



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE DE ESTRUCTURAS EN UNA REFINERÍA

David Morales-Yovera

Piura, abril de 2019

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Morales, D. (2019). *Optimización del proceso de montaje de estructuras en una refinería* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

UNIVERSIDAD DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA



“OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE MONTAJE DE ESTRUCTURAS EN UNA REFINERÍA”

**Tesis para optar el Título de
Ingeniero Mecánico Eléctrico**

Bach. David Junior Morales Yovera

Asesor:

Ing. Jorge Arturo Yaksetig Castillo

Piura, Abril 2019

*A mis padres por enseñarme que hay que soñar
en grande, para conseguir cosas grandiosas.*

Resumen

El objetivo de la tesis es disminuir el tiempo de actividad del montaje de las estructuras disminuyendo tiempo de personal, de equipos y diversos recursos en general, adoptando nuevas técnicas de montaje propuestas y diseñadas con cálculos y procedimientos establecidos para la actividad específica de los procesos que conforman el montaje de las estructuras.

Con este fin, se efectuaron diversos análisis, concentrándose en el registro de tiempos de la actividad en cuestión. Además se identificarán mejoras que se podrían adoptar al proceso de montaje de estructuras, respetando los principios básicos y la norma establecida para esta actividad. Estas mejoras serán sustentadas mediante cálculos presentados en el desarrollo de la tesis y los procedimientos y reglas establecidas en el proyecto de la refinería de Talara.

Finalmente se adoptarán las propuestas señaladas en la tesis y se mostrarán los resultados de estas mejoras, verificando si efectivamente las mejoras representan un costo favorable y significativo respecto a la actividad sin adoptar estas mejoras.

Índice General

Introducción.....	1
--------------------------	----------

Capítulo 1

Graña y Montero y el Proyecto de Modernización de la Refinería de Talara (PMRT)	3
--	----------

1.1. Descripción de la compañía	3
1.1.1. Breve reseña histórica de la empresa	3
1.1.2. Descripción del área de ingeniería y construcción.....	4
1.2. Descripción del proyecto.....	5
1.2.1. Distribución de áreas del proyecto PMRT	6
1.2.2. Disciplinas presentes en el PMRT.....	10
1.2.3. Principales empresas que participan en el desarrollo del PMRT	10
1.3. Servicios brindados por GyM en el PMRT.	11
1.4. Equipos utilizados para el montaje de estructuras	11
1.4.1. Maquinaria pesada.....	12
1.4.2. Equipos livianos.....	15

Capítulo 2

Generalidades del montaje de estructuras.....	19
--	-----------

2.1. Definición de términos	19
2.2. Criterios y etapas del montaje de estructuras	20
2.2.1. Recepción del paquete de trabajo y verificación de materiales	20
2.2.2. Elaboración de un plan de montaje	21
2.2.3. Instalación de placas de nivelación	24
2.2.4. Pre-ensamble y montaje de estructuras	26
2.2.5. Alineamiento, nivelación, verticalidad de estructuras.....	30
2.2.6. Soluciones y modificación de estructuras en campo	31
2.2.7. Apriete manual y pretensado de pernos	35

2.2.8.	Vaciado de mortero de nivelación en bases	38
2.2.9.	Resane de pintura en estructuras y pintado de pernos	40
2.2.10.	Ignifugado de estructuras.....	44
2.3.	Objetivos.....	46
2.3.1.	Objetivo general	46
2.3.2.	Objetivos específicos	46
2.4.	Limitaciones.....	46

Capítulo 3

Análisis e implementación de herramientas para optimizar el proceso de montaje de estructuras.....47

3.1.	Análisis y detección de falencias del proceso de montaje de estructuras:.....	50
3.1.1.	Alcances generales	51
3.1.2.	<i>Ratios</i> por tipo de estructura:	51
3.1.3.	Avances y control de avance	53
3.1.4.	Indicadores.	53
3.2.	Propuestas de mejora	54
3.2.1.	Mejora en el montaje de estructura	54
3.2.2.	Mejora en la detección de interferencias e incompatibilidades:.....	57
3.2.3.	Mejora en el montaje de estructuras con complemento:	61
3.2.3.1.	Montaje estructura con equipo	61
3.2.3.2.	Montaje de estructura con pernos pretensados.....	61
3.2.3.3.	Montaje de estructura con pintura de pernos.....	64
3.2.3.4.	Montaje de estructura con ignifugado instalado	64
3.2.3.5.	Montaje de estructura con cobertura instalada	65
3.3.	Desarrollo de propuestas de mejora.....	66
3.3.1.	Optimización del montaje de estructura.....	66
3.3.1.1.	Selección de la muestra y datos esperados.....	66
3.3.1.2.	Selección de la muestra y datos esperados.....	68
3.3.2.	Desarrollo en la mejora de detección de interferencias e incompatibilidades	79
3.3.2.1.	Interferencia de equipo con plataforma de estructura.	80
3.3.2.2.	Posición de pernos de anclaje en cimentaciones.....	82
3.3.2.3.	Interferencia de soporte de tubería con elementos del <i>rack</i>	86
3.3.3.	Análisis del montaje de estructuras con complemento (montajes compuestos)....	91
3.3.3.1.	Desarrollo de montaje de estructura con equipo	91
3.3.3.2.	Desarrollo del montaje de estructura con pernos pretensados	93
3.3.3.3.	Desarrollo del montaje de estructura con pintura de pernos.....	94

3.3.3.4.	Desarrollo del montaje de estructura con ignifugado instalado.....	95
3.3.3.5.	Desarrollo del montaje de estructura con cobertura instalada.....	95
3.4.	Fundamento técnico del cambio de configuraciones en el montaje.....	97
3.4.1.	Análisis del alzado compuesto en etapa de verticalización	98
3.4.2.	Análisis del alzado compuesto en etapa de izaje	104

Capítulo 4

Estimación del impacto en recursos y costos generado por la aplicación del proyecto..... 109

4.1.	Costos principales involucrados en el montaje de estructura.	109
4.2.	Determinación de las mejoras implementadas al proceso	111
4.2.1.	Resultados de la Mejora en el montaje de estructura	112
4.2.2.	Resultados de la mejora de detección de interferencias e incompatibilidades	113
4.2.2.1.	Costo de reparación de interferencia de estructura con equipo.....	113
4.2.2.2.	Costo de reparación de posición incorrecta de pernos en cimentaciones	114
4.2.2.3.	Costo de reparación de interferencia de soporte de tubería con estructura.....	115
4.2.3.	Resultados de la mejora de montajes compuestos.	116
4.2.3.1.	Resultados de montaje compuesto de estructura y equipo.	116
4.2.3.2.	Resultados de montaje de estructura con pernos pretensados	117
4.2.3.3.	Resultados de montaje de estructura con pernos pintados	117
4.2.3.4.	Resultados de montaje de estructura con cobertura instalada.....	120
4.3.	Análisis financiero	120
4.3.1.	Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura	120
4.3.2.	Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura con equipo	122
4.3.3.	Análisis financiero del montaje de estructura con pernos pretensados	122
4.3.4.	Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura con pernos pintados .	123
4.3.5.	Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura con cobertura.....	124

Conclusiones 125

Bibliografía..... 127

Introducción

Han pasado casi 100 años desde que la refinería de Talara se construyó e inició su actividad. En estos momentos se encuentra en un proceso de modernización, el proyecto de modernización de la refinería de Talara (PMRT). Este es el megaproyecto energético más importante del país, donde distintas empresas tanto nacionales como extranjeras participan en su ejecución.

El PMRT traerá grandes beneficios para el país, sobretodo en el medio ambiente, economía y seguridad energética. Producirá y comercializará combustibles con bajo contenido de azufre, lo cual significa bajos índices de contaminación y menor emisión de gases tóxicos. Asimismo, producirá Diésel 2, combustible 40 veces más limpio que el producido actualmente.

En el proyecto se ha considerado la participación de varias disciplinas de ingeniería como son: civil, tubería, mecánica, electricidad, entre otras. Dentro de la disciplina mecánica se encuentra el diseño y montaje de equipos y estructuras. En este estudio se pretende dar conocer la manera óptima del montaje de estructura pesada y el uso de los recursos en el procedimiento de montaje. Esta actividad es común en la refinería, en el sector minería, o en cualquier industria donde sea necesario el montaje de estructuras.

En los últimos años la industria de la construcción ha variado mucho los aspectos constructivos, debido al amplio uso del acero; por ejemplo, en muchas construcciones se ha reemplazado las columnas y vigas de concreto armado, por perfiles completamente de acero. Las ventajas que ofrece la instalación de estructura son diversas, por ejemplo: menores plazos de construcción, lo que está relacionado directamente con menor costo de mano de obra; menor costo de materiales; menor financiamiento, etc.

Las estructuras metálicas por su naturaleza, tienen gran capacidad resistente, por lo que pueden soportar cargas importantes. Asimismo, al ser elementos prefabricados con uniones de gran flexibilidad, los plazos de construcción se reducen significativamente; a pesar de ello muchas veces se requiere realizar las construcciones en el menor tiempo posible, surge pues, la necesidad de implementar el uso de herramientas gráficas y métodos que optimicen el proceso constructivo garantizando rapidez, seguridad y calidad.

Capítulo 1

Graña y Montero y el Proyecto de Modernización de la Refinería de Talara (PMRT)

En este capítulo introductorio se presentan conceptos breves para que se pueda entender con claridad las dimensiones de la empresa y del proyecto. Así, se ha creído conveniente dar detalles sobre el desarrollo de la empresa a lo largo de la historia y del área que abarca este tipo de proyectos en el cual se ha desarrollado la tesis.

En primer lugar, se hace una breve descripción de la empresa GyM; en segundo lugar, se presenta el proyecto y las empresas involucradas en el desarrollo del mismo; posteriormente, se presentan las disciplinas de ingeniería presentes y finalmente, los servicios brindados y equipos utilizados.

1.1. Descripción de la compañía

1.1.1. Breve reseña histórica de la empresa¹

El grupo Graña y Montero fue fundado el 22 de junio de 1933 por tres jóvenes ingenieros peruanos, Carlos Graña Elizalde, Alejandro Graña Garland y Carlos Montero Bernal, a ellos se unió el arquitecto Héctor Velarde Bergman, quien después de unos años se separó de la empresa. Nació como una sociedad denominada GRAMONVEL, con el objetivo de unir sus conocimientos para la realización de cualquier obra.

1933 fue una época de crisis y convulsión política en el país. Lima era una ciudad con medio millón de habitantes, cuyo núcleo principal era el centro histórico, ahí fue donde se instaló Gramonvel con un capital inicial de 3 000 soles.

Carlos Graña fue el primer presidente de Gramonvel pero también fue autor de la concepción empresarial a largo plazo, tenía una visión moderna y capacidad para establecer nuevas técnicas empresariales.

La primera obra ejecutada por Gramonvel fue la casa del Dr. Manuel Irigoyen y Puente, así continuaron con muchas obras de edificación, desarrollando sus capacidades

¹ Resumido del libro 80 años GyM línea de tiempo GyM

y asumiendo nuevos retos. En 1937 comenzó a desarrollar proyectos más ambiciosos, como los baños de Miraflores.

En 1942 Luis Graña se incorporó al equipo y fue por muchos años gerente de obras y Director de GyM, ese mismo año Gramonvel tuvo a cargo la construcción de la fábrica de Nestlé en Venezuela y la Base “El pato” para el gobierno estadounidense en la ciudad de Talara (base aérea durante la segunda guerra mundial), este gran reto los llevo a unirse con la empresa Morris y Montero, con el fin de culminar la obra en el plazo establecido. En 1945 se encargaron de la construcción de toda la ciudad de Talara y en conjunto realizaron proyectos importantes. En 1949 Gramonvel decide fusionarse con Morris y Montero, naciendo así Graña y Montero S.A.

En 1983, al cumplir 50 años y ser partícipes de grandes proyectos, empieza su diversificación, surgen 3 compañías GMD, GMI y GMP. En 1991 GMP inicia operaciones de producción de petróleo en el lote I de Talara y GMD hace la primera implementación de sistemas y venta de servidores.

En 1994 surge CONCAR concesiones viales y GMI adquiere ECOTEC S.A. En 1998 GMP se asocia con *Olitanking* para crear Consorcio Terminales y en 1999 se crea el CCA. Desde su creación hasta el año 2000 GyM creció enormemente y se expandió en varios rubros realizando proyectos muy importantes dentro y fuera del país.

A partir del año 2000 y debido al rápido crecimiento que se venía dando en el país se dio el surgimiento de nuevas compañías para abarcar un amplio campo laboral, como son: Norvial (2003), Viva GyM (2007), GSD (2010), CAM, STRACON (adquirida en 2011 y vendida en el año 2018 para reducir deuda con proveedores), Vial y Vives (2012), DSD (2013), Vial y Vives DSD (2014) y MORELCO (2015). Actualmente (2018) el grupo Graña y Montero abarca 4 grandes áreas de negocio, las cuales son: Ingeniería y construcción, Infraestructura, Inmobiliaria y Servicios. Además cada área de negocio cuenta con compañías y subsidiarias propias de GyM especializadas en cada sector al que pertenecen.

1.1.2. Descripción del área de ingeniería y construcción²

Esta área de negocio está encargada de la ingeniería y construcción de edificaciones en general, así como la construcción de proyectos civiles y electromecánicos en el sector minero, gas y petróleo, transporte y vial, energético y agua, y también presta servicios de consultoría y es donde se ha centrado esta tesis.

Las compañías y subsidiarias involucradas en esta área son:

- GMI: Compañía consultora de GyM, fundada en 1984 como empresa independiente, actualmente cuenta con un gran equipo de profesionales en diferentes especialidades, diseño, supervisión, geomática y medio ambiente.
- GyM: Es la compañía que dio origen a todo el grupo Graña y Montero, es una compañía constructora muy experimentada que ha desarrollado múltiples proyectos de gran importancia y trascendencia, comprende proyectos de obras civiles, electromecánica y Edificaciones.

² Página web de GyM – Ingeniería y Construcción

- Vial y Vives – DSD: Surge el 01 de julio del 2014 de la fusión de dos empresas chilenas muy prestigiosas Ingeniería y Construcción Vial y Vives S.A. y DSD Construcciones y Montajes S.A., Vial y Vives ha participado en, proyectos de minería en Chile, obras de infraestructura, obras civiles, montaje electromecánico, túneles, entre otros, por otra parte DSD ha realizado soluciones integrales para plantas de los sectores de refinería, petroquímica, minería y otros sectores, ha realizado proyectos en varios países latinoamericanos, esta empresa se especializa en el montaje industrial de: estructuras metálicas, cañería, mecánica, eléctrica, otros.

Actualmente estas 2 empresas comparten conocimientos y experiencias para convertirse en un referente clave de construcción y montaje para los principales proyectos industriales y de infraestructura en el extranjero, en el país de Chile.

- Morelco S.A.: Es una compañía fundada en la ciudad de Cali en el año 1977, orientada al sector eléctrico, en 1994 participa a nivel nacional en el sector de hidrocarburos, en 1999 se involucra en proyectos de refinería. Ha tenido participación en obras de infraestructura y participación de la modernización de la refinería Esmeraldas en Ecuador en los años 2009 y 2012. En el año 2014 fue adquirida por el grupo Graña y Montero, actualmente está especializada en ensamblaje electromecánico, obras civiles y servicios para la industria del petróleo, gas y energía.

1.2. Descripción del proyecto

El proyecto de modernización de la refinería de Talara que se realiza en la provincia de Talara a 117 Km al noreste de la ciudad de Piura (ver Figura 1). Se aprobó en diciembre del 2013, siendo Técnicas reunidas de España encargada de la supervisión y ejecución de la obra, la cual supervisa a GyM, SSK, JJC-Cosapi, Demen, entre otras empresas como subcontratistas de la obra.

El proyecto se encuentra en una etapa de construcción avanzada (ver Figura 2), una vez alcance su construcción al 100% se espera que produzca y comercialice combustibles más limpios con bajo contenido de azufre (50 partes por millón). Asimismo producirá Diésel 2 que será 40 veces más limpio que el producido actualmente, esto traerá grandes beneficios económicos para el país, de la misma forma contribuirá a su desarrollo energético, asegurando la producción y abastecimiento para la demanda nacional y con esto disminuir las importaciones.

Otro beneficio de este proyecto, es que se usará tecnología moderna, con los equipos de última generación en los procesos de refinación, tales como la “hidrodesulfurización” de combustibles y la “conversión profunda de residuos”

Se estima que para el 2020 empiece a operar la nueva refinería de Talara, teniendo en cuenta que las unidades auxiliares recién empezaron a construirse a fines del 2018 y tienen una proyección de 2 años aproximadamente. Estas unidades son cinco, las cuales producirán recursos como agua, vapor y energía eléctrica.



Figura 1. Ubicación del proyecto de modernización de la Refinería de Tarama

Fuente: Imagen obtenida de Google Maps



Figura 2. Proyecto de modernización de la Refinería de Tarama

Fuente: Elaboración propia

1.2.1. Distribución de áreas del proyecto PMRT

Los componentes principales del PMRT se agrupan en los siguientes ítems:

- **Unidades de proceso para la refinación de petróleo (ver Tabla 1).**

Tabla 1. Unidades de proceso para la refinación de petróleo

Unidad	Siglas	Capacidad / Descripción	Fuente de Tecnología	Alcance EPC
1. Destilación Primaria	DP1	95.0 MBSD	<i>Open Art</i>	TR
2. Destilación al Vacío	DV3	52.7 MBSD	<i>Open Art</i>	TR
3. Craqueo Catalítico Fluido /Recuperación de Gases	FCC	25.0 MBSD	Licenciada por UOP	TR
4. Coquificación de residuos de Vacío	FCK	22.6 MBSD	Licenciada por <i>Exxon Mobil</i>	TR
5. Reformado Catalítico	RCA	9.5 MBSD	Licenciada por <i>Axens</i>	TR
6. Planta de Tratamiento de Aguas Agrias	WS2	196.6 m/h	<i>Open Art</i>	TR
7. Desulfuración de Diésel	HTD	41.0 MBSD	Licenciada por <i>Haldor Topsoe</i>	TR
8. Desulfuración Nafta Craqueada	HTF	9.5 MBSD	Licenciada por <i>Axens</i>	TR
9. Desulfuración de Naftas	HTN	13.3 MBSD	Licenciada por <i>Axens</i>	TR
10. Tratamiento de GLP	TGL	8.2 MBSD	Licenciada por <i>Axens</i>	TR
11. Recuperación de Gases	RG2	3.0 MMCFD	<i>Open Art</i>	TR
12. Regeneración de Aminas	AM2	1010 GPM	<i>Open Art</i>	TR

Fuente: Datos obtenidos de página web de Petroperú

- **Unidades que suministrarán servicios auxiliares e infraestructura complementaria diversa que permitirá ampliar la actual refinería de Talara para cumplir con los objetivos establecidos (ver Tabla 2 y 3).**

Tabla 2. Unidades de servicios auxiliares e infraestructura complementaria

Unidad	Siglas	Capacidad / Descripción	Fuente de Tecnología	Alcance EPC
1. Planta de producción y purificación de Hidrógeno	PHP / PSA	30MMSCFD (from reformed gas) + 9.6 (from purified hydrogen rich gas)	<i>Haldor Topsoe</i>	EPC UA&TC
2. Producción de Nitrógeno	NIS	3900 Sm ³ /h, almacenamiento 280 m ³ , Vaporización 18756 Sm ³ /h	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
3. Planta de Ácido Sulfúrico	WSA	560 Toneladas/Día	<i>Haldor Topsoe</i>	EPC UA&TC
4. Almacenamiento y Despacho de Ácido Sulfúrico	ASC	2 Tanques de 11,200 m ³ y 1 Tanque de 4,600 m ³	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
5. Desalación de Agua y Sistema de Distribución	OR2 / DM2	991m ³ /h 1er Paso, 750 m ³ /h 2do Paso. 441.7 m ³ /h Agua Demin	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC

Fuente: Datos obtenidos de página web de Petroperú

Tabla 3. Continuación de Tabla 2

Unidad	Siglas	Capacidad / Descripción	Fuente de Tecnología	Alcance EPC
6. Sistema de Captación de Agua de Mar	SWI	49,000 m3/h	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
7. Sistema de enfriamiento con Agua de Mar	SWC	42,783 ton/h	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
8. Circuito cerrado de enfriamiento	CWC	19,214 ton/h	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
9. Sistema de Descarga Térmica, salina y de efluentes de las Unidades WWS y SA2	SWO	Emisario Submarino	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
10. Tratamiento Aguas Residuales	WWS/ SA2	WWS 400 m3/h efluente aceitoso, SA2 20 m3/h efluente sanitario	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
11. Unidad de Tratamiento y almacenamiento de aguas aceitosas	SLP	Sistemas de almacenamiento, calentamiento y bombeo de slop	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
12. Generación Eléctrica y Sistema de Generación de Vapor	GE / SGV	Potencia instalada 100 MW, Vapor HP 102 ton/h Vapor MP 301.4 ton/h	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
13. Sistema de Tratamiento de Condensado	RCO	Sistema de Pulido y Carbón activado	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
14. Almacenamiento de Crudo y productos	TKS	1 Tanque Crudo 291 MBbly 1 Tanque Nafta 69 Mbbl	<i>Open Art</i>	EPC UA&TC
15. Unidad de Tratamiento Cáustico de Turbo A1 y sus interconexiones	TKT	8.8 MBSD	Unidad Paquete Licenciada	EPC UA&TC
16. Planta de tratamiento de Soda gastada y sus interconexiones	OX	0.82 m3/h cáustico // 3.0 m3/h ácido	Unidad Paquete Licenciada	EPC UA&TC
17. Trabajos Complementarios	Instrumentación de tanques, sistema de despacho de asfalto, suministro de catalizadores / químicos / lubricantes, implementar equipamiento laboratorio, Sistema OTS, Sistema MMS, Integración Telecomunicaciones / Instrumentación / Electricidad de sistemas existentes, Edificios (talleres, almacenes, Estación CI)		<i>Open Art</i>	EPC UA&TC

Fuente: Datos obtenidos de página web de Petroperú

En la Tabla 4 y 5 se muestran las unidades de la refinería de Talara:

Tabla 4. Distribución del Proyecto de Modernización de la refinería de Talara

PLANOS DE REFERENCIA			
GPMP-30-Q-001-A	PLOT PLAN-PROYECTO DE MODERNIZACION		
RT-MI-2PV	PLANOS VECTORIALES REFINERIA DE TALARA		
02070-GEN-PNG-LAY-002	PLANO CLAVE (MODERNIZACION REFINERIA DE TALARA)		
02070-GEN-ENG-LAY-001	PLANO PERIMETRICO REFINERIA DE TALARA		
UNIDAD	DESCRIPCION	ALCANCE	IMPLANTACION PLN
(1) FCK	FLEXICOQUER Y RECUP. DE GASES III	NUEVO	02070-FCK-PNG-LAY-001
(12) HTN	HIDROTRATAMIENTO Y SEP. DE NAFTA	NUEVO	02070-HTN-PNG-LAY-001
(13) RCA	REFORM. CATALIT. DE NAFTA	NUEVO	02070-HTN-PNG-LAY-001
(14) HTF	HIDROTRATAMIENTO DE NAFTA DE FCC	NUEVO	02070-HTF-PNG-LAY-001
(15) HTD	HIDROTRATAMIENTO DE DIESEL	NUEVO	02070-HTD-PNG-LAY-001/002
(16) WSA	ACIDO SULFURICO	NUEVO (POR OTROS)	02070-WSA-PNG-LAY-001
(17) PHP	HIDROGENO	NUEVO (POR OTROS)	02070-PHP-PNG-LAY-001/002
(18) TGL	TRATAMIENTO DE LPG	NUEVO	02070-RG2-PNG-LAY-001
(19) FCC-RG1	CRAQUEO CATALIT. Y RECUP. GASES I	NUEVO	RT-00-A-001-A 02070-FCC-PNG-LAY-001
(21) DV3	DESTILACION DE VACIO III	NUEVO	02070-DV3-PNG-LAY-001
(22) RG2	RECUPERACION DE GASES II	NUEVO	02070-RG2-PNG-LAY-001
(23) AM2	TRATAMIENTO CON AMINAS	NUEVO	02070-WS2-PNG-LAY-001
(24) WS2	DESPOJADOR DE AGUAS AMARGAS	NUEVO	02070-WS2-PNG-LAY-001
(25) DP1	DESTILACION PRIMARIA	REVAMPING	RT-00-A-001-A/RT-10-A-822-A
(27) TNS	TRATAMIENTO CAUSTICO DE NAFTA	-----	-----
(28) TKT	TRAT. CAUST. DE KEROSENO Y TURBO A1	NUEVO (POR OTROS)	RT-10-A-B-312
(29) OX	SOSA GASTADA	NUEVO (POR OTROS)	RT-10-A-B-312
(31) GE	COGENERACION Y GEN. ELECTRICA	NUEVO (POR OTROS)	02070-GE-ENE-LAY-100
(40)	SERVICIOS AUXILIARES		
(41) PAR	AIRE COMPRIMIDO	NUEVO	02070-FB2-PNG-LAY-003
(42) WWS-SA2	TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES Y SANITARIAS	NUEVO (POR OTROS)	02070-WWS-PNG-LAY-001
(43) FWS	SISTEMA AGUA CONTRAINCENDIOS	NUEVO	HOLD
(44) SCR	SISTEMA GAS COMBUSTIBLE	NUEVO	02070-SCR-PNG-LAY-001
(45) NIS	PLANTA DE NITROGENO	NUEVO (POR OTROS)	02070-SE1-PNG-LAY-001
(46) SWC/CWC	SISTEMA AGUA DE MAR Y CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO SISTEMA DE CAPTACION DE AGUA DE MAR	NUEVO (POR OTROS)	02070-SWC-PNG-LAY-001 02070-FB2-PNG-LAY-001 02070-SGV-PNG-LAY-001
(47) RCO	RECUPERACION DE CONDENSADO	NUEVO	02070-SE1-PNG-LAY-001 02070-ASF-PNG-LAY-001 02070-SI-PNG-LAY-001
(47) SGV/RCO	SISTEMA GEN. VAPOR/RECUP. CONDENSADO	NUEVO (POR OTROS)	02070-SGV-PNG-LAY-001
(48) STA	PLANTA AGUA DESMINERALIZADA/DESALADORA	NUEVO (POR OTROS)	02070-STP-PNG-LAY-001
(48) STA	TANQUES DE AGUA	NUEVO	02070-WWS-PNG-LAY-001
(49) CAF	SOSA CAUSTICA	REVAMPING	RT-10-A-B-312
(50)	SERVICIOS OFFSITES		
(51)	VIALES, INFRAESTRUCTURAS	NUEVO	ESTE PLANO
(52)	EDIF. (S. CONTROL, LABORATORIO, OFICINAS, SUBESTACIONES)	NUEVO	ESTE PLANO / 02070-SE1-PNG-LAY-001 02070-TKS-PNG-LAY-001/005
(52) GE2	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO (POR OTROS)	02070-GE-ENE-LAY-100
(52) SEP/GE1	SUBESTACION ELECTRICA PPAL.	NUEVO (POR OTROS)	02070-SEP-PNG-LAY-001
(52) SE1	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-SE1-PNG-LAY-001
(52) SE2	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-SE2-PNG-LAY-001
(52) SE3	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-SE3-PNG-LAY-001
(52) SE4	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	RT-88-A-A-458 02070-SI-PNG-LAY-001
(52) SE5	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO (POR OTROS)	02070-TKS-PNG-LAY-003
(52) S01	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-TKS-PNG-LAY-003
(52) S02	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO (POR OTROS)	02070-STP-PNG-LAY-001
(52) S03	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-WWS-PNG-LAY-001
(52) S04	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO (POR OTROS)	02070-TKS-PNG-LAY-006
(52) S05	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-MU-PNG-LAY-002
(52) S06	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-TKS-PNG-LAY-004
(52) S07	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO (POR OTROS)	02070-TKS-PNG-LAY-003

Fuente: Datos obtenidos de página web de Petroperú

Tabla 5. Continuación de la tabla 4

PLANOS DE REFERENCIA			
GPMR-30-Q-001-A PLOT PLAN-PROYECTO DE MODERNIZACION			
RT-MI-2PV PLANOS VECTORIALES REFINERIA DE TALARA			
02070-GEN-PNG-LAY-002 PLANO CLAVE (MODERNIZACION REFINERIA DE TALARA)			
02070-GEN-ENG-LAY-001 PLANO PERIMETRICO REFINERIA DE TALARA			
UNIDAD	DESCRIPCION	ALCANCE	IMPLANTACION PLN
52 SO9	SUBESTACION ELECTRICA	NUEVO	02070-TKS-PNG-LAY-002
53 TKS	ALMACENAMIENTO/RESIDUO VACIO ALMACENAMIENTO DE SULF./BOMBAS CARGADERO DE CISTERNAS	NUEVO NUEVO (POR OTROS) NUEVO	02070-TKS-PNG-LAY-002/003/004/005/006 02070-ASF-PNG-LAY-002
54 CKS	COKE HUMEDO	NUEVO	02070-FCK-PNG-LAY-001
55 FB2	ANTORCHA, RECUP. DE GASES	NUEVO	02070-FB2-PNG-LAY-001/002/003/004
57 SLP	DRENAJES Y SLOPS	NUEVO (POR OTROS)	02070-SI-PNG-LAY-001/02070-FB2-PNG-LAY-001
58 ESTIM	MU1 INSTALACIONES PORTUARIAS	REVAMPING	02070-GEN-MU-LAY-001
	MU2 INSTALACIONES PORTUARIAS	NUEVO	02070-GEN-MU-LAY-002
	MU4 INSTALACIONES PORTUARIAS	REVAMPING	02070-GEN-MU-LAY-001
59 CRM	SIST. RECEP. CRUDO/BOYA/DUCTO	-----	-----

Fuente: Datos obtenidos de página web de Petroperú

1.2.2. Disciplinas presentes en el PMRT

La gran magnitud del proyecto ha permitido que varias disciplinas de ingeniería se encuentren involucradas para su construcción y desarrollo, como civil, tubería, mecánica, estructural, electricidad, entre otras.

Las principales disciplinas involucradas y función que cumplen en el PMRT son:

- Civil.- Esta disciplina abarca entre sus principales funciones los estudios de suelos, geotecnia, topografía, movimiento de tierras, cimentaciones, sistemas de drenaje y diseño de estructuras.
- Mecánica y Estructural.- Entre las principales funciones que tiene a cargo están, el diseño estructural, la elaboración de documentos estructurales, tales como planos de soporte de tuberías, planos de estructuras, detalles de los procesos de armado de las estructuras, montaje de equipos y especificaciones de diseño.
- Eléctrica.- Esta disciplina se encarga de todo el diseño del sistema eléctrico, instalación de equipos, ubicación de zonas de alto voltaje (zonas de peligro), planos de distribución, diagramas, ubicación y planos de subestaciones, entre otros.
- Tubería.- Principalmente se encarga de todas las conexiones, instalación de tuberías, instrumentos y equipos en todo el proyecto.
- Otros.- para cada actividad diferente se tiene su área claramente definida y con una función establecida como por ejemplo: ignifugado, aislamiento, traseado de vapor, entre otros.

1.2.3. Principales empresas que participan en el desarrollo del PMRT

Para cubrir la demanda de las disciplinas mencionadas anteriormente se ha requerido el servicio de diversas empresas importantes y de gran prestigio y trayectoria, que trabajan en conjunto para lograr el objetivo de la nueva refinería.

Entre las principales empresas involucradas se encuentran:

- SSK.- Empresa dedicada a la construcción industrial y montaje de estructuras en los sectores de minería, electricidad, plantas industriales, puertos, hidráulica y movimiento de tierras
- Consorcio JJC - COSAPI.- Empresa peruana con trascendencia internacional que brinda servicios de ingeniería, construcción e infraestructura, ha desarrollado proyectos reconocidos de edificación, ingeniería, electromecánica y obras civiles.
- Técnicas Metálicas.- Empresa dedicada a la fabricación y montaje de estructuras, se desempeña en los sectores de minería, energía, transporte, plantas industriales y telecomunicaciones.
- DEMEN.- Brinda servicios en proyectos de metalmecánica, ingeniería civil, eléctricos, y geomenbranas.
- Grupo San José.- Empresa que cuenta con varias líneas de negocio, como, constructora, concesiones, energía y medio ambiente.
- ESMETAL.- Empresa dedicada a la fabricación de estructuras, brinda servicios en el sector de minería, infraestructura, refinería y edificaciones.
- GyM.- En el PMRT participa en la mayoría de las disciplinas presentes en el proyecto como, estructuras, tuberías, electricidad y civil. Aporta en la construcción de cimentaciones, pisos, salas eléctricas, montaje de estructuras, equipos y tubería, instalación de dispositivos electrónicos, luminarias, entre otros.

1.3. Servicios brindados por GyM en el PMRT.

Graña y Montero construcción o GyM es una de las empresas con mayor alcance en la refinería de Talara y brinda servicios civiles y electromecánicos para la construcción del proyecto:

- Alcance Civil: El alcance civil de GyM ha sido la construcción de cimentaciones para estructuras y equipos, construcción de cubetos para tanques de almacenamiento, losas, buzones, pisos técnicos en las salas eléctricas. Estos trabajos civiles por parte de GyM únicamente involucran áreas secundarias o unidades *off-sites*. Existen otras áreas o unidades que son alcance de otras empresas.
- Alcance electromecánico: En el alcance electromecánico tenemos actividades como: el montaje de estructura, de equipos, tuberías, instrumentos eléctricos, instalación de ignifugado en estructuras, aislamiento de tanques y tuberías, traceado de vapor en tuberías, pintura de pernos entre otras.

GyM tiene dos contratos en el PMRT; El primer contrato es obras civiles, el cual contempla todos los trabajos relacionados al área civil y el segundo contrato es Obras Electromecánicas, el cual contempla todo el alcance electromecánico y trabajos adicionales de todo tipo.

1.4. Equipos utilizados para el montaje de estructuras

La tesis en desarrollo está relacionada directamente y exclusivamente a la actividad de montaje de estructuras, por tanto para el listado de equipos utilizados solo se mencionarán los equipos que se emplean para hacer posible esta actividad.

1.4.1. Maquinaria pesada

El montaje de estructuras es un trabajo muy complejo, que requiere la movilización de material, accesorios, equipos y personal. Por esto es necesario el uso de maquinaria para desempeñar estas tareas.

Las unidades utilizadas para el montaje de estructuras las podemos dividir por la función que cumplen:

A. Unidades de transporte

- a. Camión plataforma: Como se aprecia en la Figura 3 este equipo es utilizado para el transporte de perfiles de acero, tuberías, entre otros. Los materiales son transportados desde la zona de pre-ensamble o desde su despacho, hasta la zona de instalación o el punto de trabajo.



Figura 3. Camión plataforma en la Refinería de Talara

Fuente: Elaboración propia

- b. Camión camabaja: cumple una función similar al camión plataforma, la diferencia es que este equipo permite el transporte de elementos de mayor dimensión, mayormente se usa para el transporte de pre-ensamble como los pórticos por ejemplo (ver Figura 4).



Figura 4. Transporte de pórticos desde zona de preensamble a Refinería

Fuente: Elaboración propia

- c. Camión baranda: este camión es utilizado para el transporte de equipos y elementos de menor tamaño (ver Figura 5), por ello se utiliza para las movilizaciones dentro de refinería.



Figura 5. Transporte de elementos pequeños

Fuente: Elaboración propia

B. Unidades de izaje

- a. Grúa telescópica.- Son usados para el montaje de las estructuras (ver Figura 6), para la elevación y distribución de los elementos estructurales, luego de haber sido transportados a la zona de izaje.



Figura 6. Montaje de elementos estructurales

Fuente: Elaboración propia

- b. Camión grúa.- Cumple la misma función de la grúa, pero se diferencian en que tiene menor capacidad de carga y menor longitud de pluma (ver Figura 7).
- c. *Manlift*.- Con ayuda de este equipo los operarios verifican la verticalidad de las estructuras e instalan y ajustan los pernos de las uniones de los perfiles (ver Figura 8), para asegurarlas.



Figura 7. Camión grúa realizando trabajos previos al montaje de estructuras
Fuente: Elaboración propia



Figura 8. Operadores ajustando los pernos de anclaje.
Fuente: Elaboración propia

- d. Telehandler.- Estas unidades sirven para mover las estructuras de un punto de trabajo a otro (ver figura 9), cargar y descargar los camiones en el proceso de transporte. Este equipo realiza su desplazamiento en distancias cortas dentro de la refinería.



Figura 9. Unidad de movimiento de estructuras
Fuente: Elaboración propia

1.4.2. Equipos livianos

En esta clasificación se encuentran equipos livianos que complementan el trabajo de montaje, cumplen una función muy importante en la unión y anclaje de las estructuras.

A. Taladros

En el montaje de estructuras, se puede encontrar dos tipos de taladro, los cuales son, taladros hilti y taladros magnéticos, la principal diferencia es la función que desempeña cada uno.

- a. Taladros Hilti (rotomartillo).- en los cimientos de concreto de las estructuras se colocan placas de nivelación que soportan la estructura para el vaciado del mortero de nivelación que se realiza después del montaje, nivelación y alineamiento de las estructuras. Sin embargo antes de cualquier montaje, se debe instalar las placas de nivelación y escarificar el pedestal haciendo uso del taladro, para que el mortero de nivelación tenga adherencia cuando se realice el vaciado. El modelo de taladro mayormente usado es TE-70 (ver Figura 10).



Figura 10. Taladro hilti

Fuente: Mercado de Andamios - Mexico

- b. Taladros magnéticos.- Sirven para hacer perforaciones en estructura metálica. Para hacer las perforaciones, los taladros utilizan brocas tipo corona (ver Figura 11).



Figura 11. Taladro magnético

Fuente: Catalogo virtual de makita

B. Equipos de torque

Luego del montaje de cada estructura se necesita ajustar los pernos para ello es necesario la aplicación de un torque al perno. Para la aplicación del torque se hace una prueba de tensión para determinar el valor de torque a aplicar al perno, dependiendo de este valor se realiza con torquímetro o llaves hidráulicas

- a. Torquímetro.- Estos equipos (ver Figura 12) requieren de esfuerzo manual por parte de los operarios, por lo que su rendimiento es menor a las llaves hidráulicas y requieren espacios libres para su operación, sin embargo, no utilizan ninguna fuente de energía.
- b. Llaves hidráulicas.- Este equipo (ver Figura13) trabaja junto a una bomba hidráulica, la cual ejerce una presión sobre la llave para la aplicación del torque, el valor de esta presión se determina previamente con las pruebas de tensión de acuerdo al procedimiento establecido. Al trabajar con la bomba de presión tiene la capacidad de aplicar torques mayores que el torquímetro.
- c. Multiplicador de torque.- sirve para convertir el torque aplicado por un torquímetro en un torque mayor, gracias a esta herramienta (ver Figura 14) se puede llegar a igualar los valores aplicados por las llaves hidráulicas, sin embargo ese no es su fin, esta herramienta se utiliza para verificar los valores de torque para la actividad de inspección final.



Figura 12. Torquímetro
Fuente: Catalogo virtual Sodimac



Figura 13. Llave hidráulica Avanti 8
Fuente: Pagina virtual de HYTORC



Figura 14. Multiplicador de torque 393

Fuente: Catalogo ebay

C. Otros equipos

- a. Máquina de soldar.- Sirve para la unión de los elementos estructurales en los casos que no se pueda colocar pernos de unión y sea de acuerdo a los planos. Para esto los soldadores deben estar homologados de acuerdo a la norma AWS3 D1.1, Esto depende del tipo de soldado que se requiere y del elemento estructural que se requiere soldar. En la Figura 15 se muestra una máquina de soldar que comúnmente es utilizada para la unión de estructuras.



Figura 15. Máquina de soldar

Fuente: Catalogo virtual de Promart

- b. Compresora.- Este equipo sirve para el arenado de los elementos estructurales, elementos de unión y pernos (ver Figura 16). El arenado es la preparación superficial que se realiza antes del pintado de los elementos.



Figura 16. Compresora para el arenado

Fuente: Elaboración propia

- c. Grupo electrógeno.- La energía eléctrica es muy importante para el proceso de montaje, debido a que se necesita de equipos y herramientas que necesitan energía eléctrica para su funcionamiento. Es común encontrar estos equipos (ver Figura 17) cubriendo la demanda de energía eléctrica en el desarrollo de la mayoría de proyectos de este tipo.



Figura 17. Grupo electrógeno ubicado en el área de trabajo

Fuente: Elaboración propia

Lo equipos enlistados anteriormente corresponden a los equipos y herramientas principales para la actividad en estudio, que es el montaje de estructuras en proyectos de refinería y minería.

Capítulo 2

Generalidades del montaje de estructuras

En este capítulo se presentará un alcance general sobre el montaje de las estructuras, se presentará los pasos y procedimientos que se siguen en el proyecto. Además de las actividades propias de producción o campo, también se mostrarán las actividades de control que se realizan fuera de campo que sirven para asegurar los trabajos que se realizan, todo esto desde tres puntos de vista; del área de calidad, para asegurar el cumplimiento de procedimientos y protocolización de las actividades; del área de control de proyectos, para tener el control diario del avance real de la obra y de la oficina técnica, para respaldar la información de los planos y sustentar las maniobras de izaje.

2.1. Definición de términos

- **Plano de montaje:** Representación gráfica realizada con medios técnicos de un arreglo de estructuras, donde se indican los niveles, cotas y posiciones a respetar en el montaje, se pueden encontrar planos isométricos, planos de planta, planos de elevación, planos de detalles.
- **Plano de fabricación:** Representación gráfica realizada con medios técnicos donde se indica las dimensiones, tolerancias y especificaciones a utilizar para fabricar un elemento estructural.
- **Planos de ingeniería básica:** Representación gráfica realizada con medios técnicos donde se indica las dimensiones, tolerancias, especificaciones, coordenadas y consideraciones básicas de diseño. Cabe destacar que el plano de montaje se origina a partir de este.
- **Pórtico:** conjunto de elementos estructurales entre columnas, vigas y diagonales que conforman un pre-ensamble.
- **Grúa:** Dispositivo de izaje con motor, que proporciona un punto de suspensión elevado y móvil desde el que se puede colgar una carga. Tenemos como ejemplo: Grúa celosía, grúa hidráulica, torre grúa, grúas pórtico, etc.
- **Izaje:** Proceso de cambiar la elevación y/o ubicación de una carga útil mediante el uso de un dispositivo de izaje.

- **Dispositivos de izaje:** Toda máquina manual o accionada usada para izar una carga; tales dispositivos incluyen: grúa, *winch*, polipastos, gato hidráulico o mecánico, palancas, sistema de poleas.
- **Rigging plan:** Hoja de datos de izaje donde se consideran todos los parámetros esenciales de una operación de izaje; es el registro principal que contiene, entre otros, los detalles de la configuración de la(s) grúa(s), las deducciones de capacidad que deben hacerse, detalles del peso de la carga y centro de gravedad (C.G.), los elementos *rigging* que deben usarse, los radios de operación, las capacidades de la grúa, etc. Esto se hace con el fin de tener controlado los radios de giro, capacidad máxima y longitud de pluma para que la grúa no sobrepase su capacidad máxima.
- **Elementos de rigging:** Dispositivo de izaje bajo el gancho, toda forma de aparejo de izaje usado para acoplar la carga útil con el dispositivo de izaje por ejemplo: estrobos, eslingas, grilletes, vigas, bastidores, yugos, poleas, orejas de izaje.
- **Tándem:** Operación *rigging* donde intervienen dos grúas para trasladar, montar, en esta operación se mantiene la carga en su posición inicial y ambas grúas soportan una cantidad de carga constante.
- **Upending:** Operación *rigging* donde intervienen dos grúas para verticalizar una carga, una grúa llamada de cabeza es quien terminara soportando todo el peso de la carga mientras que la segunda grúa llamada de cola entregara el peso que soporta a la grúa de cabeza hasta que no soporte nada de peso.
- **Lainas de nivelación:** Placas de acero utilizadas debajo de equipos o estructuras para tener un nivel requerido de acuerdo a las elevaciones solicitadas del plano.
- **Grouteo:** Vaciado de mortero de nivelación o *grout* cumpliendo condiciones previas como saturación del pedestal, temperatura del *grout*, temperatura de la estructura, temperatura del ambiente.
- **Rigger:** La persona que es responsable de acoplar los aparejos de *rigging* de una carga útil a un dispositivo de izaje o transporte.
- **Touch up:** Es la actividad que consiste en realizar resanes de pintura en estructura.

2.2. Criterios y etapas del montaje de estructuras

2.2.1. Recepción del paquete de trabajo y verificación de materiales

Como primer paso se recibe el paquete de trabajo; el cual corresponde a un grupo de documentos que contienen información necesaria para el comienzo de la ejecución de las actividades de construcción:

- Alcances
- Cantidades a ser instaladas y metrados
- Capacitación de personal tomando parte en obra
- Movilización de personal, maquinaria y materiales
- Montaje de acero estructural
- Inspecciones pertinentes
- Planos de montaje

Para este proyecto el suministro de elementos a montar es de la empresa supervisora Técnicas Reunidas. Por tanto el paquete de trabajo debe verificarse y tener el control del material entregado. En la primera etapa se elabora una lista de los materiales requeridos (ver ejemplo en Tabla 6) o el metrado actualizado para solicitar los elementos estructurales a almacén, estos elementos estructurales deben estar fabricados de acuerdo a los planos.

