	11821.9	2.17492e+007
Viga-8(Recortar/Extender1[1])	1	46600.2	32427.5	-1.82906e+006	-24114.6	1.90809e+006
	2	0	0	0	0	0
Viga-9(Miembro estructural1[8])	1	0	3.15974e-005	2.03425e-010	2.59252e-009	3.15976e-005
	2	-747839	2.68361e+007	6766.54	1800.89	2.75907e+007
	3	-747839	5.6951e+006	6393.91	-1800.89	6.44933e+006
Viga-10(Recortar/Extender1[3])	1	46601.8	-32420.5	-1.82458e+006	24114.4	1.9036e+006
	2	46601.8	31756.6	-1.78862e+006	-23962.3	1.86698e+006
Viga-11(Miembro estructural1[7])	1	0	3.15595e-005	2.87188e-010	2.91658e-009	3.15597e-005
	2	-747839	2.6881e+007	-6772.27	-1800.89	2.76357e+007
	3	-747839	5.65262e+006	-6399.64	1800.89	6.40686e+006
Viga-12(Miembro estructural1[3])	1	1.62856e+007	2.23822e+006	125452	-12189.7	1.86493e+007
	2	1.52676e+007	2.15368e+007	-726876	14322.1	3.75312e+007
	3	1.58158e+007	5.7382e+006	-265942	12189.7	2.182e+007
	4	1.51433e+007	2.67641e+007	66.6153	-182977	4.19074e+007

Viga-13(Miembro estructural1[10])	1	0	3.15784e-005	-3.58985e-010	-2.91658e-009	3.15788e-005
	2	-747839	5.65262e+006	6384.23	-1804.06	6.40685e+006
	3	-747839	2.6881e+007	6755.76	1804.06	2.76356e+007
Viga-14(Miembro estructural1[5])	1	-747838	5.6951e+006	4906.05	1800.34	6.44785e+006
	2	-747838	5.65262e+006	-7876.4	-1800.34	6.40834e+006
Viga-15(Recortar/Extender1 [4])	1	4.33187e+006	-31906.3	-7.78137e+006	-1807.71	1.21451e+007
	2	4.33187e+006	32292.4	-7.78407e+006	1807.71	1.21482e+007
Viga-16(Recortar/Extender1 [2])	1	4.33187e+006	-32304.2	-7.78407e+006	-1807.99	1.21482e+007
	2	0	0	0	0	0

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	TXY: Tensión cortante en dir. Y en plano YZ	0 N/m ² Elemento: 391	4.19074e+007 N/m ² Elemento: 114

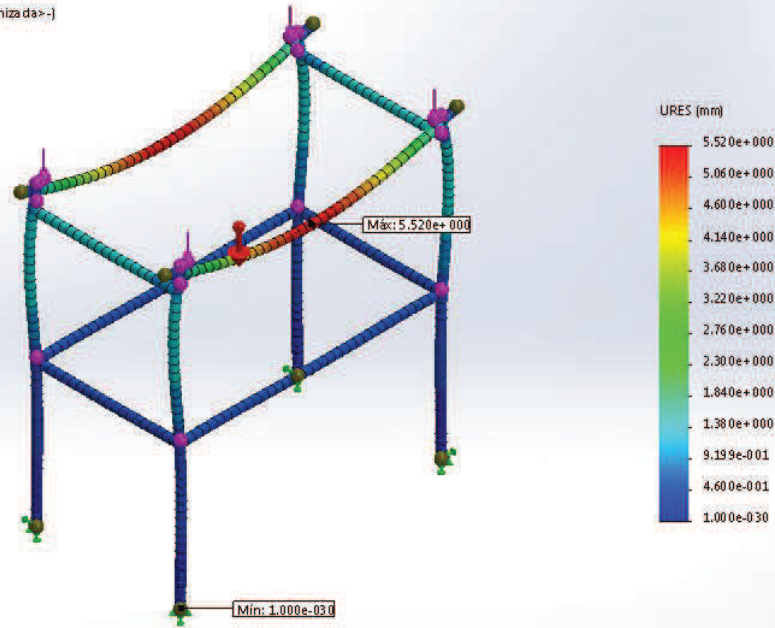
Nombre de modelo: POR 001 003
 Nombre de estudio: Estudio 2 POR 001 003{-Predeterminado-<Como mecanizada->}
 Tipo de resultado: Tensión axial y de flexión en el límite superior Tensiones1
 Escala de deformación: 224,723



POR 001 003-Estudio 2 POR 001 003-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamiento resultante	0 mm Nodo: 36	5.51967 mm Nodo: 18

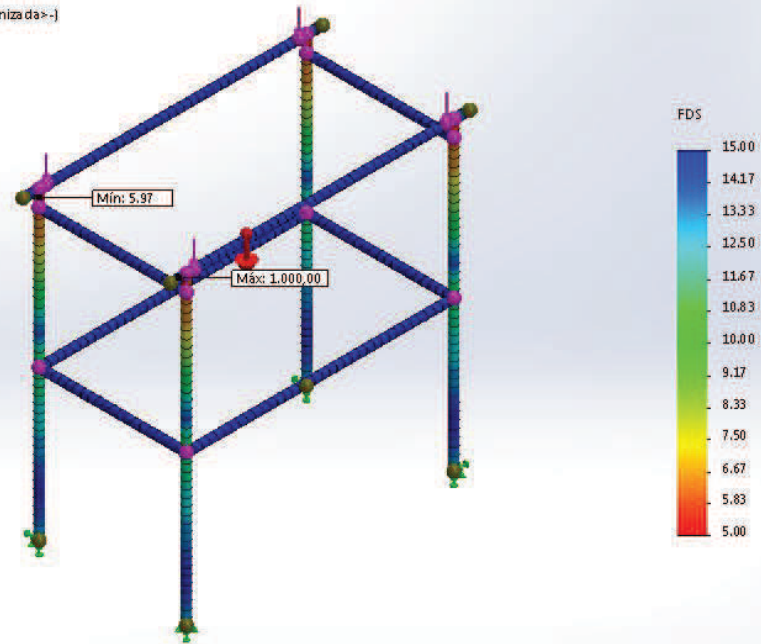
Nombre de modelo: POR 001 003
Nombre de estudio: Estudio 2 POR 001 003-(Predeterminado-<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 224.723



POR 001 003-Estudio 2 POR 001 003-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	5.96553 Nodo: 116	1000 Nodo: 139

Nombre de modelo: POR 001 003
Nombre de estudio: Estudio 2 POR 001 003(- Predeterminado< Como mecanizada->)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6



POR 001 003-Estudio 2 POR 001 003-Factor de seguridad-Factor de seguridad1