Una de las fuentes de información son los metrados, los cuales vienen junto con el paquete de los planos de montaje del fabricante de estructuras, sin embargo esta lista no es suficiente ya que se necesita tener un control y estatus de los elementos entregados a campo, elementos pendientes por entregar y elementos pendientes por fabricar.

Tabla 6. Tabla del status de material en obra

Project	Area	Supplier FabSh	Phase	Module	PieceMark	Descript	Category	Sub Category	Active	Unit Weigh	Qty	Total Weigh	Shipped (enviado)	Received (recibido)	Dispatched (despachado)
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012CX001	COLUMNA	PIPERACK	Pesada	1	1.5781	1	1.5781	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012CX002	COLUMNA	PIPERACK	Pesada	1	1.5781	1	1.5781	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012DX001	DIAGONAL	PIPERACK	Media	1	0.2833	1	0.2833	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012DX002	DIAGONAL	PIPERACK	Media	1	0.1416	2	0.2832	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012PL001	PLANCHA	PIPERACK	Pesada	1	0.0438	2	0.0876	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012SP001	SOPORTE	PIPERACK	Media	1	0.0251	2	0.0502	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012SP002	SOPORTE	PIPERACK	Media	1	0.0234	2	0.0468	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 012VX001	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.2424	1	0.2424	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112CN001	CONECTOR	PIPERACK	Pesada	1	0.0241	8	0.1928	8	8	8
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112CN002	CONECTOR	PIPERACK	Pesada	1	0.0241	8	0.1928	8	8	8
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX001	DIAGONAL	PIPERACK	Media	1	0.0858	4	0.3432	4	4	4
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX002	DIAGONAL	PIPERACK	Media	1	0.0871	20	1.742	20	20	20
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX003	DIAGONAL	PIPERACK	Ligera	1	0.0313	2	0.0626	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX004	DIAGONAL	PIPERACK	Ligera	1	0.0359	4	0.1436	4	4	4
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX005	DIAGONAL	PIPERACK	Ligera	1	0.0464	2	0.0928	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX006	DIAGONAL	PIPERACK	Ligera	1	0.0464	2	0.0928	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX007	DIAGONAL	PIPERACK	Ligera	1	0.0152	8	0.1216	8	8	8
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112DX008	DIAGONAL	PIPERACK	Ligera	1	0.033	2	0.066	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112PL001	PLANCHA	PIPERACK	Extra Pesada	1	0.0122	8	0.0976	8	8	8
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112PU001	PUNTAL	PIPERACK	Media	1	0.069	2	0.138	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112PU002	PUNTAL	PIPERACK	Media	1	0.0693	8	0.5544	8	8	8
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112PU003	PUNTAL	PIPERACK	Ligera	1	0.0263	10	0.263	10	10	10
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX001	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.1654	2	0.3308	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX002	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.51	1	0.51	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX003	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.5428	1	0.5428	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX004	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.5428	1	0.5428	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX005	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.1935	2	0.387	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX006	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.1934	4	0.7736	4	4	4
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX007	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.2558	1	0.2558	1	1	1
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX008	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.1654	2	0.3308	2	2	2
02070	CAF	ES	CAF1	TBD	CAF1 112VX009	VIGA	PIPERACK	Media	1	0.51	1	0.51	1	1	1

Fuente: Datos propios del proyecto

2.2.2. Elaboración de un plan de montaje

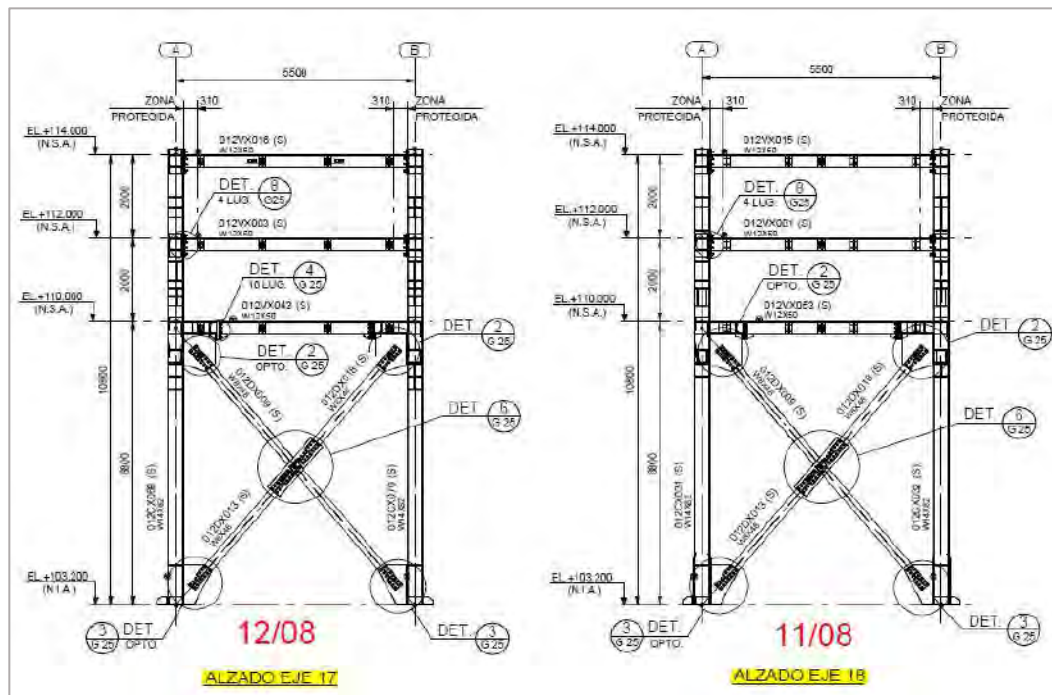
Una vez que se tiene la certeza del status real, la ubicación de los elementos estructurales, y la relación de elementos faltantes o en estado de fabricación; se realiza un plan elaborando (ver Tabla 7) listas de pre-ensamble de pórticos y cronograma de montaje, esto se realiza teniendo en cuenta que se usarán pre-ensambles para el montaje de las estructuras; marcando en los planos (ver Figura 18) la secuencia del traslado y montaje.

La idea de realizar pre-ensambles ayuda mucho en la construcción, debido a que se reducen tiempos en la actividad, ya que se puede armar un pre-ensamble a nivel de piso con mayor facilidad a tener que armarlo en su posición final y tener que trabajar a alturas de 13m.

Tabla 7. Plan de traslado de pórticos

PORTICOS PRE ENSAMBLADOS EN MANTA							L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J
							08-ago	09-ago	10-ago	11-ago	12-ago	13-ago	14-ago	15-ago	16-ago	17-ago	18-ago
RACK	TRAMO	PORTICO	ANCHC	LARGO	PESO (TON)	TRANSPORTE											
N55	TRAMO 01	PORTICO 24	5.5	10.95	8.6724	01 PLATAFORMA	X										
N55	TRAMO 01	PORTICO 23	5.5	10.95	9.6467	01 PLATAFORMA		X									
N55	TRAMO 01	PORTICO 22	5.5	10.95	9.7581	01 PLATAFORMA		X									
N55	TRAMO 01	PORTICO 21	5.5	10.95	7.855	01 PLATAFORMA			X								
N55	TRAMO 01	PORTICO 20	5.5	10.95	7.9423	01 PLATAFORMA			X								
N55	TRAMO 01	PORTICO 19	5.5	10.95	9.6769	01 PLATAFORMA				X							
N55	TRAMO 01	PORTICO 18	5.5	10.95	9.7919	01 PLATAFORMA				X							
N55	TRAMO 01	PORTICO 17	5.5	10.95	7.9688	01 PLATAFORMA					X						
N55	TRAMO 01	PORTICO 16	5.5	10.95	9.0262	01 PLATAFORMA					X						
N55	TRAMO 01	PORTICO 15	5.5	10.95	8.8808	01 PLATAFORMA						X					
N55	TRAMO 01	PORTICO 14	5.5	10.95	9.5653	01 PLATAFORMA						X					
N55	TRAMO 01	PORTICO 13	5.5	10.95	10.1989	01 PLATAFORMA								X			
N55	TRAMO 01	PORTICO 12	5.5	7.45	2.5549	01 PLATAFORMA								X			
N55	TRAMO 01	PORTICO 11	5.5	10.95	8.1163	01 PLATAFORMA									X		
N55	TRAMO 01	PORTICO 10	5.5	10.95	7.9423	01 PLATAFORMA				X							
N55	TRAMO 01	PORTICO 9	5.5	10.95	9.6805	01 PLATAFORMA										X	
N55	TRAMO 01	PORTICO 8	5.5	10.95	9.6799	01 PLATAFORMA										X	
N55	TRAMO 01	PORTICO 7	5.5	10.95	8.14	01 PLATAFORMA											X
N55	TRAMO 01	PORTICO 6	5.5	10.95	7.855	01 PLATAFORMA											X

Fuente: Elaboración propia

**Figura 18.** Vista de pórticos en planos de montaje

Fuente. Planos propios del proyecto

Debido a la peculiaridad de la refinería, y a su estado de funcionamiento, es difícil realizar los traslados de pórticos desde el lugar de pre-ensamble (fuera de la refinería) hasta el punto de montaje, es por eso que se necesita definir la ruta de transporte (ver Figura 19) a seguir dentro de la refinería y considerar las dimensiones de los pórticos para liberar las interferencias en las vías.

Para el montaje de la estructura se necesita del traslado de pórticos y traslado de elementos estructurales, los cuales sirven para dar rigidez al pórtico montado y unirlo con el pórtico montado anteriormente, de esta forma darle fijación y estabilidad al montaje.

Por tanto para el traslado y el montaje ordenado se debe considerar:

- Selección de materiales de acuerdo al plano y cronograma.
- Carga de elementos y pórticos a camiones plataforma o camiones camabajas con ayuda de: grúa, *telehandler*, montacargas o camión grúa.
- Traslado de elementos y pórticos desde patios de pre-ensamble al punto de montaje (ver Figura 20) con apoyo de ploteo en caso de tratarse de carga ancha.
- Descarga de materiales y pórticos con ayuda de: grúa, *telehandler*, montacargas, camión grúa

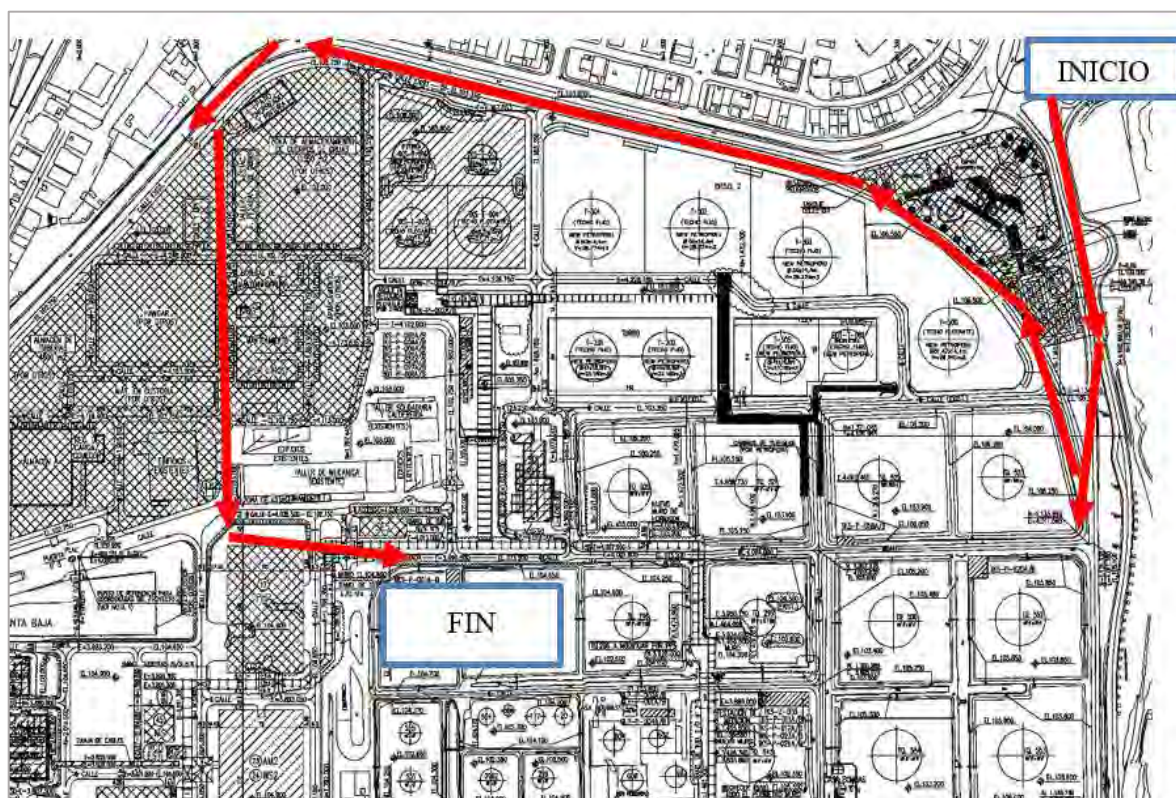


Figura 19. Ruta de recorrido en refinería de pórticos (carga ancha)

Fuente: Plano del planta del proyecto con modificaciones propias

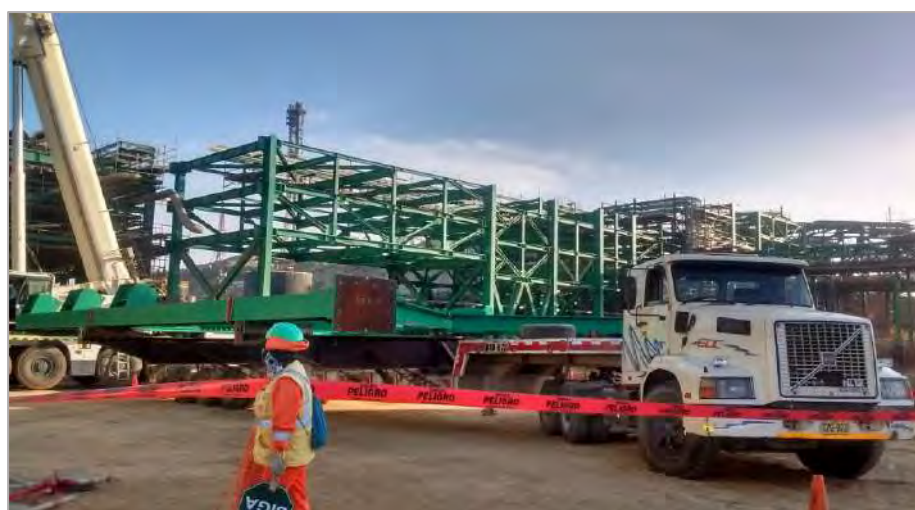


Figura 20. Traslado de pórticos en camión camabaja

Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Instalación de placas de nivelación

Para esta actividad se tienen en cuenta los siguientes documentos técnicos:

- 02070-GEN-CIV-STD-200 Rev.7 (estándar del proyecto)
- Planos de montaje aprobados para construcción.
- GP-04-06-01: *Global Practice - Reinforced Concrete Foundations, Anchor Bolts and Grout*³.
- ANSI/AISC 303-16 *Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges*⁴.
- E-090⁵ RNE: Norma de Estructuras metálica del Reglamento Nacional de edificaciones.

Antes del montaje de cualquier estructura o equipo sobre una cimentación se colocan previamente placas de nivelación (ver Figura 23), estas son de acero y sus dimensiones son: 100mm x 60mm x 1pulg para este proyecto; las cuales se utilizan para buscar la nivelación correcta que requiere la estructura, se busca que la cara superior de la placa tenga el Nivel inferior del acero (N.I.A.), tal como se muestra en la Figura 21. Con mortero de nivelación o *grout* de altura igual a la diferencia entre la elevación del N.I.A. (nivel de la parte inferior de la placa base) y el N.S.H. (nivel superior del Hormigón o pedestal), por lo general esta altura es de 25 mm, de la misma forma que se muestra en la Figura 22.

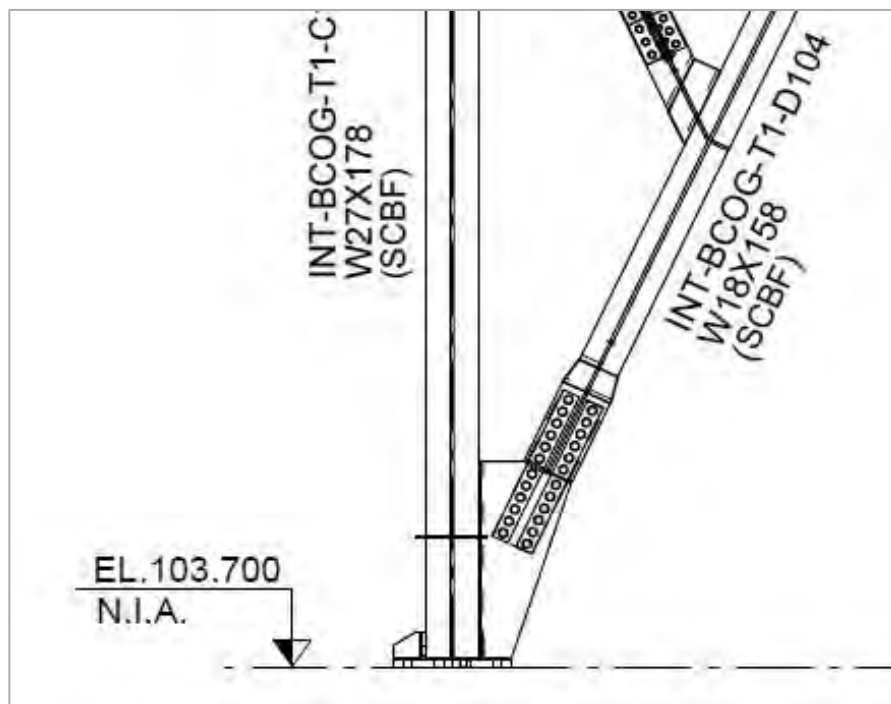


Figura 21. Nivel inferior del acero – N.I.A.

³ Traducido al español como: Práctica Global (GP-04-06-01): Cimentaciones de concreto armado, pernos de anclaje y mortero de nivelación o *grout*. Esta Práctica Global (GP) cubre el diseño de cimientos poco profundos que se apoyan en suelos, pernos de anclaje en dichos cimientos y *grout* para bases de estructuras y equipos estáticos. Además es aplicable solo a aplicaciones en tierra, incluidas las terminales marítimas interiores y cercanas a la costa.

⁴ Traducido al español como: Código de práctica estándar para edificios de acero y puentes

⁵ Norma técnica de estructuras metálicas

Fuente: Recorte del plano de elevación del proyecto

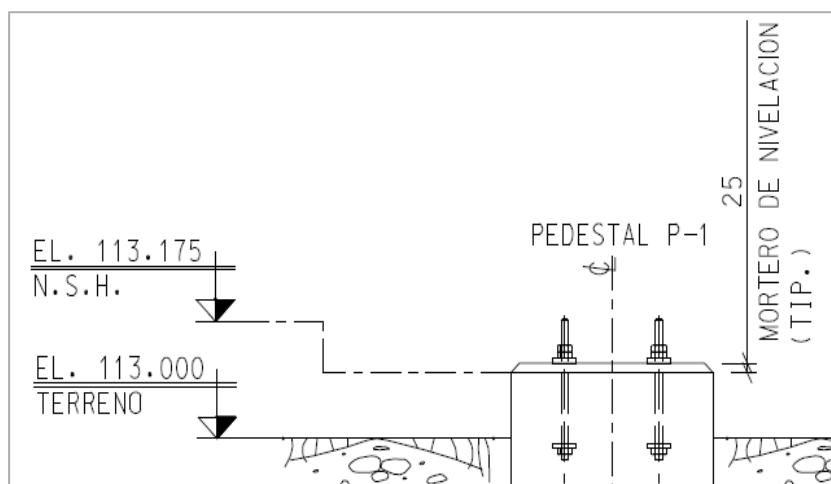


Figura 22. Nivel superior del hormigón pedestal

Fuente: Recorte de plano de elevación del proyecto



Figura 23. Instalación de placa de nivelación

Fuente: Elaboración propia

Para la instalación de las placas de nivelación se siguen los siguientes pasos:

- Escarificado del pedestal de concreto, teniendo en consideración la base de la estructura y el extendido máximo del *grout*.
- Saturado de pedestal, cubrir el pedestal con trapos húmedos por 24 hrs
- Colocar una capa de *grout* cementicio, para montaje de estructuras usar *Sikagrout 212*⁶
- Instalar placa metálica ranurada de 60 mm x 100 mm x 1/2", esta placa va sobre *grout*.
- Nivelar con ayuda de topógrafo, de acuerdo al plano, el nivel final de la placa puede tener una tolerancia de +/- 3 mm según el proyecto.

⁶ *Sikagrout 212*, es el tipo de *grout* o mortero de nivelación del fabricante SIKA que se emplea en el proyecto.

- Cubrir con trapos húmedos y dejar secar por tres días para poder instalar carga sobre las placas de nivelación.

2.2.4. Pre-ensamble y montaje de estructuras

Para el pre-ensamble y montaje de estructuras se deben tener en cuenta los siguientes documentos técnicos:

- 02070-GEN-CIV-STD-200 Rev.7 (estándar del proyecto)
- Planos de montaje aprobados para construcción
- Lista de elementos para montaje
- Planos de fabricación aprobados para construcción
- Listado de pernos enviado por el proveedor
- GP-04-01-02 *Structural Steel Design*⁷
- GP-19-01-01 *Paint and Protective Coatings*⁸
- *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts*⁹ RCSC 2014
- Normas aplicables: ASTM A325, ASTM A490, ASTM A307, RNE E-090

La primera etapa es el pre-ensamble. Esta etapa consiste en pre-ensamblar estructuras a nivel del suelo (ver Figura 24), esto con ayuda de grúa, camión grúa y de forma manual según la carga del elemento a pre-ensamblar. Esto se realiza con el fin de no tener que montar elemento por elemento, sino por el contrario montar un pórtico, enrejado, puente o pre-ensamble en un solo tiempo de montaje.



Figura 24. Pre-ensambles a nivel de piso

Fuente: Elaboración propia

Esta etapa es muy importante ya que , el pree-ensamble debe realizarse detalladamente porque se realiza a nivel de piso y no en la posición de montaje, el

⁷ Traducido al español como: Diseño de acero estructural. Esta Práctica Global (GP-04-01-02) cubre los criterios de diseño para acero estructural.

⁸ Traducido al español como: Pinturas y recubrimientos protectores. Esta Práctica Global (GP-19-01-0) cubre la selección y aplicación de pintura exterior y Sistemas de revestimiento de protección para estructuras y equipos. Los requisitos para los sistemas de envoltura de protección y galvanización de estructuras también están cubiertos.

⁹ Traducido al español como: Especificación para juntas estructurales usando pernos de alta resistencia

objetivo de esta etapa es ahorrar tiempo y recursos por esto el pre-ensamble debe tener la mayor cantidad de piezas posibles, entre ellos, placas de amarre, pernos, vigas diagonales, conectores entre otros.

La etapa complementaria es el montaje de los pre-ensambles de las estructuras. Este es el proceso por el cual se posiciona cada elemento en su posición definitiva dentro de un conjunto de elementos usando uniones empernadas.

Este proceso puede realizarse con apoyo de grúa, con elementos de izaje como tecles, tirfor, poleas, etc. o manualmente respetando los pesos permitidos a montar manualmente en el proyecto.

Este proceso consta de los siguientes pasos:

1. Ubicación y trazado del centro de gravedad, generalmente este se ubica observando la geometría del elemento o a través de un cálculo más elaborado y generado para el montaje, este documento se denomina *rigging plan*. El *rigging plan* contempla varias indicaciones a tener en cuenta para el montaje, capacidad mínima de los elementos de la maniobra a utilizar, consideraciones a tener en cuenta para el terreno que ocupe la grúa y lo más importante la tabla de carga de la grúa, la cual trabaja con el radio de giro y longitud de pluma del equipo. Se anexa un ejemplo de *riggin plan* en el anexo 1.
2. Estrobamiento de la carga a equipo de izaje(ver Figura 25), se instalan los elementos de izaje: estrobos, eslingas, tecles, orejas de izajes de acuerdo a la posición indicada por el *rigger* en caso sea una carga menor y en caso sea una carga mayor

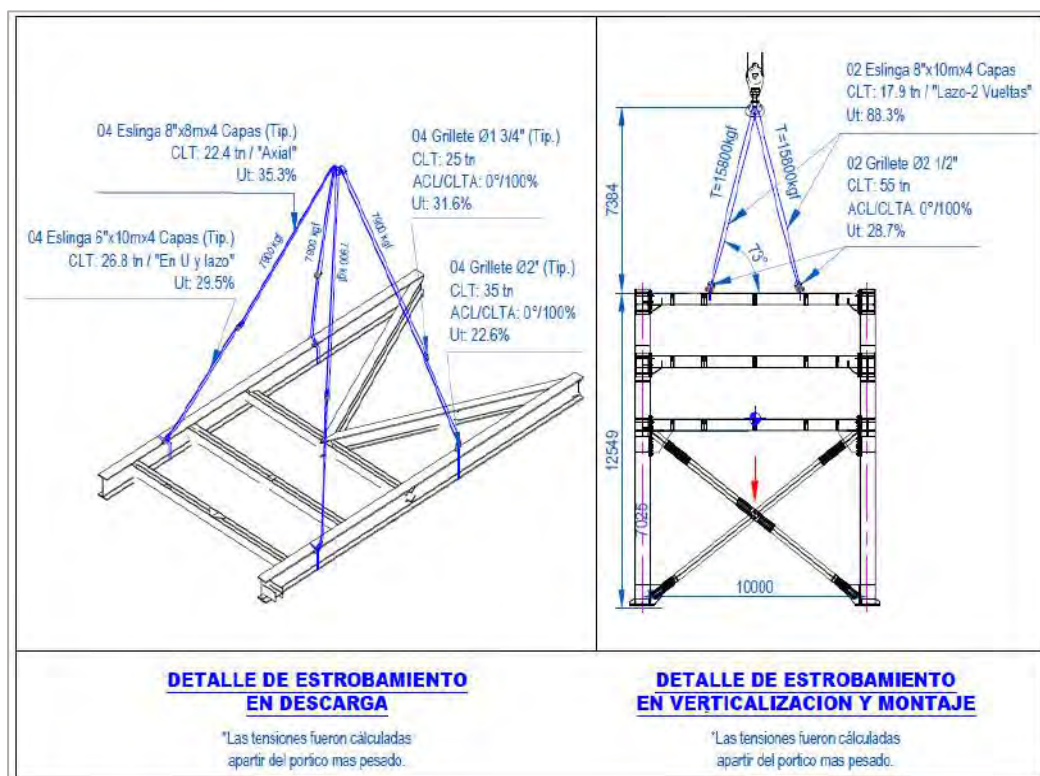


Figura 25. Detalle de estrobamiento teniendo en cuenta el C.G.

Fuente: Documentos propios del proyecto

3. Izaje de la carga, momento en el que la carga deja de apoyarse del nivel de piso y es levantada totalmente por la grúa siguiendo una trayectoria definida antes del inicio del izaje, la carga debe estar en todo momento controlada con el uso de vientos o sogas, en esta etapa solo el *rigger* puede dar indicaciones al operador del grúa.
 4. Ubicación de la carga en su posición final, se ubica la estructura en su posición de acuerdo al plano de montaje, para esta etapa se usa el apoyo de equipos como *manlift*, canastillo alza hombre, andamios (ver Figura 26 y 27).
- Se aseguran los pernos de anclaje o se instalan los pernos para el montaje. Como mínimo se deben instalar dos pernos por unión para asegurar la carga en su posición final y luego completar los pernos de cada nodo de acuerdo al procedimiento establecido.
5. Desestrobamiento de la carga, una vez que el elemento está asegurado se procede a retirar los elementos de izaje y preparar el siguiente izaje
 6. Complementación de placas, pernos en todas las uniones.



Figura 26. Colocación de placas y complementación de pernos
Fuente: Elaboración propia



Figura 27. Proceso de izaje de carga y montaje de pre-ensamble con apoyo de grúa y *manlift*.

Fuente: Elaboración propia

2.2.5. Alineamiento, nivelación, verticalidad de estructuras

Para el control topográfico se debe tener en cuenta las siguientes especificaciones técnicas:

- GP 04.01.01, *Global Practice – Concrete Design and Construction*¹⁰
- GP 04.06.01, *Global Practice - Reinforced Concrete Foundations, Anchor Bolts and Grout.*
- GP 04.09.01, *Global Practice - Site Preparation and Earthwork*¹¹
- ACI 117/117R: *Standard specifications for tolerance for concrete Construction and materials and Commentary*¹²
- E-090 RNE: Norma de Estructuras metálica del Reglamento Nacional de edificaciones.

Después de la complementación de pernos, se procede a alinear y verticalizar las columnas de acuerdo a los ejes indicados en el plano de montaje con apoyo de topografía.

Después de evaluar con topografía la verticalidad, esta se corrige con maniobras usando teclas y *tirfor*, estas correcciones se hacen en base a las tolerancias indicadas para estructuras en la AISC 303-10 Capítulo 7.13, donde nos indica que la tolerancia permitida para columnas de acero es de 1/500; es decir ± 2 mm por metro de longitud.

Para nuestro caso la estructura servirá de soporte de tubería y en algunos casos equipos, por lo cual es necesario realizar la nivelación de vigas con apoyo de topografía. Para el caso de equipos es necesario realizar el proceso de alineamiento, verticalidad y nivelación de acuerdo a lo indicado por el fabricante del equipo, estas tolerancias pueden superar a las indicadas por la ANSI/AISC 303-16 Capítulo 7.13

Para asegurar la posición final de la estructura el área de topografía realiza protocolos topográficos de verticalidad y nivelación, los cuales son presentados y verificados en campo y firmados por la supervisión. En la Figura 28 se muestra un ejemplo de los protocolos de verticalidad.

Para el caso del levantamiento topográfico de verticalidad de las columnas del eje 21 al 26 de un *rack* denominado NS5. Cuyas columnas tienen una altura 10.8 m, de acuerdo a la tolerancia establecida (2mm/m o longitud/500), su máxima desviación debe ser $10.800/500 = 21.6$ mm. Por tanto en las desviaciones serán conformes sino sobrepasan los 21.6 mm. Para los casos que sobrepasen los 25mm, se considera máxima desviación 25mm. En la Figura 29 se muestra un plano de planta donde se visualiza la dirección de las desviaciones.

¹⁰ Traducido al español como: Diseño y construcción de hormigón. Esta Práctica Global (GP 04.01.0) cubre el diseño y la construcción de estructuras de concreto.

¹¹ Traducido al español como: Preparación del sitio y movimiento de tierras. Esta Práctica Global (GP 04.09.01) cubre los requisitos para la preparación del sitio, el trabajo de tierras en general y la preparación de subgrupos de tanques, diques de tanques y subgrupos de carreteras. Los requisitos para el dragado o la recuperación de tierras no están cubiertos aquí.

¹² Traducido al español como: Especificaciones estándar de tolerancia para la construcción de concretos y materiales y comentarios

PETROPERU		PROTOCOLO TOPOGRÁFICO		No: 02070-CON-CIV-40 Rev: 04 Fecha: 14/01/2018 Página: 1 de 1						
PROYECTO No:	02070	REPORTE No:	246	Fecha Ejecución:	11-11-16					
EMPLEADOR:	PETROPERU	SUBCONTRATISTA:	GYM S.A							
AREA:	3	UNIDAD:	34	SUBCONTRATO No:	25410					
ESTRUCTURA/EQUIPO:	BANDEJA DE TUBERIAS M/S N° 5A	ELEMENTO/PARTE:	VERTICALIDAD EJE A,B CON 21,22,23,24,25,26,27							
ACTIVIDAD/TRABAJO:	Nivelación, aplome y control topográfico finales / VERTICALIDAD COLUMNAS									
PLANOS Y REV.DENOMINACION:	NSSA-G02 Rev. 2 , NSSA-G20 Rev. 2									
Este certificado es otorgado al SUBCONTRATISTA de los Términos del Contrato, Especificaciones de Proyecto y Procedimientos de Calidad para confirmar que todas estas Pruebas se han realizado según ellos.										
EQUIPOS TOPOGRAFIA										
EQUIPO:	ESTACION TOTAL									
FABRICANTE Y MODELO:	LEYCA TS 06 2"									
N° DE SERIE:	1370553									
CERTIFICADO DE CALIBRACION N°:	18540-16									
FECHA DE CALIBRACION (DE-HASTA):	20-07-2016 A 20-01-2017									
CONDICION CONFORMIDAD										
Tolerancias* (mm) =	X: 1/500	Y: 1/500	Z: -							
RESULTADOS										
PUNTO	COORDENADA TEÓRICAS			COORDENADA REAL			DIFERENCIAS* (mm)			CONFORME
	Xt	Yt	Zt	Xr	Yr	Zr	ΔX	ΔY	ΔZ	
A-21	0	0	-	3	-2	-	3	-2	-	C
B-21	0	0	-	4	3	-	4	3	-	C
A-22	0	0	-	3	4	-	3	4	-	C
B-22	0	0	-	1	-1	-	1	-1	-	C
A-23	0	0	-	-5	3	-	-5	3	-	C
B-23	0	0	-	-4	5	-	-4	5	-	C
A-24	0	0	-	-1	-3	-	-1	-3	-	C
B-24	0	0	-	-1	1	-	-1	1	-	C
A-25	0	0	-	3	4	-	3	4	-	C
B-25	0	0	-	-5	-2	-	-5	-2	-	C
A-26	0	0	-	6	-10	-	6	-10	-	C
B-26	0	0	-	3	-11	-	3	-11	-	C

Figura 28. Protocolo de verticalidad de columnas

Fuente: Documentos propios del proyecto

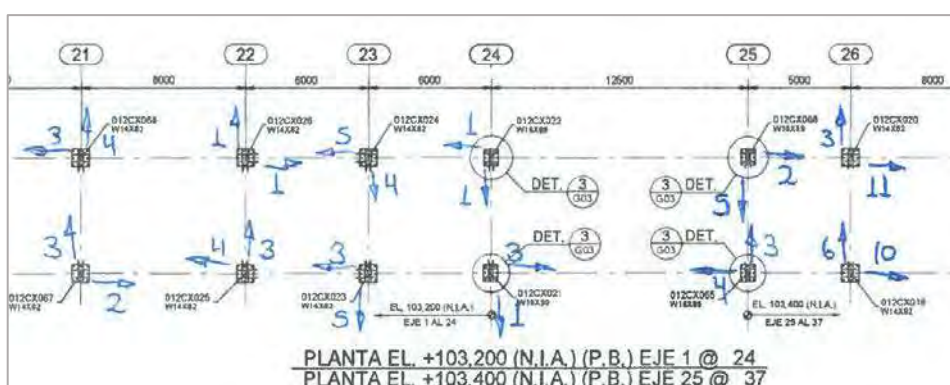


Figura 29. Plano de vista de planta, el cual indica la dirección de las desviaciones

Fuente: sketch de planos del proyecto

2.2.6. Soluciones y modificación de estructuras en campo

Durante el montaje de las estructuras, es probable que se presenten incompatibilidades o errores de fabricación, los cuales pueden ser resueltos a través de una consulta a ingeniería *Site Technical Query*¹³ (STQ) o una solución en campo coordinada y aprobada por la supervisión. Los problemas comunes y que requieren de modificaciones en campo son:

- Achinado de agujeros para instalación de pernos
- Perforación de agujeros cuando no se contemplaron en la fabricación
- Corte de vigas o cartelas
- Reubicación de cartelas
- Modificación de vigas por interferencias

¹³ Traducido al español como: Medio de consulta técnica

- Modificación de elementos mal dimensionados
- Fabricación de placas de amarre

Ante un problema de estos, al principio el área de calidad elabora un registro de inspección de campo (RIC), el cual es sólo informativo e indica la desviación que se tiene para cumplir con lo especificado en los planos. En la Figura 30 se muestra un registro de inspección de campo.

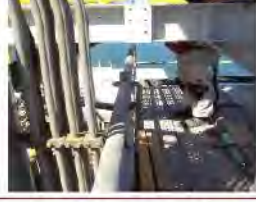
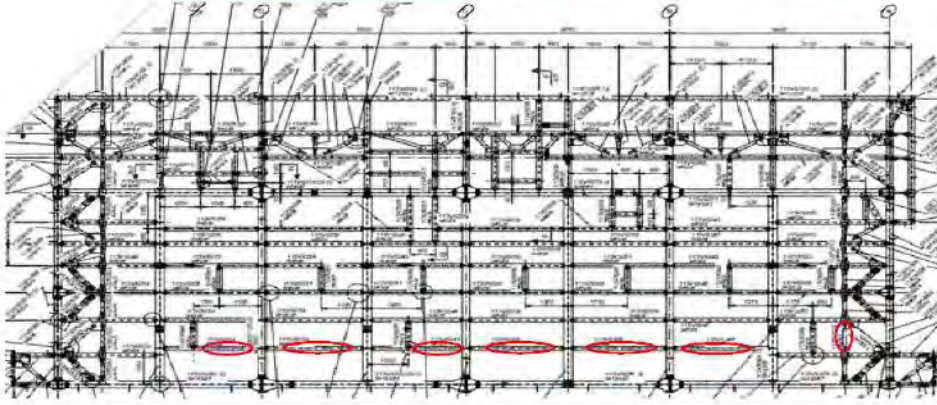
	REGISTRO		GyM.SGC.PC.1844.5100-F7
	CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0
	REGISTRO DE INSPECCIÓN DE CAMPO		Fecha: 01/05/2016 Página: 1 de 1
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO: 02070-25410_PAQUETE ELECTRO-MECANICO INTERCONEXIONES Y OFFSITES			Nº CORRELATIVO: 1451
CLIENTE: TÉCNICAS REUNIDAS DE TALARA SAC			FECHA: 09/03/2018
UBICACIÓN: REFINERIA - MU2		ÁREA: 3	TAG Nº: ----
SISTEMA/TEST PACK: ----		PLANO REF.: MUBC-G04 Rev. 0	
DESCRIPCIÓN: MUBC, EL. 109.880. Interferencia entre vigas de plataforma MUBC y brazos de cargas (MU2-LA-001@007)			
OBSERVACIONES : Se observa que las vigas 113VX034, 113VX039, 113VX043, 113VX036 (2 unidades), 113VX047 y puntal 113PU012 poseen interferencia con el sistema hidráulico y superficie de los brazos de carga MU2-LA-001@007, esto no permite completar la instalación de estos elementos estructurales.			
 Interferencia de elementos estructurales con brazos de carga  Detalle de interferencia con brazos de carga  Interferencia entre puntal 113PU012 con superficie de brazo de carga  Desalineamiento entre cartelas para vigas 113VX014 / 113VX047 de 250 mm  Detalle de viga 113VX014 en referencia con brazo de carga 			
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	
Firma:		Firma:	
Nombre:		Nombre:	
Cargo:		Cargo:	
Fecha:		Fecha:	
		APROBADO POR:	
		Firma:	
		Nombre:	
		Cargo:	
		Fecha:	

Figura 30. Registro de inspección de campo (RIC). Informa la desviación que se tiene
Fuente: Documentos del proyecto

Luego de reportar la desviación o el problema mediante un RIC, se realiza una consulta mediante una STQ (ver Figura 31 y 32) si aplica al área de ingeniería para resolver el inconveniente, en este documento se puede proponer alguna solución de cómo proceder, si en caso se apruebe lo indicado, se realizan los trabajos necesarios para superar el inconveniente, o en todo caso el área de ingeniería de la supervisión indica cómo se procede. Para ambos casos se considera un presupuesto adicional ya que estas desviaciones no están contempladas en los planos de montaje.

PETROBRAS		PROYECTO MODERNIZACION REFINERIA TALARA		SITE TECHNICAL QUERY			
A RELLENAR POR EL ORIGINADOR DE LA STQ (Subcontratista o TR Construcción)	CONSULTA DE OBRA (Site Technical Query)						
	NOMBRE DEL SUBCONTRATISTA: GYM S.A.		Subcontratista No. 02070-25410	Fecha emisión 11/03/2018	CÓDIGO STQ-GYM-CIV-25410-0246		
	UNIDAD: MUZ	LOCALIZACIÓN: REFINERIA DE TALARA	ORIGINADOR: OFICINA TÉCNICA	DISCIPLINA: CIVIL			
	ASUNTO: INTERFERENCIA DE LAS VIGAS DE LA "PLATAFORMA DE ACCESO A LOS BRAZOS DE CARGA DEL MUELLE 2" CON LAS TUBERIAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO PROPIOS DE LOS EQUIPOS MUZ-1A-001@007						
	REFERENCIA ESPECIFICACIÓN/ DOCUMENTO/PLANO: V-020701400-0057-A; V-020706222-K196-MU1-1A-001-0034-C						
A RELLENAR POR EL ORIGINADOR DE LA STQ (Subcontratista o TR Construcción)	CUESTIÓN / DESCRIPCIÓN DEL CONFLICTO: SE HA OBSERVADO EN TERRENO QUE LAS VIGAS 113VX034, 113VX036, 113VX039, 113VX043, 113VX047 Y 113PU012 CORRESPONDIENTES A LA "PLATAFORMA DE ACCESO A LOS BRAZOS DE CARGA DEL MUELLE 2" INTERFIEREN CON LAS TUBERIAS DEL SISTEMA HIDRÁULICO PROPIOS DE LOS EQUIPOS MUZ-1A-001@007. (VER GRÁFICA N°01)						
	ACCIONES CORRECTIVAS RECOMENDADAS (por el originador) SE PROPONE A TÉCNICAS REUNIDAS DESPLAZAR LAS VIGAS QUE INTERFIEREN 200mm (APROX.) HACIA ALDO NOROESTE PARA EVITAR INTERFERENCIA. (VER GRÁFICA N°02)						
	SE ADJUNTAN SKETCHES (SI o NO): SI	CÓDIGO DE LOS SKETCHES ADJUNTADOS:		OTRA DOCUMENTACIÓN ADJUNTA: *Registro de Inspección de Campo N°1451			
	FECHA DE RESPUESTA REQUERIDA: 18/03/18	ORIGINADOR: JORGE ZAVALA		REQUIERE APROBACIÓN DE: DODGALY UZCÁTEGUI			
	PUESTO: ING. OFICINA TÉCNICA	FIRMA:		PUESTO: JEFE OFICINA TÉCNICA			
FECHA: 11/03/2018	FIRMA:		FECHA: 11/03/2018				
A RELLENAR POR SUPERVISIÓN DE CONSTRUCCIÓN	RESPUESTA A CONSULTA TÉCNICA DE OBRA POR CONSTRUCCIÓN						
	SUPERVISOR DE CONSTRUCCIÓN:	NOMBRE:	DIRECTOR DE CONSTRUCCIÓN EN OBRA O PERSONA AUTORIZADA:				
	FECHA: 1 / 2018	FIRMA:	FECHA: 1 / 2018				
	FIRMA:						
A RELLENAR POR INGENIERÍA (solo cuando sea requerido)	RESPUESTA DE MODIFICACIÓN DE DISEÑO EN OBRA POR INGENIERÍA (cuando se requiera por Construcción)						
	SR. ACEPTA LA PROPOSTA						
	(Incluir referencia al plano o sketch donde se pueda ver la modificación)						
	MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ACEPTADA: (MARCAR CON UNA X)	MODIFICACIÓN DEL DISEÑO ACEPTADA CON COMENTARIOS: (MARCAR CON UNA X)		MODIFICACIÓN DEL DISEÑO RECHAZADA: (MARCAR CON UNA X)			
	APROBADO POR LA DISCIPLINA DE INGENIERÍA: NOMBRE: PUESTO: Líder de Disciplina de CIVIL FECHA: 16/3/2018	APROBADO POR EL ENGINEERING MANAGER O ING. DE PROYECTO AUTORIZADO: NOMBRE: RAFAEL BASTIDA PUESTO: GERENTE PROV. A-3 FECHA: 19/05/2018					
A RELLENAR POR DIRECTIVO/ AREA MANAGER	MOTIVO DEL CONFLICTO	Interferencias	Error de diseño	Error de construcción	Modificación en obra	Aclaración	Otros (detallar)
		/					
DISTRIBUCIÓN A (marcar las casillas que correspondan):							
SUBCONTRATISTA	LÍDER DISCIPLINA	ENGINEERING MGR.	PROJECT ENG.	SUPERV. CONSTRUCC.	DIRECTOR CONSTRUCC.	CALIDAD	CONTROL DE COSTES EN OBRA
							ADMINISTRADOR DE SUBCONTRATOS
SUGIERO QUE ESTA STQ ORIGINE UNA LECCIÓN APRENDIDA (Indica SI o NO)						SI	NO
NOTA: UNA MODIFICACIÓN DE DISEÑO NO PODRÁ LLEVARSE A CABO NUNCA SI NO TIENE LA FIRMA DEL ENGINEERING MANAGER O FIGURA DELEGADA							

Figura 31. Site Technical Query (STQ)

Fuente: Documentos del proyecto

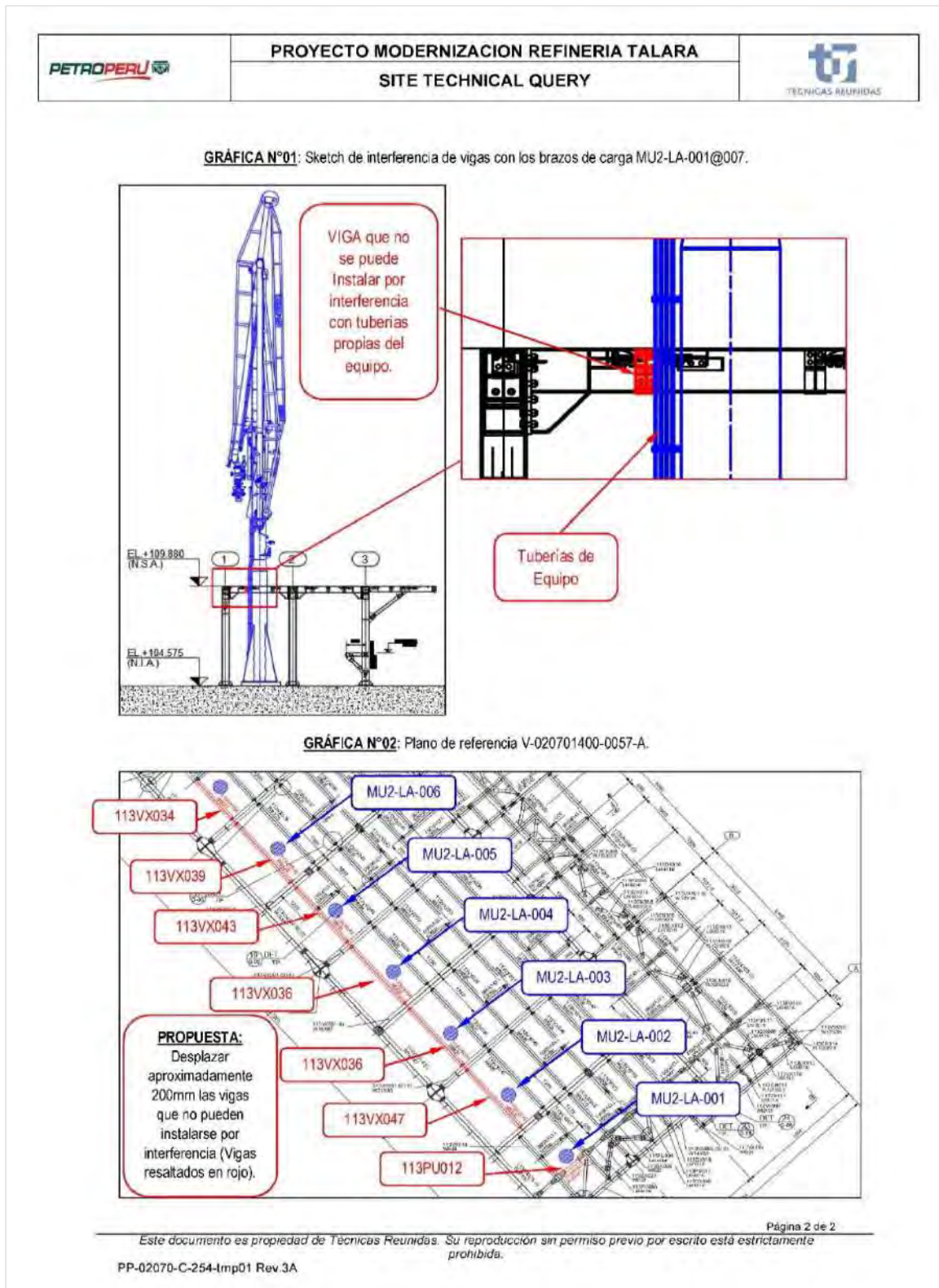


Figura 32. Graficas y Sketch de la STQ-GYM-CIV-25410-0846

Fuente: Sketch de la STQ-GYM-CIV-25410-0846

Con la solución propuesta y aceptada mediante la STQ, recién se puede proceder a realizar la modificación para superar el inconveniente, previa coordinación de que el trabajo es considerado como un trabajo adicional ya que no se tenía previsto en el montaje.

Asimismo tener en cuenta que toda modificación que se realiza debe cumplir con los parámetros y estándares de fabricación indicados por el área de ingeniería.

- Especificaciones de soldadura de acuerdo a la AWS
- Procedimiento de corte de vigas
- Diámetro máximo de achinado de agujeros
- Especificaciones de resane de pintura

2.2.7. Apriete manual y pretensado de pernos

Para la culminación de las actividades de montaje es necesario verificar el apriete de pernos, ya sea en condición de *snug tight*¹⁴ (apriete de pernos con llave mixta y ajuste manual) o en condición de pretensado, según indique el plano para uniones sismo-resistentes (ver Figura 33).

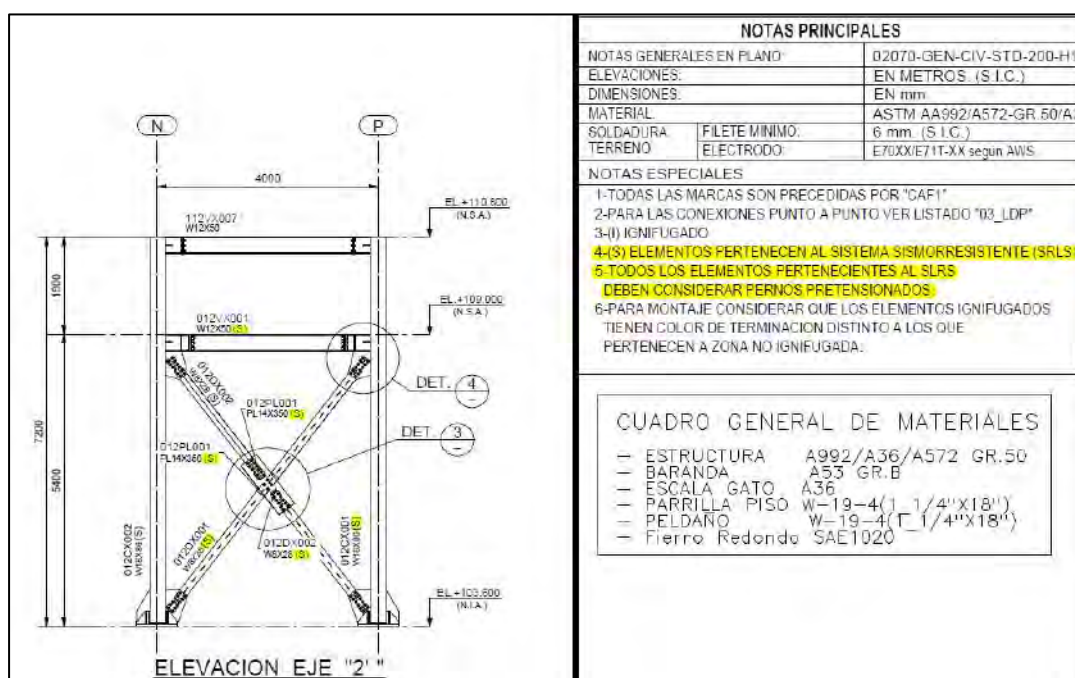


Figura 33. Vista de plano, en la cual indica uniones pretensionadas

Fuente: Sketch de planos del proyecto

Para el caso del torque de pernos se tiene en cuenta las especificaciones técnicas y normas aplicables para esta actividad:

- GP-04-01-02 *Structural Steel Design*
- Normas aplicables: ASTM A325, ASTM A490, ASTM A307, RNE E-090
- *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts* RCSC 2014¹⁵

Para la instalación de los pernos en las uniones empernadas de elementos se tiene en cuenta un documento denominado *bolt list* (lista de conectividad de pernos), de acuerdo a lo mostrado en la Figura 35, en el cuál se especifica el tipo de perno para cada unión empernada.

¹⁴ *Snug tight* corresponde a la actividad de apriete de pernos con llave manual. A partir de ahora usaremos esa palabra para referirnos a esa actividad.

¹⁵ Traducido al español como: Especificación para juntas estructurales usando tornillos de alta resistencia.

Según las especificaciones técnicas del proyecto, se ha empleado acero estructural ASTM A992 para perfiles W; para pernos se ha utilizado: Acero ASTM A325 para pernos con diámetro menor o igual a 1 1/8", y Acero ASTM A490 para pernos a partir de 1 1/4", como dicta la norma para estructuras sismoresistentes (*American Institute of Steel Construction. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings*. Marzo 9, 2005.)

Hay dos actividades que implica el apriete de pernos:

- a. **Snug tight de pernos:** Es la actividad de realizar el ajuste de pernos con llave manual para evitar que se puedan girar manualmente; también, se debe tener en cuenta la secuencia de apriete para toda unión empernada, es decir, desde la parte rígida de la unión hacia los extremos de la misma, por ello se empieza del centro hacia afuera en forma cruzada, y además se ajustarán los pernos del ala superior luego los del ala inferior, y para culminar los pernos del alma, siempre manteniendo la secuencia de ajuste mostrada en la Figura 34; finalmente se debe realizar un doble chequeo de apriete en la parte central de la unión para prevenir desajustes durante el apriete de pernos.

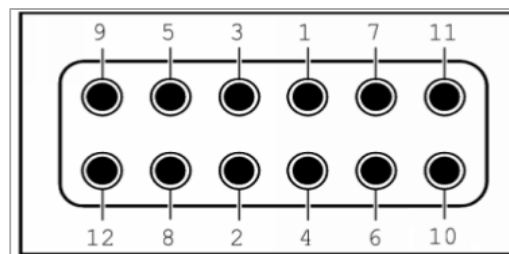


Figura 34. Secuencia de ajuste de pernos en unión empernada

Fuente: Sketch de planos del proyecto

LISTA DE PERNOS POR ELEMENTOS – 03_LDP-U40CAF-BANDEJA-TUBERIAS-CAF(CAF1)							
ORDEN DE TRABAJO: PMRT II							
REVISION	:	0					
FECHA	:	24/06/2016					
PROYECTO	:	PROYECTO DE MODERNIZACION REFINERIA DE TALARA					
AREA	:	AREA 486-CAF1					
INFO-2	:	CAF1					
DETALLADOR	:	ESMETAL S.A.C					
CLIENTE	:	TECNICAS REUNIDAS TALARA S.A.C.					
PLANO DISEÑO	:	02070-CAF-CIV-DRW-486-01-REV.1					
Elementos / Cant.	Calidad	Tipo	Diam	Largo	Cant.	Elem.Conectados	Hilo
012DX001	1						
-	A325X SC	Site	7/8"	3"	24	012CX001	1
-	A325X SC	Site	7/8"	3"	24	012CX002	1
012DX002	2						
-	A325X SC	Site	7/8"	3"	24	012CX001	1
-	A325X SC	Site	7/8"	3"	24	012CX002	1
-	A325X SC	Site	7/8"	3"	48	012PL001	1
012PL001	2						
-	A325X SC	Site	7/8"	3"	8	012DX001	012DX001
012VX001	1						
-	A325X SC	Site	1 1/8"	3 3/4"	6	012CX001	1

Figura 35. Lista de conectividad de pernos (Bolt list)

Fuente: Sketch de documentos del proyecto

- b. **Pretensado de pernos:** Antes de iniciar con esta actividad debemos asegurar que la conexión empernada se encuentre en condición de *snug tight*, luego de esto se verifica el correcto alineamiento topográfico de las estructuras trabajadas; después del planteamiento topográfico se inicia el proceso de pretensado de pernos. Este proceso consta de tres pasos importantes:

- **Pruebas de tensión:** En este paso se toman tres pernos de cada diámetro y colada (lote de fabricación) de las uniones seleccionadas para pretensar; los tres pernos se colocan en un calibrador de tensión o *skidmore* para luego aplicar valores de torque con llaves hidráulicas o neumáticas. La prueba de tensión establece la pretensión o valor de torque a aplicar a cada perno del mismo diámetro y colada, asimismo se deben obtener valores iguales o mayores que los presentados en la Tabla 8:

Tabla 8. Mínima Pretensión en pernos de la verificación de pre-instalación

Nominal Bolt Diameter, d_b , in.	Minimum Bolt Pretension for Pre-Installation Verification, kips ^a	
	ASTM A325 and F1852	ASTM A490 and F2280
½	13	16
5/8	20	25
¾	29	37
7/8	41	51
1	54	67
1 1/8	59	84
1 ¼	75	107
1 ½	89	127
1 ¾	108	155

^a Equal to 1.05 times the specified minimum bolt pretension required in Table 8.1, rounded to the nearest kip.

Fuente: *Specification for Structural Joints Using High-Strength Bolts* RCSC 2014

Después de la prueba de tensión, los pernos a instalar deben verificarse que no hayan sufrido alteración física o deformación; así también no deberán ser pernos reutilizados, a excepción de los A325, que son permitidos según la norma RCSC (*Research Council on Structural Connections. Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts* RCSC 2014. Agosto 1, 2014.).

- **Aplicación de torque:** En este paso se procede al torque de cada unión empernada de acuerdo al valor obtenido en el primer paso. Los pernos se ajustarán con llaves hidráulicas accionadas por bombas hidráulicas o llaves neumáticas o torquímetros según convenga.

De no poder realizar el torque de pernos por las tuercas por motivo de acceso / equipos o herramientas, se puede realizar el pretensado de las siguientes formas: Aplicación de ajuste con llaves manuales mediante el método giro de tuerca, referido en la sección 8.2.1 de la norma RCSC; también se podrá invertir la posición de los pernos de ser necesario y proceder con el ajuste, y se podrá realizar el ajuste por la cabeza del perno siendo la tuerca retenida.

Después de aplicar torque a los pernos, se debe verificar que la cabeza de los pernos no gire desde la otra cara de la conexión.

- **Liberación de actividad:** Este paso, es el final y consiste en realizar una verificación aleatoria de los pernos pretensados con los valores obtenidos en la prueba de tensión, para esta actividad se debe emplear torquímetro y multiplicador de torque.

Una vez concluido el proceso de apriete de pernos, se realizará la verificación topográfica final, la cual será verificada y registrada en un protocolo de acuerdo al procedimiento del proyecto.

2.2.8. Vaciado de mortero de nivelación en bases

El *grout* a usar será indicado en las especificaciones técnicas para el proyecto de la refinería de Talara usaremos *grout* cementicio *Sikagrout* 212 para todas las bases de estructuras metálicas y equipos estáticos, en el caso de equipos rotativos se usará *grout* cementicio o epóxico según la instrucción de ingeniería del cliente.

Los documentos técnicos a tener en cuenta son:

- GP-04-06-01 *Reinforced Concrete Foundations, Anchor Bolts and Grout*
- Hoja técnica de *sikagrout* 212

Antes de describir el proceso para la actividad del vaciado de *grout* o mortero de nivelación. Se presentará una condición necesaria para el aseguramiento de la correcta ejecución de la actividad y cumplimiento de las especificaciones técnicas del *grout*. Se deben tomar probetas de la misma mezcla del *grout* cementicio aplicado en la base de las estructuras, 6 unidades, las cuales serán ensayadas a los 3, 7 y 28 días según la ASTM C109 (*Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50-mm] Cube Specimens)*)¹⁶. Estas probetas deben cumplir con un mínimo de resistencia a la compresión según la hoja técnica del fabricante:

- 300 kgf /cm² para las 24 horas
- 500 kgf /cm² para los 7 días
- 750 kgf /cm² para los 28 días

Si en caso no se llegara a estos valores de resistencia quiere decir que la actividad ha sido mal ejecutada, ya sea por la mezcla o por algún otro factor y se deberá demoler el *grout* aplicado con esa mezcla; es por eso que se deben cumplir con todos los requisitos de la actividad, verificar la fecha de vencimiento del producto sus certificados para asegurar que no ocurra algún imprevisto.

Teniendo en cuenta lo expuesto. Se procederá con los siguientes pasos para la aplicación del *grout* cementicio:

- Se procederá a escarificar las bases de concreto con los equipos en un aproximado de 1/8" de espesor.
- Se procederá a saturar las bases que consiste en mantenerlo húmedo como mínimo por 24 horas.
- Se procederá a encofrar con madera la base de acuerdo a las especificaciones del fabricante, respetando el extendido mínimo (2'') y máximo (4'') de *grout* respecto a la placa base de la estructura respetando la GP-04-06-01.

¹⁶ Traducido al español como: Método de Prueba Estándar para la Resistencia a la Compresión de Morteros de Cemento Hidráulico (Utilizando Muestras Cúbicas de 2 pulgadas [50 mm])

- La superficie debe quedar rugosa, húmeda y limpia, se verificarán las condiciones como temperatura de ambiente, temperatura del agua, temperatura de la estructura, temperatura de la bolsa *grout*.
- El *sikagrout* 212 se debe mezclar con 3.2 litros de agua por bolsa de 30 kg agregando inicialmente el 80% del agua y amasando, luego se agregara el resto del agua. Durante el vaciado se usarán mezcladoras eléctricas (ver Figura 36) y taladros de baja revolución para obtener una mezcla plástica.
- Para que la mezcla de *grout* obtenga una temperatura de acuerdo a lo especificado en la hoja técnica menor a 23°C, es necesario bajar la temperatura del agua, por lo cual se requerirá hielo para bajar la temperatura del agua hasta un aproximado de 5°C.
- Durante la aplicación del *grout* se debe vaciar por un solo punto esto con la finalidad de que se desaloje el aire y se evite el entrapamiento de burbujas (ver Figura 37).
- Después de la aplicación de *grout* se debe mantener la superficie húmeda para lo cual se debe cubrir el área con carpas con la finalidad de generar un microclima y revestir con trapos húmedos por un periodo mínimo de 3 días para evitar las rajaduras del material.
- Finalmente se deben realizar los acabados amolando y solaqueando el *grout* aplicado (ver Figura 38).



Figura 36. Mezclado de *grout*

Fuente: Elaboración propia



Figura 37. Vaciado de *grout* en pedestales

Fuente: Elaboración propia



Figura 38. Grout en las bases, acabado final
Fuente: Elaboración propia

2.2.9. Resane de pintura en estructuras y pintado de pernos

Durante el traslado, manipulación, montaje, modificación de estructuras estas sufren daños en la pintura es por eso que es necesario realizar el retoque de pintura (*touch up*¹⁷). Esta debe ser la última actividad en realizarse antes de la entrega de la estructura al cliente.

Asimismo después de la verificación del apriete de pernos en condición *snug tight* o torque se procede a realizar el pintado de pernos ya que estos no son galvanizados. Estos trabajos están contemplados en un procedimiento de trabajo específico, en otros proyectos quizás se use pernos galvanizados para evitar el pintado de pernos, ya que esta actividad consume demasiados recursos.

Para la aplicación de pintura y resanes de pintura se deben tener en cuenta los estándares y las especificaciones indicadas para el proyecto:

- GP-19-01-01 *Paint and Protective Coatings*
- SSPC-AB1 Especificaciones abrasivas N°1. Abrasivos minerales y de escoria
- SSPC SP1¹⁸ Limpieza con solvente.
- SSPC SP2¹⁹ Limpieza con herramientas manuales.
- SSPC SP3²⁰ Limpieza con herramientas motrices.
- SSPC SP11²¹ Limpieza con herramientas motrices al metal desnudo.
- SSPC Guía 15 Guía para la determinación de sales solubles sobre la superficie del sustrato.
- SSPC-SP10²² Limpieza con chorro abrasivo cercano al metal blanco.
- ASTM E337-02 Método estándar para la medición de humedad con un psicrómetro.

¹⁷ *Touch up* corresponde a la actividad de retoque y resane de pintura. A partir de ahora se usará esa palabra para referirnos a esa actividad.

¹⁸ Norma de preparación superficial con solventes

¹⁹ Norma de preparación superficial con herramientas manuales

²⁰ Norma de preparación superficial con herramientas motrices

²¹ Norma de preparación superficial con herramientas motrices al metal desnudo.

²² Norma de preparación superficial con chorro abrasivo.

- ASTM D4285 Prueba estándar para determinación de aceite y agua en el compresor de aire.
- ASTM D3359 Prueba de Adherencia por método de corte.
- ASTM D4417-C Método estándar para la medición en campo del perfil de rugosidad, método C (mediante cintas replicas).
- ASTM D4414 Método estándar para medición de espesor de película húmeda de pintura.
- SSPC – PA1²³ Pintado de acero para taller, campo y mantenimiento.
- SSPC – PA2²⁴ Medición de espesores de película seca.
- RNE E-090 Estructuras metálicas del registro nacional de edificaciones.
- ISO-8502-3 Evaluación de nivel de Polvo en superficie de acero preparado para recubrimiento.
- SSPC-VIS 1 Guía y fotografías para superficies de acero mediante limpieza abrasiva en seco.
- SSPC-VIS 3 Guía y fotografías de referencia para superficies de acero preparadas mediante la limpieza de herramientas eléctricas y manuales.

Antes de iniciar con el pintado de pernos o estructura se debe realizar la preparación superficial, esto se hace con herramientas de poder como amoladoras, lijas, un método muy efectivo para la preparación de la superficie es realizar arenado sobre los pernos (ver Figura 39), esto se logra a través de una compresora y un equipo portátil de arenado puntual.



Figura 39. Proceso de arenado de pernos – Preparación superficial
Fuente: Elaboración propia

²³ Norma de pintado de acero para taller, campo y mantenimiento.

²⁴ Norma de Medición de espesores de película seca

Para la pintura de las estructuras se ha usado el sistema de pintado 2ZEP (Zinc-Epóxico-Poliuretano) como se muestra en la Tabla 9, este sistema cuenta con tres capas de pintado:

- Capa base o Zinc, la cual se usa de sacrificio y se aplica directamente al acero con su debida preparación superficial. Esta capa debe tener un espesor de película seca (E.P.S) de 3 mils
- Segunda capa o Epóxico (para dar la resistencia y solidez a la pintura), esta capa es la más importante y debe tener un espesor de película seca (E.P.S) de 4 mils
- Capa final: para esta capa se aplica poliuretano o acrílico alifático. Esta capa es netamente de acabados y le da el brillo y acabado al proceso de pintura. Esta capa tiene un espesor de película seca (E.P.S) de 2 mils.

Tabla 9. Plan de pintado de estructuras bajo el sistema 2Zep

SISTEMA 2Zep –SHERWIN WILLIAMS			
CODIGO	DESCRIPCION GENERAL	E.P.S (mils)	PRODUCTO
Z	Zinc inorgánico	3.0	ZINC CLAD 60
e	Epóxico	4.0	MACROPOXY 646
p	Poliuretano acrílico alifático	2.0	SUMATANE HS BRILLANTE
	Espesor Total	9.0	
SISTEMA 2Zep –JET			
CODIGO	DESCRIPCION GENERAL	E.P.S (mils)	PRODUCTO
Z	Zinc inorgánico	3.0	JET ZINC I – 760
e	Epóxico	4.0	JET 70 MP
P	Poliuretano acrílico alifático	2.0	JETHANE 650 HS
	Espesor Total	9.0	
SISTEMA 2Zep – SIGMA			
Z	Zinc inorgánico	3.0	SIGMAZINC 158
e	Epóxico	4.0	SIGMAFAST 205
p	Poliuretano acrílico alifático	2.0	SIGMADUR 550
	Espesor Total	9.0	

Fuente: Elaboración propia en base a documentos del proyecto

Para el pintado de pernos se sigue el sistema de pintado epóxico – epóxico y poliuretano de acuerdo a las especificaciones y estándares del proyecto. Se sigue el mismo procedimiento que el de pintado de estructuras. Al principio se realiza la preparación superficial, esta etapa consta de la limpieza de superficie con uso de

herramientas motrices (cepillos de alambre, rotatorios, escobillas metálicas circulares, discos de copa, discos de corte de abrasivos y lijadoras, etc). Luego se aplica el sistema para recubrimiento de pernos indicado en la Tabla 10. Para el caso de estructuras que serán ignifugadas no es necesario aplicar la última capa, ya sea para pernos como para estructura tal como se indica en la Tabla 11.

Tabla 10. Sistema completo para recubrimiento de pernos

DESCRIPCIÓN	TIPO	E.P.S (MILS)	PRODUCTO	DILUYENTE
LIMPIADOR	DESENGRASANTE	0	DETERJET 20	-
PRIMER	EPÓXICO TOLERANTE	4.0	JET POX SP1000	JET ECOPOXY 100
INTERMEDIO	EPÓXICO TOLERANTE	3.0	JET POX SP1000	JET ECOPOXY 100
ACABADO	POLIURETANO	2.0	JETHANE 650 HS	JET ECOPOL
ESPESOR TOTAL (mils)		9.0		

Fuente: Elaboración propia en base a documentos del proyecto

Tabla 11. Sistema ignifugo – recubrimiento para pernos

DESCRIPCIÓN	TIPO	E.P.S (MILS)	PRODUCTO	DILUYENTE
LIMPIADOR	DESENGRASANTE	0	DETERJET 20	-
PRIMER	EPÓXICO TOLERANTE	4.0	JET POX SP1000	JET ECOPOXY 100
ACABADO	EPÓXICO TOLERANTE	3.0	JET POX SP1000	JET ECOPOXY 100
ESPESOR TOTAL (mils)		7.0		

Fuente: Elaboración propia en base a documentos del proyecto



Figura 40. Limpieza superficial de pernos

Fuente: Elaboración propia

2.2.10. Ignifugado de estructuras

Debido a la ubicación en la planta, se determinan zonas con alto potencial de ser incendiables, es por eso que según el diseño hay estructuras completas o parte de estas que van ignifugadas, en el plano de montaje se indican todos los elementos a ser ignifugados.

Las especificaciones técnicas y documentos aplicables a tener en cuenta son los siguientes:

- a) GP 14-03-01: *Fireproofing*²⁵
- b) GP 19-03-01: *Gunita for Linings and Fireproof Coatings*²⁶
- c) GP-19-01-01 *Paint and Protective Coatings*
- d) EI-02070-GEN-CIV-STD-201-R03-0003: Protección Antifuego de Vigas, Arrostramiento y Pilares
- e) Planos de Montaje de Estructura, Equipos (ver figura 41).

Por tanto, todos los materiales para la actividad tales como: vermiculita, gunita, malla electro soldada galvanizada, clavo HILTI, junta/sello de silicona, etc. tienen que estar de acuerdo a las especificaciones del PMRT.

Los dos productos para el ignifugado de la estructura metálica son los siguientes que se muestran en la Tabla 12:

Tabla 12. Tipo de ignifugado: Gunita y vermiculita

ESTRUCTURA EN ALTURA	TIPO DE PROTECCIÓN	ESPESOR (MM)	PRODUCTO ESPECIFICO	TIPO DE MALLA	CLAVO HILTI
$0 < H \leq 3$ MTS	GUNITA	50	DINO MT280/0.50-MS O MORCOTEC MP300-GUNITA	CUANTIA MIN. 0.002 DE SECCIÓN	X-CC U16 P8
$H > 3$ MTS	VERMICULITA	MIN. 31.8	CAFCO FENDOLITE M- II/P	FORMA DE DIAMANTE; 1.80 KG/M2; ELECTROSOLDADA Y GALVANIZADO	X-U 16 P8 + ARANDELA R23 MM

Fuente: Elaboración propia en base a documentos del proyecto

El procedimiento para el ignifugado comienza con la preparación de la superficie estructural, para esto la superficie debe estar con la correspondiente aplicación de pintura de pernos y *touch up*. Es decir, el requisito para iniciar la actividad de ignifugado debe estar la estructura y pernos pintados (ver Figura 42).

Luego de que la superficie esté con la debida preparación superficial, resanes de pintura conformes y pintado de pernos según corresponde, se procede con la instalación de la malla con clavo hilti. La instalación tiene que ser inspeccionada y luego de pasar

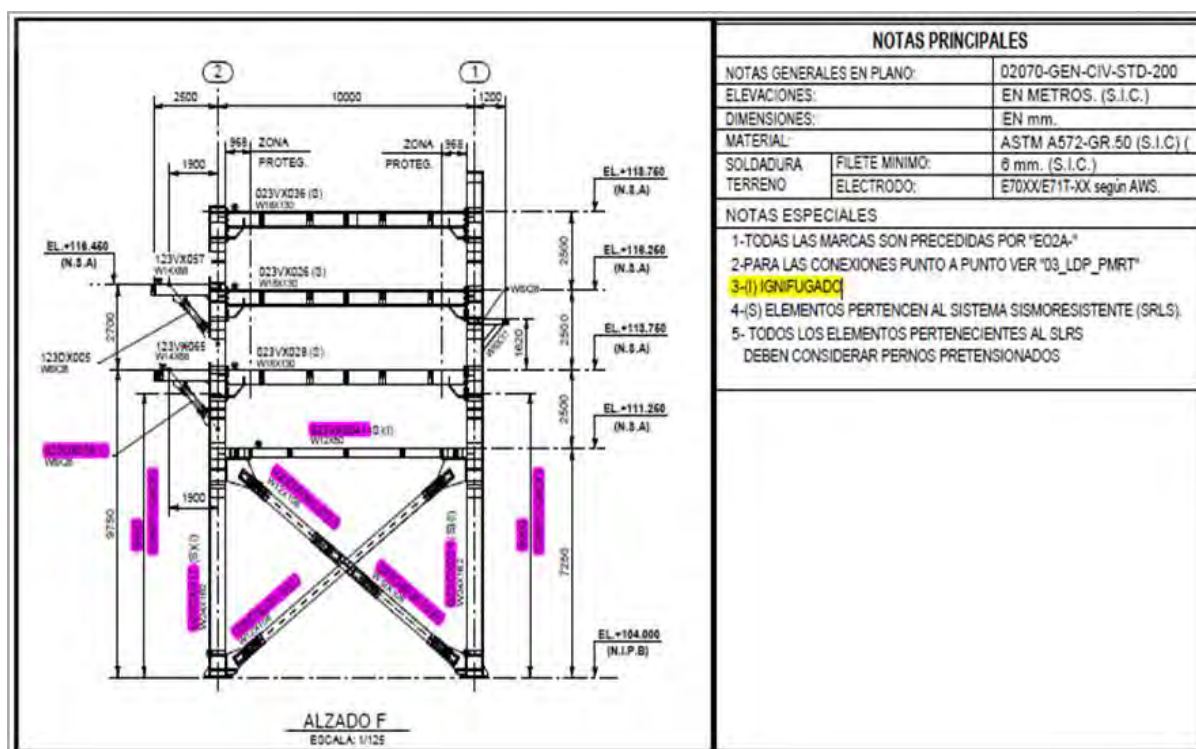
²⁵ Traducido al español como ignifugado. Esta Práctica Global (GP-14-03-01) cubre a prueba de fuego de embarcaciones. Incluye esferas, intercambiadores de calor, miembros de soporte estructural e instalaciones eléctricas y de instrumentación.

²⁶ Traducido al español como Gunita para revestimientos y recubrimientos ignífugos. Esta Práctica Global (GP-19-03-01) cubre la composición del material y la aplicación de gunita (hormigón proyectado) para revestimientos internos de equipos y para embarcaciones ignífugas y elementos estructurales.

el control de calidad, asimismo se debe elaborar un protocolo con la conformidad de esta instalación, en el cual se verifican las especificaciones y estándares del PMRT.

Luego se procede con el proyectado del ignifugado: gunita o vermiculita según la altura señalada en la tabla 11, y esto se realiza con unas máquinas proyectoras de mezcla ya sea para gunita o vermiculita.

Esta actividad es una actividad muy parecido a la aplicación de *grout*, sin embargo este elemento se añade sobre estructura, por tanto luego debe realizarse los acabados de superficie antes de su inspección final.



+Figura 41. Planos de montaje que señalan elementos a ignifugar

Fuente: Elaboración propia



Figura 42. Proceso de ignifugado en estructuras

Fuente: Elaboración propia

2.3. Objetivos

Al iniciar este proyecto se trazaron objetivos que serán descritos a continuación.

2.3.1. Objetivo general

Como objetivo general se puede decir:

- Implementación de un método de montaje de estructuras metálicas con uso de nuevas herramientas y nuevas técnicas operativas de montaje, teniendo en cuenta el apoyo de software 3D, con la finalidad de ser más competitivos en el sector de la construcción.

2.3.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos podemos mencionar

- Optimizar el proceso de montaje de estructuras metálicas
- Aumentar el porcentaje de uso de los equipos
- Mejorar las técnicas de montaje de los trabajadores
- Implementar nuevas herramientas que reduzcan probabilidades de incidente
- Aumentar el número de elementos montados por día
- Disminuir el ratio de montaje de estructuras
- Mejorar el coeficiente de performance²⁷

2.4. Limitaciones

Dado que estas nuevas técnicas son diferentes a las técnicas tradicionales de montaje la principal limitación que se encontró fue el factor humano, ya que muchos trabajadores no deseaban adoptar estas nuevas técnicas por costumbre, miedo y desconocimiento.

Otra limitación que se tiene es que dado a que el proyecto se realiza en medio de una refinería operativa, se tiene muchas interferencias y restricciones que limitan los tiempos y la ejecución continua de la obra.

²⁷ Coeficiente de performance (PF): indicador que nos muestra si el tiempo consumido para una actividad es igual, mayor o menor al tiempo que se estimó mediante fundamentos históricos antes de iniciar la actividad.

Capítulo 3

Análisis e implementación de herramientas para optimizar el proceso de montaje de estructuras.

Para la implementación de nuevas herramientas y optimizar el proceso de montaje se debe visualizar de cerca el proceso analizando las posibles mejoras que se implementarían demostrando con cuadros comparativos la disminución de recursos y generando un impacto innovador a las técnicas tradicionales de montaje y un amplio beneficio económico.

Además se deben tener detalles como:

- a) El montaje con grúa de un pre-ensamble como pórtico necesita un grupo de personal u horas hombre (a partir de ahora H-H) necesario para la maniobra y con funciones específicas que se realicen en el proceso de trabajo.
- b) El ajuste y la complementación de pernos es una actividad que requiere revisar el detalle de las uniones empernadas en los planos para la selección de los pernos a instalar, según el diámetro que corresponde. Esta actividad requiere de muchas facilidades en la etapa de pre-ensamble como *manlift* o andamios para acceder a los puntos que tienen uniones empernadas a niveles superiores del alcance de las personas.
- c) Las actividades de pretensado requieren de equipos de torque como, torquímetros, llaves hidráulicas, bombas hidráulicas, multiplicadores de torque, calibrador de tensión o *skidmore*, manómetros, llaves de golpe, encastres, entre otros accesorios. Los cuales generan un costo elevado al proyecto, ya que estos equipos son muy costosos; esto se puede reducir al mínimo dependiendo del uso de los equipos.
- d) El montaje de la estructura no se debe mirar como una actividad independiente final, porque sobre las estructuras van equipos, tubería o bandejas eléctricas, por tanto se debe respetar el montaje de acuerdo a planos y normas del proyecto, con el fin de minimizar las posibles interferencias que aparezcan en el futuro con los elementos de montaje de otras disciplinas como tubería o electricidad.
- e) Para resolver cualquier interferencia se debe coordinar con la supervisión y llegar a la solución que más convenga, en caso haya algún error en la ingeniería de montaje; el área de soporte de ingeniería debe intervenir para encontrar la solución. Muchos de los errores se pueden detectar antes de las actividades de montaje si se revisa y compara la compatibilidad de los planos y maquetas virtuales en los programas *navisworks* y *Smart plant*.
- f) La maqueta de la refinería la cual se puede visualizar en los software como *Naviswork* o *Smart plant* sirve únicamente de referencia y nos ayuda en la ubicación y proyección en campo para la construcción y montaje de la estructura.

- g) Considerar que en los requisitos del proyecto y procedimientos establece una secuencia de actividades, que sirven de guía para el montaje de las estructuras y están reflejadas en un documento denominado PPI (Programa de puntos de Inspección). Los cuales son revisados por la supervisión y la empresa montajista debe cumplir con todos. Se realizará un resumen de esta secuencia de puntos de inspección en las tablas 13, 14, 15 y 16.

Tabla 13. Actividades antes del montaje.

Item	Actividad de Control de Calidad	Documento Aplicable	Registro de Calidad
1.1	Aprobación del Plan de Calidad y procedimientos de trabajo específicos	PP-02070-I-203-Att01	N/A
1.2	Cualificación de procedimientos de soldadura y soldadores	GP 04-01-02	WPS,PQR,WPQ, 02070-CON-PIP-15,
1.3	Personal de ensayos no destructivos e inspectores de soldadura con certificación.	ISO 9712/ SNT-TC-1A, AWS/IIW	Certificados
1.4	Recepción de materiales: subconjuntos de taller, pernos y material suelto, pinturas	02070-GEN-QUA-GYM-02-103, GP 04-01-02	02070-CON-ROT-09 Guías remisión
1.5	Certificados de materiales: subconjuntos de taller, pernos y material suelto, <i>grout</i> , pinturas.	02070-GEN-QUA-GYM-02-102, GP 04-01-02	Certificados
1.6	Control dimensional de la fundación (estructura concreto, disposición y proyección de pernos de anclaje embebidos)	02070-GEN-QUA-GYM-02-112, Planos	02070-CON-CIV-40

Fuente: Elaboración propia basado en documento 02070-GEN-QUA-GYM-03-101 Rev.02

Tabla 14. Actividades durante el montaje.

Item	Actividad de Control de Calidad	Documento Aplicable	Registro de Calidad
2.1	Preensamblado, izado e instalación	02070-GEN-QUA-GYM-02-109,113, Planos	N/A
2.2	Soldaduras de obra y sus ensayos no destructivos	02070-GEN-QUA-GYM-02-113, GP 04-01-02	02070-CON-SS-05, Certs Lab
2.3	Preapriete de pernos (<i>snug-tight</i>)	02070-GEN-QUA-GYM-02-110, 125	N/A
2.4	Prueba de Verificación de Pre - Instalación en Pernos de Alta Resistencia (si aplica)	02070-GEN-QUA-GYM-02-110,125	02070-CON-SS-08
2.5	Nivelación, aplome y control topográfico previos al apriete final	02070-GEN-QUA-GYM-02-109,113	N/A
2.6	Apriete final de pernos	02070-GEN-QUA-GYM-02-110,125	02070-CON-SS-02

Fuente: Elaboración propia basado en documento 02070-GEN-QUA-GYM-03-101 Rev.02

Tabla 15. Continuación de la tabla 14.

Item	Actividad de Control de Calidad	Documento Aplicable	Registro de Calidad
2.7	Apriete pernos de anclaje	02070-GEN-QUA-GYM-02-113,	N/A
2.8	Nivelación, aplome y control topográfico finales	02070-GEN-QUA-GYM-02-113,	02070-CON-CIV-40
2.9	Colocación de <i>grout</i>	Según PPI , 02070-GEN-QUA-GYM-03-109	
2.7	Apriete pernos de anclaje	02070-GEN-QUA-GYM-02-113,	N/A

Fuente: Elaboración propia basado en documento 02070-GEN-QUA-GYM-03-101 Rev.02

Tabla 16. Actividades después del montaje.

Item	Actividad de Control de Calidad	Documento Aplicable	Registro de Calidad
3.1	Touch-up protección anticorrosiva (pintura y/o galvanizado)	PPI , 02070-GEN-QUA-GYM-03-103,	
3.2	Liberación de la Estructura Metálica, Escaleras, Barandillas y Tramex	02070-GEN-QUA-GYM-02-113	02070-CON-SS-03

Fuente: Elaboración propia basado en documento 02070-GEN-QUA-GYM-03-101 Rev.02

- h) La metodología de montaje por pre-ensamble, es una idea incorporada por la empresa en obras de construcción y montaje de estructuras en minería y energía. Esta tesis plantea la idea de mejorar esta metodología y obtener ventajas importantes. Las estructuras se pre-ensamblan en pórticos y después del montaje en su posición final, se procede a instalar las elevaciones o perfiles que van entre pórticos.
- i) Para la culminación de los trabajos de montaje de los *pipe racks* se debe cumplir con las actividades y en el orden que se presenta en el procedimiento establecido o PPI. Además tener en cuenta que el paquete de trabajo contempla 14 *pipe racks* con un peso de más de 14 mil toneladas y más de 50 plataformas menores con un peso de mil toneladas en total.
- j) La naturaleza del proyecto es muy complicada debido a que se está construyendo en medio de una planta en operación; por tanto, es muy importante considerar cada actividad como crítica, porque no se puede generar ningún retraso o riesgo para los trabajos propios del proyecto y de la refinería en operación.

Para la implementación de nuevas técnicas y modificaciones al proceso normal de montaje, se debe analizar cada uno de los puntos expuestos anteriormente con el fin de optimizar el costo y los tiempos, obteniendo un proceso eficiente. Todo esto resulta necesario por las condiciones y la naturaleza del proyecto que cuenta con innumerables interferencias.

3.1. Análisis y detección de falencias del proceso de montaje de estructuras:

Al iniciar el análisis del proceso de montaje de estructura, se realizó un diagrama de flujo (ver Figura 43) para visualizar todos los procesos y pasos que intervienen en esta actividad:

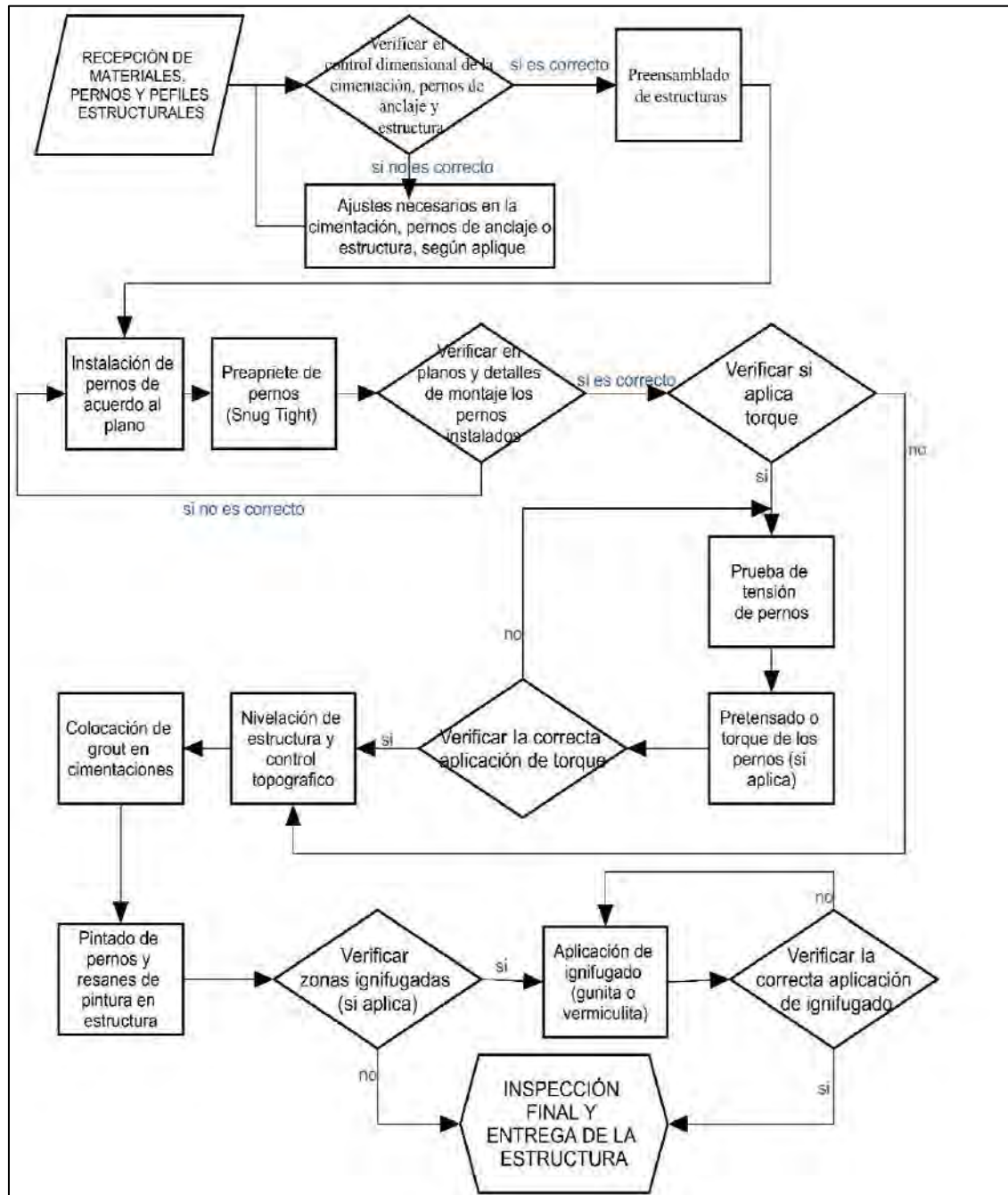


Figura 43. Diagrama de flujo del proceso de montaje de estructura.

Fuente: Elaboración propia

Según el diagrama de flujo y lista de procesos que intervienen en el montaje de estructuras, se recopilamos una serie de ideas que se plantean como una alternativa de mejora. También se recopilamos ideas del personal de campo y se consolidaron en la siguiente lista:

- Mejora en pre-ensambles, para disminuir recursos en el montaje
- Mejora en el torque de pernos

- Apoyo con software para mejorar el montaje y detectar interferencias e incompatibilidades.
- Mejora en el proceso de pintado de pernos y resanes de pintura de estructuras para optimizar recursos.
- Análisis y mejora para actividades de ignifugado.
- Optimización de cuadrillas de trabajo para el montaje teniendo en cuenta los *ratios* de producción y disminuir las horas hombre estimadas para el montaje.

Estos puntos servirán de lineamientos en el análisis del proceso constructivo, para tener una idea más clara de las falencias. Posteriormente se presentarán soluciones enfocadas a optimizar el proceso y que sirvan de mejora en la eficiencia, reflejándose en costos y tiempo.

Para conocer sobre el proyecto como disciplina de estructuras, es necesario aclarar los alcances y los indicadores con los cuales se miden el rendimiento y eficiencia de lo que se está construyendo.

3.1.1. Alcances generales

La disciplina de estructuras tiene como alcance el montaje de las estructuras denominadas, como Interconexiones, *off-sites*, soportes especiales de bandeja eléctrica y soportes especiales de bandeja de tubería.

- Alcance total en montaje de estructura *pipe racks*: 14 046 ton
- Alcance en montaje de barandas, escaleras de gato, plataforma: 21 ton
- Alcance total en montaje de plataformas *offsites*: 1496.4 ton
- Alcance total de *grout* para estructuras: 30.6 m³

3.1.2. Ratios por tipo de estructura:

Para el desarrollo de las actividades de montaje de estructura se debe tener en cuentas los *ratios* considerados y los indicadores que miden la eficiencia de la actividad.

Para el montaje de estructuras se ha considerado los siguientes *ratios*:

- **Ratio original:** son las H-H (Horas hombre) entre unidad de avance (toneladas montadas) que fue estimado en el presupuesto del proyecto.
- **Ratio meta:** es el ratio que el proyecto establece para la construcción, este ratio debería ser menor o igual al ratio original, ya que se considera un margen de horas ganadas.
- **Ratio acumulado:** es el ratio real obtenido, es decir, H-H (horas hombre consumidas) entre avance real de tonelaje de estructura montada.
- **Ratio proyectado para el saldo:** es la cantidad de H-H que se tiene de saldo entre el saldo real de tonelaje de estructura pendiente por montar.

Para establecer los ratios del proyecto, se debe clasificar el tipo de estructura de acuerdo al peso en kilogramos por metro, así tenemos: estructura extra pesada, pesada, mediana y liviana, a cada una le corresponde un ratio de montaje distinto. Asimismo, estos tipos de estructuras tienen asociados un código partida en el cual se cargan las horas de acuerdo a la tabla 17.

Las ratios original y meta son fijos para todos los *racks*. Sin embargo, el ratio acumulado se puede calcular independientemente para cada *rack*, dependiendo de las horas consumidas y el avance real de estructura montada en toneladas.

En la tabla 17 se muestran los ratios montaje de estructura; así también, datos para el *rack* de aguas (BTAG) y *rack* de Cogeneración (BCOG).

Tabla 17. Ratios y partidas por tipo de estructura.

Código partida	Nombre de partida de control	Ratios		Acumulado total	Proyectado para el saldo
		Presupuesto Original	Presupuesto Meta		
M201	Montaje Estructura Liviana	69.41	58.4731	56.0784	277.65
M202	Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	52.06	43.8548	44.8253	208.24
M203	Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	30.37	25.5820	29.0382	121.47
M204	Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	26.03	21.9274	15.9364	104.12
M205	Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	88.29	112.9408	107.5397	56.13
M208	Colocación de <i>grout</i>	450.0000	559.7514	315.4775	548.57

Fuente: Elaboración propia

Por tanto, para medir la eficiencia, es necesario conocer las horas hombre (H-H):

- **H-H total previstos a consumir:** Es la cantidad de horas calculadas con el metrado de la estructura a montar por el ratio del presupuesto original.
- **H-H acumuladas previstas:** Es la cantidad de horas calculadas con el metrado de la estructura montada al momento del análisis por el ratio meta.
- **H-H acumuladas real:** Es la cantidad de horas consumidas al momento del análisis, considerando la estructura a analizar.
- **H-H proyectadas para el saldo:** Es la cantidad de horas estimadas para culminar al 100% la estructura en proceso de montaje.

Para el cálculo de las H-H acumuladas previstas, se considera la cantidad en toneladas de un *rack* a analizar, para la tabla 18 se considera el *rack* de aguas (BTAG) y el *rack* de cogeneración (BCOG).

Tabla 18. Cuadro de H-H para BTAG y BTAG

CÓDIGO	PARTIDAS DE CONTROL	UND	HORAS HOMBRE			
			Total Previsto a Consumir	Acumulado Previsto	Acumulado Real	Proy. para el Saldo
M201	Montaje Estructura Liviana	Ton	3,871	3,866	3,404	5
M202	Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	Ton	41,714	40,978	39,553	752
M203	Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	Ton	13,674	13,495	14,807	204
M204	Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	Ton	9,435	9,134	6,526	219
M205	Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	Ton	1,510	242	238	1,352
M208	Colocación de <i>Grout</i>	Ton	2,418	1,246	702	644

Fuente: Elaboración propia

3.1.3. Avances y control de avance

Es cierto que existen ratios que miden la cantidad de horas que se deben utilizar para el montaje total de las estructuras; sin embargo, se debe tener en cuenta que hay una serie de pasos o actividades que hacen posible el montaje. Estas actividades han sido valorizadas a un cierto porcentaje de la cantidad de peso de la estructura, es decir, para llevar el control de avance del montaje de estructura y poder realizar las valorizaciones mensuales considerando los avances que se obtienen, es necesario conocer los conceptos de peso bruto y peso ponderado.

a. Peso Bruto:

Es el peso real del elemento el cual se considera para cálculos de izaje mas no para los reportes de montaje, por ejemplo, si una columna pesa 10.0 toneladas, el peso bruto de esta serán las 10.0 toneladas

b. Peso Ponderado

Es el peso del elemento por cada quiebre de acuerdo a lo indicado por el área de control de proyectos, los quiebres que se utilizan en el Proyecto Modernización de la refinería de Talara son los que se muestran en la Tabla 19:

Tabla 19. Cuadro de distribución de peso ponderado

5.0%	10.0%	30.0%	26%	14.4%	9.6%	5.0%
Transporte Acumulado (Ton)	Preparación de la base Acumulado	Pre-ensamble de marco Acumulado (Ton)	Montaje Acumulado (Ton)	Pretensado Acumulado	Alineamiento Acumulado	QA/QC Acumulado

Fuente: Elaboración propia

Entonces, si se traslada una columna de 10.0 toneladas desde los patios de estructuras, posteriormente, se prepara la base, se pre-ensambla junto a otros elementos; luego, se monta. Para esta columna independiente solo se habrá ganado el 71 % del peso total del elemento, en conclusión, solo se puede reportar 7.1 toneladas montadas por la empresa de montaje.

3.1.4. Indicadores.

Los indicadores usados para medir el avance del montaje de estructuras en el proyecto de modernización de la refinería de Talara tenemos:

- **Índice de productividad (IP) por semana:** Es el reporte de las horas de trabajo, avances en montaje y productividad (ratios),
- **Performance (PF):** Este es el indicador más importante del proyecto, el cual nos indica cómo vamos en el proyecto, se obtiene de:

$$PF = \frac{HH \text{ ganadas a la fecha}}{HH \text{ gastadas a la fecha}} \dots (1)$$

H-H ganadas a la fecha: Es el total de horas que son estimadas con el *ratio* meta considerando el avance actual del montaje.

H-H gastadas a la fecha: Es el total de horas reales que han sido consumidas hasta el momento considerando el avance actual.

Por tanto:

- a) $PF = 1$; Nos indica que se han consumido las horas presupuestadas.
- b) $PF > 1$; Nos indica que se han consumido menos horas de las presupuestadas, por lo tanto, se es más eficiente en el montaje.
- c) $PF < 1$; Nos indica que se han consumido más horas de las presupuestadas.

3.2. Propuestas de mejora

Después de haberse realizado el análisis en un diagrama de flujo de todo el proceso de montaje y revisado los indicadores y alcances del proyecto como disciplina de estructuras, se va a plantear mejoras en el proceso constructivo para verificar su viabilidad, mediante fundamentos técnicos y teóricos que se presentarán más adelante de acuerdo a las siguientes ideas generales:

- Mejora en el montaje de estructura
- Mejora en la detección de interferencias e incompatibilidades
- Mejora en el montaje de estructura con complemento

Las ideas de mejoras planteadas resultaron de las ideas que resultaron del análisis realizado; por tanto, en cada mejora planteada se tendrá en cuenta todas las ideas que involucren esa mejora.

3.2.1. Mejora en el montaje de estructura

Para el montaje de estructuras, se han montado 11 de 14 *pipe racks* con el método tradicional de montar pórticos; es decir, pre-ensamblar los elementos que se encuentran en un eje transversal al eje longitudinal del *rack*, el cual usualmente consta de 3 vigas y diagonales tal como se ve en la Figura 44. La idea es montar uno a uno en secuencia (ver Figura 45), para luego montar los elementos de amarre o elementos intermedios (perfiles estructurales) que pueden ser vigas, diagonales, puntales, entre otros. Este método es el método tradicional empleado para el montaje de estructuras.

Para el pre-ensamble del pórtico es necesario contar con un equipo de izaje, en este caso una grúa con sus respectivas maniobras, la grúa viene acompañado con un *rigger* que lo dirige. Para hacer posible el pre-ensamble, se debe contar con un mínimo de personal u horas hombre que se revisará más adelante.

Tener en cuenta que las ventajas que se tiene para realizar un pre-ensamble son muy amplias; ya que, armar los elementos a nivel de piso, proporciona mayor maniobrabilidad al momento de ajustar los pernos, sea por pretensado (torque) o en condición de *snug tight* (Apriete manual con llave de golpe). Asimismo, debido a que estos trabajos no se realizarán en altura, se tendrá un gran beneficio y ahorro en andamios y/o *manlift*, que se verá a detalle en los análisis de las mejoras propuestas. Los andamios son armados para acceder a puntos de trabajo en altura, esto se hace porque no se puede trabajar sobre estructura propia del *rack*, aun cuando esta se encuentre totalmente asegurada según las reglas del proyecto, el *manlift* es utilizado para trabajos en puntos altos y este se puede desplazar de acuerdo a su longitud de brazo, la altura promedio de un *rack* es de 13m.

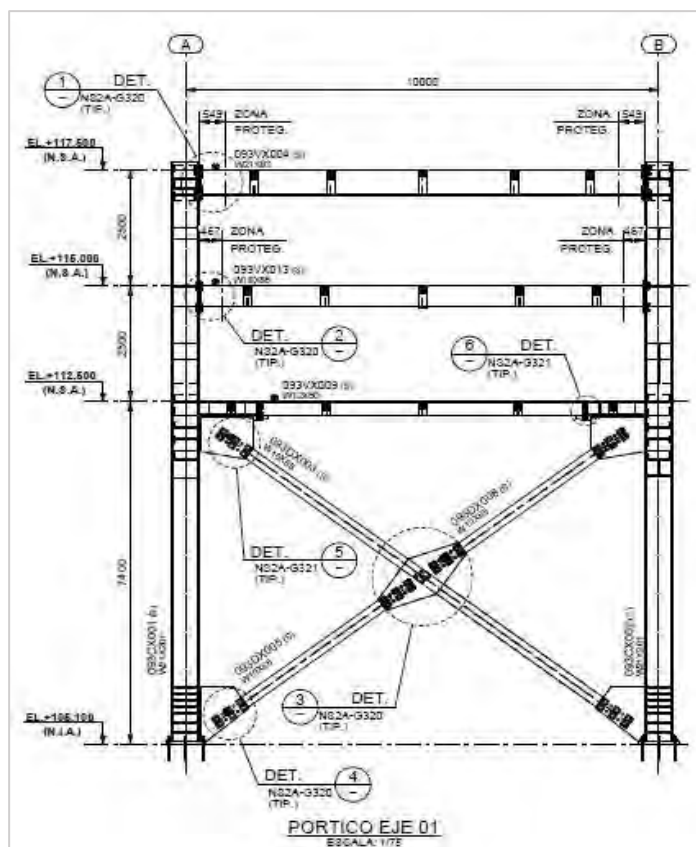


Figura 44. Vista de alzado de un pórtico

Fuente: Plano: NS2A-G314 – Documento del proyecto

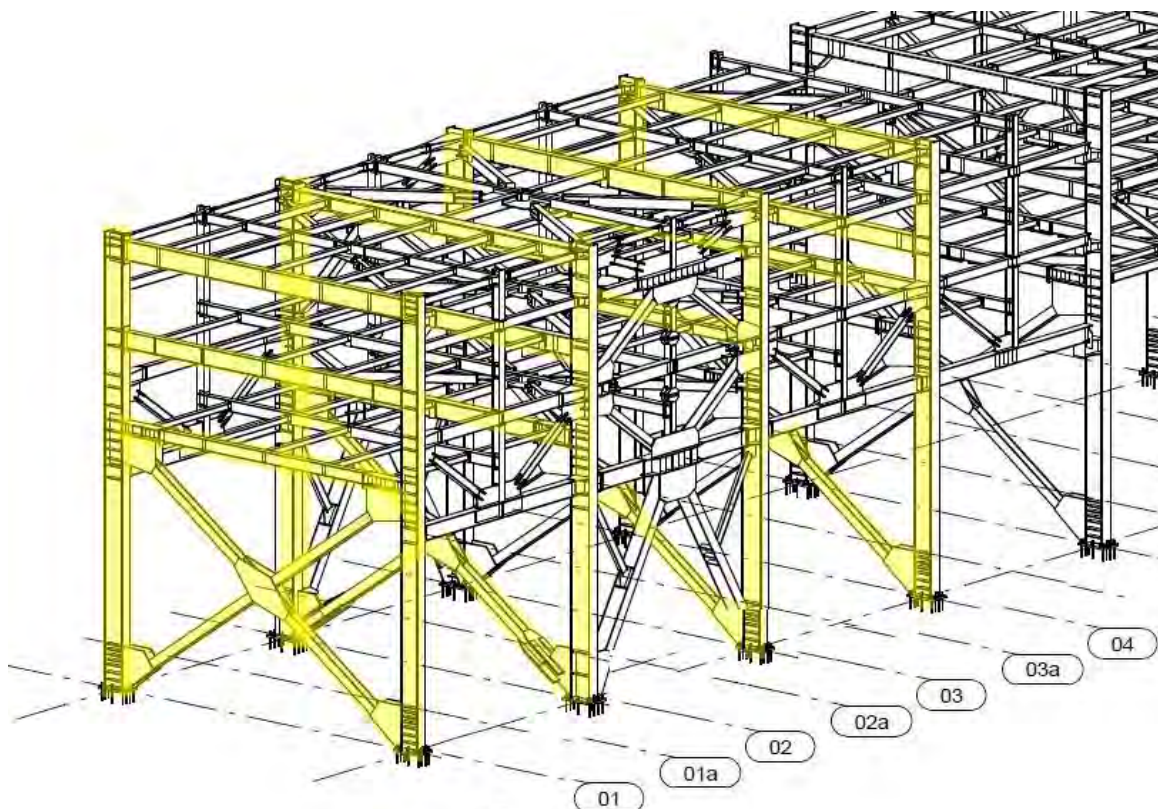


Figura 45. Vista de la secuencia de montaje de pre-ensamblados (pórticos)

Fuente: Plano: NS2A-G300 – Documento del proyecto

- **Propuesta:** Se propone un nuevo método de montaje, en el cuál se considere pre-ensamblar no solo pórticos como se muestra en la Figura 44, sino también pre-ensambles de alzados compuestos, es decir pre-ensambles de elementos que se encuentran paralelo al eje longitudinal del *rack* (ver Figura 46), este pre-ensamble tiene mayor número de elementos que un pórtico transversal, por lo que se aprovechará el apriete de pernos de mayor numero de uniones emperradas, asimismo se ganará en unidades de producción, es decir en toneladas montadas. El pre-ensamble que se realiza a nivel de piso tendrá mayor provecho; ya que el peso de un alzado es mucho mayor que un pórtico, ya que tiene más elementos. Según la base de datos y metrados de las estructuras, el peso del alzado pre-ensamblado es mayor en un 30% al pórtico del mismo *rack*.

Asimismo, tener en cuenta que las estructuras tienen uniones emperradas que son pretensadas, es decir, uniones a las cuales se les debe aplicar torque. Estas uniones emperradas, de acuerdo al diseño visto en planos, suelen ser todas las uniones emperradas de pórticos y alzados compuestos. Estos alzados compuestos son los que se pretenden pre-ensamblar, por tanto, todas esas uniones requieren de un apriete de pernos con torquímetro o llave hidráulica, y la cantidad de pernos a pretensar en un alzado compuesto es mayor en más del 50% que la cantidad de pernos en un pórtico; por tanto se tendrá beneficios en el pretensado de pernos, ya que reducirá el tiempo de pretensado de pernos de un pre-ensamble a nivel de piso, en comparación a pretensar pernos a niveles de hasta 13m de altura. En la figura 47 se muestra la secuencia a seguir en el montaje de pre-ensambles pórtico – alzados compuestos.

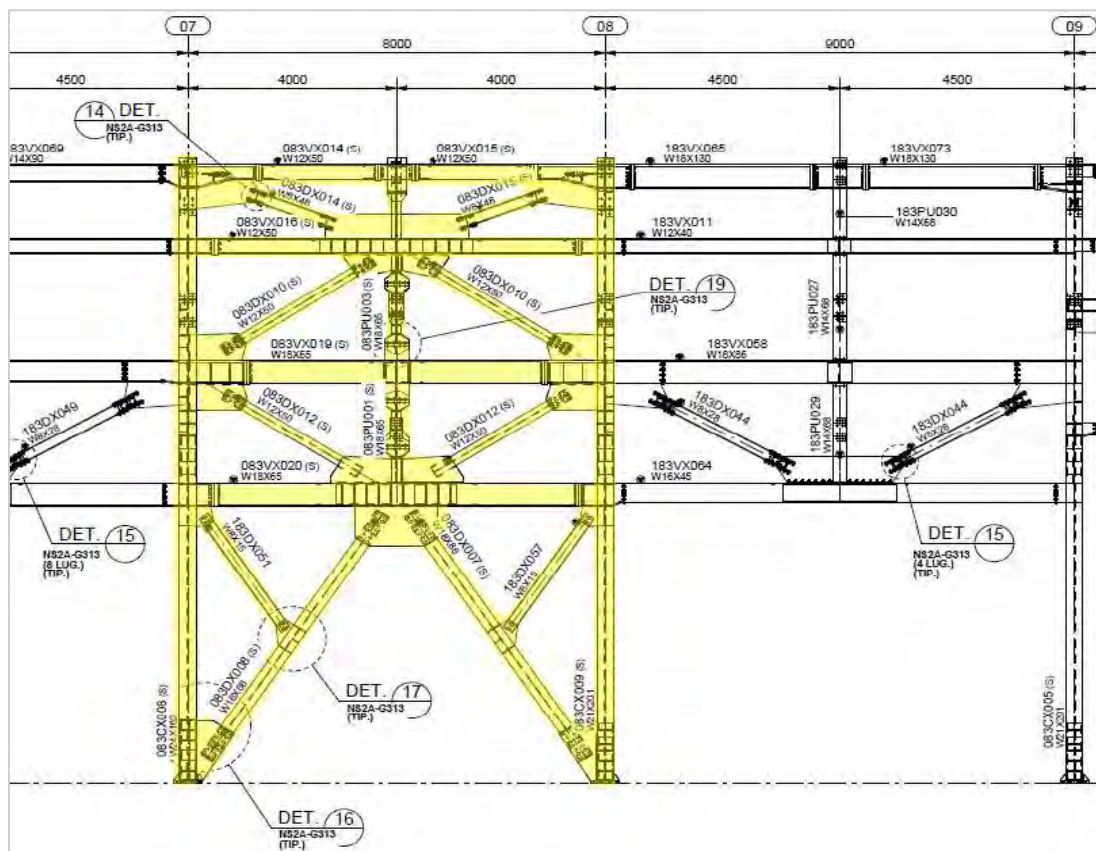


Figura 46. Vista de alzado de un *rack* – alzado compuesto resaltado

Fuente: Plano: NS2A-G310 – Documento del proyecto

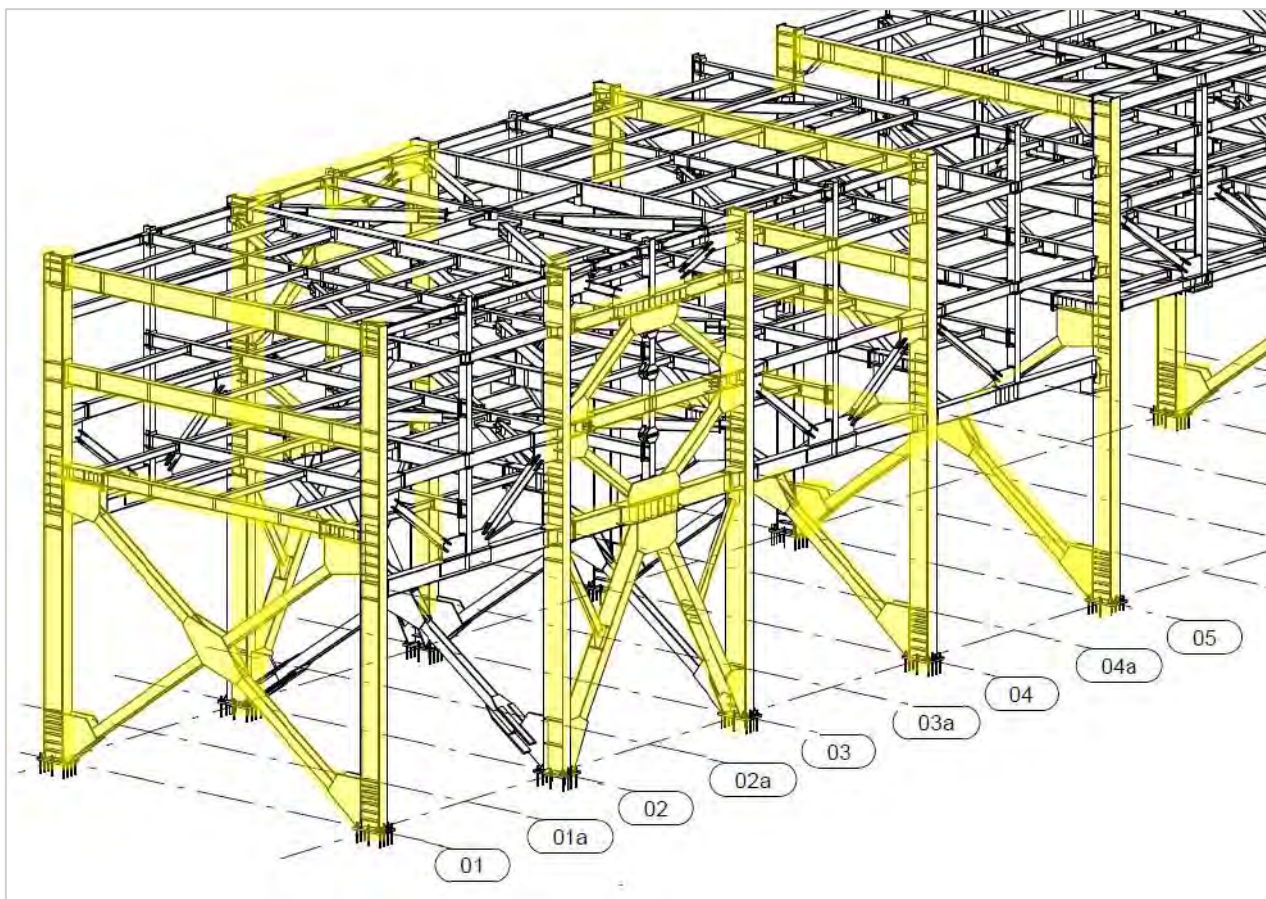


Figura 47. Vista de la secuencia de montaje de pre-ensambles (pórticos y alzados)

Fuente: Plano: NS2A-G300 – Documento del proyecto

3.2.2. Mejora en la detección de interferencias e incompatibilidades:

Muchas veces, en la etapa constructiva se detectan interferencias e incompatibilidades de diseño, por lo que resulta necesario revisar y comparar toda información en planos y detalles para detectar el error. También se puede visualizar la maqueta 3D como una herramienta adicional y didáctica para revisar todo el sistema interconectado, y detectar esas interferencias e incompatibilidades antes de ejecutar el montaje y evitar pérdidas por re-trabajos o retraso en el proceso. Una de las mejoras es comparar y verificar antes de la etapa de montaje; para poder tomar acción y levantar la posible observación; ya sea interferencia de estructura con el equipo, tuberías, bandeja eléctrica o algún otro elemento, o alguna incompatibilidad del plano de montaje. Para anticiparnos y hacer un análisis preventivo es necesario, tener la programación del montaje, la secuencia de actividades y revisar la maqueta 3D en el software. Para este proyecto se manejan dos opciones para visualizar la maqueta: *Navisworks* y *Smart Plant*; asimismo, se tiene un software para visualizar los isométricos de los *racks* denominado *Tekla structures*.

➤ **Navisworks:**

Software que sirve para gestionar proyectos en una plataforma inteligente con revisión en modelos 3D, visualización y herramientas de colaboración, facilita la revisión en tiempo real y revisión del proyecto conjunto para todas las partes interesadas para mejorar la comunicación y la colaboración desde el concepto hasta la operación.

Este software permite visualizar la maqueta del proyecto considerando todo el sistema interconectado (ver Figura 48), es decir estructura, equipos, tuberías, entre otros, verificar su disposición y ubicación dentro de una respectiva unidad; es así como se podrían identificar muchos inconvenientes verificando la posición según sus coordenadas y la posible interferencia entre algún elemento. Tener en cuenta que la maqueta de este programa está hecha con los isométricos de cada elemento y su respectiva ubicación, por tanto si hay alguna interferencia por posición se va a visualizar superposición entre elementos. En la obra, la maqueta se revisa en la etapa constructiva cuando aparece algún inconveniente, esta incompatibilidad muchas veces se convierte en una posible restricción para la continuación de actividades posteriores, por tanto retrasos o pérdidas de tiempo en la construcción.

Cada disciplina realiza el montaje de lo que le corresponde y de acuerdo a su plano constructivo, pero es evidente que debe existir una secuencia de actividades y compatibilidad entre los planos de las distintas disciplinas. Se inicia con las obras civiles (pedestales y lozas); luego sobre los pedestales se monta la estructura que es la disciplina que estamos analizando, sobre esta estructura se monta tuberías o bandejas eléctricas, y en algunos casos equipos también.

Se parte de los planos de diseño del proyecto, sin embargo, hay veces que se encuentran ciertas incompatibilidades o discordancias entre los planos constructivos de las diferentes disciplinas, para este tipo de problemas de diseño, se soluciona con una respectiva consulta al área de ingeniería mediante una STQ, la cuál debe ser resuelta teniendo en cuenta los principios y normas que rigen en el proyecto. Si es un error constructivo, se realizan las acciones necesarias para reparar el error, en caso se considere alguna desviación a lo diseñado en los planos para reparar dicho error, se debe solicitar la aprobación por la supervisión para realizar dichos cambios.

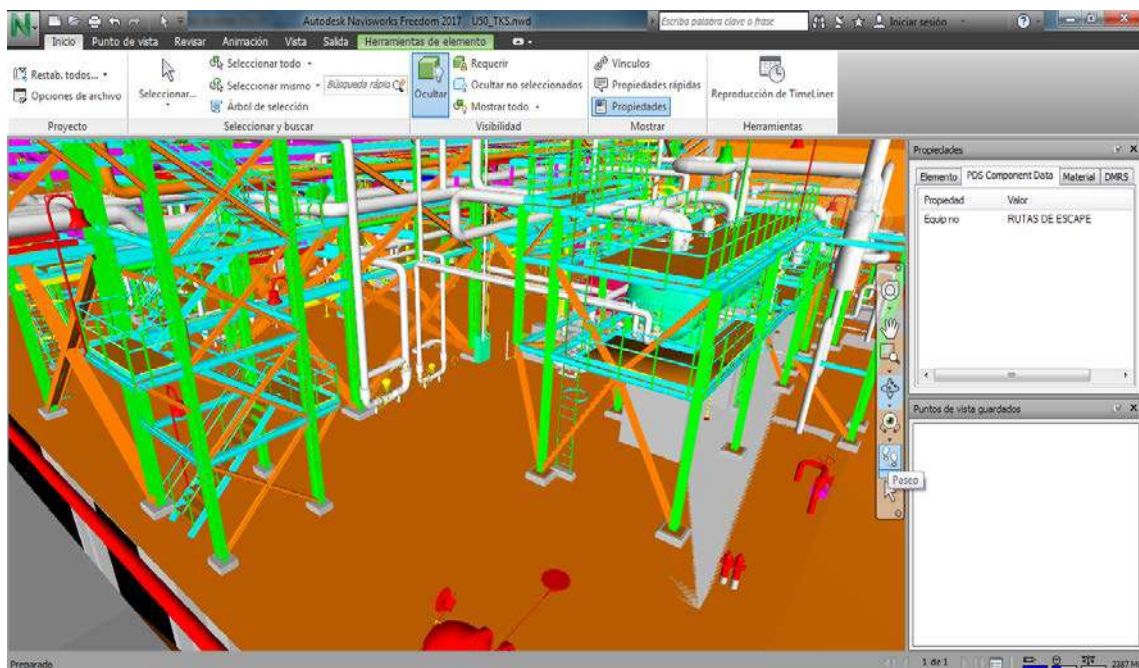


Figura 48. Vista de la maqueta de la refinería en la ventana del programa Navisworks
Fuente: Documento del proyecto

➤ **Smart Plant**

Es un software de diseño de plantas más avanzado, que ayuda a mejorar los procesos de diseño de ingeniería se preservan los datos existentes y se hace más útil y re-utilizable. Además, es un visualizador 3D que nos ayuda a entender toda la planta y así poder generar planes y secuencias de trabajo. Este programa es muy útil ya que podemos visualizar los sistemas y entender los procesos que se realizarán en la planta. Es similar al *Navisworks* pero tiene mayor detalle y es más exacto con las medidas y coordenadas.

Smart Plant muestra la maqueta virtual de la planta final de la refinería de Talara con las coordenadas y ubicaciones consideradas en los planos (ver Figura 49); por tanto, cualquier disciplina puede verificar la posición de elementos y comparar en campo. Al igual que el *Navisworks*, esta maqueta se realiza con los isométricos de los elementos y sus respectivas posiciones, por tanto cuando haya alguna interferencia de posición, se visualizarán superposición de elementos.

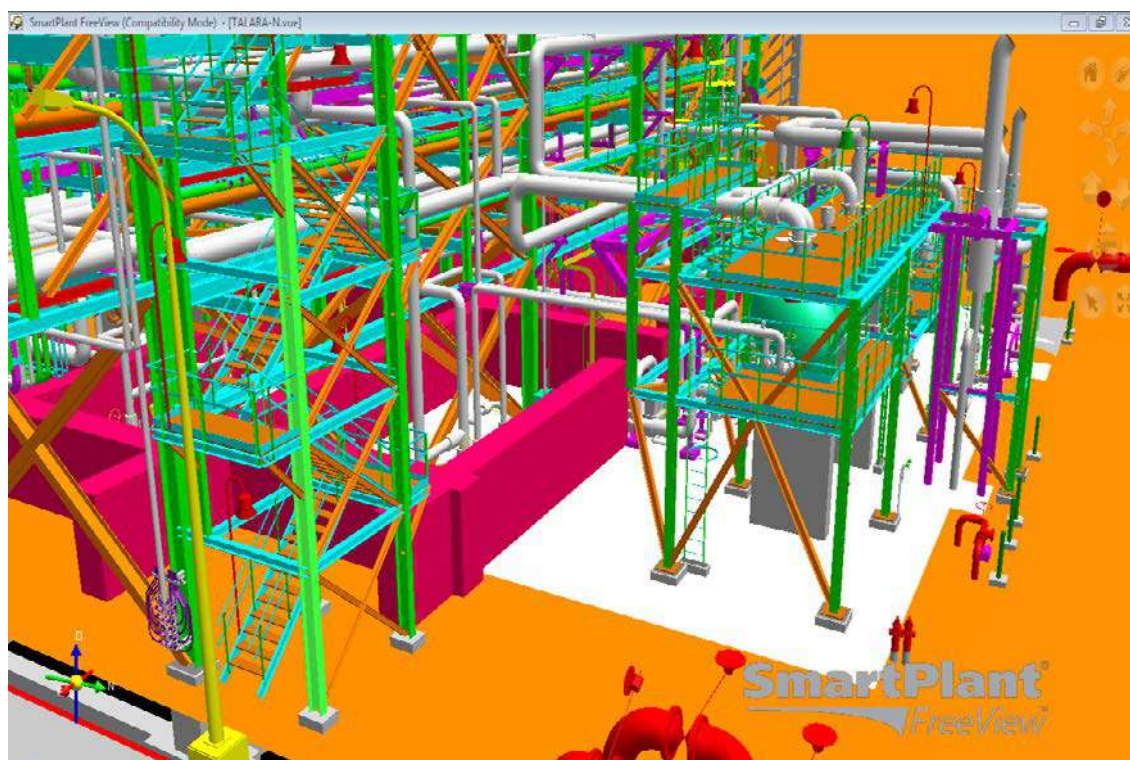


Figura 49. Vista de la maqueta de la refinería en la ventana del programa *Smart Plant*

Fuente: Documento del proyecto

Otro software importante en la construcción y diseño de estructura principalmente de los *racks* es el siguiente programa:

➤ **Tekla estructuras**

Tekla es un programa 3D de ingeniería asistido por computadora y es usado para el diseño, fabricación, planificación y construcción de acero estructural. Para el diseño y fabricación de los *racks* se utilizó este software, por tanto los *racks* se podrán ver desde esta plataforma virtual con todos sus detalles (ver Figura 50).

En el proyecto, se utiliza este programa para visualizar los detalles de la estructura, es decir, permite al usuario verificar en una maqueta 3D de los

racks, la estructura, los detalles de los perfiles estructurales (disposición, medidas y características) y los detalles de las uniones emperradas (diámetro de perno y material), la gran ventaja de la utilización de este programa es que reduce los tiempos de revisión de planos, ya que al ser un software de detalle, es muy fácil de usar.

Además, este programa fue utilizado por el fabricante para diseñar y fabricar las estructuras; por tanto, todos los planos de montaje, *bolt list* (Lista de conectividad de pernos) y demás documentos de detalle para el montaje de estructura recibidos en el paquete de trabajo son extraídos del programa *Tekla BIM sight* (Tekla estructuras).

Al revisar los detalles de montaje directamente de la maqueta, la cual es muy fácil y didáctica, reduce el riesgo a equivocarse, ya que brindaría mayor seguridad y confianza al personal montajista.

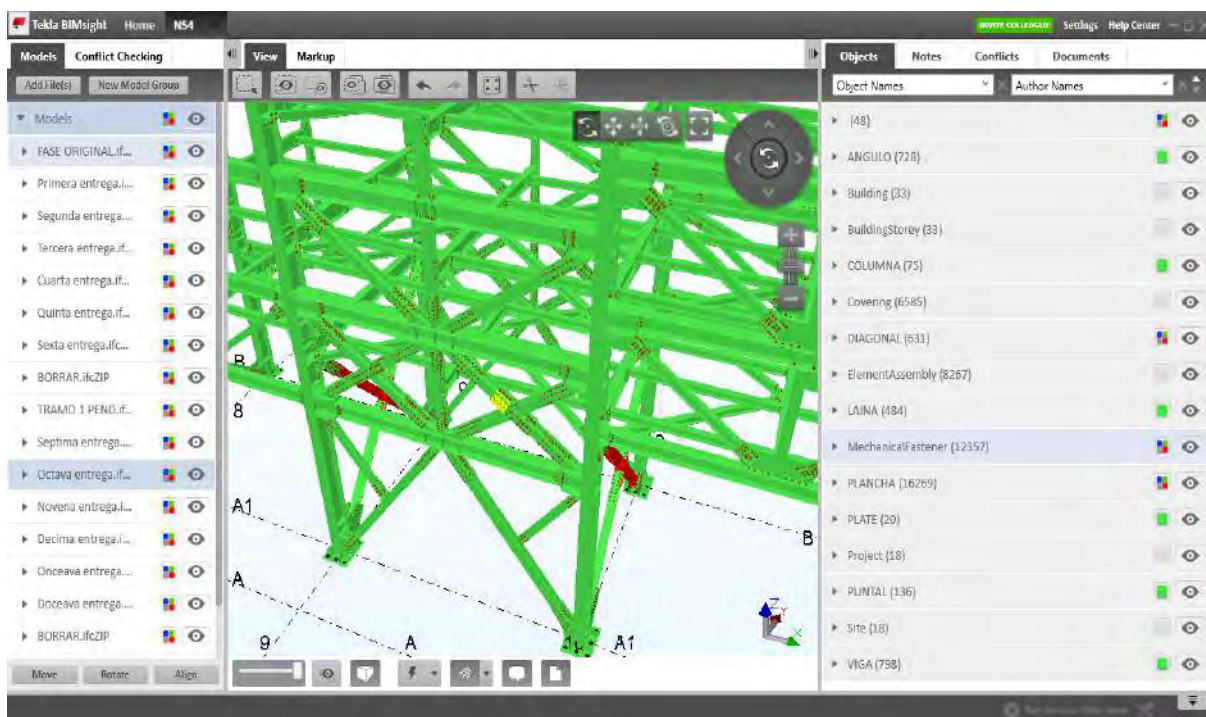


Figura 50. Vista de la estructura *pipe rack* en la ventana del programa *Tekla structures*

Fuente: Documento del proyecto

➤ **Propuesta:**

Debido a la falta de software en campo o herramientas tecnológicas por la naturaleza del proyecto, que prohíbe equipos electrónicos como celulares y computadoras dentro de la refinería en operación se tiene una deficiencia en el punto de trabajo, ya que el personal montajista tiene que revisar en planos impresos los detalles de montaje. Sin embargo sería mucho más fácil y práctico usar el programa *Tekla structures* para realizar cualquier consulta en el punto de trabajo. Asimismo como se ha mencionado para los programas *Navisworks* y *Smart Plant*, se debe realizar una comparación de planos de montaje de todas las disciplinas antes de las actividades de montaje para verificar compatibilidades y coherencia entre planos, esto a nivel de empresa, para evitar retrasos por interferencias que se podrían presentar en la etapa constructiva y generar re-trabajos y retrasos para el proyecto.

3.2.3. Mejora en el montaje de estructuras con complemento:

Otra mejora en el montaje de estructura es aprovechar la realización de actividades antes de ejecutar el montaje de las estructuras; es decir, en la etapa de pre-ensamble; estas actividades podrían reducir costo en equipos, andamios y horas hombre. Las actividades que se podrían realizar sin afectar la posición final de la estructura y el correcto funcionamiento son la instalación de equipos o algún complemento como: pintura de pernos y *touch up* (resanes de pintura), ignifugado e instalación de cobertura sobre la estructura, antes de las actividades de montaje, aprovechando la etapa de pre-ensamble.

3.2.3.1. Montaje estructura con equipo

Una alternativa para mejorar un montaje, es realizar un montaje compuesto, esto se refiere a que, si sobre una estructura va montado un equipo, y si su instalación en el pre-ensamble, antes del montaje traerá beneficios, este equipo se puede instalar en la plataforma como un conjunto y luego montar plataforma unido con el equipo en un solo izaje (ver Figura 51). El análisis y el criterio de esta opción van a depender de las circunstancias y beneficios que traerá esta actividad, los análisis y resultados se verán más adelante con mayor detalle.

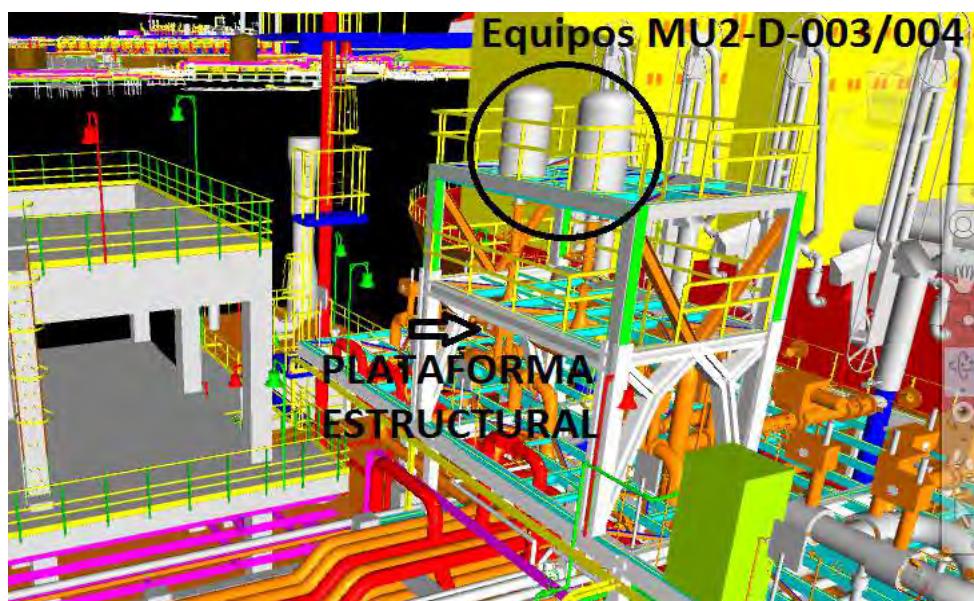


Figura 51. Vista de la maqueta virtual de equipos sobre estructura

Fuente: Documento del proyecto

3.2.3.2. Montaje de estructura con pernos pretensados

El pretensado de pernos es una actividad que se realiza después del montaje de acuerdo al PPI descrito anteriormente y el procedimiento del proyecto; sin embargo, esta secuencia no es restrictiva, en caso la actividad no afecte la posición final y el correcto funcionamiento de la estructura. El pretensado de pernos no tendrá restricción de ser ejecutado antes de la actividad de montaje ya que los pernos pretensados rigidizarán el pórtico o pre-ensamble y serán inamovibles en el montaje; además que tendrá grandes beneficios ya que el pretensado se puede realizar sin complicaciones a nivel de piso, sin necesitar andamios de acceso o

manlift, asimismo se tendrá tiempos más cortos de pretensado que si la actividad se realizara en su posición final.

Se realizó un análisis de la actividad de pretensado para obtener los ratios históricos del proyecto, Para este análisis, se recopilaron las cantidades totales de los pernos por su respectivo diámetro, además de las Horas Hombre totales empleadas para realizar dicha actividad.

La base de datos es una lista o control de pernos pretensados registrados por día. Asimismo, existe una base de datos de H-H registradas a la partida M210, que pertenece a la actividad de torque de pernos, registrado por semanas.

El análisis consistió en juntar las cantidades de pernos clasificados por diámetro y asociarlos a las H-H empleados para poder sacar los ratios históricos del proyecto por diámetro de perno en las etapas de pre-ensamble y montaje. Se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas 20 y 21 y graficando la diferencia de estas dos etapas en una gráfica mostrada en la figura 52.

Tabla 20. Ratios de torque de pernos en etapa de pre-ensamble

RATIOS EN ETAPA DE PRE-ENSAMBLE									
TIPO DE PERNOS	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	Total
CANTIDAD DE PERNOS	904	7304	20016	22372	19752	28548	1028	11680	111604
CANTIDAD DE H-H	63.28	584.68	2002.2	3356.2	4938	10294.5	411	5256.6	26906.5
RATIOS OBTENIDOS H-H/PERNO	0.07	0.08	0.10	0.15	0.25	0.36	0.40	0.45	0.24

Fuente: Elaboración propia

Tabla 21. Ratios de torque de pernos en etapa de montaje

RATIOS EN ETAPA DE MONTAJE							
Etiquetas de fila	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 1/2"	Total
CANTIDAD DE PERNOS	29739	37640	20582	26512	34962	10404	159839
CANTIDAD DE H-H CONSUMIDAS	5354.84	8280.86	5351.48	7953.8	13982.7	4786.2	45709.9
RATIOS OBTENIDOS H-H/PERNO	0.18	0.22	0.26	0.30	0.40	0.46	0.29

Fuente: Elaboración propia



Figura 52. Gráfica comparativa de los ratios históricos del pretensado de pernos

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica se puede deducir que los ratios en la etapa de montaje son mayores que los ratios en la etapa de pre-ensamble. Sin embargo, no se tienen los ratios para el torque de pernos con diámetro 5/8'' y 1 3/8'' para la etapa de montaje, debido a que todos los pernos de esos diámetros, y que debieron ser pretensados, fueron pretensados en la etapa de pre-ensamble, además las cantidades de los pernos que hay en el proyecto con esos diámetros son pequeñas.

Asimismo se evaluaron las llaves hidráulicas utilizadas, y se realizó un cuadro con las llaves más utilizadas a lo largo del proyecto, las llaves más utilizadas son aquellas que tuvieron menor cantidad de fallas y que tenían mayor maniobrabilidad al momento de usarlas. Estas llaves son equipos alquilados, por tanto se debe tener un control muy riguroso para evitar valorizaciones no correspondientes.

En la tabla 22 se presenta el listado de llaves utilizadas en el proyecto ordenadas de menor a mayor utilización, se puede deducir que las llaves: Hytorc 10MXT y la llave Avanti 8 son las llaves más utilizadas para realizar el torque de pernos de 1 1/8'' a 1 1/2''. Para el torque de pernos de 1 1/4'' a 1 1/8'', las llaves que tuvieron mayor utilización fueron Hytorc 5MXT y la llave 5ATW. Asimismo para pernos de 3/4'' hasta 1 1/8'', las llaves con mayor utilización fueron, la llave avanti 3, la llave 2XLCT y la llave Hytorc 3MXT. Sin embargo para este último grupo (pernos de 3/4'' a 1 1/8''), también es conveniente utilizar torquímetros manuales.

Tabla 22. Tabla de llaves hidráulicas utilizadas en el proyecto

LLAVES	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	Total general
Avanti 5					224			224
TWLC8					384			384
TU-7				144	530		483	1157
TX-4				688	1072			1760
XLT-1	384	1556	32					1972
TU-11					316	336	1351	2003
STEALTH-2		632	1264	400				2296
TX-2		300	4212	64				4576
AVANTI 10					2889		2728	5617
STEALTH-4			1856	3432	705			5993
3 ATW		1056	1056	3888				6000
S1500	3096	3148	368					6612
HY-3MXT		2252	3230	486	1179			7147
2XLCT		144	6742	2336				9222
5 ATW				3784	7623			11407
Avanti 3		4712	2944	4680				12336
HY-5MXT				3676	12053			15729
HY-10MXT					10493	692	10940	22125
AVANTI 8				3532	13862		5040	22434
Total general	3480	21744	27222	28470	51490	1028	21676	155110

Fuente: Elaboración propia

Por tanto en los proyectos que se realice torque de pernos en estructuras, se podrá optar por seleccionar los equipos mencionados en el párrafo anterior, ya que son más fáciles de usar y su forma permite trabajar adecuadamente sobre las estructuras. Este cuadro resulta muy útil, ya que es un cuadro histórico con datos

reales y situaciones reales que se tuvieron en el proyecto. Cabe destacar que los equipos con menor utilización en la actividad de torque, es debido a que presentaban fallas durante su utilización; o por su forma, era muy difícil de maniobrarlas debido a las cartelas o formas de la estructura.

3.2.3.3. Montaje de estructura con pintura de pernos

Otra mejora en el montaje de estructura es realizar el pintado de pernos pretensados en la etapa de pre-ensamble del pórtico o alzado estructural. De la misma forma y continua al pretensado, respetando el PPI y procedimiento del proyecto, se puede continuar con el pintado de pernos, de la misma forma que el pretensado a nivel de piso, lo que traerá grandes beneficios en costos, tiempos de ejecución, ahorro de H-H, andamios y equipos.

Asimismo, se debe tener el cuidado pertinente, para no dañar el pintado en la etapa de montaje, cuando se tenga que manipular la estructura para realizar la maniobra con grúa.

Se tiene que el ratio original y el ratio meta del proyecto son iguales y es de 0.4625 H-H/Perno sin discriminar el diámetro del perno. Así también, se evaluarán los ratios reales e históricos del proyecto por separado en etapa de montaje y etapa de pre-ensamble. Se analizará el *rack* de aguas (BTAG) el cual tiene 38144 pernos en total y se tiene toda la data de H-H para el pintado de pernos de este *rack*.

En la Figura 53, se muestra las cantidades totales de pernos del *rack* de aguas, las H-H consumidas para realizar las labores de pintura descritos en el capítulo 2.2.9 y los ratios reales obtenidos para este *rack*.

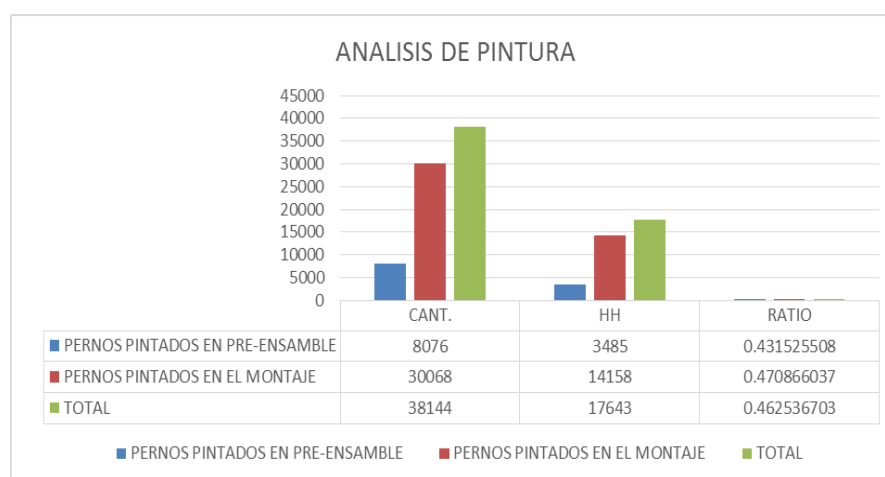


Figura 53. Grafica de análisis de la actividad de pintura en el *rack* BTAG

Fuente: Elaboración propia

3.2.3.4. Montaje de estructura con ignifugado instalado

Otra mejora que se pretende implementar en esta tesis, es el montaje de estructura con ignifugado instalado (ver Figura 54) la cual fue seleccionada según su ubicación dentro de la planta por ser zonas altamente incendiables. Considerar que la estructura que es calificada como ignifugada son pequeñas cantidades respecto al total de estructura. Según el PPI y el procedimiento del proyecto, esta

actividad se realiza después de realizar la actividad de pintura de pernos y resane de pintura en la estructura, es decir el ignifugado de estructuras se inicia con una debida preparación superficial.



Figura 54. Vista de la maqueta virtual de zona ignifugada en estructura

Fuente: Documento del proyecto

3.2.3.5. Montaje de estructura con cobertura instalada

Dentro del alcance del montaje de estructuras, también se tiene estructuras que cuentan con cobertura o cubierta (ver Figura 55), al igual que el ignifugado, son pocas las estructuras que cuentan con este complemento, ya sea para proteger equipos de las lluvias o mantenerlos sobre sombra. Para este caso también se propone instalar la cobertura en la etapa de pre-ensamble y realizar el montaje en un solo izaje junto a la estructura, de la misma forma que los casos anteriores, de esta forma se tendrá un buen ahorro en recursos como: andamios, H-H, equipos en general, horas máquina, entre otros beneficios.

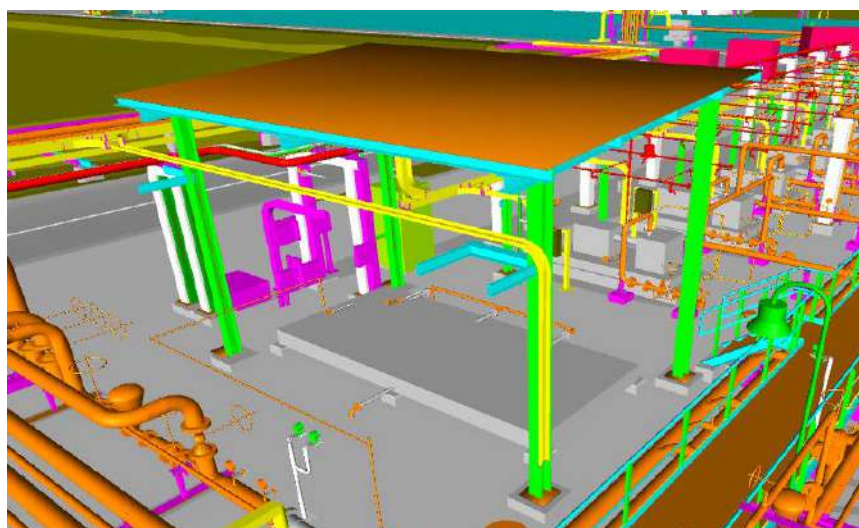


Figura 55. Vista de la maqueta virtual de estructura con cobertura

Fuente: Documento del proyecto

Estas propuestas de mejora son alternativas para optimizar el proceso de montaje de estructura, obteniendo importantes beneficios económicos que nos incline a adoptar estos

métodos propuestos en las mejoras. Sin embargo, se debe verificar la viabilidad de cada una de estas mejoras, teniendo en cuenta que todas las actividades son auditables por el área de control de calidad y aseguramiento. Asimismo, cada punto de inspección cuenta con un protocolo o registro de calidad codificado, el cual queda guardado y debe respetar la trazabilidad de los trabajos; estos registros son documento que se pueden fiscalizar en un futuro por algún inconveniente que se presente.

3.3. Desarrollo de propuestas de mejora

Después de señalar las alternativas de mejora, se esperan grandes beneficios por el hecho de mejorar las condiciones de trabajo, es evidente que se obtendrán ganancias o al menos no se perderá, la cuestión ahora es cuantificar estos recursos y mostrar la cantidad de recursos y beneficios económicos obtenidos al adoptar estas mejoras. Luego mostrar el ahorro obtenido al adoptar las mejoras. Para el desarrollo de estas mejoras se requiere que se tenga en claro los conceptos y las actividades de montaje vistas en el capítulo 2 de esta tesis. En los análisis se va a registrar y cuantificar las Horas máquina de equipos, H-H de personal, andamios y otros recursos que se reducirán por el hecho de modificar algunos factores y arreglos en el montaje. En esta parte se debe mostrar los beneficios que se obtendrían al adoptar estas formas de montaje. Tener en cuenta que esta mejora se inició en el *rack* número 12 denominado *rack* de aguas y casi al inicio del montaje de plataformas *off-site*.

3.3.1. Optimización del montaje de estructura

Para este caso se realizará un análisis teniendo en cuenta los alcances y los *ratios* del montaje de estructura. Se analizará el caso sin realizar la propuesta de mejora y el otro caso considerando la propuesta de mejora. Se iniciará con una muestra y se tomará de referencia para ver los beneficios o perjuicios que puede generar esta mejora.

3.3.1.1. Selección de la muestra y datos esperados

Se tomará como unidad de muestra el *rack* de cogeneración con código BTCG tramos 01 y 02, los cuales cuentan con 1641 perfiles estructurales y 388.596 toneladas. Se tomará registro de los recursos y H-H empleados en el montaje normal sin adoptar la alternativa de mejora para luego realizar un comparativo con la opción adoptando la mejora, de acuerdo a datos históricos registrados para cada actividad.

- **Montaje sin adoptar la alternativa de mejora:** para este caso se verificará el historial de los 11 *racks* montados anteriormente, en caso sea necesario; la idea es aproximar usando la opción 02 que se ejecutará teniendo en cuenta la similitud de las actividades; caso contrario, tomar una muestra similar al *rack* de cogeneración tramos 1 y 2, teniendo en cuenta la cantidad de elementos, el peso de estructura a montar y la cantidad de pernos a pretensar o aplicar torque. En las actividades que se pueda aproximar teniendo en cuenta el segundo caso, se aproximaré para tener datos más reales.

- **Montaje adoptando la alternativa de mejora:** para este segundo caso, se tomará la muestra del *rack* de cogeneración tramos 01 y 02 y se ejecutará el montaje de acuerdo a lo propuesto en la mejora, que es pre-ensamblar alzados compuestos.

Por tanto, primero se necesitará toda la información posible sobre la muestra seleccionada para poder proyectarnos antes de iniciar la actividad.

Según lo expuesto en el capítulo 3.2. Se pueden calcular las horas previstas, considerando los ratios meta del proyecto.

Rack BTCTG tramos 01 y 02 – Pesos (Tabla 23)

Tabla 23. Pesos de la estructura de muestra

Etiquetas de fila	Suma de P. Tot. (Kg)	Cant. De elementos
EXTRA PESADA	222176.96	694
LIGERA	1691.51	174
MEDIA	109062.07	510
PESADA	55666.06	263
PIPERACKS	388596.6	1641

Fuente: Elaboración propia

- H-H según ratios: Con ayuda de la Tabla 17, calculamos las horas estimadas para la muestra seleccionada (Tabla 24).

Tabla 24. Horas estimadas para la actividad de montaje

Nombre de partida de control	Ratios		H-H estimadas	
	Presupuesto Original	Presupuesto Meta	H-H con ratio original	H-H con ratio meta
Montaje Estructura Liviana	69.41	58.4731	117.41	98.91
Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	52.06	43.8548	5677.77	4782.90
Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	30.37	25.582	1690.58	1424.05
Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	26.03	21.9274	5783.27	4871.76
Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	88.29	112.9408	0	0
Colocación de grout m3	450	559.7514	256.50	319.06

Fuente: Elaboración propia

- Peso ponderado por pasos del montaje: Se tiene un total de 388.5966 toneladas según la tabla 20, las cuales se clasifican en estructura liviana, mediana, pesada y extra pesada (Tabla 25)

Tabla 25. Peso ponderado por actividad y por tipo de estructura

	5.00%	10.00%	30.00%	26%	14.40%	9.60%	5.00%
	Transporte (Ton)	Preparación de base	Pre-ensamble	Montaje (Ton)	Pretensado	Alineamiento	QA/QC
EXTRA PESADA	11108.848	22217.696	66653.088	57766.010	31993.482	21328.988	11108.848
LIGERA	84.576	169.151	507.453	439.793	243.577	162.385	84.576
MEDIA	5453.104	10906.207	32718.621	28356.138	15704.938	10469.959	5453.104
PESADA	2783.303	5566.606	16699.818	14473.176	8015.913	5343.942	2783.303

Fuente: Elaboración propia

3.3.1.2. Selección de la muestra y datos esperados

En esta parte, se inicia el estudio de dos opciones, la opción 01, que corresponde al proceso normal de montaje que se desarrolla antes de adoptar la mejora, y la opción 02, la cual corresponde a la opción que adopta la mejora del cambio en el método de pre-ensambles, descrito en el capítulo 3.2.1 de esta tesis.

A continuación se presentan la secuencia de actividades real que se ejecutarán en el montaje de la muestra seleccionada.

Opción 01: Montaje normal del *rack* BTCG-Tramo 01 y 02

- Transporte de estructuras
- Preparación de la base
- Pre-ensamble y ajuste de pernos (sin torque)
- Torque si aplica
- Montaje de pórticos y/o alzados(para la opción 02)
- Montaje de elementos de amarre, vigas, diagonales
- Complementación de pernos (*Snug tight*)
- Torque de pernos pendientes
- Alineamiento final

Por tanto, se realiza la revisión respectiva de los planos, y se realiza un *sketch* de los pre-ensambles en la vista de planta, la opción 01 corresponde al caso de pre-ensambles de pórticos representados en cuadros de color rojo en la figura 56. La opción 02 corresponde a pre-ensambles de pórticos y alzados compuestos; y lo único que cambiará para esta opción respecto a la opción 01, será lo encerrado de color azul de la figura 56, los otros ejes se pre-ensamblarán como pórtico al igual que la opción 01, ya que, no hay alzado compuesto en esos ejes.

La configuración de la opción 02 se va a seguir para ejecutar los pre-ensambles, que se ejecutarán en el patio de almacenamiento. La muestra seleccionada *rack* BTCG tramos 01 y 02, consta de los ejes D al K en la orientación transversal, y los ejes 28 y 29 en la orientación longitudinal, tal como se muestra en las Figuras 56 y 57.

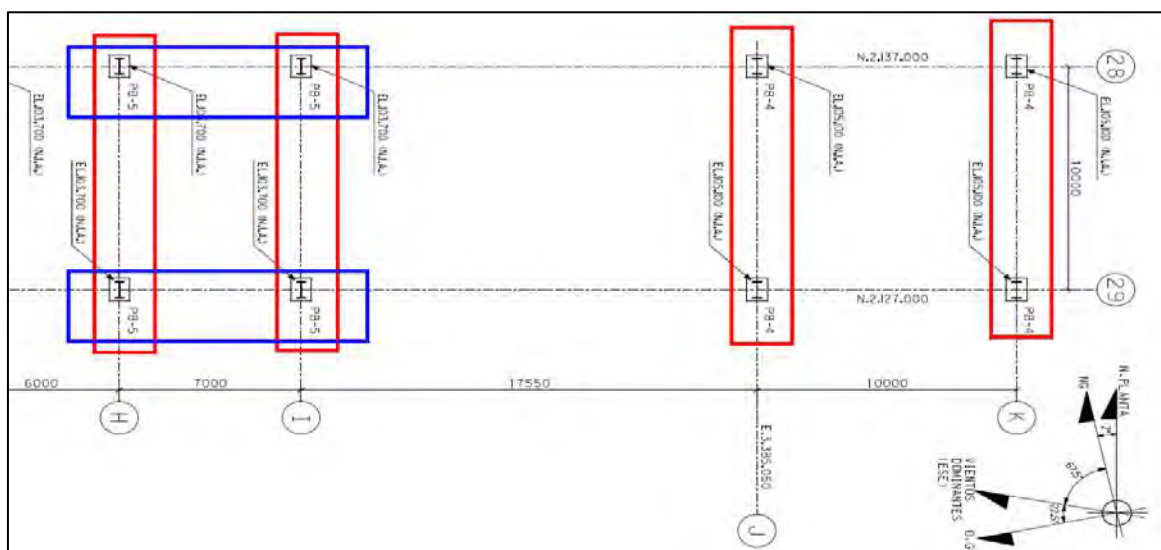


Figura 56. Vista de planta del *rack* BTCG, ejes H al K

Fuente: 02070-INT-CIV-DRW-626 – Plano de ingeniería básica del *rack* cogeneración

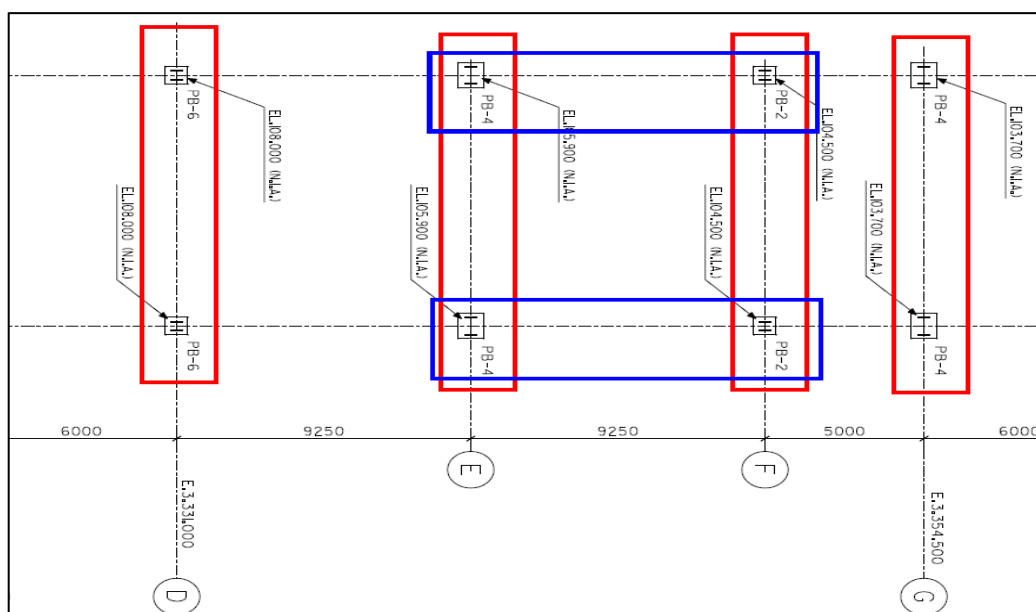


Figura 57. Vista de planta del rack BTCTG, ejes D al G

Fuente: 02070-INT-CIV-DRW-626 – Plano de ingeniería básica del rack cogeneración

Se tienen las actividades involucradas enlistadas, por lo que se realizará un cuadro con las horas consumidas por cada actividad desde el inicio hasta el alineamiento final de la estructura montada.

a) Horas-Hombre en transporte y selección de material

Del patio de entrega hasta el lugar de pre-ensamble se contabilizaron según los reportes y registro de horas, un total de 460 H-H, las cuales incluyen estructura y pernos (Tabla 26).

Tabla 26. H-H del traslado de estructuras de Almacén al patio de trabajo

1.- ACTIVIDAD	Operarios	Días	Equipo	H-H Opción 01	H-H Opción 02
Traslado de estructura	2	20	1 Camión camabaja	400	400
Traslado de pernos	2	06	1 Camión Grua	60	60
TOTAL				460 H-H	460 H-H

Fuente: Elaboración propia

Así también, se contabilizaron las H-H utilizadas en el transporte de pórticos, alzados pre-ensamblados y estructura suelta al punto de trabajo al interior de la refinería para su posterior montaje en su posición final (Tabla 27).

Tabla 27. H-H del traslado de estructuras del patio de trabajo a refinería

1.- ACTIVIDAD	Operarios	Días	Equipo	H-H Opción 01	H-H Opción 02
Traslado de preensambles	2	12	1 Camión camabaja	240	240
Traslado de estructura	2	15	1 Camión plataforma	300	300
Traslado de pernos	2	04	1 Camión Grua	80	80
TOTAL				620 H-H	620 H-H

Fuente: Elaboración propia

b) Horas-Hombre en el pre-ensamble:

Para la actividad de pre-ensamble se registraron las horas de la opción 02; para la opción 01, sólo se aproximó en los pórticos I, H, F y E, con ayuda de las horas registradas en los demás pórticos (K, J, G y D), los cuales tienen características muy similares. Ver Tabla 28.

Tabla 28. Listado de pre-ensambles con H-H empleadas

2.- PRE-ENSAMBLES	Operarios	Op. Equipo	Días	Equipo	H-H Opción 01	H-H Opción 02
Portico K	7	1	3	1 Grúa 120 ton	260	260
Portico J	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	260
Portico-alzado 28-H-I	7	1	5	1 Grúa 120 ton	NA	340
Portico-alzado 29-H-I	5	1	5	1 Grúa 120 ton	NA	340
Portico I	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	NA
Portico H	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	NA
Portico G	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	260
Portico-alzado 28-F-E	5	1	5	1 Grúa 120 ton	NA	340
Portico-alzado 28-F-E	5	1	5	1 Grúa 120 ton	NA	340
Portico F	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	NA
Portico E	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	NA
Portico D	5	1	3	1 Grúa 120 ton	260	260
TOTAL					2080 H-H	2400 H-H

Fuente: Elaboración propia

c) Preparación de la base

La base o cimentaciones de concreto deben verificarse. Se inicia con la inspección de las coordenadas de pernos de anclaje, para luego seguir con la inspección de las elevaciones de la cimentación, dichas inspecciones quedan registradas y aceptadas por la supervisión en un registro de calidad.

Luego de verificar la correcta posición de la cimentación y pernos de anclaje. Se procede a instalar placas de nivelación con *grout* de acuerdo al procedimiento descrito en el capítulo 2. Así también, se verifican las elevaciones topográficamente para dar la conformidad.

Para esta actividad se han consumido las siguientes H-H que se muestran en la Tabla 29:

Tabla 29. Listado de actividades para la preparación de la base

3.- ACTIVIDAD	Topógrafos	Operarios	Días	Equipo	H-H Opción 01	H-H Opción 02
Control topográfico de pernos	2	2	2	1 Estación total	80	80
Escarificado de pedestales	2	6	3	1 Taladro Hilti TE70	240	240
Instalación de laines de nivelación	2	4	3	1 Estación total	180	180
Control topográfico de elevación de laines	2	2	2	1 Estación total	80	80
Realización de protocolos		2	3	1 computadora	60	60
TOTAL					640 H-H	640 H-H

Fuente: Elaboración propia

d) Torque de pernos

Esta actividad consiste en realizar pretensado a pernos que son señalados como pernos pertenecientes al sistema sismo-resistente según los planos. En la Tabla 30 se muestra el resumen del total de pernos a instalar en la muestra del rack BTCTG.

El total de pernos a ser pretensados son los siguientes:

Tabla 30. Cantidad de pernos a pretensar

Diámetro de perno	Suma de CANTIDAD PERNOS
1 1/2"	1164
1 1/4"	1072
1 1/8"	2072
1"	944
7/8"	832
Total general	6084

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, tener en cuenta que esta actividad se realizará en dos etapas, una parte en el pre-ensamble y la otra después de realizar la actividad de montaje. La actividad de torque para la muestra seleccionada se ejecutó con la opción 02, como estaba definido anteriormente.

Por tanto se realizarán dos cuadros, con las opciones 01 y 02 para cuantificar las horas; estos cuadros estarán clasificados por el diámetro de pernos y las cantidades totales realizadas en etapa constructiva: etapa de pre-ensamble y montaje.

Para la opción 01 se calcularon las cantidades de H-H en la tabla 32 con los ratios obtenidos en el pretensado de la muestra del *rack* BTCG adoptando la opción 02. Estos ratios se obtuvieron de ejecutar la opción 02; de la data de las horas para el torque de pernos registradas y las cantidades de pernos clasificados, de acuerdo al diámetro de perno, y se muestran en la columna denominada ratios obtenidos BTCG en la tabla 31.

Tabla 31. Cuadro comparativo de ratios de torque de pernos

RATIOS	DIÁMETRO	RATIOS HISTORICO	RATIOS OBTENIDOS BTCG
PRETENSADO EN EL PREENSAMBLE	5/8"	0.070	
	3/4"	0.080	
	7/8"	0.100	0.099
	1"	0.150	0.208
	1 1/8"	0.250	0.241
	1 1/4"	0.361	0.362
	1 3/8"	0.400	
	1 1/2"	0.450	0.455
PRETENSADO EN EL MONTAJE	5/8"		
	3/4"	0.180	
	7/8"	0.220	
	1"	0.260	
	1 1/8"	0.300	0.301
	1 1/4"	0.400	0.401
	1 3/8"		
	1 1/2"	0.460	0.456

Fuente: Elaboración propia

Los ratios del torque del *rack* BTCG fueron comparados con los ratios históricos obtenidos en la tabla 21 para verificar coherencia. Sin embargo, al no obtener ratios de la muestra BTCG para los diámetros de los pernos con diámetro 7/8''

y 1'' para la etapa de montaje, se utilizaron los ratios históricos obtenidos en la tabla 21, los cuales están resaltados en amarillo en la columna de ratios históricos de la tabla 31.

En la tabla 32, se muestra una columna con la cantidad de horas utilizadas para cada actividad. Se están considerando las actividades de pruebas de tensión, torque y liberación con la supervisión, tener en cuenta que los ratios para la obtención de las H-H fueron obtenidos de los datos de la Tabla 33, y se muestran en la Tabla 31, en la columna ratios obtenidos BTGG. Específicamente se usaron los ratios resaltados en amarillo de la Tabla 31, con los criterios antes descritos.

En la tabla 32 se muestran las H-H aproximadas de la opción 01, que consiste en aplicar torque a los pre-ensambles, que son pórticos utilizando los ratios obtenidos al registrar las H-H con la opción 02 y usando ratios históricos de torque, en caso sea necesario.

Tabla 32. Registro de H-H de la actividad de torque Opción 01

ACTIVIDAD	CANT.	H-H PRUEBAS	H-H TORQUE	H-H LIBERACIÓN
PRETENSADO EN EL PREENSAMBLE	2740			
1 1/2"	1164	10	529.09	9
1 1/4"	624	4	225.78	4
1 1/8"	952	5	229.27	4
PRETENSADO DESPUÉS DEL MONTAJE	3344			
1 1/4"	448	5	179.59	5
1 1/8"	1120	8	337.65	6
1"	944	6	245.44	5
7/8"	832	5	183.04	4
H-H total por actividad	6084	43	1929.87	37
Total general	6084	2009.88 H-H		

Fuente: Elaboración propia

Para la opción 02 tenemos la tabla 33, con la cantidad de pernos que se realizarán torque, en la etapa de pre-ensamble y pernos a pretensar después del montaje. Se ve una gran diferencia en las cantidades de pernos a aplicar torque a nivel de piso o en la etapa de pre-ensamble con respecto a los pernos a pretensar en la opción 01 a nivel de piso, esto se puede comprobar revisando las tablas 32 y 33.

Tabla 33. Registro de H-H de la actividad de torque Opción 02

Etiquetas de fila	CANT	H-H PRUEBAS	H-H TORQUE	H-H LIBERACIÓN
PRETENSADO EN EL PREENSAMBLE	4352			
1 1/2"	440	6	200	6
1 1/4"	608	4	220	5
1 1/8"	1528	7	368	6
1"	944	3	196	3
7/8"	832	3	82	3
PRETENSADO DESPUÉS DEL MONTAJE	1732			
1 1/2"	724	8	330	8
1 1/4"	464	3	186	2
1 1/8"	544	3	164	3
Total general	6084	37	1746	36
Total general	6084	1819 H-H		

Fuente: Elaboración propia

Así también, se deben seleccionar los equipos para realizar la prueba de tensión de pernos, la aplicación de torque y la liberación o comprobación de la aplicación de torque. Tanto la primera, como la última actividad tienen un registro de calidad respectivo.

Los equipos de torque representan un gran costo, por tanto, la actividad es una actividad muy valorada en el montaje de las estructuras, es por eso, que debemos optimizar las horas que se consumen en esta actividad, tanto del personal como de los equipos.

Los equipos específicamente para la actividad de torque utilizados en la estructura *rack* BTCC, tramos 01 y 02, son los mostrados en la Tabla 34, en esta tabla se muestran los equipos para las pruebas de tensión: bombas con manómetros, calibradores de tensión, llaves hidráulicas y torquímetros. Equipos para la aplicación de torque: llaves de torque, torquímetros y bombas con manómetros. También equipos para la liberación de torque: multiplicadores de torque y torquímetros. Para la realización de torque de pernos, también se utilizaron accesorios para los diferentes equipos, los cuales también representan un costo adicional no significativo.

Tabla 34. Registro de equipos de torque utilizados para el *rack* BTCC

NOMBRE DEL EQUIPO	N° SERIE	MARCA	MODELO	RANGO
MANÓMETRO DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA	P-074	TECSIS	5431312284	0 psi a 14000 psi
MANÓMETRO DE DEFORMACIÓN ELÁSTICA	P-077	TECSIS	---	0 a 14 000 psi
CALIBRADOR DE TENSIÓN	1180	SKIDMORE-WILHELM	HS	170000 lbf
CALIBRADOR DE TENSIÓN	12338	SKIDMORE-WILHELM	M	0 a 110000 lb
LLAVE DE TORQUE ELÉCTRICO E HIDRAÚLICO	89385	ATW	5ATW	1000 - 10 000 psi
LLAVE DE TORQUE HIDRAÚLICO	A3-EA-1007-100	HYTORC	AVANTI 3	1000 - 10 000 psi
LLAVE DE TORQUE HIDRAULICO	A8TR1127-046	HYTORC	AVANTI8	1000 - 10 000 psi
TORQUIMETRO	0516600283	CDI	10005MFRMH	200 A 1000 Lb.pie
TORQUIMETRO	1113600268	CDI	10005MFRMH	200 A 1000 Lb.pie
MANOMETRO DE DEFORMACION ELASTICA	P-075	TECSIS	---	0 a 700 BAR
TORQUIMETRO	16051021	ARMSTRONG	64-086	25 ft.Lb a 250 ft.Lb
TORQUIMETRO	0316029353	WRIGHT TOOL	4478	30 ft.Lb a 250 ft.Lb
MANOMETRO DE DEFORMACION ELASTICA	P-076	TECSIS	---	0-700 BAR
MULTIPLICADOR DE TORQUE	17316012	ARMSTRONG	R64836	3200 FT.LB
MULTIPLICADOR DE TORQUE	28116004	WRIGHT TOOL	9S3954B	5000 FT.LB / 6780Nm
BOMBA HIDRAÚLICA	86241	WREN	LP3-2	700 bar / 10 000 psi
BOMBA HIDRAÚLICA	536350	HYTORCC	HY-220	700 bar / 10000 psi

Fuente: Elaboración propia

e) Montaje de pórticos

Para el montaje de pórticos de la muestra seleccionada, igualmente se registraron las H-H ejecutando la opción 02 (Tabla 35). Para los pórticos H, I, E y F de la opción 01, se estimaron las horas de acuerdo a lo registrado para los pórticos, D, G, J y K de la opción 02, ya que son muy similares, esta estimación se realizó de acuerdo al criterio presentado en el apartado b. de este capítulo.

Tabla 35. Registro de H-H de la actividad montaje de pórticos y pre-ensambles

2.- PRE-ENSAMBLES	Peso (ton)	Días	Equipo	H-H Opción 01	H-H Opción 02
Pórtico K	28.52076	1	1 Grúa 220 ton	100	100
Pórtico J	29.65346	1	1 Grúa 220 ton	100	100
Pórtico-alzado 28-H-I	38.41824	1	1 Grúa 220 ton	NA	100
Pórtico-alzado 29-H-I	39.25764	1	1 Grúa 220 ton	NA	100
Pórtico I	30.59918	1	1 Grúa 220 ton	100	NA
Pórtico H	24.09858	1	1 Grúa 220 ton	100	NA
Pórtico G	24.73015	1	1 Grúa 220 ton	100	100
Pórtico-alzado 28-F-E	33.36755	1	1 Grúa 220 ton	NA	100
Pórtico-alzado 28-F-E	35.77777	1	1 Grúa 220 ton	NA	100
Pórtico F	23.46175	1	1 Grúa 220 ton	100	NA
Pórtico E	24.72366	1	1 Grúa 220 ton	100	NA
Pórtico D	17.9198	1	1 Grúa 220 ton	100	100
TOTAL				800 H-H	800 H-H

Fuente: Elaboración propia

Las horas de la tabla 35 fueron recopiladas a partir de los partes diarios y tareas, por tanto son las horas reales que se encuentran en la base de datos manejada por el área de control de proyectos.

f) Montaje de elementos de amarre y apriete manual de pernos

Para la actividad de montaje de elementos de amarre, es decir perfiles estructurales que funcionan como vigas, diagonales, puntales, planchas, ángulos, etc, se utilizaron una cantidad de horas que fue registrada en los reportes diarios y tareas. En esta etapa de montaje se realiza la actividad para complementar el *rack* de estructura después del montaje de pórticos; es decir, para montar las partes no resaltadas en las Figuras 45 y 47 que complementan a los pórticos o alzados compuestos para completar el *rack*.

Tener en cuenta que esta actividad se realiza junto a la actividad de montaje de pórticos o alzados compuestos, ya que, después de montarse los pórticos secuencialmente, se procede con la instalación de los elementos de amarre. Para agilizar la actividad, se inicia, con el montaje de los mínimos elementos entre pórticos que permitan rigidizar y fijar los pórticos y que no se inclinen hacia los costados; luego se culminará con el montaje de los demás elementos.

En el caso del primer pórtico, este se fija con mayor seguridad con maniobras y eslingas apoyadas en puntos fijos, similar a las retenidas en los postes de energía eléctrica. Luego, al montarse el siguiente pórtico se fija de forma similar con eslingas y maniobras para poder instalar los elementos de amarre o elementos que se encuentran entre pórticos, una vez instalados estos elementos se retiran las maniobras y la estructura queda fijada.

Para esta parte se realizó un cuadro separando la estructura entre pórticos continuos, para la elaboración de este cuadro se revisaron previamente los planos de montaje, y se seleccionó la estructura involucrada entre dos ejes (Tabla 36) para la contabilización de horas. Para mayor detalle se presentarán las vistas de alzado del *rack*, de un lado lateral y se señalará sombreando las partes con amarillo los pórticos y alzados pre-ensamblados y dejando sin resaltar las partes a montar (ver Figura 58), se debe entender que la estructura comprendida entre los ejes E-F y H-I se encuentra en medio de los dos alzados laterales del *rack*.

Asimismo tener presente que el isométrico del *rack* es muy parecido a lo mostrado en las Figuras 45 y 47.

Tabla 36. Descripción de la estructura comprendida entre dos ejes.

EJES	DESCRIPCIÓN
D-D' / MEDIO	ESTRUCTURA VOLADIZA DEL EJE D
E-D / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE EJES D-E
F-E / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE LOS EJES E-F, INCLUYE PORTICOS E y F
G-F / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE LOS EJES F-G
H-G / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE LOS EJES G-H
I-H / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE LOS EJES H-I, INCLUYE PORTICOS H y I
J-I / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE LOS EJES I-J
K-J / MEDIO	ESTRUCTURA COMPRENDIDA ENTRE LOS EJES J - K

Fuente: Elaboración propia

Por tanto se realizará un cuadro con el registro de H-H consumidas al montar la estructura adoptando la opción 02, las cuales deben estar clasificadas por el tipo de estructura y con esta información se podrá aproximar las horas que se utilizarían si se hubiera ejecutado con la opción 01.

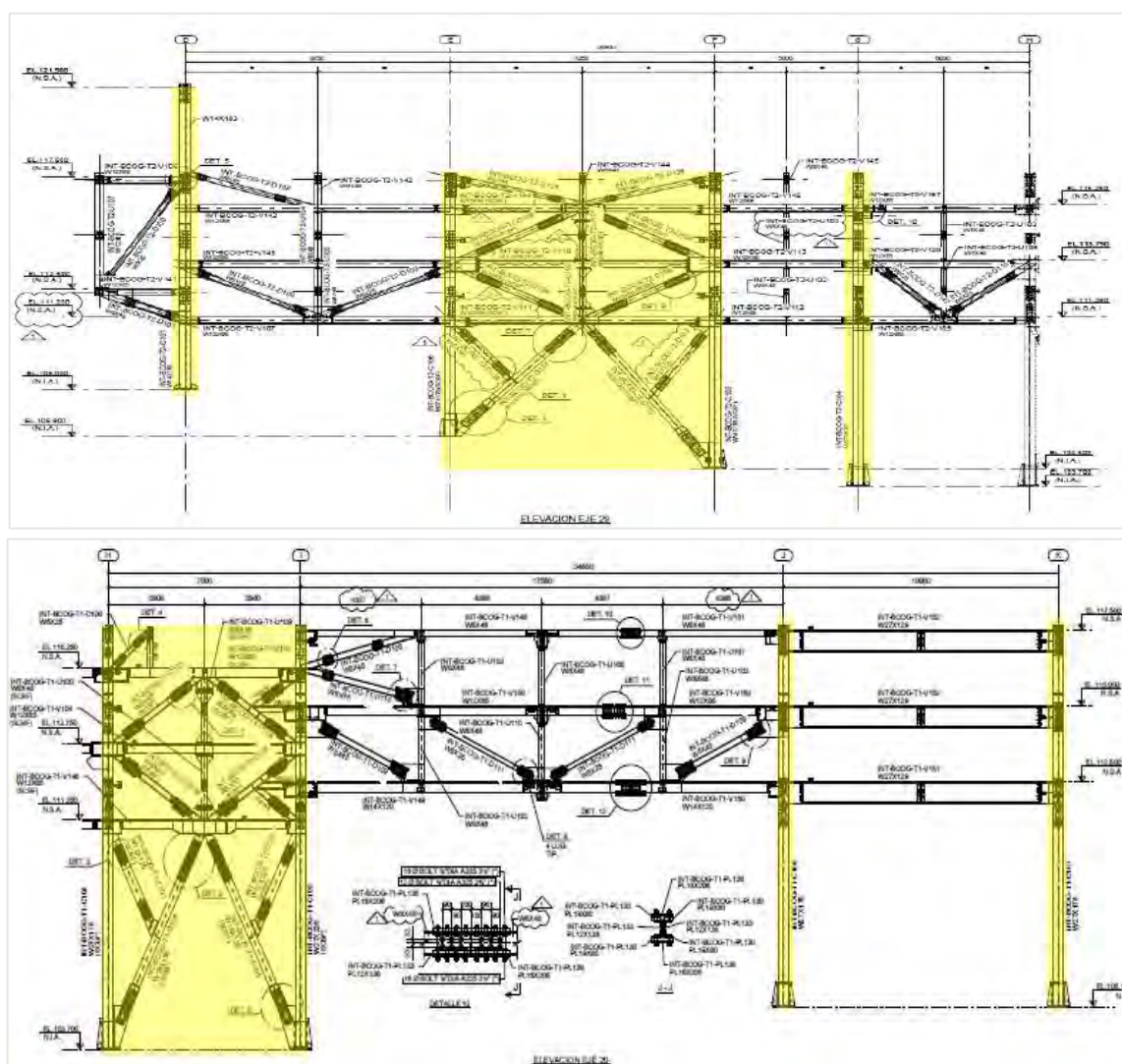


Figura 58. Vista de alzado del *rack* BT-CG, tramos 01 y 02, ejes D-K

Fuente: 020701401-INT-BCOG-T1-M002 // 020701401-INT-BCOG-T2-M003 – Planos de montaje, documentos del proyecto.

Por tanto se revisó la base de datos, es decir, el metrado de elementos estructurales comprendidos para la muestra seleccionada del *rack* BTCG tramos 01 y 02, junto con los planos para clasificar cada elemento según los ejes clasificados en la tabla 36. Se obtuvieron las siguientes tablas resumen para las clasificaciones de cada opción (Tabla 37 y 38).

Tabla 37. Suma de pesos (Kg) de la clasificación de ejes - opción 01

Etiquetas de fila	EXTRA PESADA	PESADA	MEDIA	LIGERA	Total general
D / 28 - 29 PÓRTICO	10317.4	7602.4			17919.8
E / 28-29 PÓRTICO	19999.16	4724.5			24723.66
F / 28-29 PÓRTICO	16780.25	6681.5			23461.75
G/ 28- 29 PÓRTICO	19811.55	4918.6			24730.15
H / 28-29 PÓRTICO	24098.58	66.04			24164.62
I / 28-29 PÓRTICO	30599.18	66.6			30665.78
J / 28 - 29 PÓRTICO	22844.56	6808.9			29653.46
K / 28 - 29 PÓRTICO	21604.76	6916			28520.76
D-D'/MEDIO	226.94		7355.16	62.88	7644.98
D-E / MEDIO		173.28	14189.41	377.28	14739.97
E - F / MEDIO	29127.64	5486.72	21996.38		56610.74
F-G / MEDIO			8126.1		8126.1
G-H/ MEDIO	255	1178.81	7232.77	363.91	9030.49
H - I / MEDIO	37658.9	3014.73	20710.34	319.44	61703.41
J - K / MEDIO	10632.2	3936.5	9471.72		24040.42
I - J / MEDIO	17354.9	7178.68	26525.11	568	51626.69
Total general	261311.02	58753.26	115606.99	1691.51	437362.78

Fuente: Elaboración propia

Tabla 38. Suma de pesos (Kg) de la clasificación de ejes - opción 02

Etiquetas de fila	EXTRA PESADA	PESADA	MEDIA	LIGERA	Total general
D / 28 - 29 PÓRTICO	17919.8				17919.8
E-F /28 ALZADO COMPUESTO	29410.51	3770.64	186.4		33367.55
E-F /29 ALZADO COMPUESTO	29605.63	5528.46	643.68		35777.77
G/ 28- 29 PÓRTICO	24730.15				24730.15
H - I / 28 ALZADO COMPUESTO	34465.06	3221.68	731.5		38418.24
H - I / 29 ALZADO COMPUESTO	35217.42	3221.68	818.54		39257.64
J / 28 - 29 PÓRTICO	29653.46				29653.46
K / 28 - 29 PÓRTICO	28520.76				28520.76
D-D'/MEDIO	226.94	2579.64	4775.52	62.88	7644.98
D-E / MEDIO		6314.42	8048.27	377.28	14739.97
E-F / MEDIO	25874.51		9776.32		35650.83
F-G / MEDIO		2871.14	5254.96		8126.1
G-H/ MEDIO	255	5336.53	3180.25	258.71	9030.49
H - I / MEDIO	32357.34	1856.01	4430.24	214.34	38857.93
I-J/ MEDIO	17354.9	16113.89	17589.9	568	51626.69
J - K / MEDIO	10632.2	3936.5	9471.72		24040.42
Total general	316223.68	54750.59	64907.3	1481.21	437362.78

Fuente: Elaboración propia

De las tabla resumen obtenidas se puede deducir que la cantidad de estructura pre-ensamblada (pórticos y alzados compuestos) en el patio de pre-ensambles

para la opción 02 es superior a la cantidad de estructura pre-ensamblada (sólo pórticos) en toneladas que la opción 01.; ver Tablas 39 y 40. Así también se considera que el montaje directo corresponde al montaje de elementos estructurales montados en el punto final.

Tabla 39. Pesos en kilogramos según los métodos de montaje para la opción 1

OPCIONES	METODO	EXTRA PESADA	LIGERA	MEDIA	PESADA	TOTAL
OPCIÓN 01	PRE-ENSAMBLE	166055.44	0	0	37784.54	203839.98
	MONTAJE DIRECTO	95255.58	1691.51	115606.99	20968.72	233522.80

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40. Pesos en kilogramos según los métodos de montaje para la opción 2

OPCIONES	METODO	EXTRA PESADA	LIGERA	MEDIA	PESADA	TOTAL
OPCIÓN 02	PRE-ENSAMBLE	229522.79	0	2380.12	15742.46	247645.37
	MONTAJE DIRECTO	86700.89	1481.21	62527.18	39008.13	189717.41

Fuente: Elaboración propia

Luego de tener las cantidades de kilogramos, y por tanto toneladas de estructura de la opción 02, la opción real; se clasificaron las H-H utilizadas según el tipo de estructura para el montaje directo. Se realiza una tabla para obtener los ratios de montaje directo de la estructura clasificada (Tabla 41), estos ratios obtenidos serán de la estructura del medio de entre dos ejes, que complementa los pórticos o alzados, y se montarán de forma directa al *rack*, en algunos casos y por la facilidad de las maniobras se hicieron pequeños pre-ensambles de 4 piezas en promedio, para facilitar el montaje.

Tabla 41. Ratios obtenidos del montaje directo de estructura en el *rack* BTCH opción 02

Descripción	EXTRA PESADA	PESADA	MEDIA	LIGERA	Total general
Estructura (ton)	86.70089	39.00813	62.5272	1.48121	189.71741
H-H registradas	1019	546	1511	51	3127
Ratios de montaje (H-H/ton)	11.75305121	13.99708	24.1655	34.4313	16.48

Fuente: Elaboración propia

Si se visualizan estos ratios y se comparan con los ratios descritos en la Tabla 17, del capítulo 3.1.2. Se verá una gran diferencia respecto a los ratios obtenidos en la tabla 41. Sin embargo, no olvidar que los ratios de la Tabla 17 son ratios ponderados, es decir son ratios considerando todo lo que concierne a la actividad de estructura.

Para estimar las cantidades de H-H para la opción 01 de montaje se usarán los ratios obtenidos en la tabla 41 que adoptó la opción 02.

De acuerdo a lo presentado en la Tabla 19, los ratios obtenidos en la Tabla 41 son los ratios que comprenden al 56% de la actividad general, puesto que en este apartado se está realizando la actividad de pre-ensamble (preparación de material y pequeños pre-ensambles) y montajes de la estructura que no se encuentra dentro de los pórticos o alzados compuestos. Por tanto si se quisiera aproximar el ratio general real, se podría deducir de la siguiente expresión:

$$HH_{pre-ensamble-montaje} = [30\% (Preens) + 26\% (Mont)] * HH_{total} \dots (2)$$

$$HH_{pre-ensamble-montaje} = [56\%] * HH_{total} \dots (3)$$

$$HH = ratio \left(\frac{HH}{ton} \right) * Peso \text{ real} (ton) \dots (4)$$

De las ecuaciones 02 y 04, se puede expresar lo siguiente:

$$ratio_{pre-ensamble-montaje} * Peso \text{ tot} = [56\%] * ratio_{total} * Peso \text{ tot} \dots (5)$$

$$ratio_{pre-ensamble-montaje} = [56\%] * ratio_{total} \dots (6)$$

Por tanto el ratio total estimado con esta actividad se aproxima con la expresión:

$$ratio_{total} = ratio_{pre-ensamble-montaje} \div 56\% \dots (7)$$

Después de haber entendido la obtención de los ratios de la Tabla 41 y las diferencias con los ratios generales de la Tabla 17, podemos deducir las horas que se obtendrían al ejecutar el montaje de la estructura de amarre o complementaria de la opción 01.

Al tener mucha similitud la opción 01 y 02 como se muestra en la estructura de amarre o estructura de complemento en las Tablas 37 y 38, sólo se estimó con la ayuda de la tabla 41, las horas para la estructura en los ejes E-F MEDIO y H-I/MEDIO resaltado en amarillo en la Tabla 42.

Tabla 42. H-H en montaje de *rack* BTCG, de la opción 01

Etiquetas de fila	EXTRA PESADA	PESADA	MEDIA	LIGERA	Total general
D-D'/MEDIO	4	40	120	2	166
D-E / MEDIO	0	90	195	15	300
E - F / MEDIO	431.4	130.2	256.3	0	817.9
F-G / MEDIO	0	42	128	0	170
G-H/ MEDIO	4	76	80	9	169
H - I / MEDIO	556.4	116.2	144.5	7.4	824.5
J - K / MEDIO	200	220	420	18	858
I - J / MEDIO	125	51	225	0	401
Total general	1320.8	765.4	1568.8	51.4	3706.4

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 43 se muestran las H-H reales para la opción 02 de montaje.

Tabla 43. H-H en montaje de *rack* BTCG, de la opción 02

Etiquetas de fila	EXTRA PESADA	PESADA	MEDIA	LIGERA	Total general
D-D'/MEDIO	4	40	120	2	166
D-E / MEDIO	0	90	195	15	300
E-F / MEDIO	305	0	236	0	541
F-G / MEDIO	0	42	128	0	170
G-H/ MEDIO	4	76	80	9	169
H - I / MEDIO	381	27	107	7	522
I-J/ MEDIO	200	220	420	18	858
J - K / MEDIO	125	51	225	0	401
Total general	1019	546	1511	51	3127

Fuente: Elaboración propia

Asimismo se utilizaron los siguientes recursos comunes para las dos opciones que facilitaron la actividad, estos recursos son:

- Grúa 220 ton (1und)
- *Manlift* de 120 pies (1und)
- Camión grúa (1und)
- Camión baranda (1und)
- Telehandler (1und)
- Andamios (4923.75m³)²⁸
- Maniobras de grúa
- Herramientas en general

De todos los recursos mencionados anteriormente, los andamios resultaron un gasto crítico, pero la cantidad en metros cúbicos para ambas opciones sería la misma, debido a que los andamios son utilizados por todas las disciplinas.

g) Alineamiento final

En este paso se verifica el apriete manual de pernos y se verifica topográficamente la posición final de la estructura. Por tanto se verifica verticalidad de todas las columnas del *rack* y las elevaciones de todos los niveles del *rack*, por donde pasará la tubería. Para mayor detalle y explicación sobre esta actividad, se puede revisar el capítulo 2.2.5 de esta tesis. En la Tabla 44 se muestra la cantidad de horas hombre que se requieren para el alineamiento final para la opción 1 y 2

Tabla 44. H-H para el alineamiento final

ACTIVIDAD	Topógrafos	Operarios	Días	Equipo	H-H Opción 01	H-H Opción 02
Control topográfico de elevaciones	2	2	2.5	1 Estación total	100	100
Control de verticalidad de columnas	2	3	2	1 nivel de precisión	100	100
Personal montajista de apoyo para ajustes necesarios		5	3	1 Kit de herramientas	150	150
Realización de protocolos		2	4	1 computador a	80	80
TOTAL					430 H-H	430 H-H

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Desarrollo en la mejora de detección de interferencias e incompatibilidades

En este nuevo capítulo se describirán los errores comunes que aparecieron durante el proceso constructivo; se indicarán los re-trabajos o acciones correctivas a aplicar,

²⁸ Metrado de andamios, se considera el volumen valorizado por la subcontratista de andamios, y es el volumen calculado a lo largo del *rack* BTCG – Tramos 01 y 02, por los dos lados laterales con un ancho de 3m.

sobre todo lo que significó cada error en la etapa de montaje, como se solucionó y los detalles para su reparación. De los errores más importantes, tenemos los siguientes casos:

- Interferencia de equipo con plataforma de estructura.
- Posición de pernos de anclaje en cimentaciones.
- Interferencia de posición de viga con soporte de tubería.

3.3.2.1. Interferencia de equipo con plataforma de estructura.

En esta parte se revisará el caso de un equipo al que se le aplicó aislamiento por condiciones de diseño y funcionamiento, este equipo va en medio de una plataforma *off-site*, cuya posición indicada en planos civiles y de montaje indicaban una determinada orientación y elevación; sin embargo, presentaba una interferencia (ver Figura 59). Resulta que el equipo se montó de acuerdo a planos; también, se realizó el vaciado del mortero de nivelación, se aplicó el aislamiento indicado por el proyecto y finalmente se liberó. Junto al equipo también se montó una plataforma de estructura para el futuro mantenimiento del equipo. Sin embargo, el espesor del aislamiento del equipo no permitía que la plataforma pre-ensamblada se pueda estabilizar correctamente sobre los pernos de anclaje ubicados en las cimentaciones.



Figura 59. Interferencia de equipo con plataforma de estructura

Fuente: Elaboración propia

Para la solución de este inconveniente se presentó una consulta al área de ingeniería mediante el documento: STQ-GYM-CIV-25410-0893, en este documento se expuso la descripción del conflicto y se proponen acciones correctivas para solucionar el inconveniente tal como se muestra en la Figura 60 y 61.

	PROYECTO MODERNIZACION REFINERIA TALARA		
	SITE TECHNICAL QUERY		
CONSULTA DE OBRA (Site Technical Query)			
NOMBRE DEL SUBCONTRATISTA: GYM S.A.		Subcontratista No. 02070-25410	Fecha emisión 22/03/2018
UNIDAD: RCO - OESTE		LOCALIZACIÓN: REFINERIA DE TALARA	ORIGINADOR: OFICINA TÉCNICA
CÓDIGO STQ-GYM-CIV-25410-0893		DISCIPLINA: CIVIL	
ASUNTO: INTERFERENCIA ENTRE VIGA DE PLATAFORMA CON OREJA DE IZAJE Y AISLAMIENTO TÉRMICO DEL EQUIPO DEL RCO-D-002			
REFERENCIA ESPECIFICACIÓN/ DOCUMENTO/PLANO: 02070-RCO-CIV-DRW-555; V-020700352-H087-RCO-D-002-0003-H; STQ-GYM-CIV-25410-0277.			
CUESTIÓN / DESCRIPCIÓN DEL CONFLICTO: DURANTE LA INSTALACIÓN DE LA PLATAFORMA DEL RCO-D-002 SE OBSERVÓ LA INTERFERENCIA DE LA VIGA 112VX024 CON LA OREJA DE IZAJE Y LOS 80 MM. DE AISLAMIENTO TÉRMICO DEL EQUIPO. ASIMISMO, SE VERIFICÓ QUE EL CORTE DE LA OREJA DE IZAJE, NO BRINDA LA DISTANCIA NECESARIA PARA COLOCAR LA PLATAFORMA EN LOS NIVELES DE PROYECTO.			
ACCIONES CORRECTIVAS RECOMENDADAS (por el originador): SE PROPONE A TÉCNICAS REUNIDAS LO SIGUIENTE: 1. CAMBIAR EL N.I.P.B. DE 104.400 A 104.430 A FIN DE OBTENER UN DISTANCIA DE APROX. 5 MM ENTRE LA OREJA DE IZAJE Y LA VIGA 112VX024 (VERIFICADO EN CAMPO). 2. EL PUNTO ANTERIOR CONLLEVA A DISMINUIR LA LONGITUD ÚTIL DEL PERNO DE ANCLAJE, POR LO QUE SE DEBERÁ INSTALAR UNA SOLA TUERCA Y COLOCAR UNA ARANDELA DE PRESIÓN EN CADA PERNO DE ANCLAJE EN REEMPLAZO DE LA CONTRATUERCA (VER DETALLE N° 01).			
SE ADJUNTAN SKETCHES (SI o NO): SI		CÓDIGO DE LOS SKETCHES ADJUNTADOS:	OTRA DOCUMENTACIÓN ADJUNTA:
FECHA DE RESPUESTA REQUERIDA: 25/03/2018			
ORIGINADOR: JORGE TRELLES		REQUIERE APROBACIÓN DE: DODGALY UZCÁTEGUI	
PUESTO: ING. OFICINA TÉCNICA		PUESTO: JEFE OFICINA TÉCNICA	
FECHA: 22/03/2018		FECHA: 22/03/2018	
FIRMA: _____		FIRMA: _____	

Figura 60. Descripción y propuesta de acciones correctivas presentados en la STQ.

Fuente: STQ-GYM-CIV-25410-0893, Documento del proyecto.

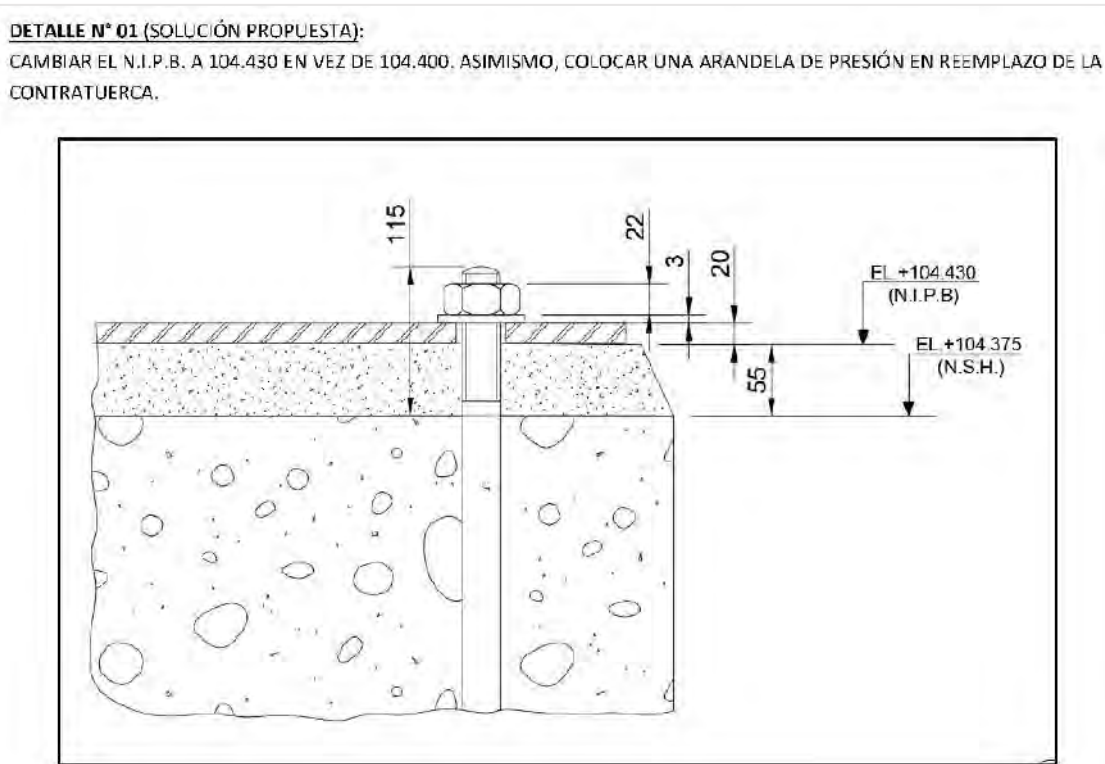


Figura 61. Detalle 01, Complemento de la figura 60

Fuente: STQ-GYM-CIV-25410-0893, Documento del proyecto

La propuesta presentada para solucionar el conflicto en la consulta fue aceptada por la supervisión. Por tanto, se puede proceder con las acciones correctivas requeridas para reparar el error. Estas acciones correctivas no están

contempladas dentro de las actividades contractuales por lo que se requerirá de un servicio adicional para reparar el error.

En la tabla 45, se mostrarán los recursos y actividades necesarias para la solución del inconveniente presentado, además se estimarán las horas utilizadas de acuerdo a los ratios originales.

Tabla 45. Recursos para reparación de Interferencia de equipo con plataforma de estructura

Item	Descripción	UM	QTY	H-H/Kg	Total H-H
1	Suministro y aplicación de mortero de cemento sin retracción para relleno en bases de equipos, cajetines, manguitos y placas de apoyo. (Diferencia debido al aumento del N.I.P.B.)	m3	0.0723	350.9173	25.37132079
2	Desmontaje de plataforma pre-ensamblada RCO-D-002				
2.1	MEDIA: perfiles de peso (>25-:≤100) kg/m y chapas de espesor (>5-:≤10) mm	kg	4708.4	0.052059197	245.1155229
2.2	LIGERA: perfiles de peso ≤25 kg/m y chapas de espesor ≤5 mm	kg	1440.6	0.069412263	99.99530549
2.3	Barandillas-Formas rectas	kg	497.6	0.086765328	43.17442733
2.4	Cualquier dimensión y estandar	kg	219.9	0.095441861	20.98766525
2.5	Plataformas rectas	kg	782.7	0.069412263	54.32897793
3	Montaje de plataforma pre-ensamblada completa RCO-D-002				
3.1	MEDIA: perfiles de peso (>25-:≤100) kg/m y chapas de espesor (>5-:≤10) mm	kg	4708.4	0.052059197	245.1155229
3.2	LIGERA: perfiles de peso ≤25 kg/m y chapas de espesor ≤5 mm	kg	1440.6	0.069412263	99.99530549
3.3	Barandillas-Formas rectas	kg	497.6	0.086765328	43.17442733
3.4	Cualquier dimensión y estandar	kg	219.9	0.095441861	20.98766525
3.5	Plataformas rectas	kg	782.7	0.069412263	54.32897793
TOTAL					952.58

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las horas para las actividades descritas, se emplearon los ratios del presupuesto original descritos en la Tabla 17, ya que son los ratios que fueron presentados al cliente y serán consignados para el costo de este trabajo adicional.

Del conflicto presentado se puede deducir que el error presentado fue un error de diseño, ya que no se contempló el espesor del aislamiento para conservar las distancias mínimas de separación entre el equipo y la plataforma de estructura.

3.3.2.2. Posición de pernos de anclaje en cimentaciones

Este conflicto se presentó en el proceso de montaje de estructuras, en el rack del Muelle 01 (MU1), un error de compatibilidad entre los planos de cimentaciones (Planos civiles) y planos de estructura (Planos de montaje). La

desviación de este diseño fue reportado mediante un Reporte de Inspección de campo (RIC-881), en la Figura 62 se muestra dicho documento.

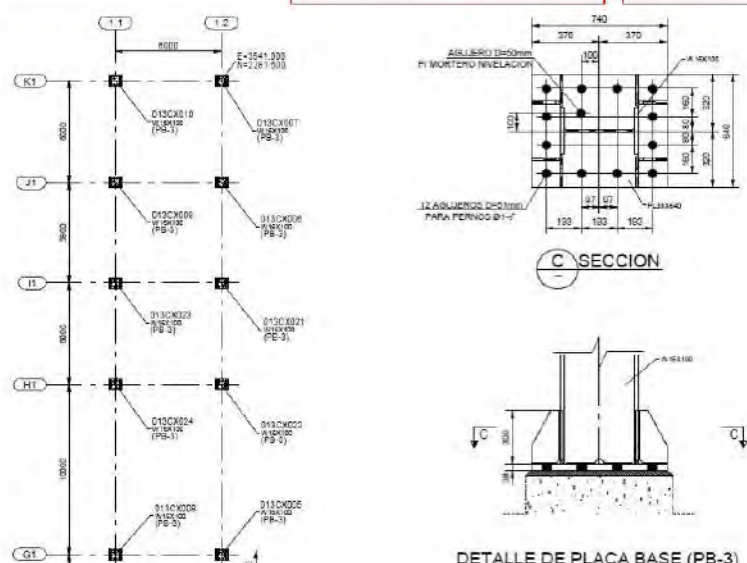
	REGISTRO		GyM.SGC.PC.1844.5100-F7
	CONTROL DE CALIDAD		Revisión: 0
	REGISTRO DE INSPECCIÓN DE CAMPO		Fecha: 01/05/2016 Página: 1 de 1
CÓDIGO Y NOMBRE DEL PROYECTO: 02070-25410_PAQUETE ELECTRO-MECANICO INTERCONEXIONES Y OFFSITES			Nº CORRELATIVO: 0881
CLIENTE: TÉCNICAS REUNIDAS DE TALARA SAC			FECHA: 20/06/2017
UBICACIÓN: REFINERIA - RACK MU1A		ÁREA: 3	TAG Nº: -----
SISTEMA/TEST PACK: -----		PLANO REF.: MU1A-G02 Rev. 0	
DESCRIPCIÓN: MU1A - Eje 1.1-1.2 / G1@K1, Error en posición de Placas Bases de Columnas (ESMETAL)			
OBSERVACIONES: -Se observa un error de posición en las placas bases de las columnas 013CX005@013CX010, 013CX021@013CX024 las cuales poseen la distribución de los pernos de anclaje en sentido contrario al necesario para la orientación adecuada de las columnas, esto no permite la instalación de las columnas.			
			
Distribución de los pernos de anclaje para placas base PB13		Distancia entre agujeros para pernos de anclaje de 193mm, sentido contrario al necesario	
			
		Distancia entre agujeros para pernos de anclaje de 160mm, sentido contrario al requerido	
			

Figura 62. Reporte de inspección de campo, error de posición de placas base

Fuente: RIC-881, Documento del proyecto

Tal como indica el reporte de inspección, la distribución de pernos de anclaje en la cimentación no coincide con la distribución de agujeros en la columna. Para determinar la causa raíz del inconveniente, requerimos revisar los planos civiles y los de montaje de estructura. Para la resolución de este inconveniente también se realizó la consulta al área de ingeniería mediante el documento: STQ-GYM-CIV-25410-0225, en el cual se solicita a la supervisión indicar como proceder ante esta desviación, tal como se muestra en la Figura 63.

	PROYECTO MODERNIZACION REFINERIA TALARA		
	SITE TECHNICAL QUERY		
CONSULTA DE OBRA (Site Technical Query)			
NOMBRE DEL SUBCONTRATISTA: GYM S.A.		Subcontratista No. 02070-25410	Fecha emisión 21/06/2017
UNIDAD: INT		LOCALIZACIÓN: REFINERIA DE TALARA	CÓDIGO: STQ-GYM-CIV-25410-0225
ORIGINADOR: OFICINA TÉCNICA		DISCIPLINA: CIVIL	
ASUNTO: INCOMPATIBILIDAD ENTRE LA DISTRIBUCIÓN DE ORIFICIOS DE LA PLACA PB-3 Y LA DISTRIBUCIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE EN PEDESTAL PD-3 EN BANDEJA DE TUBERÍA MU1.			
REFERENCIA ESPECIFICACIÓN/ DOCUMENTO/PLANO: PMO-34INT-BANDEJA-MU1(MU1A)_0; 02070-INT-CIV-DRW-613_3; 02070-INT-CIV-DRW-628_2			
CUESTIÓN / DESCRIPCIÓN DEL CONFLICTO: LA DISTRIBUCIÓN DE ORIFICIOS DE LAS PLACAS BASE TIPO PB-3 DE LAS COLUMNAS 013CX005@013CX010 Y 013CX021@013CX024 NO SON COMPATIBLES CON LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PERNOS DE ANCLAJE DE LOS PEDESTALES TIPO P-3 UBICADOS ENTRE LOS EJES 1.1-1.2/K1-G1 DONDE SE DEBEN INSTALAR LAS COLUMNAS MENCIONADAS. LAS DISTRIBUCIÓN DE ORIFICIOS DE LA PLACA BASE PB-3 ESTÁ 90 GRADOS INVERTIDO RESPECTO A LA DISTRIBUCIÓN DE LOS PERNOS DE ANCLAJES DEL PEDESTAL P-3.			
ACCIONES CORRECTIVAS RECOMENDADAS (por el originador) SE SOLICITA A TÉCNICAS REUNIDAS INDICAR COMO PROCEDER CON EL FIN DE CONTINUAR CON LOS TRABAJOS.			
SE ADJUNTAN SKETCHES (SI o NO): NO		CÓDIGO DE LOS SKETCHES ADJUNTADOS: OTRA DOCUMENTACIÓN ADJUNTA: REPORTE DE INSPECCIÓN DE CAMPO N° 0881	
FECHA DE RESPUESTA REQUERIDA: 23/06/2017			
ORIGINADOR: JORGE ZAVALA		REQUIERE APROBACIÓN DE: DODGALY UZCÁTEGUI	
PUESTO: ING. OFICINA TÉCNICA		PUESTO: JEFE OFICINA TÉCNICA	
FECHA: 21/06/2017		FECHA: 21/06/2017	
FIRMA: _____		FIRMA: _____	

Figura 63. Consulta a ingeniería por incompatibilidad de planos

Fuente: STQ-GYM-CIV-25410-0225 Documento del proyecto

Se revisaron los planos civiles, planos de ingeniería básica y planos de montaje mostrados en las figuras 64 y 65 para verificar la posición de pernos de anclaje y orificios en la estructura para adjuntarlos a la consulta de ingeniería realizada.

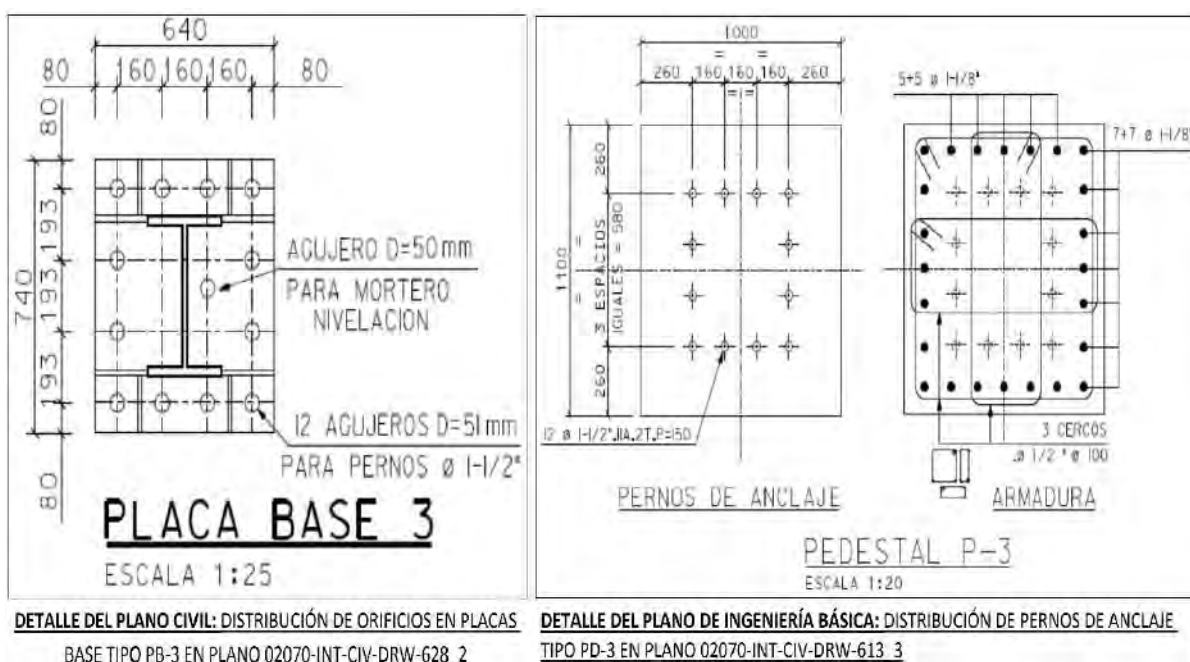


Figura 64. Plano civil y de ingeniería básica de pernos de anclaje en cimentaciones

Fuente: Planos: 02070-INT-CIV-DRW-628_2, 02070-INT-CIV-DRW-613_3

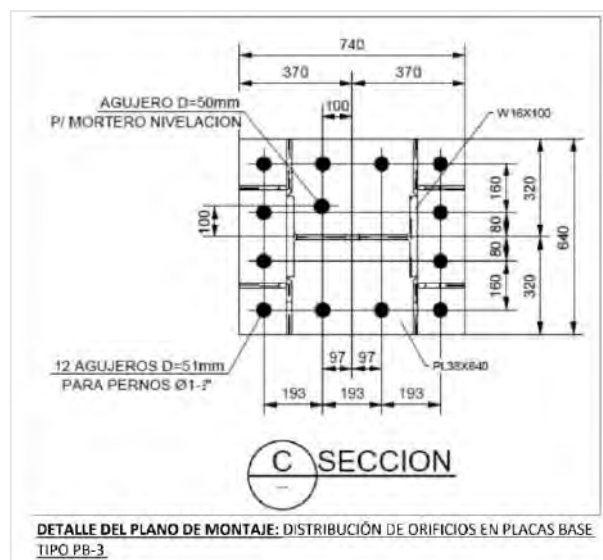


Figura 65. Disposición de pernos de anclaje en Plano de montaje de estructura

Fuente: Plano de montaje: PMO-34INT-BANDEJA-MU1 (MU1A)

Al revisar las Figuras 64 y 65 vemos una gran diferencia, ya que, la disposición de pernos de anclaje en los planos de montaje de la figura 65 se ven girados 90° respecto a los planos civiles y de ingeniería básica de la figura 64. La respuesta de la supervisión para este problema fue ejecutar lo indicado en una instrucción de ingeniería (EI-02070-INT-CIV-DRW-613-R03-0002), la cual se presenta en la Figura 66.

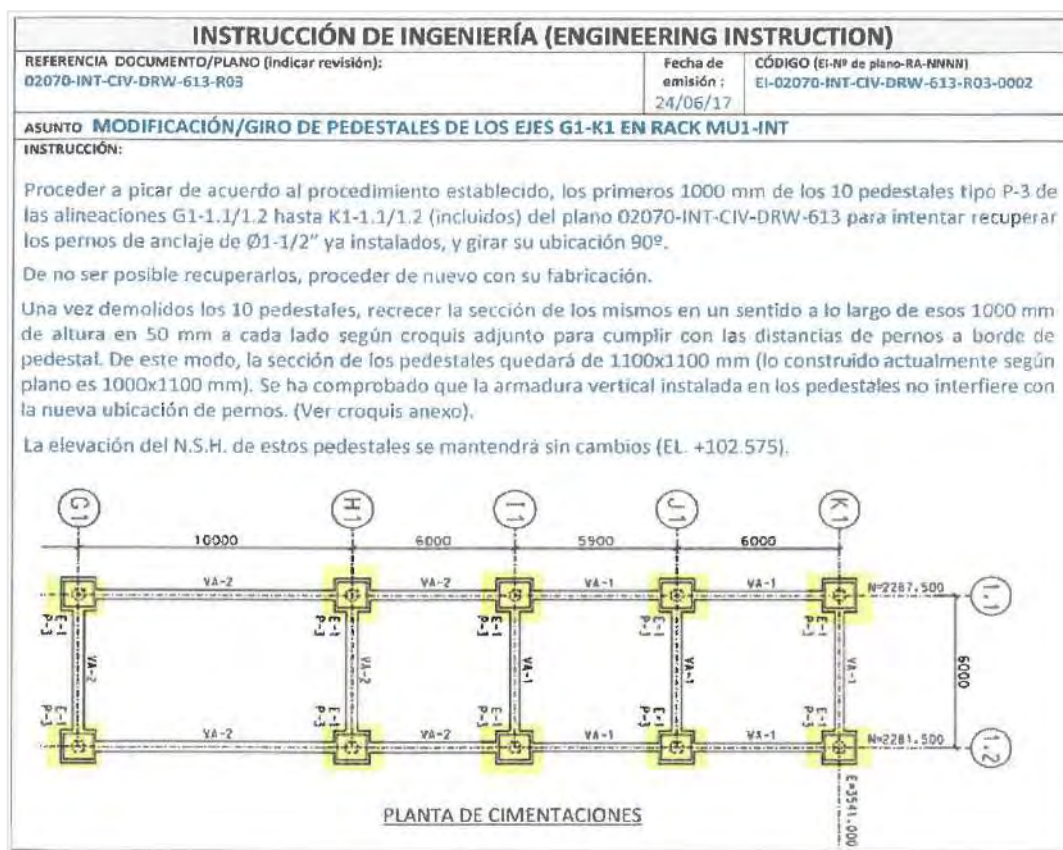


Figura 66. Instrucción de ingeniería para corrección de disposición de pernos

Fuente: EI: EI-02070-INT-CIV-DRW-613-R03-0002

Para la reparación del error, se ejecutó de acuerdo a lo señalado en la Instrucción de ingeniería y de acuerdo a los pasos presentados en la Figura 67.

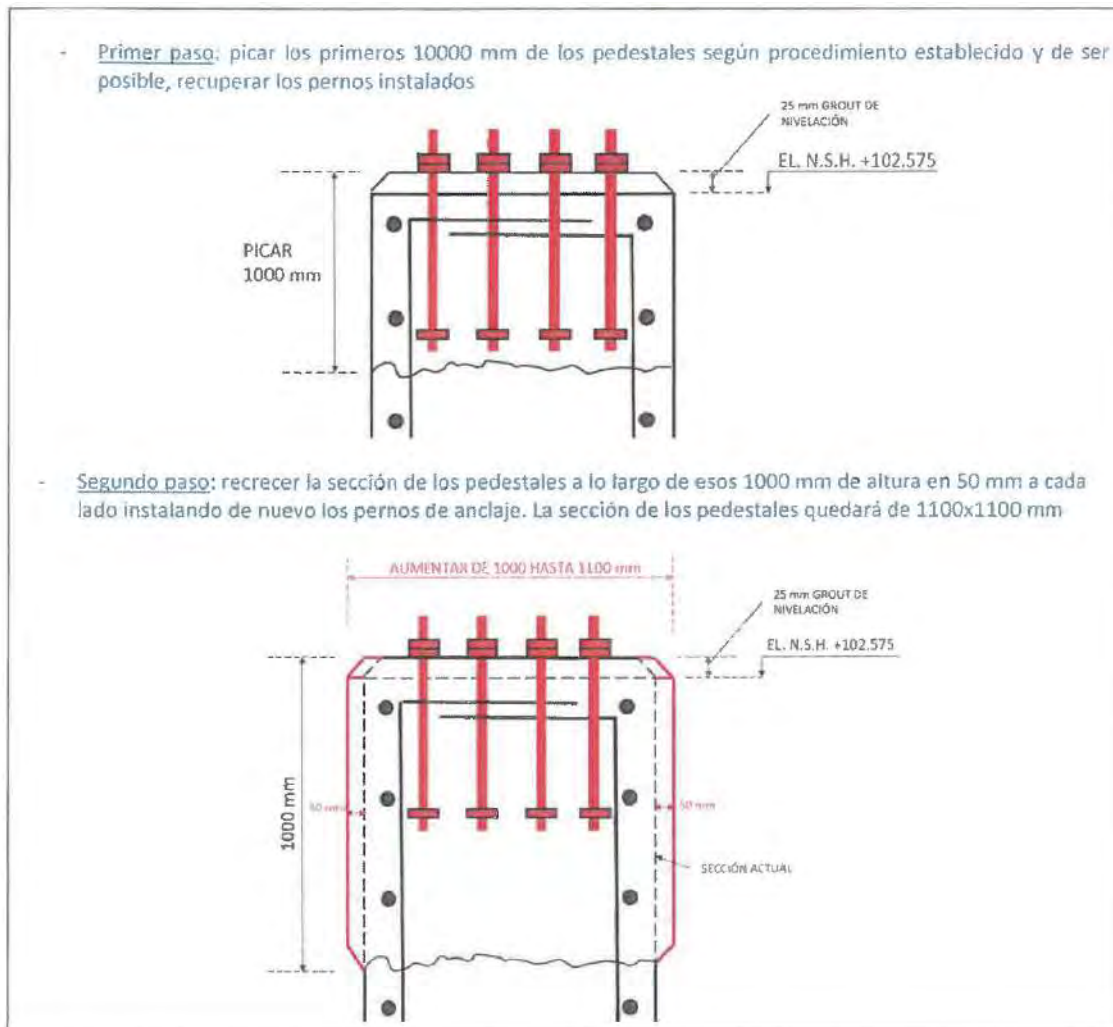


Figura 67. Pasos para la ejecución de la instrucción de ingeniería de la figura 66

Fuente: EI: EI-02070-INT-CIV-DRW-613-R03-0002

De acuerdo a lo presentado por la instrucción de ingeniería, se ejecutó la solución más conveniente.

Este error o desviación trajo como consecuencia sobrecostos y demoras en los tiempos programados para la actividad de montaje. Al ser trabajos civiles, las actividades involucradas que se ejecutaron para resolver el inconveniente son parte de la disciplina civil, por tanto, no se van a enlistar los recursos necesarios, aunque se estimará el costo de este error en el capítulo 4.

3.3.2.3. Interferencia de soporte de tubería con elementos del *rack*.

Otro de los inconvenientes presentados después de la etapa de montaje, incluso después de la liberación final de la estructura fue la interferencia de posición de soportes de tubería con perfiles estructurales del *rack*.

Algunos de estos inconvenientes se pudieron resolver gracias a lo descrito en la instrucción de ingeniería general que se muestra en la Figura 68.

Sin embargo, lo propuesto en la instrucción de ingeniería no es suficiente para superar todas las interferencias de este tipo, por las diferentes circunstancias y formas de la interferencia.

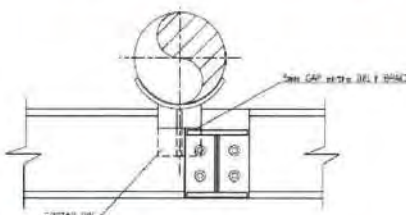
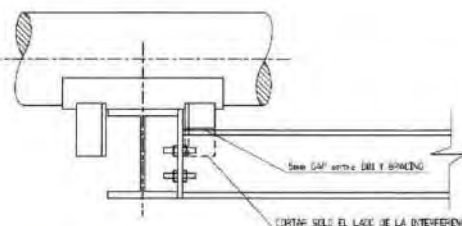
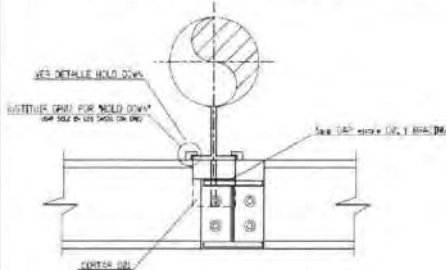
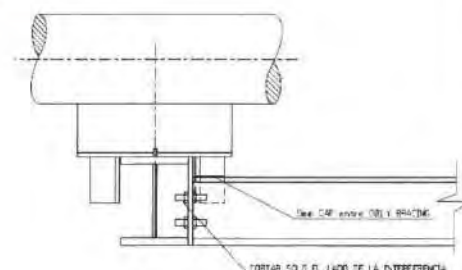
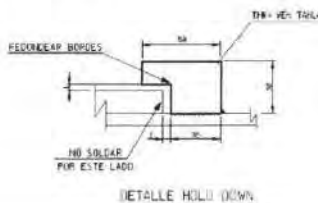
	PROYECTO MODERNIZACION REFINERIA TALARA											
INSTRUCCIÓN DE INGENIERÍA (ENGINEERING INSTRUCTION)												
INSTRUCCIÓN DE INGENIERÍA (ENGINEERING INSTRUCTION)												
REFERENCIA DOCUMENTO/PLANO (indicar revisión): 02070-PNG-GENERAL-R00-0002	Fecha de emisión : 30/11/16	CÓDIGO (EI-Nº de plano-RA-NNNN) GENERAL										
ASUNTO: RESOLUCIÓN DE INTERFERENCIAS ENTRE STOP Y STABILITY BRACING EN RACK												
INSTRUCCIÓN: En el caso de que sólo uno de los lados del soporte (tipo stop (D01 ó D02)) tenga interferencia con un stability bracing, se procederá a cortar la parte que tiene la interferencia asegurando que se cumplen los requisitos técnicos para que el sistema opere con normalidad. Se adjunta un instructivo consistente en cómo cortar los soportes para evitar dicha incidencia. Las modificaciones a realizar son las que se indican a continuación, diferenciando entre líneas con aislamiento y líneas sin aislamiento. <u>Líneas sin aislamiento</u> - Se cortará la parte afectada del soporte tratando de dejar la máxima longitud posible de trabajo del stop. Se respetará ante todo los 5mm de GAP entre D01 y estructura metálica.   <u>Líneas con aislamiento</u> - Se cortará la parte afectada del soporte tratando de dejar la máxima longitud posible de trabajo del stop. Se respetará ante todo los 5mm de GAP entre D02 y estructura metálica. Además de esto se sustituirá (siempre y cuando el soporte lleve un GR02) el estándar GR02 por un "hold down" con la geometría que se encuentra en el detalle adjunto.    DETALLE HOLD DOWN <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">ESPESES HOLD DOWN</th> </tr> <tr> <th>Ø2 TUBERÍA</th> <th>ESPESES HOLD</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2" - 6"</td> <td>18mm</td> </tr> <tr> <td>8" - 12"</td> <td>24mm</td> </tr> <tr> <td>14" - 24"</td> <td>40mm</td> </tr> </tbody> </table>			ESPESES HOLD DOWN		Ø2 TUBERÍA	ESPESES HOLD	2" - 6"	18mm	8" - 12"	24mm	14" - 24"	40mm
ESPESES HOLD DOWN												
Ø2 TUBERÍA	ESPESES HOLD											
2" - 6"	18mm											
8" - 12"	24mm											
14" - 24"	40mm											

Figura 68. Resolución de interferencias entre stop de tubería y elementos de estructura
Fuente: EI: EI-02070-PNG-GENERAL-R00-0002

Por tanto, para las interferencias entre un stop (soporte de tope) de tubería y un elemento estructural del rack que no están contempladas en las interferencias

descritas en la instrucción de ingeniería general de la Figura 68, se procede a realizar una consulta al área de ingeniería mediante una STQ, antes de emitir la consulta, se deben revisar los planos y la maqueta virtual del proyecto para asegurarnos que no se haya realizado algún error en la etapa constructiva. En la maqueta virtual, la interferencia de posición se observa como superposición de elementos, tal como se ve en la Figura 69.

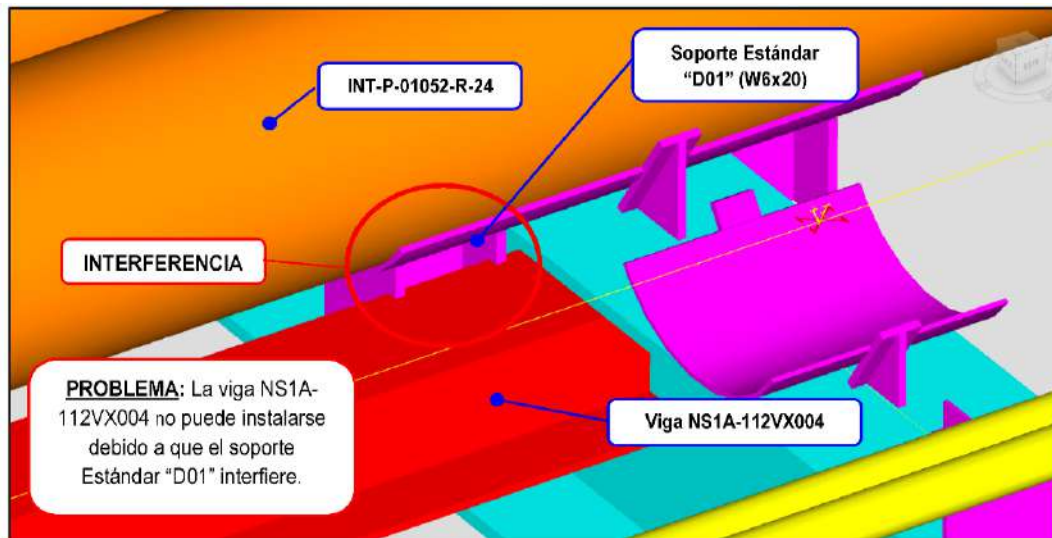


Figura 69. Vista en la maqueta virtual de la interferencia presentada
Fuente: STQ: STQ-GYM-CIV-25410-1051

Para el análisis de este error se va a estudiar dos casos:

- El caso de elementos que tienen interferencia con los soportes de tubería y cuya resolución se definió mediante una STQ. En la Figura 70 y 71 se presenta la STQ-GYM-CIV-25410-1051, con el problema encontrado y la solución propuesta.

	PROYECTO MODERNIZACION REFINERIA TALARA SITE TECHNICAL QUERY		
A RELLENAR POR EL ORIGINADOR DE LA STQ (Subcontratista o TR Constructor)	CONSULTA DE OBRA (Site Technical Query)		
	NOMBRE DEL SUBCONTRATISTA: GYM S.A.	Subcontratista No. 02070-25410	Fecha emisión 09/05/2018
	UNIDAD: NS1	LOCALIZACIÓN: REFINERIA DE TALARA	ORIGINADOR: OFICINA TÉCNICA
	CÓDIGO STQ-GYM-CIV-25410-1051		DISCIPLINA: CIVIL
	ASUNTO: INTERFERENCIA DE VIGA NS1A-122VX004 CON SOPORTE TIPO ESTANDAR "D01" SOLDADO EN TUBERIA INT-P-01052-R-24		
	REFERENCIA ESPECIFICACIÓN/ DOCUMENTO/PLANO: PIMO-34INT-BANDEJA-NS1(NS1A)_0; 02070-INT-CIV-DRW-615_3		
	CUESTIÓN / DESCRIPCIÓN DEL CONFLICTO: UNA DE LAS VIGUETAS NS1A-122VX004 UBICADA ENTRE LOS EJES 11 Y 12 DEL RACK NS1 (VER SKETCH N°01) NO PUEDE INSTALARSE, DEBIDO A QUE EL SOPORTE ESTANDAR "D01" (W6x20) SOLDADO A LA TUBERIA INT-P-01052-R-24 INTERFIERE.		
	ACCIONES CORRECTIVAS RECOMENDADAS (por el originador) SE PROPONE A TECNICAS REUNIDAS CORTAR 50mm UNO DE LOS EXTREMOS DE LAS ALAS DEL PERFIL W6x20 DEL SOPORTE ESTANDAR DE LA TUBERIA PARA EVITAR INTERFERENCIA Y PODAMOS INSTALAR LA VIGUETA NS1A-122VX004. (VER SKETCH N°02)		
	SE ADJUNTAN SKETCHES (SI o NO): NO	CÓDIGO DE LOS SKETCHES ADJUNTADOS:	OTRA DOCUMENTACIÓN ADJUNTA:
	FECHA DE RESPUESTA REQUERIDA: 16/05/2018		
	ORIGINADOR: JORGE ZAVALTA PUESTO: ING. OFICINA TECNICA FECHA: 09/05/2018	REQUIERE APROBACIÓN DE: DODGALY UZCATEGUI PUESTO: JEFE OFICINA TECNICA FECHA: 09/05/2018	

Figura 70. Resolución de interferencias entre stop de tubería y elementos de estructura

Fuente: STQ: STQ-GYM-CIV-25410-1051

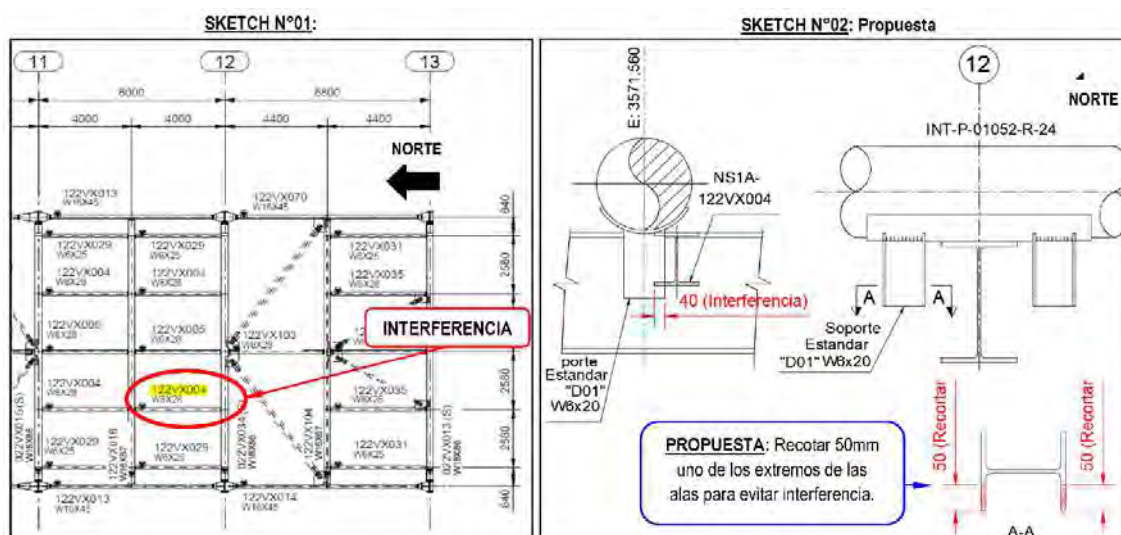


Figura 71. Sketch 01 y 02 Problema de interferencias y propuesta de solución

Fuente: STQ: STQ-GYM-CIV-25410-1051

Para superar la interferencia, la supervisión indicó desplazar la viga, de acuerdo a la propuesta señalada en la Figura 70, y esto significa que se realizarán trabajos adicionales que involucran modificaciones en la estructura y alteraciones a los planos. Por tanto, este error de ingeniería también traerá retrasos en los tiempos programados y pérdidas económicas por re-trabajos a realizar.

- b) El caso de elementos que tienen interferencia con los soportes de tubería y cuya resolución se definió mediante una Instrucción de ingeniería emitida por parte del área de ingeniería de la empresa supervisora. Esta instrucción de ingeniería contempla trabajos adicionales ya que no están contemplados en los planos de montaje contractuales.

Al igual que el caso anterior, este caso presenta interferencia entre un soporte de tubería y una viga de acero perteneciente al rack NS2. Se revisó en la maqueta virtual y se encontró lo mostrado en la Figura 72.

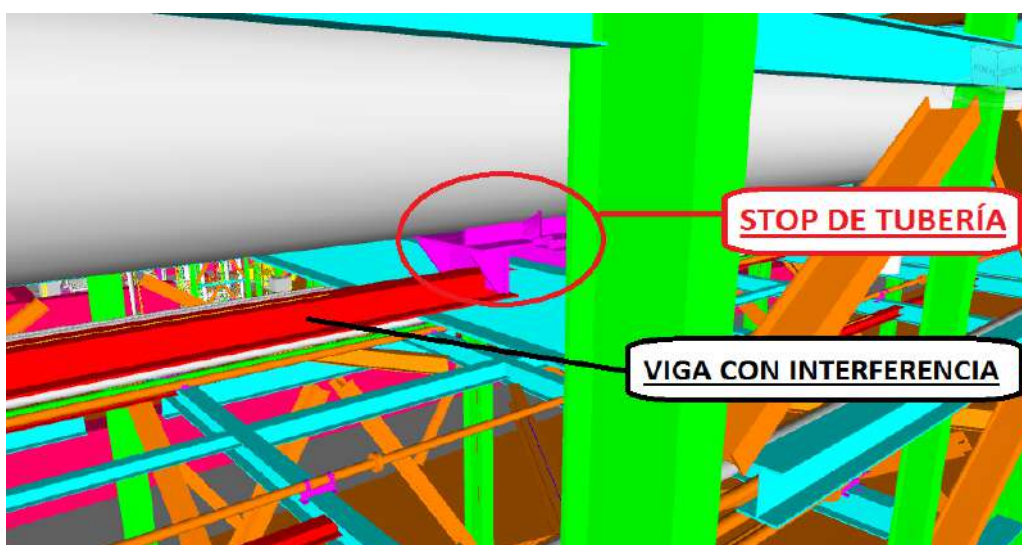


Figura 72. Vista de la maqueta virtual de interferencia entre soporte de tubería y viga

Fuente: Archivo Navisworks de Maqueta virtual de la planta de refinería

Ante el inconveniente mostrado en la Figura 72, se resolvió con la instrucción de ingeniería EI-02070-INT-CIV-DRW-616-R03-0002 mostrada en la Figura 73, esta instrucción contempla trabajos adicionales para la reubicación de una viga de acero estructural, por lo que se requerirá de fabricación de nuevos elementos como conectores y placas para lograr la reubicación indicada en la instrucción de ingeniería.

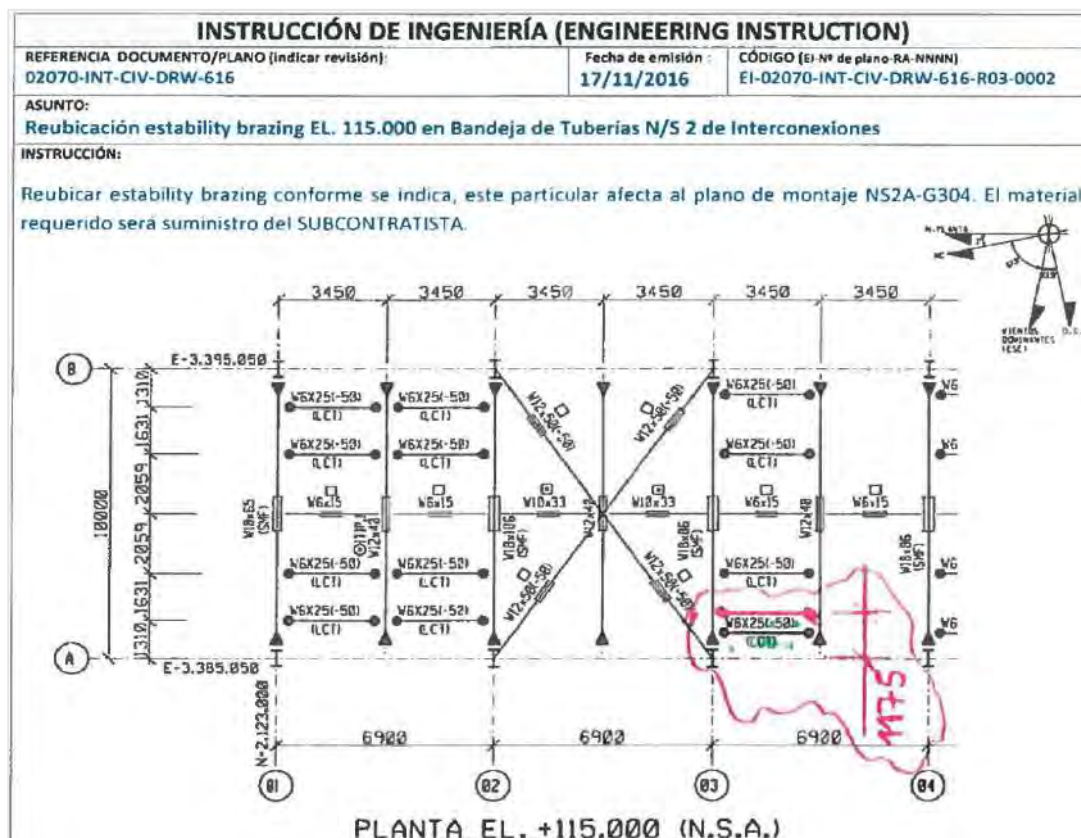


Figura 73. Instrucción de ingeniería para resolver interferencia en rack NS2

Fuente: EI: EI-02070-INT-CIV-DRW-616-R03-0002

Para este trabajo se realizaron las actividades mostradas en la Tabla 46:

Tabla 46. Actividades para los trabajos de la EI-02070-INT-CIV-DRW-616-R03-0002

Item	Descripción	UOM	QTY	H-H Unit	Total H-H
01.00.00	Corte y retiro de stability bracing en bandeja de tuberías	und	1.00	15.50	15.50
02.00.00	Retiro de planchas y conectores existentes	und	4.00	2.63	10.50
03.00.00	Soldeo de planchas de refuerzo	und	4.00	5.25	21.00
04.00.00	Instalación de stability bracing en bandeja de tuberías	und	1.00	5.25	5.25
05.00.00	Resane de pintura	und	4.00	2.75	11.00
06.00.00	Fabricación de planchas y conectores de acero	gbl	8.00	-	-
TOTAL					63.25

Fuente: Elaboración propia

Los casos vistos en este capítulo, son los casos más representativos ocurridos para el montaje de estructura, y representan un costo significativo que

se evaluará en el capítulo 04. De estos errores se puede decir que los errores fueron de diseño, es decir las compañías encargadas de la ingeniería y diseño de estas estructuras obviaron algunos detalles y crearon estas interferencias.

Como área de construcción se pudieron tomar medidas preventivas, no para eliminar el error de diseño, sino para anticiparnos al problema, y tomar acción antes de las actividades de montaje. Para esto se tendría que haber revisado a detalle los planos de todas las disciplinas involucradas y la maqueta virtual de la planta, con el fin de ejecutar trabajos correctivos antes de las actividades de montaje y cumplir con el cronograma comprometido.

3.3.3. Análisis del montaje de estructuras con complemento (montajes compuestos)

En este capítulo estudiarán los casos de las estructuras montadas junto a un complemento, a lo que denominaremos montajes compuestos. Ahora bien, como disciplina se monta estructura, y se tiene precios contractuales por trabajos independientes exclusivos de estructuras. Sin embargo, si la disciplina de estructuras se junta con otra, de tal forma que se ejecuten los trabajos en simultáneo para ahorrar recursos, se tendría importantes beneficios económicos, lo que conviene en la ejecución de la obra.

3.3.3.1. Desarrollo de montaje de estructura con equipo

De acuerdo a lo señalado en el capítulo 3.2.3.1, en esta mejora se propuso realizar el montaje compuesto de estructura y equipo, en las áreas que sea posible. En el proyecto se tienen más de 50 plataformas *off-site* de estructura con un peso de 6 toneladas en promedio, de las cuales 5 van con equipos sobre estructura, muy parecido a la Figura 51.

Por tanto se realizará una comparación entre las Horas hombres y recursos consumidos para la opción montando plataforma y equipo por separados, y la opción de montar equipo junto a plataforma en una sola maniobra. Los datos para la primera opción se tomarán de una de las primeras plataformas que se realizó el montaje de esta forma, de ser necesario, y la segunda opción se tomarán datos reales de una plataforma muy parecida a la anterior. Además se debe considerar que los equipos que van sobre estructura para este proyecto son equipos acumuladores y Aero enfriadores; por lo cual, su instalación resulta muy fácil a diferencia de otros equipos más complejos como turbocompresores, bombas o *skid*²⁹.

Se realizó una lista con las actividades para ambas opciones y con las H-H consumidas para la estructura MU503, cuyos equipos a instalar sobre esta plataforma *off-site* del muelle, son los equipos con etiqueta MU2-D-003 y MU2-D-004.

En la tabla 47, se presenta el resumen de los pesos en Kg de la estructura MU503, clasificado según el tipo de estructura.

²⁹ Corresponde al conjunto de equipos estáticos en un mismo bastidor

Tabla 47. Resumen del metrado de estructura MU503

Etiquetas de fila	Suma de P. Tot.(Kg)
LIGERA	360.3
MEDIA	6943.9
PESADA	455.8
EXTRA PESADA	2237.1
Total general	9997.1

Fuente: Elaboración propia

Para la opción de montar estructura y equipo por separado se obtuvieron las H-H con los datos mostrados en la Tabla 48.

Tabla 48. Registro de H-H para montaje de equipo y estructura por separado

PLATAFORMA MU503	DISCIPLINA		H-H	
OPCIÓN 01	ESTRUCT.	EQUIPOS	H-H ESTR.	H-H EQUIPOS
Recojo de estructura en almacén	x		40	
Selección de material y pre-ensamble de estructura	x		100	
Control topográfico de pernos y cimentaciones	x		40	
Montaje de estructura y ajustes necesarios	x		80	
Replanteo topografico de elevaciones y verticalidad de estructura	x		60	
Liberaciones de ajuste de pernos de estructura y verificación final	x		40	
Recojo de equipo en almacén		x		20
Instalación de equipo sobre estructura y ajuste de pernos		x		80
Replanteo topográfico de instalación del equipo		x		30
Liberaciones de ajuste de pernos e inspecciones finales del equipo		x		30
TOTAL			520 H-H	

Fuente: Elaboración propia

Para la opción de montar estructura y equipo juntos en una sola maniobra se obtuvieron las H-H con los datos mostrados en la Tabla 49.

Tabla 49. Registro de H-H para montaje de equipo y estructura juntos

PLATAFORMA MU503	DISCIPLINA		H-H	
OPCIÓN 02	ESTRUCT.	EQUIPOS	H-H ESTR.	H-H EQUIP.
Recojo de estructura en almacén	x		40	
Selección de material y pre-ensamble de estructura	x		100	
Recojo de equipo en almacén		x		20
Instalación de equipo sobre estructura		x		30
Control topográfico de pernos y cimentaciones	x		40	
Montaje de estructura con equipo y ajustes necesarios	x	x	80	
Replanteo topografico de elevaciones y verticalidad de estructura	x		60	
Replanteo topográfico de instalación del equipo		x		30
Liberaciones de ajuste de pernos de estructura y verificación final	x		40	
Liberaciones de ajuste de pernos e inspecciones finales del equipo		x		30
TOTAL			470 H-H	

Fuente: Elaboración propia

Como recurso adicional, considerable, aparte de las H-H. Se considera para la primera opción 2 días de trabajo de una grúa de 80 toneladas y para la segunda opción, se considera 1 día de trabajo; lo cual significa un ahorro adicional en el montaje.

3.3.3.2. Desarrollo del montaje de estructura con pernos pretensados

Esta mejora se implementó desde poco tiempo después de los inicios del montaje de las estructuras y consiste en realizar el ajuste de pernos pretensados en la etapa de pre-ensamble, la cual es una desviación al procedimiento de puntos de inspección, sin embargo hay fundamento técnico por el cual se ejecuta de esta forma, sin alterar la estructura o pernos al momento del montaje; es decir, sin alterar el correcto funcionamiento del *rack* de estructuras.

El fundamento técnico que se tiene para garantizar que los pernos no fallen en las actividades de montaje de pórticos o alzados compuestos, es que según la norma AISC 316 indica que para las uniones empernadas; los pernos deben tener una resistencia suficiente para resistir las maniobras de hasta 50 toneladas. Esta información se encuentra en el capítulo I y J de la especificación técnica. Asimismo se debe considerar que las uniones empernadas cumplen con las características y resistencias para que no se deformen con esfuerzos de corte o tracción. Para estos tipos de estructura que estamos estudiando, primero se deformarían los perfiles estructurales antes que los pernos de las uniones.

Para el desarrollo de esta mejora, se debe tener en cuenta lo señalado en el capítulo 3.2.3.2, en el cual se presenta un análisis con los ratios históricos del proyecto para torque de pernos en etapa de pre-ensamble y en etapa de montaje. También debemos entender que todos los pernos no pueden ser pretensados en la etapa de pre-ensamble porque los pre-ensambles son pórticos con pernos pretensados de dos columnas; sin embargo hay pernos pretensados que van en alzados compuestos también, los cuales son adyacentes y perpendiculares a los pórticos.

Por tanto se van a presentar dos opciones:

- Opción 01, todos los pernos pretensados en el punto de trabajo de acuerdo a lo señalado en el procedimiento de puntos de inspección del proyecto.
- Opción 02, los pernos pretensados en etapa de pre-ensamble y montaje de acuerdo a pórticos o alzados compuestos pre-ensamblados, desviándose del procedimiento, pero respaldado por la norma de fabricación de estructura.

Tomando los ratios históricos obtenidos en la tabla 20 y 21 del capítulo 3.2.3.2. Se realizarán dos tablas:

La Tabla 50, considerando todos los pernos pretensados, como si la actividad se hubiera realizado después de la actividad de montaje, por tanto se usaron las cantidades totales de pernos con los ratios obtenidos en la tabla 21. Para los diámetros 5/8'' y 1 3/8'' se aproximaron los ratios, porque todos los pernos de ese tipo se realizaron en la etapa de pre-ensamble, tal como se explicó en el capítulo 3.2.3.2. Además la cantidad de pernos no es considerable. Por tanto se aproximaron los ratios mostrados en la Tabla 50 y resaltados de rojo.

Tabla 50. Registro de H-H para pretensado de pernos sólo en etapa de montaje

TABLA DE H-H DE PRETENSADO CONSIDERANDO LA ACTIVIDAD DESPUÉS DEL MONTAJE									
TIPO DE PERNOS	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	Total
CANTIDAD TOTAL DE PERNOS	904	37043	57656	42954	46264	63510	1028	22084	271443
RATIOS OBTENIDOS H-H/PERNO	0.16	0.18	0.22	0.26	0.30	0.40	0.43	0.46	
CANTIDAD DE H-H EJECUTADO EN ETAPA DE MONTAJE	144.6	6670.0	12684.4	11168.4	13879.6	25400.22	442.0	10159.4	80548.7

Fuente: Elaboración propia

Para la opción mejorada y pernos pretensados en la etapa de pre-ensamble y montaje se contabilizarán las H-H de acuerdo a lo sumado entre las Tablas 20 y 21 (Tabla 51). Tener en cuenta que se está considerando el pretensado real ejecutado. Sin embargo, se obtuvieran mayores ganancias si todos los pernos se hubieran pretensado con la mejora de pre-ensamblar alzados compuestos, y no sólo pórticos como al principio.

Tabla 51. Registro de H-H para pretensado de pernos en etapa de montaje y pre-ensamble

TABLA DE H-H DE PRETENSADO CONSIDERANDO LA ACTIVIDAD EN PRE-ENSAMBLE Y MONTAJE									
TIPO DE PERNOS	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/8"	1 1/4"	1 3/8"	1 1/2"	Total
CANTIDAD DE PERNOS EJECUTADOS EN ETAPA DE MONTAJE		29739	37640	20582	26512	34962		10404	159839
CANTIDAD DE H-H CONSUMIDAS		5354.84	8280.86	5351.48	7953.8	13982.72		4786.2	45709.9
CANTIDAD DE PERNOS EJECUTADOS EN ETAPA DE PREENSAMBLE	904	7304	20016	22372	19752	28548	1028	11680	111604
CANTIDAD DE H-H CONSUMIDAS	63.28	584.68	2002.2	3356.2	4938	10294.54	411	5256.6	26906.5
CANTIDAD DE H-H EJECUTADO	63.28	5939.52	10283.06	8707.68	12891.8	24277.26	411	10042.8	72616.4

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo mostrado en las Tablas 50 y 51, podemos deducir gran diferencia de H-H 7932 en total, si todos los pernos pretensados en el proyecto hubieran sido pretensados en etapa de montaje como debió realizarse, de acuerdo a lo señalado en el procedimiento de puntos de inspección para el montaje de estructura; sin embargo, gran parte de los pernos fueron pretensados en etapa de pre-ensamble en pórticos y alzados compuestos. Además de los tiempos para los recursos de accesos como *manlift* o andamios; y equipos de torque, como llaves y bombas hidráulicas serán mayores.

3.3.3.3. Desarrollo del montaje de estructura con pintura de pernos

De acuerdo al análisis desarrollado en el capítulo 3.2.3.3. Se realizó el análisis de la actividad de pintura de pernos, obteniéndose ratios reales. Sin embargo se debe tener en cuenta que para el control de esta actividad, se ha contabilizado los pernos sin diferenciar el diámetro. Asimismo se realizará un cuadro comparativo entre las opciones de realizar la actividad en la etapa de

montaje y la opción mejorada que es aprovechar todos los pernos pretensados en pórticos pre-ensamblados y realizar el pintado de pernos.

Se debe considerar que esta opción mejorada se desvía al PPI y al procedimiento de montaje de estructuras, pero al igual que los pernos pretensados, se puede realizar como actividad siguiente a esta y con el mismo sustento presentado en el capítulo 3.3.3.2. Asimismo tener en cuenta que no todos los pernos totales de la refinería se pueden realizar en la etapa de pre-ensamble, sino solo aquellos pernos que se encuentren dentro de un pre-ensamble.

Se contabilizaron las cantidades de pernos pretensados en la etapa de pre-ensamble y en la de montaje (Tabla 52 y 53); por tanto, se clasificaron en pernos pintados en la etapa de pre-ensamble y pernos pintados en la etapa de montaje; asimismo a la clasificación de pernos pintados en la etapa de montaje, se añadieron las cantidades de pernos no pretensados que van en las estructuras con apriete manual. Se comparó entre las dos opciones considerando la cantidad total de pernos del proyecto y los ratios obtenidos en el capítulo 3.2.3.3.

Tabla 52. Cantidad total de pernos si se pintaran todos en etapa de montaje

UBICACIÓN	CANT TOTAL	RATIO	H-H OBTENIDAS
REFINERÍA	333601	0.470866037	157081.3808

Fuente: Elaboración propia

Tabla 53. Cantidad total de pernos si se pintaran en etapa de pre-ensamble y montaje

UBICACIÓN	CANT TOTAL	RATIO	H-H OBTENIDAS
PRE-ENSAMBLE	112996	0.431525508	48760.65627
REFINERÍA	220605	0.470866037	103875.4021
Total general	333601	0.462536703	152636.0584

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas 52 y 53 se tiene una diferencia de 4445H-H, además de los recursos que se ahorrarían en andamios y equipos de pintura.

3.3.3.4. Desarrollo del montaje de estructura con ignifugado instalado.

Esta opción no se desarrolló a pesar de haberse propuesto, debido a que se requería que la estructura esté en su posición final para ejecutar el procedimiento de ignifugado presentado en el capítulo 2.2.10. Otra de las razones para no ejecutar esta mejora es que el ignifugado podría romperse o fisurarse en la doble manipulación de la estructura, es decir, a la manipulación de la estructura en la etapa de pre-ensamble y en la etapa de montaje.

Por tanto no se tienen datos reales de la mejora propuesta, ya que las actividades de ignifugado se llevaron a cabo en el punto de trabajo. Sin embargo no se deben cerrar las posibilidades de poder aplicar la mejora en otro proyecto.

3.3.3.5. Desarrollo del montaje de estructura con cobertura instalada

De acuerdo a lo señalado en el capítulo 3.2.3.5, en esta mejora se propuso realizar el montaje compuesto de estructura y cobertura juntas, tal como se muestra en la Figura 55, en las áreas que sea posible, es decir en plataformas *off-*

site en las cuales aplique cobertura. En el proyecto se tienen más de 50 plataformas de estructura con un peso de 6 toneladas en promedio como se ha mencionado anteriormente, de las cuales 4 van con cobertura instalada sobre ellas.

Por tanto se realizará una comparación entre las H-H y recursos consumidos para la opción montando plataforma y cobertura por separados, y la opción de montar la cobertura junto a plataforma en una sola maniobra. Los datos para la primera opción se tomarán de una de las primeras plataformas que se realizó el montaje de esta forma, y la segunda opción se tomarán datos reales de una plataforma muy parecida a la anterior. Además se debe considerar que la cobertura que va sobre estructura; esta cobertura sirve de protección para las lluvias, ya que debajo de las coberturas va algún equipo que necesita estar aislado del agua o simplemente protegerlo.

Por tanto, se hizo una lista con las actividades para ambas opciones y con las H-H consumidas para la estructura TKS-Z-003 (Tabla 54) y cobertura cuyos detalles se encuentran en el plano de montaje 02070-TKS-CIV-DRW-502.

Tabla 54. Resumen del metrado de estructura TKS-Z-003.

02070-TKS-CIV-DRW-502	Suma de Cant. (Unid.)	Suma de P. Tot. (Kg)
LIGERA	11	1151.58
MEDIA	13	2719.42
Total general	24	3871

Fuente: Elaboración propia

Sin embargo, la Tabla 54, no contempla el metrado de la cobertura, que consta de accesorios y planchas de techo, lo cual suma menos de 1 tonelada. Para este estudio se considerará como una pieza total.

Para la opción de montar estructura y cobertura por separado se obtuvieron las H-H con los datos mostrados en la Tabla 55.

Tabla 55. Registro de H-H para montaje de cobertura y estructura por separado.

PLATAFORMA TKS-Z-003 PLANO: 02070-TKS-CIV-DRW-502	H-H
OPCIÓN 01	H-H ESTR.
Recojo de estructura en almacén	20
Selección de material y pre-ensamble de estructura	40
Control topográfico de pernos y cimentaciones	30
Montaje de estructura y ajustes necesarios	40
Replanteo topográfico de elevaciones y verticalidad de estructura	30
Recojo de cobertura en almacén	20
Instalación de cobertura sobre estructura y ajuste de pernos	60
Liberaciones de ajuste de pernos e inspecciones finales del estructura	10
TOTAL	250 H-H

Fuente: Elaboración propia

Para la opción de montar estructura y cobertura juntas en una sola maniobra se obtuvieron las H-H con los datos mostrados en la Tabla 56.

Tabla 56. Registro de H-H para montaje de cobertura y estructura juntas.

PLATAFORMA TKS-Z-003 PLANO: 02070-TKS-CIV-DRW-502	H-H
OPCIÓN 02	H-H ESTR.
Recojo de estructura en almacén	20
Selección de material y pre-ensamble de estructura	40
Recojo de cobertura en almacén	20
Instalación de cobertura sobre estructura y ajuste de pernos	40
Control topográfico de pernos y cimentaciones	30
Montaje de estructura con cobertura y ajustes necesarios	40
Replanteo topográfico de elevaciones y verticalidad de estructura	30
Liberaciones de ajuste de pernos e inspecciones finales del estructura	10
TOTAL	230 H-H

Fuente: Elaboración propia

Como recurso adicional, considerable, aparte de las H-H, es que para la primera opción se considera 2 días de trabajo de una grúa de 80 toneladas y para la segunda opción, se considera 1 día de trabajo; lo cual significa un ahorro adicional en el montaje.

3.4. Fundamento técnico del cambio de configuraciones en el montaje

Una de las mejores ya vistas en este capítulo, es el de pre-ensamblar alzados compuestos, lo que permitirá una amplia ventaja en el ahorro de H-H, en la actividad de montaje y torque de pernos principalmente. Pero aún existe una gran cuestión, la cual consiste en asegurarnos que para esta nueva configuración de pre-ensamble, la estructura no va a sufrir ningún tipo de deformación plástica, o inclusive rotura de la estructura o pernos al momento de realizar las maniobras del alzado compuesto para su montaje respectivo en la posición final.

Dada esta interrogante resultó necesario realizar una simulación de un pórtico modelo, cumpliendo las características descritas de estos alzados compuestos tal como se muestra en la Figura 74 resaltado de color azul. Se utilizó el software Autodesk, específicamente el *Autodesk Robot Structural Analysis*, el cual sirve para el diseño mecánico y es muy parecido al *Solidworks*.

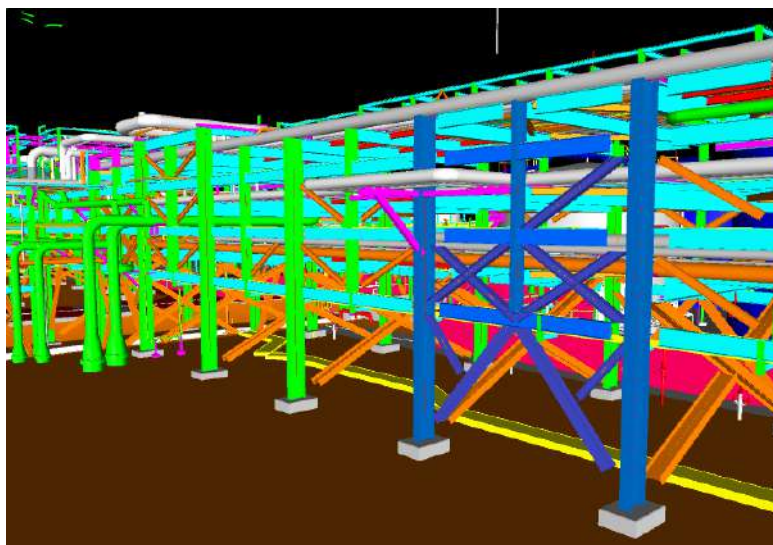


Figura 74. Vista de un alzado compuesto

Fuente: Maqueta virtual de la refinería en *Navisworks*

Al analizar la estructura considerándola una sola pieza, compuesta de varios elementos estructurales que tiene que ser trasladada desde el lugar de pre-ensamble hasta el lugar de montaje, en este lugar de montaje se realizarán maniobras para su montaje se consideran dos momentos críticos: la verticalización del alzado compuesto y el izaje, muy parecido a lo mostrado en la Figura 26.

Por esa razón se realizarán dos análisis:

- Análisis del alzado compuesto en etapa de verticalización.
- Análisis del alzado compuesto en etapa de izaje.

3.4.1. Análisis del alzado compuesto en etapa de verticalización

En este capítulo se realizará el análisis del alzado compuesto pre-ensamblado desde el momento que se encuentra en el suelo a 0° y es tomado por la grúa mediante estrobos, eslingas y demás elementos de izaje hasta el momento que llega a verticalizarse a 90°.

a) Modelado de estructura

Se seleccionó el alzado compuesto de los ejes 7-8 del rack NS2, de acuerdo al plano de montaje PMO-34INT-BANDEJA-NS2(NS2A), específicamente lo mostrado en la Figura 75 y de acuerdo a esto se graficó en el programa *Autodesk Robot Structural Analysis*, de acuerdo a lo mostrado en la Figura 76 y 77.

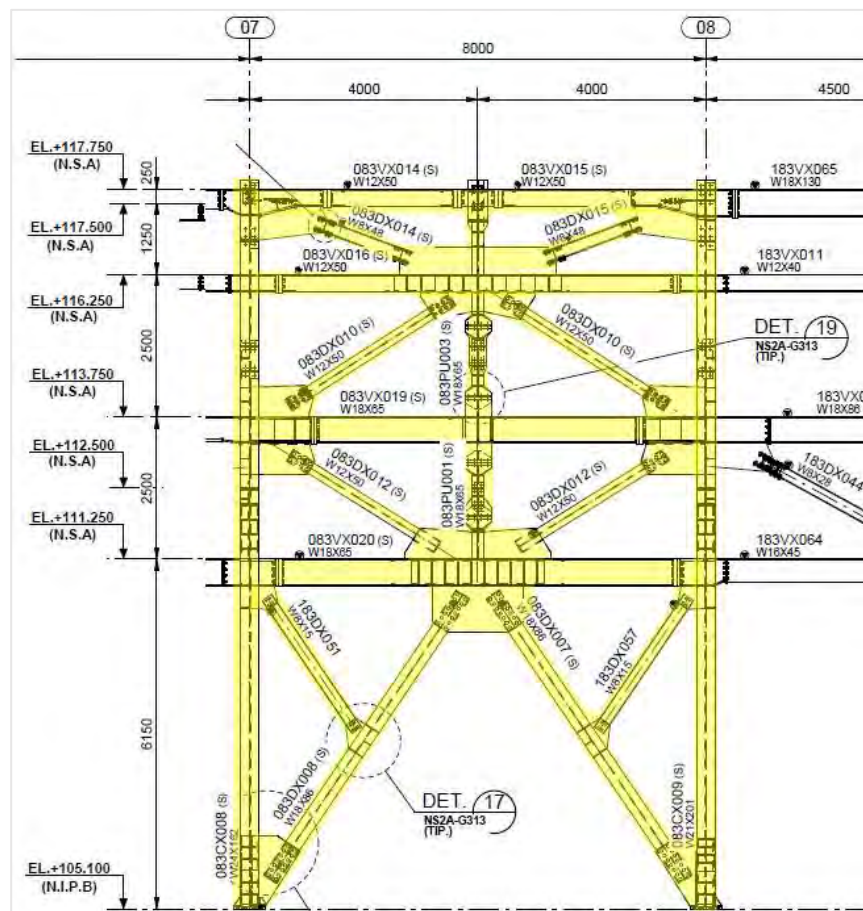


Figura 75. Vista de alzado compuesto del rack NS2 Ejes 7-8

Fuente: PMO-34INT-BANDEJA-NS2 (NS2A)

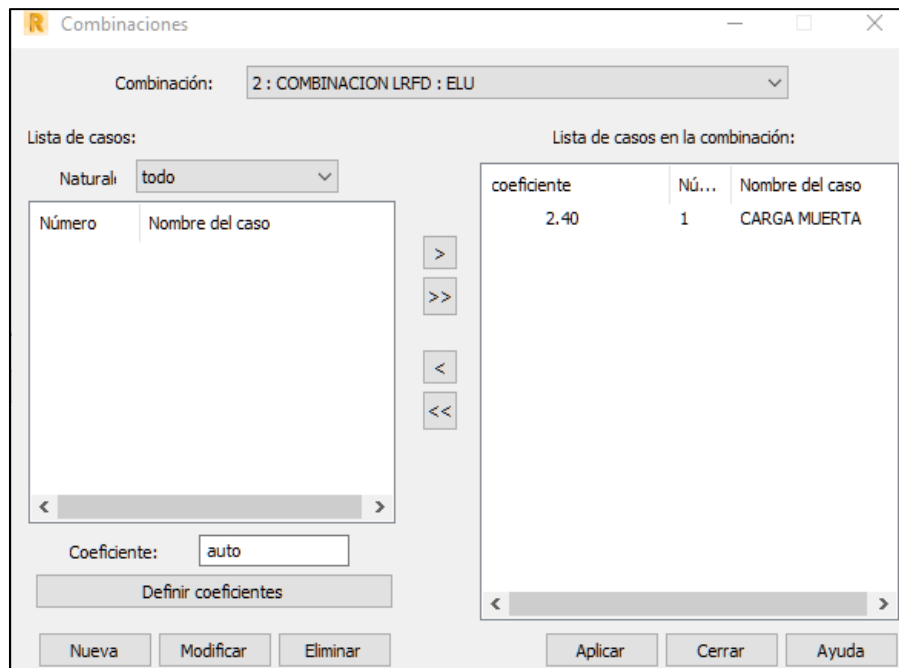


Figura 78. Designación de coeficiente de carga en *Autodesk Robot Structural Analysis*
Fuente: Elaboración propia

c) Resultados

En esta parte se calculan los momentos, las fuerzas cortantes y reacciones, para definir los elementos críticos.

➤ Utilización del perfil

En esta parte se verifica que los perfiles tienen mayor utilización, de acuerdo a la Figura 79, los perfiles que tienen mayor utilización son los perfiles utilizados para sujetar el alzado compuesto para verticalizarlo; es decir los perfiles que son sujetados con maniobras por la grúa, aunque su utilización es mucho menor que 1, por lo que se puede deducir que los perfiles resisten.

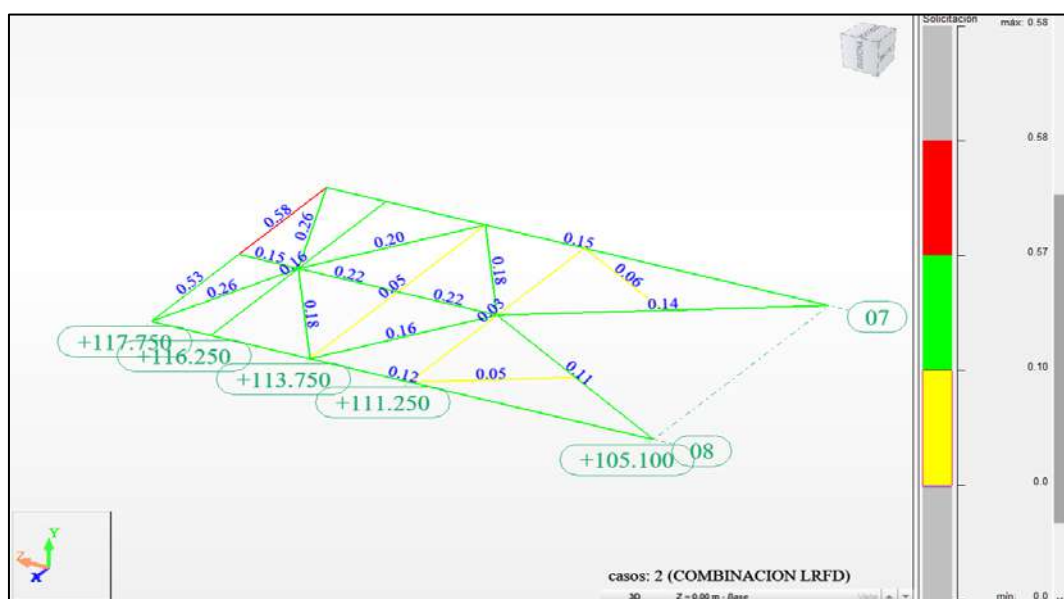


Figura 79. Diagrama de utilización de perfiles en *Autodesk Robot Structural Analysis*
Fuente: Elaboración propia

➤ Diagrama de Momentos en Y

Así también se elaboró el diagrama de momentos para verificar aquellos puntos críticos, como se muestra en la Figura 80.

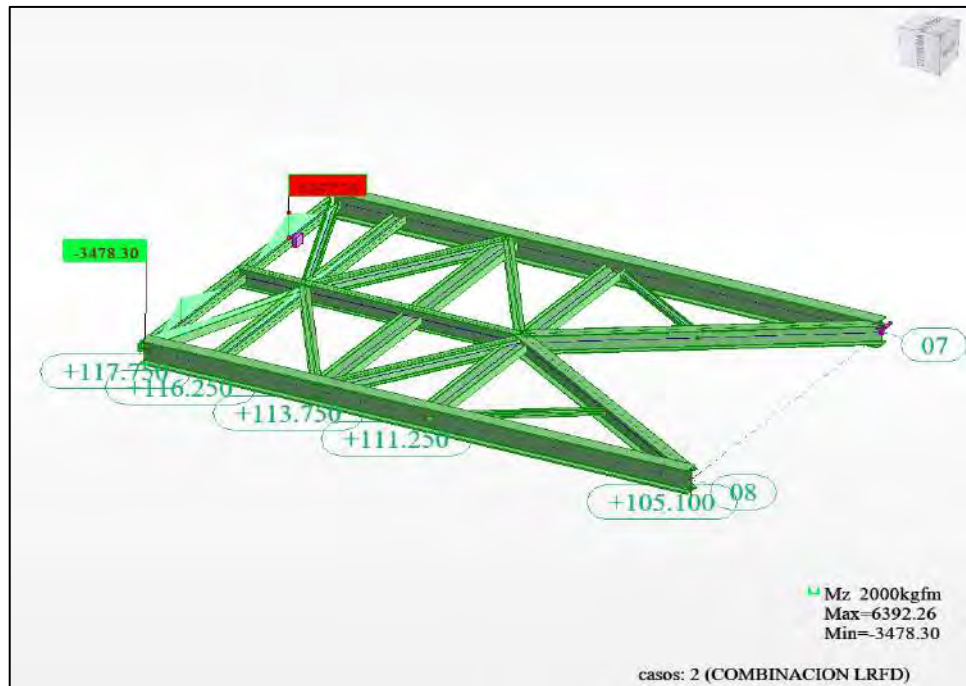


Figura 80. Diagrama de momentos en el eje Y en Autodesk Robot Structural Analysis

Fuente: Elaboración propia

➤ Diagrama de Fuerzas cortante en Z

Así también se elaboró el diagrama de fuerza cortante para verificar aquellos puntos críticos (ver Figura 81).

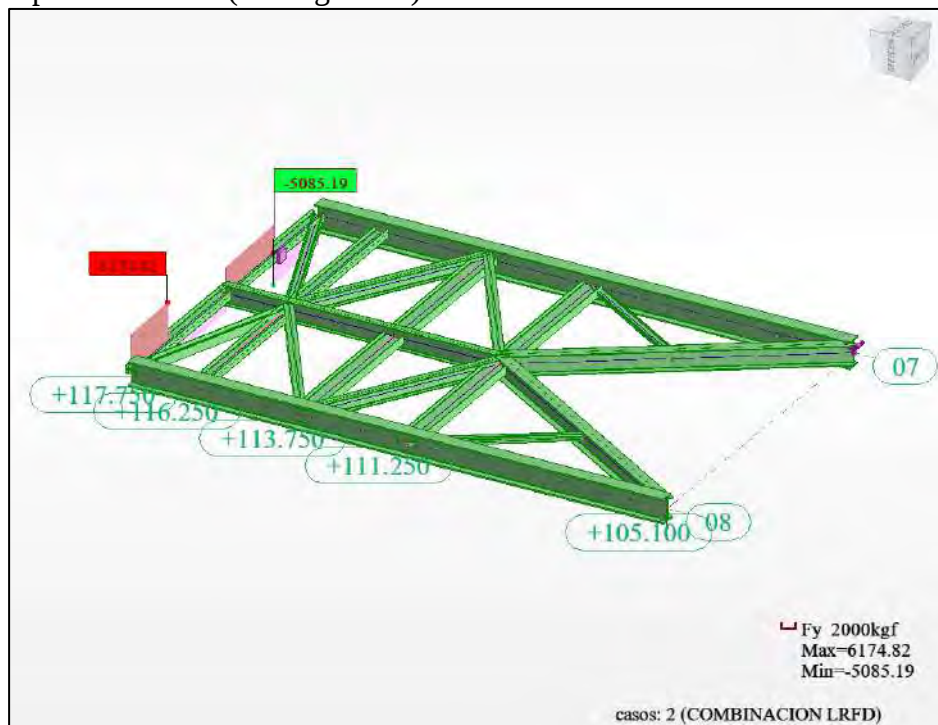


Figura 81. Diagrama de fuerzas cortantes en Z en Autodesk Robot Structural Analysis

Fuente: Elaboración propia

➤ Reacciones

Así también se elaboró el diagrama de cuerpo libre con las reacciones que intervienen en la estructura (ver Figura 82).

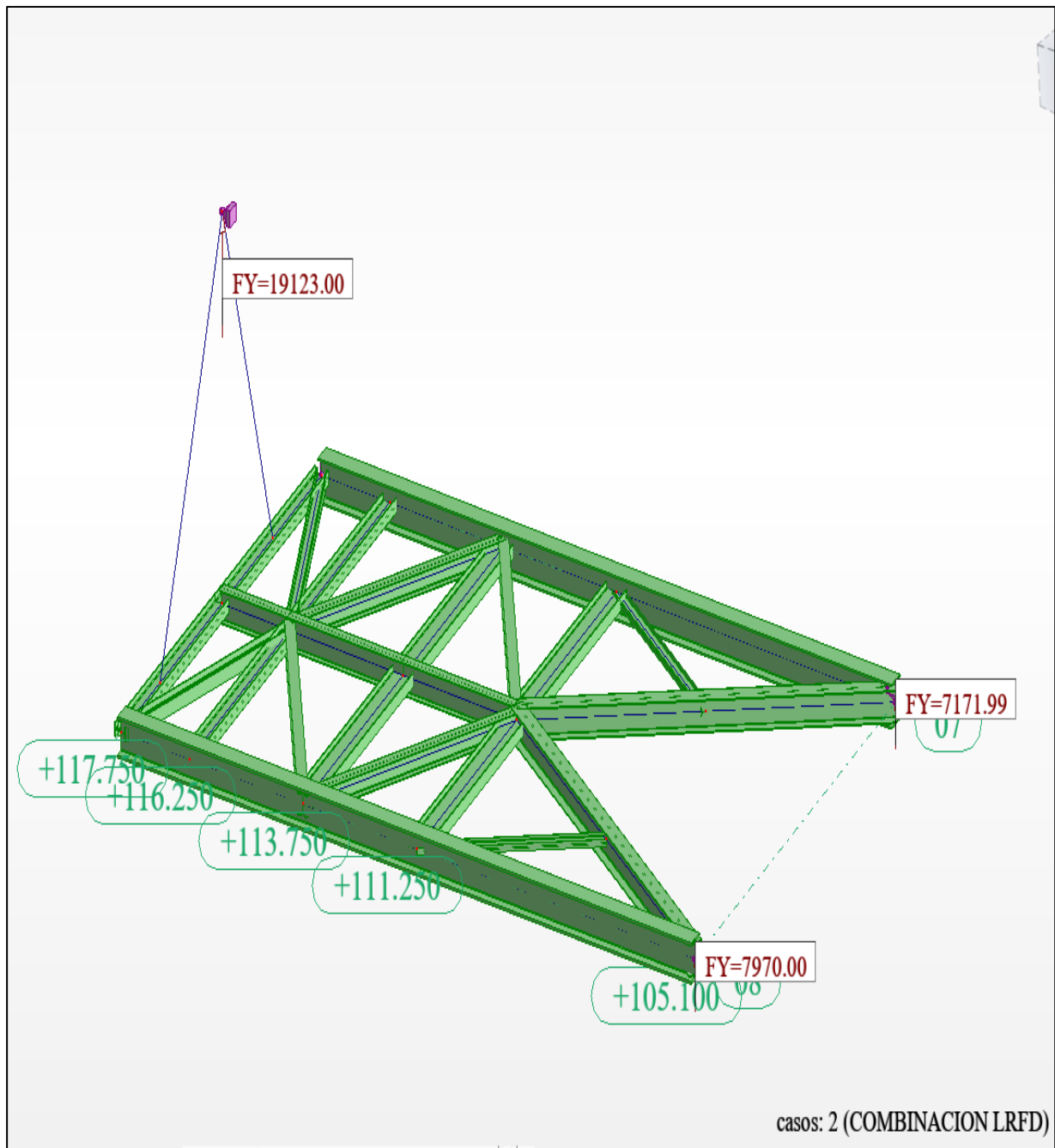


Figura 82. Diagrama de reacciones en la estructura

Fuente: Elaboración propia

d) Verificación del perfil más crítico

Para la obtención de los resultados obtenidos considerando el perfil más crítico con código de estructura es 083VX014. Se utilizó el análisis de verificación de perfiles del programa *Autodesk Robot Structural Analysis*, del cual se obtiene que el perfil es correcto y resiste las maniobras de trabajo. Después de esta verificación ya se pueden obtener los resultados mostrados anteriormente.

NORMA: ANSI/AISC 360-10 An American National Standard, June 22, 2010
TIPO DE ANÁLISIS: Verificación de las barras

GRUPO:**BARRA:** 20 083VX014**PUNTOS:** 3**COORDENADA:** $x = 0.49 L = 1.96 \text{ m}$ **CARGAS:**

Caso de carga más desfavorable: 2 COMBINACION LRFD 1*2.40

MATERIAL:STEEL A992-50 $F_y = 3515.35 \text{ kgf/cm}^2$ $F_u = 4569.95 \text{ kgf/cm}^2$ $E = 2038902.42 \text{ kgf/cm}^2$ **PARAMETROS DE LA SECCION: W 12x50**

$d=31.0 \text{ cm}$	$A_y=66.73 \text{ cm}^2$	$A_z=29.12 \text{ cm}^2$	$A_x=94.19 \text{ cm}^2$
$bf=20.5 \text{ cm}$	$I_y=16274.65 \text{ cm}^4$	$I_z=2343.38 \text{ cm}^4$	$J=71.18 \text{ cm}^4$
$tw=0.9 \text{ cm}$	$S_y=1050.38 \text{ cm}^3$	$S_z=228.36 \text{ cm}^3$	
$tf=1.6 \text{ cm}$	$Z_y=1178.23 \text{ cm}^3$	$Z_z=349.04 \text{ cm}^3$	

PARAMETROS DE LA BARRA: $L_y = 4.00 \text{ m}$ $K_y = 1.00$ $KL_y/ry = 30.43$  $L_z = 4.00 \text{ m}$ $K_z = 1.00$ $KL_z/rz = 80.20$ **ESFUERZOS INTERNOS:** $Tr = 11.07 \text{ kgf}\cdot\text{m}$

kgf

 $Mr_z = 6392.26 \text{ kgf}\cdot\text{m}$

kgf·m

 $fr_{vy,mx} = 25.28 \text{ kgf/cm}^2$ $fr_{vz,mx} = 14.61 \text{ kgf/cm}^2$ $V_{ry} = -5085.19 \text{ kgf}$ $V_{rz} = 0.00 \text{ kgf}$ $1.00 \cdot V_{nz} = 61425.50 \text{ kgf}$ **RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO** $F_{iv} \cdot V_{ny} = 126663.35$ $F_{ib} \cdot M_{nz} = 11043.12$ **PARÁMETRO DE SEGURIDAD** $F_{ib} = 0.90$ $F_{iv} = 0.90$ **ELEMENTOS DE LA SECCION:**

ala = compacto

alma = compacto

FORMULAS DE VERIFICACION: $Mr_z / (F_{ib} \cdot M_{nz}) = 0.58 < 1.00$ LRFD (H1-1b) Verificado $V_{ry} / (F_{iv} \cdot V_{ny}) + fr_{vy,mx} / (0.6 \cdot F_{iv} \cdot F_y) = 0.05 < 1.00$ LRFD (G2-1) Verificado $fr_{vz,mx} / (0.6 \cdot 1.00 \cdot F_y) = 0.01 < 1.00$ LRFD (G2-1) Verificado**Perfil correcto !!!**

3.4.2. Análisis del alzado compuesto en etapa de izaje

En este capítulo se realizará el análisis del alzado compuesto pre-ensamblado en el momento de izaje, es decir, cuando la estructura es tomada por la grúa para instalarlo en su posición final sobre pedestales.

a) Modelado de estructura

Se continuó con el alzado compuesto de los ejes 7-8 del rack NS2, de acuerdo al plano de montaje PMO-34INT-BANDEJA-NS2(NS2A) mostrado en la Figura 75 y se prosiguió con la simulación en el programa *Autodesk Robot Structural Analysis* (ver Figura 83).

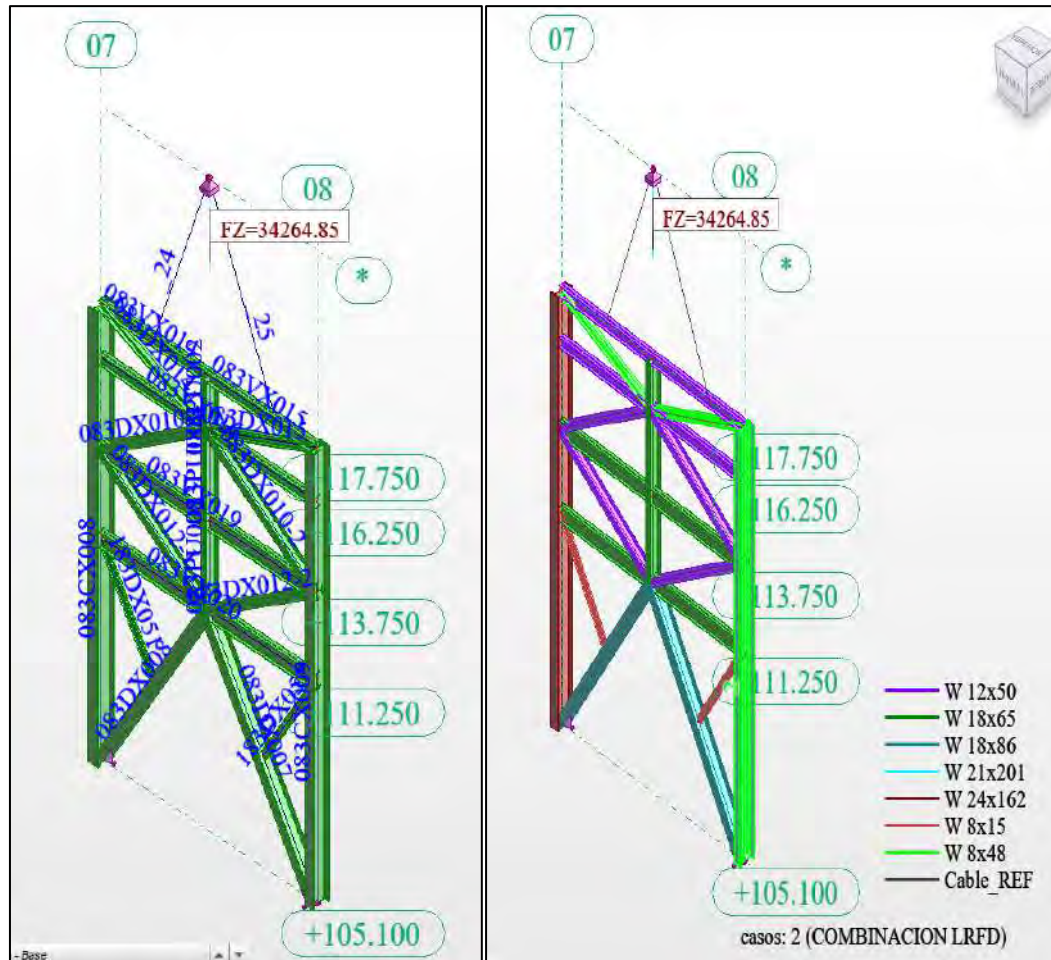


Figura 83. Vista de alzado compuesto en etapa de izaje en *Autodesk Robot Structural Analysis*

Fuente: Elaboración propia

b) Casos de Carga

Para asegurarnos, se configura el coeficiente de carga de 2.4 (similar a la Figura 78), para absorber consideraciones como carga del viento, carga de pernos, carga por los elementos de maniobras que sirven para sujetar la carga y demás sobrecargas externas. El valor de 2.4 brinda la confianza necesaria para asegurarse que la simulación a realizarse es lo más real y segura posible; Inclusive para los cálculos en la obra, se consideraba este factor con 1.3, por lo que 2.4 es muy seguro.

c) Resultados

En esta parte se van a calcular los momentos, las fuerzas cortantes y reacciones, para definir los elementos críticos.

➤ Utilización del perfil

En esta parte igual al caso anterior se verifica que perfiles tienen mayor utilización, de acuerdo a la Figura 84, los perfiles que tienen mayor utilización son los perfiles utilizados para sujetar el alzado compuesto para verticalizarlo; es decir los perfiles que son sujetos con maniobras por la grúa.

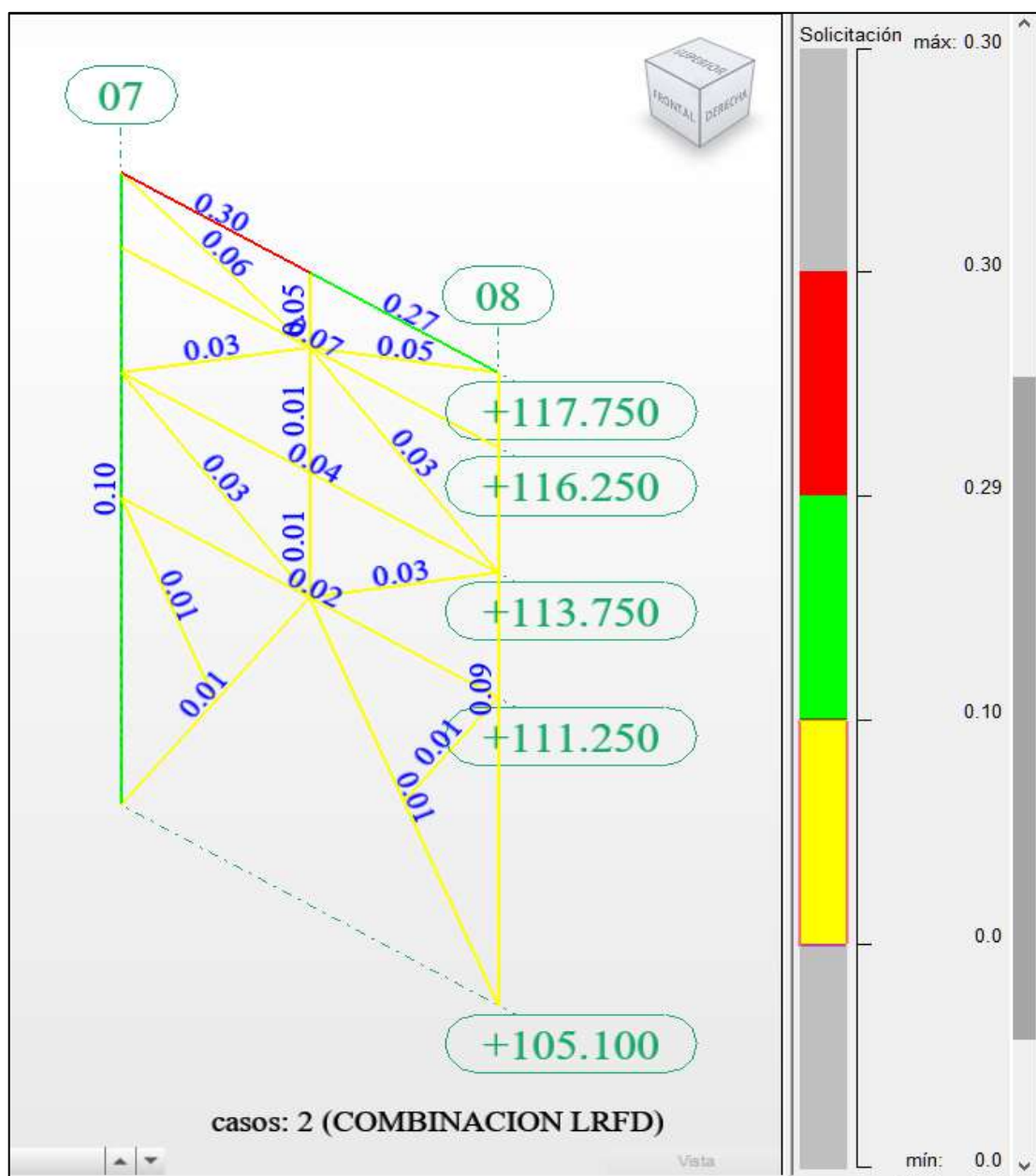


Figura 84. Diagrama de utilización de perfiles en etapa de izaje en Autodesk Robot Structural Analysis

Fuente: Elaboración propia

➤ Diagrama de Momentos en Y

Así también se elaboró el diagrama de momentos para verificar aquellos puntos críticos, tal como se muestra en la Figura 85.

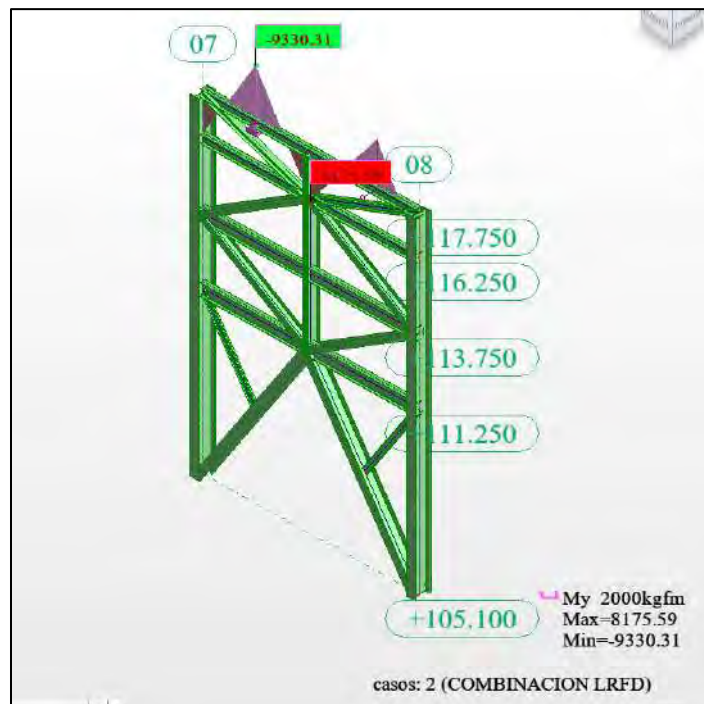


Figura 85. Diagrama de momentos en el eje Y en etapa de izaje en Autodesk Robot Structural Analysis

Fuente: Elaboración propia

➤ Diagrama de Fuerzas cortante en Z

Así también se elaboró el diagrama de fuerza cortante para verificar aquellos puntos críticos.

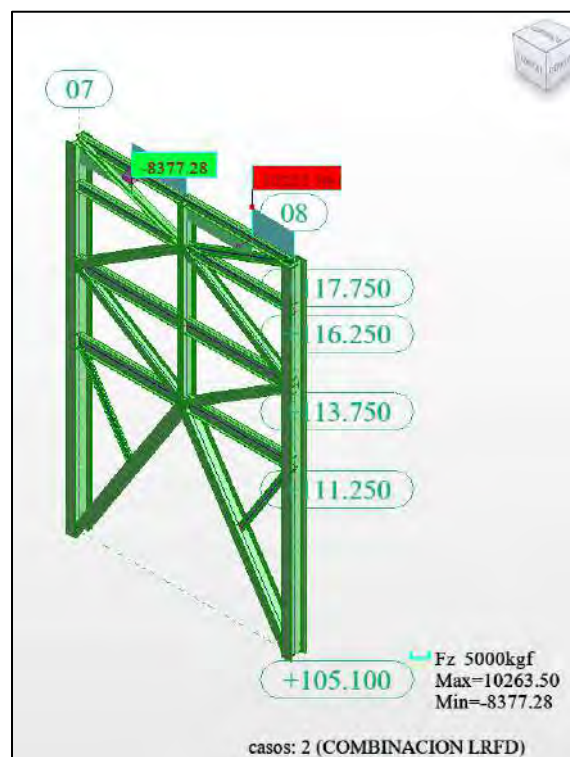


Figura 86. Diagrama de fuerzas cortantes en el eje Z en etapa de izaje en Autodesk Robot Structural Analysis

Fuente: Elaboración propia

➤ Reacciones

Así también se elaboró el diagrama de cuerpo libre con las reacciones que intervienen en la estructura (ver Figura 87).

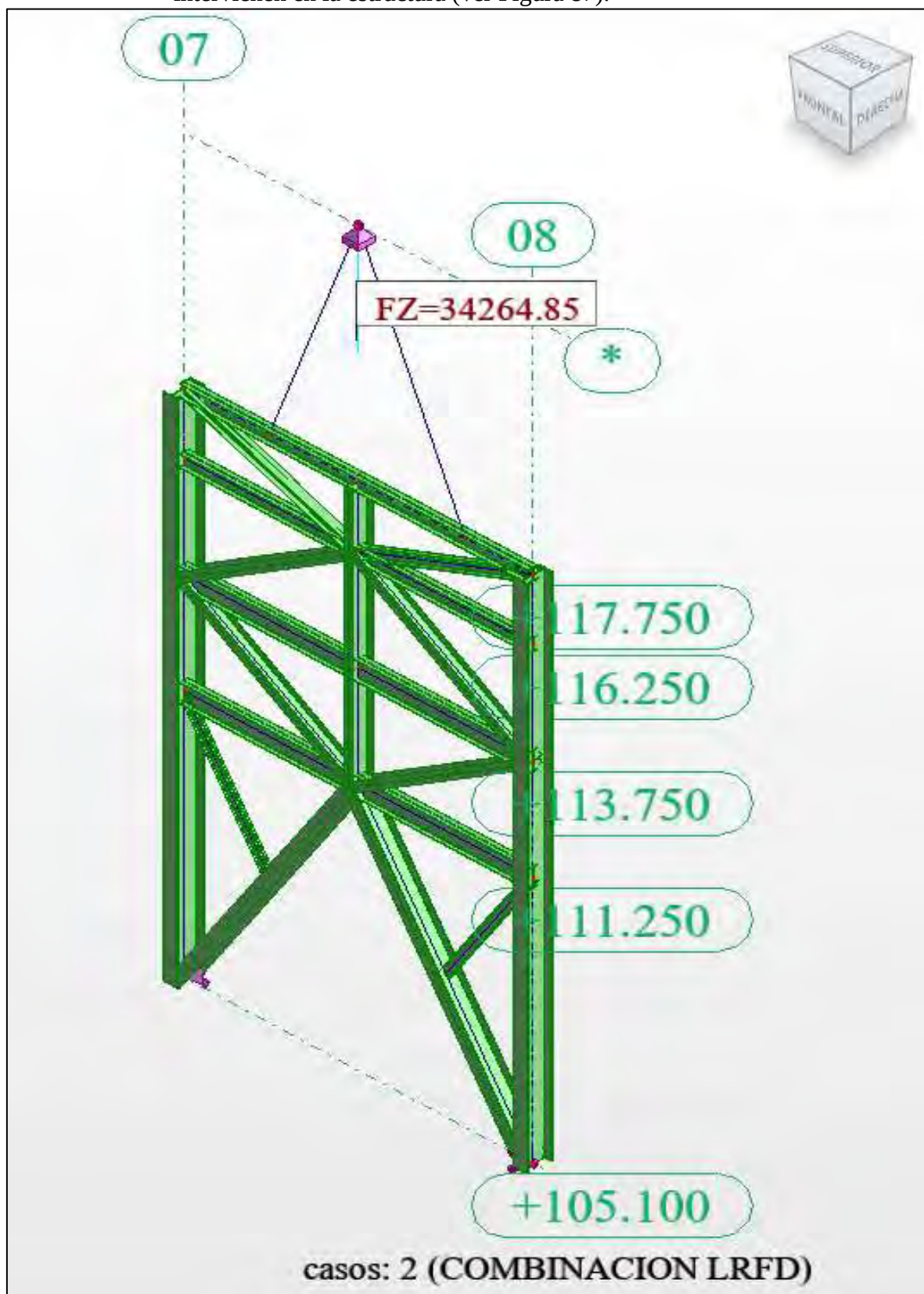


Figura 87. Diagrama de reacciones en etapa de izaje de la estructura

Fuente: Elaboración propia

d) Verificación del perfil más crítico

NORMA: *ANSI/AISC 360-10 An American National Standard, June 22, 2010*

TIPO DE ANÁLISIS: *Verificación de las barras*

GRUPO:

BARRA: 20 083VX014

PUNTOS: 3

COORDENADA: $x = 0.49 L = 1.96 \text{ m}$

CARGAS:

Caso de carga más desfavorable: 2 COMBINACION LRFD 1*2.40

MATERIAL:

STEEL A992-50 $F_y = 3515.35 \text{ kgf/cm}^2$ $F_u = 4569.95 \text{ kgf/cm}^2$ $E = 2038902.42 \text{ kgf/cm}^2$



PARAMETROS DE LA SECCION: W 12x50

$d=31.0 \text{ cm}$	$A_y=66.73 \text{ cm}^2$	$A_z=29.12 \text{ cm}^2$	$A_x=94.19 \text{ cm}^2$
$b_f=20.5 \text{ cm}$	$I_y=16274.65 \text{ cm}^4$	$I_z=2343.38 \text{ cm}^4$	$J=71.18 \text{ cm}^4$
$t_w=0.9 \text{ cm}$	$S_y=1050.38 \text{ cm}^3$	$S_z=228.36 \text{ cm}^3$	
$t_f=1.6 \text{ cm}$	$Z_y=1178.23 \text{ cm}^3$	$Z_z=349.04 \text{ cm}^3$	

PARAMETROS DE LA BARRA:



$L_y = 4.00 \text{ m}$
 $K_y = 1.00$
 $KL_y/ry = 30.43$



$L_z = 4.00 \text{ m}$
 $K_z = 1.00$
 $KL_z/rz = 80.20$



$L_b = 4.00 \text{ m}$
 $C_b = 1.00$

ESFUERZOS INTERNOS:

$P_r = -3971.47 \text{ kgf}$
 $M_{ry} = -9330.31 \text{ kgf}\cdot\text{m}$
 $\text{kgf}\cdot\text{m}$

$V_{rz} = -8377.28 \text{ kgf}$

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO

$F_{ity}\cdot P_{nty} = 298010.28 \text{ kgf}$
 $F_{ib}\cdot M_{ny} = 32163.55$

$F_{iv}\cdot V_{nz} = 61425.50 \text{ kgf}$

PARÁMETRO DE SEGURIDAD

$F_{ib} = 0.90$

$F_{ity} = 0.90$

$F_{iv} = 1.00$

ELEMENTOS DE LA SECCION:

ala = compacto

alma = compacto

FORMULAS DE VERIFICACION:

$P_r/(2\cdot F_{ity}\cdot P_{nty}) + M_{ry}/(F_{ib}\cdot M_{ny}) = 0.30 < 1.00$ LRFD (H1-1b) Verificado

$V_{rz}/(F_{iv}\cdot V_{nz}) = 0.14 < 1.00$ LRFD (G2-1) Verificado

$K_y\cdot L_y/ry = 30.43 < (K\cdot L/r)_{\text{max}} = 300.00$ $K_z\cdot L_z/rz = 80.20 < (K\cdot L/r)_{\text{max}} = 300.00$ ESTABLE

Perfil correcto !!!

Para la obtención de los resultados obtenidos considerando el perfil más crítico con código de estructura es 083VX014. Se utilizó el análisis de verificación de perfiles del programa *Autodesk Robot Structural Analysis*, del cual se obtiene que el perfil es correcto y resiste las maniobras de trabajo. Después de esta verificación ya se pueden obtener los resultados mostrados en el apartado c.

Por tanto se puede concluir que la estructura no va a sufrir deformaciones al adoptar esta nueva configuración de pre-ensamble y montaje. Para los pernos, no se realizará la simulación ya que por norma técnica de diseño de estructura AISC 316, los pernos serían los últimos en sufrir daño; es decir, primero se deformaría la estructura antes que los pernos.

Capítulo 4

Estimación del impacto en recursos y costos generado por la aplicación del proyecto.

En el presente capítulo se estimará el impacto económico que genera las mejoras implementadas en el montaje de estructuras. Para ello se detallaron la secuencia de actividades y la cantidad de horas hombre ganadas al adoptar las mejoras planteadas, todo esto se encuentra detallado en el capítulo 3. Estas mejoras son configuraciones innovadoras al proceso normal de montaje que trajeron grandes beneficios y que se reflejarán en este capítulo en costo o ahorro económico.

Como se ha presentado en el capítulo 03, estas mejoras fueron implementadas, durante la obra electromecánica en proceso. Aunque no se inició los primeros montajes con estas mejoras; inclusive, gran avance del alcance total de estructuras fue ejecutado sin adoptar las mejoras, permitió realizar las comparaciones de dos opciones, una adoptando la mejora y la otra sin adoptar la mejora. Lo cual nos permitirá estimar el costo económico que se hubiera ahorrado y también el costo ahorrado total.

4.1. Costos principales involucrados en el montaje de estructura.

En esta parte de la tesis se determinará de forma cuantitativa los beneficios obtenidos al adoptar las mejoras propuestas que han sido detalladas y analizadas en el capítulo anterior. Es decir se realizará un cuadro consolidado con los beneficios obtenidos para cada opción. Antes de realizar cualquier análisis se definirán algunos costos y precios del proyecto.

a) Costo de mano de obra calificada

De acuerdo a lo señalado en cada mejora, el beneficio o ahorro por adoptar cada mejora se tiene reflejado en H-H, por tanto para convertir estas horas en beneficio económico, resulta necesario saber el costo de las H-H. Para la empresa que está montando las estructuras GyM se han considerado los precios mostrados en la Tabla 57, los cuales han sido declarados a la supervisión y son considerados como precio unitario.

En la Tabla 57 se muestran los costos de horas hombre clasificado en hora normal, hora extra y hora festivo, en el proyecto se solía trabajar 10 horas diarias. Por tanto diariamente se trabaja dos horas extras. Para cálculos más exactos se ha calculado el precio unitario de hora hombre considerando 8 horas de hora normal y 2 horas extras y promediando el precio por hora, este nuevo precio se aprecia en la última columna con encabezado PU (Precio unitario).

Tabla 57. Cuadro de precios de mano de obra calificada

1. MANO DE OBRA	PU USD/H-H			
	Hora Normal	Hora Extra	Hora Festivo	PU
Supervisor Electromecánico	36.6	40.26	40.26	37.332
Capataz Electromecánico	13.95	15.35	15.35	14.23
Operario Mecánico Montaje	15.23	16.76	16.76	15.536
Operario Maniobrista de Montaje	15.03	16.54	16.54	15.332
Operario Pintor Electromecánico	15.04	16.55	16.55	15.342
Topógrafo Electromecánico	15.26	16.79	16.79	15.566
Operario Mecánico de Estructura	15.23	16.76	16.76	15.536
Oficial Electromecánico	9.96	10.96	10.96	10.16
Ayudante Electromecánico	6.83	7.52	7.52	6.968

Fuente: Elaboración propia

En nuestro caso se estimará el precio de H-H para el montaje de estructura. Por tanto se realizarán las siguientes consideraciones:

- La cuadrilla común de trabajo consta de 8 personas, y está compuesta por un capataz, 5 operarios, 2 oficiales y un ayudante.
- El precio de horas hombre se considera como gastos directos, y sólo involucra ayudantes, oficiales, operarios y capataces.

Por tanto el precio de H-H para la actividad de estructura será:

$$Ctd * PU HHcptz + Ctd * PU HH ofi. + Ctd * PU HHayud = PU HH estruct ...$$

(8)

Reemplazamos los precios unitarios de la tabla 57 en la fórmula 8 y se obtiene lo siguiente:

$$PU HH estructura = 13.244 \text{ dólares...}(9)$$

Por tanto para los cálculos de beneficio económico por H-H, se calculará con este precio de 13.24 dólares.

b) Costo de andamios

De acuerdo a lo indicado, en andamios no se ha tenido gran ahorro económico, debido a que el mayor precio es por metro cúbico para armado y desarmado de andamios. Por el contrario, el precio de alquiler de andamios por metro cúbico después del armado de andamios hasta antes del desarmado es muy bajo, como se puede apreciar en la tabla 58.

Por otro lado, los andamios se requieren de todas formas para las otras disciplinas. Por tanto, para la empresa no representa mucho ahorro en cuanto a andamios. Sin embargo si la empresa fuera solamente la disciplina de estructuras, entonces si se tendría gran ahorro.

Tabla 58. Cuadro de precios de andamios

Item	Descripción	UOM	Unit Price USD (\$)
01.00.00	Montaje y desmontaje de andamios (m³)	m3	21.41
02.00.00	Alquiler de andamios (m³/día)	m3/dia	0.32

Fuente: Elaboración propia

c) Costo de Maquinaria

Así también, se detallarán los precios unitarios de maquinaria más representativos para la actividad de montaje de estructura como son grúas, camiones, *manlift* o plataforma elevadora y grupos electrógenos.

Estos precios se detallan en la Tabla 59 con los precios unitarios en horas máquina (HM).

Tabla 59. Cuadro de precios de maquinaria

Item	Descripción	UOM	Unit Price USD (\$)
1	Grúa telescópica de 150 Tm.	HM	328.86
2	Grúa telescópica de 90 Tm.	HM	150.69
3	Grúa telescópica de 50 Tm.	HM	142.61
4	Camión grúa con pluma telescópica hasta 15 Tm.	HM	91.7
5	Camión trailer con remolque/plataforma	HM	76.34
6	Camión pickup/forgoneta	HM	97.01
7	Plataforma elevadora telescópica/articulada hasta 30 m.	HM	92.03
8	Grupo electrógeno diésel (50 KVA)	HM	17.45
9	Grupo electrógeno diésel (100 KVA)	HM	29.69

Fuente: Elaboración propia

Estos precios son los precios que se usarán para el cálculo de ahorro o ganancias de las mejoras propuestas en esta tesis.

4.2. Determinación de las mejoras implementadas al proceso

En esta parte de la tesis evaluaremos las tres clasificaciones de mejoras que se desarrollaron en el capítulo 3, y se determinará de forma cuantitativa si la mejora trae un gran beneficio; o simplemente, no representa mayor beneficio para la actividad de montaje de estructuras. Sin embargo, lo visto en el capítulo 3 ya nos muestra ganancias positivas, las cuales en este capítulo, se va a transformar directamente en efectivo. También se verá si el impacto representa un monto representativo de ganancia en la actividad considerando el alcance total.

Las opciones de mejora son las siguientes:

- **Mejora en el montaje de estructura:** Esta mejora evaluó una nueva configuración de pre-ensamble denominados alzados compuestos, por lo que se obtuvo un margen de H-H de ahorro en las actividades de montaje y torque de pernos.
- **Mejora en la detección de interferencias e incompatibilidades:** En esta mejora, se presentaron varios casos de errores de diseño, los cuales se pudieron evitar o prevenir con una mejor ingeniería de diseño, es decir con mayor presupuesto y mayor personal calificado. Así también se pudieron evitar retrasos al detectar la desviación en tiempo oportuno con la revisión a detalle de planos y maqueta virtual igualmente con personal calificado en el área de construcción u oficina técnica del grupo de montaje.
- **Mejora en el montaje de estructura con complemento:** Para esta mejora se implementó una idea muy importante, el montaje compuesto, el cual consiste en montar la estructura pre-ensamblada con una o varias actividades ejecutadas antes del montaje de las estructuras siempre y cuando esto no afecte el correcto funcionamiento de la estructura.

Por tanto, se verificarán estas tres opciones de acuerdo a los criterios establecidos anteriormente en el presente capítulo y con los precios definidos en las Tablas 57, 58 y 59.

4.2.1. Resultados de la Mejora en el montaje de estructura

De la muestra seleccionada, se enumeraron las actividades y se realizó un cuadro comparativo de las dos opciones adoptadas para verificar los beneficios obtenidos adoptando la opción de mejora en comparación a la opción tradicional establecida.

La muestra es el *rack* BTCG tramos 01 y 02, la cual consta de 388.596 toneladas según la tabla 23. Así también se realizaron el cálculo de H-H estimadas para el montaje de la muestra con los *ratios* original y meta en la tabla 24, de esa tabla sólo se toma las H-H de montaje, ya que las H-H de la actividad de colocación de *grout* no se están considerando en esta mejora, dado que son actividades civiles y están cobradas de otra forma.

En la tabla 60 se muestran las cantidades de H-H adoptando la opción de mejora que es la opción 02 y la opción tradicional que corresponde a la opción 01.

Tabla 60. Diferencia de H-H en la mejora de montaje de estructura

Descripción de actividad	OPCIÓN 01	OPCIÓN 02
Transporte y selección de material	460	460
Traslado de estructuras del patio de trabajo a refinería	620	620
Pre-ensamble de pórticos y alzados compuestos	2080	2400
Preparación de la base	640	640
Pretensado o Torque de pernos	2010	1819
Montaje de pórticos y alzados compuestos	800	800
Montaje de elementos de amarre y apriete manual de pernos	3706	3127
Alineamiento final	430	430
Total	10746	10296

Fuente: Elaboración propia

Si se revisa la tabla 24, se tiene que las H-H estimadas para el montaje de esta muestra específica según el *ratio* original es de 13269 H-H, y según el *ratio* meta se tiene 11177 H-H estimadas para el montaje de la muestra seleccionada.

Calculamos el índice de performance PF para verificar si hemos consumido las horas presupuestadas, para este cálculo se aplicará la fórmula (1) ubicada en el capítulo 3.1.4. Esta fórmula consta de dos componentes, una de ellas consiste en las H-H ganadas a la fecha, que son las horas calculadas con el *ratio* meta y la otra son las H-H gastadas o consumidas reales por la actividad.

Para la opción 01, tenemos que

$$PF = \frac{HH \text{ ganadas a la fecha}}{HH \text{ gastadas a la fecha}} = \frac{11177}{10746} = 1.040107947$$

Para la opción 02, tenemos que

$$PF = \frac{HH \text{ ganadas a la fecha}}{HH \text{ gastadas a la fecha}} = \frac{11177}{10296} = 1.08556721$$

Las dos opciones presentan un PF mayor a uno, lo que significa que se han consumido menos horas de las presupuestadas y como disciplina de estructuras se puede decir que se ha ganado y se ha tenido un buen manejo de la disciplina. Y eso se debe a la línea de mando de la disciplina.

Por otro lado, la opción 02 presenta un mejor PF, debido a que, se han consumido mucho menos horas que la opción 01. De acuerdo a lo señalado en la tabla 60, tenemos que la mejora de la actividad de montaje principalmente en el cambio de configuración de pre-ensambles que influye en todo el proceso, como ya se ha visto en el capítulo 3, tiene una ganancia de 450 H-H, las cuales tienen un precio de 13.24 dólares, por tanto se puede decir que para la opción de mejora ha permitido una ganancia de 5958 dólares por la muestra seleccionada.

A esta ganancia de H-H, se van a sumar las horas máquina de la *manlift* y grúas. La proporción que se tiene en la obra es de 10 H-H a 1 hora máquina de grúa y o *manlift*; sin embargo, la grúa solo se usa en la etapa de pre-ensamble y montaje, lo que corresponde al 56% del total de la actividad; y en el caso del *manlift*, se usa en la etapa de montaje, que corresponde al 26% de la actividad.

Siguiendo con los lineamientos establecidos en el párrafo anterior, tenemos que las horas máquina ahorradas de grúa serían igual a $450 \times 0.56 \times 1/10$ que es 25.2 horas máquina de grúa, que transformadas a efectivo con el precio de una grúa de 90 toneladas serían 25.2×150.69 que es igual a 3797.38 dólares para la muestra de trabajo del rack BTCTG.

Así también las horas máquinas de *manlift* o plataforma elevadora ahorradas serían igual a $450 \times 0.26 \times 1/10$ que es 11.7 horas máquina de *manlift*, que corresponde a 11.7×92.03 , que es igual a 1076.75 dólares para la muestra seleccionada.

En resumen, se dice que, para las 388.596 toneladas del rack BTCTG, se obtuvo una ganancia total de 10832.13 dólares.

4.2.2. Resultados de la mejora de detección de interferencias e incompatibilidades

En este capítulo se presentarán principalmente el costo de los errores de interferencia, debido a errores de diseño, los cuales representan un gran daño y una pérdida económica para el proyecto. Estos problemas de diseño retrasan la obra pero los asume la empresa supervisora, ya que la empresa montajista no participó en el diseño de las estructuras. Para evitar errores futuros o en alguna otra obra se propone la adición de 02 ingenieros calificados para la revisión de planos y software de ayuda para detectar este tipo de errores. Para esta obra, esa adición de personal calificado no dependía de la empresa de montaje, por tanto no se implementó esta mejora.

Sin embargo, Estos errores tuvieron un costo, el cual se detallará a continuación.

4.2.2.1. Costo de reparación de interferencia de estructura con equipo.

Para la estimación del costo de reparación de este error de diseño se enumeraron los recursos y H-H a consumir en la tabla 45. Este trabajo se considera como un trabajo adicional y eso significa que le conviene a la empresa montajista; sin embargo, la empresa supervisora debe encargarse del costo por reparación de

este error. Este error consiste en que el diseño de la estructura no consideró las dimensiones del aislamiento por lo que se tuvieron que realizar acciones detalladas en el capítulo 3.3.2.1. Para repararlo.

El costo para la empresa supervisora es lo que se muestra en la Tabla 61, el precio asciende a 21 485.78 dólares, lo cual significa una pérdida representativa para el montaje de esa unidad que involucra equipos y plataformas.

Tabla 61. Descripción de recursos y costo de reparación de error de interferencia

Item	Descripción	UOM	QTY	Unit Price USD (\$)	Amount USD (\$)	H-H Unit	Total H-H
01.00.00	Suministro y aplicación de mortero de cemento sin retracción para relleno en bases de equipos, cajetines, manguitos y placas de apoyo.	m3	0.07	4,947.60	357.71	350.92	25.37
02.00.00	Desmontaje de plataforma pre-ensamblada completa RCO-D-002						
02.10.00	MEDIA: perfiles de peso (>25-:≤100) kg/m y chapas de espesor (>5-:≤10) mm	kg	4,708.40	0.80	3,775.58	0.05	245.12
02.20.00	LIGERA: perfiles de peso ≤25 kg/m y chapas de espesor ≤5 mm	kg	1,440.60	1.06	1,520.70	0.07	100.00
02.30.00	Barandillas-Formas rectas	kg	497.60	1.28	639.33	0.09	43.17
02.40.00	Cualquier dimensión y estándar	kg	219.90	1.40	307.83	0.10	20.99
02.50.00	Plataformas rectas	kg	782.70	1.02	799.25	0.07	54.33
03.00.00	Montaje de plataforma pre-ensamblada completa RCO-D-002						
03.10.00	MEDIA: perfiles de peso (>25-:≤100) kg/m y chapas de espesor (>5-:≤10) mm	kg	4,708.40	1.60	7,551.16	0.05	245.12
03.20.00	LIGERA: perfiles de peso ≤25 kg/m y chapas de espesor ≤5 mm	kg	1,440.60	2.11	3,041.40	0.07	100.00
03.30.00	Barandillas-Formas rectas	kg	497.60	2.57	1,278.67	0.09	43.17
03.40.00	Cualquier dimensión y estándar	kg	219.90	2.80	615.66	0.10	20.99
03.50.00	Plataformas rectas	kg	782.70	2.04	1,598.49	0.07	54.33
TOTAL					USD 21,485.7		952.58

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.2. Costo de reparación de posición incorrecta de pernos en cimentaciones

En este capítulo se estimará el precio de la reparación del error de incompatibilidad de planos, lo que originó posición incorrecta de pernos de anclaje de las cimentaciones. Este error también es de diseño. Se tendría que haber invertido mucho más en ingeniería para que no se tengan muchos errores de este tipo, ya que en todas las disciplinas aparecieron muchos errores de diseño.

En la Tabla 62 se muestran los recursos y precios por la reparación del error.

Tabla 62. Descripción de recursos y costo de reparación de error de incompatibilidad

Item	Descripción	UOM	QTY	Unit Price USD (\$)	Amount USD (\$)	H-H Unit	Total H-H
01.00.00	Demolición manual y eliminación de bloque de concreto	m3	4.74	402.89	1,908.09	27.50	130.24
02.00.00	Carga, transporte y descarga de los materiales sobrantes de excavación, en vertedero exterior autorizado fuera de los límites de la propiedad.	m3	4.74	12.53	59.34	0.34	1.61
03.00.00	Excavación en profundidad y/o zanja en toda clase de terreno (excepto roca), a cualquier profundidad, por medios manuales.	m3	4.74	66.79	316.58	7.33	34.74
04.00.00	Suministro y montaje de acero corrugado para armar con límite elástico según especificaciones de proyecto.	kg	400.00	1.50	600.00	0.05	20.80
05.00.00	Suministro y montaje de encofrado	m2	27.60	22.55	622.38	1.94	53.54
06.00.00	Suministro y vertido de hormigón de limpieza, 5 <= e <= 10 cm. Tipo de hormigón y clase de exposición según especificación de proyecto, incluyendo cualquier tipo de aditivos como colorantes, acelerantes, retardantes, etc.	m3	4.74	119.13	564.68	2.29	10.85
TOTAL					USD 4,071.07		251.79

Fuente: Elaboración propia

De la tabla anterior se puede deducir que el precio para reparar este error es de 4071.07 dólares, esta cifra es muy representativa, y también representa un trabajo adicional, lo cual es conveniente para la empresa montajista porque brinda mayores servicios, por tanto mayores pagos; sin embargo la empresa supervisora debe asumir el costo por la reparación de este error y además genera un retraso a la obra.

Por otro lado, se puede asumir que este error también se hubiera evitado adicionando el personal calificado propuesto al inicio del capítulo 4.2.2 para encargarse de la revisión exhaustiva de planos e información de diseño para verificar compatibilidades de planos, pero debió haberse realizado en la etapa de diseño e ingeniería, es decir mucho tiempo antes de iniciar la obra.

4.2.2.3. Costo de reparación de interferencia de soporte de tubería con estructura.

En este capítulo también se va a calcular el costo de este error, que también es de diseño, los trabajos de reparación se encuentran detallados en el capítulo 3.3.2.3. Sin embargo este error es repetitivo en varios *pipe racks*, por lo que las pérdidas son mayores para este error. Al ser un error de diseño, el precio de los trabajos de reparación será asumido por la empresa supervisora, mientras que para la empresa montajista, o la empresa que repara el error le resulta muy conveniente, porque brindará un servicio adicional que le generará mayores ganancias.

En la tabla 63 se presentan los recursos y trabajos de la reparación del error y el costo por cada recurso.

Tabla 63. Descripción de recursos y costo de reparación por modificaciones

Item	Descripción	UOM	QTY	Unit Price USD (\$)	Amount USD (\$)	H-H Unit	Total H-H
01.00.00	Corte y retiro de stability bracing en bandeja de tuberías	und	1.00	1,184.71	1,184.71	15.50	15.50
02.00.00	Retiro de planchas y conectores existentes	und	4.00	135.87	543.48	2.63	10.50
03.00.00	Soldeo de planchas de refuerzo	und	4.00	279.84	1,119.35	5.25	21.00
04.00.00	Instalación de stability bracing en bandeja de tuberías	und	1.00	274.81	274.81	5.25	5.25
05.00.00	Resane de pintura	und	4.00	127.66	510.65	2.75	11.00
06.00.00	Fabricación de planchas y conectores de acero	gbl	8.00	112.73	901.87	-	-
TOTAL					USD 4,534.87		63.25

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo visto en la tabla 62, los trabajos costaron 4534.87 dólares, lo cual es muy representativo porque hubieron varios casos similares.

Como se ha visto en todo este capítulo 4.2.2 los errores presentados fueron errores de ingeniería de diseño, los cuales se pudieron prevenir en esa etapa, que se desarrolla mucho tiempo antes de la fabricación. En esta tesis se propone la implementación de personal de ingeniería calificado; pero estos errores sucedieron en la etapa de montaje, lo que generó retrasos y trabajos adicionales y en esa etapa, lo único que se puede hacer es realizar acciones correctivas; ya que la estructura, equipos, tubería y cimentaciones civiles ya están construidas y se debe modificar alguno de estos elementos para hacer compatible el montaje.

Este capítulo se hizo con el fin de mostrar la importancia que tiene la etapa de diseño en la construcción. Aunque no sea responsabilidad de la empresa de montaje, ocasione retrasos y re-trabajos en la obra desde una visión general. Por tanto, se recomienda realizar una buena inversión en la ingeniería de diseño con el fin de evitar errores en la etapa de construcción.

4.2.3. Resultados de la mejora de montajes compuestos.

Para este grupo de mejoras también se calcularon los beneficios obtenidos al adoptar las mejoras propuestas, en el capítulo 3.3.3. Se describieron actividades de cada tipo de montaje y se enumeraron los beneficios obtenidos. Así también, se calcularán los beneficios económicos que se obtienen al adoptar estas mejoras.

4.2.3.1. Resultados de montaje compuesto de estructura y equipo.

Para esta mejora se tiene una diferencia de 50 horas ahorradas al adoptar esta mejora para la muestra seleccionada, que corresponde a la plataforma con código MU503. Estas horas de ahorro representan un ahorro de 662 dólares con el precio de 13.24 dólares por hora. Sin embargo este ahorro debe ser compartido

con la disciplina de montaje de equipos, que también participó en el desarrollo de esta mejora.

Así también para esta mejora, se logró el ahorro de un día de 10 horas de trabajo de una grúa de 80 toneladas, usando el precio unitario de la tabla 59 resultan 1506.9 dólares.

Por tanto la ganancia total para la muestra seleccionada, estructura MU503 será de 2168.9 dólares.

4.2.3.2. Resultados de montaje de estructura con pernos pretensados

Para esta mejora, se ha calculado el ahorro obtenido en todo el universo de estructuras del alcance de la empresa de montaje, por lo que se calculará la ganancia real obtenida al adoptar esta mejora. Sin embargo, no se considerará la mejora adicional de alzados compuestos implementados para todos los *racks*, ya que cuando se implementó dicha mejora, ya se habían montado más del 60% de estructura. Además se quiere calcular la ganancia real de esta mejora.

Según la tabla 50 y 51 se recopilaban las H-H para la opción mejorada y la normal y se obtuvo la tabla 63, que muestra la diferencia de H-H y montos para cada opción.

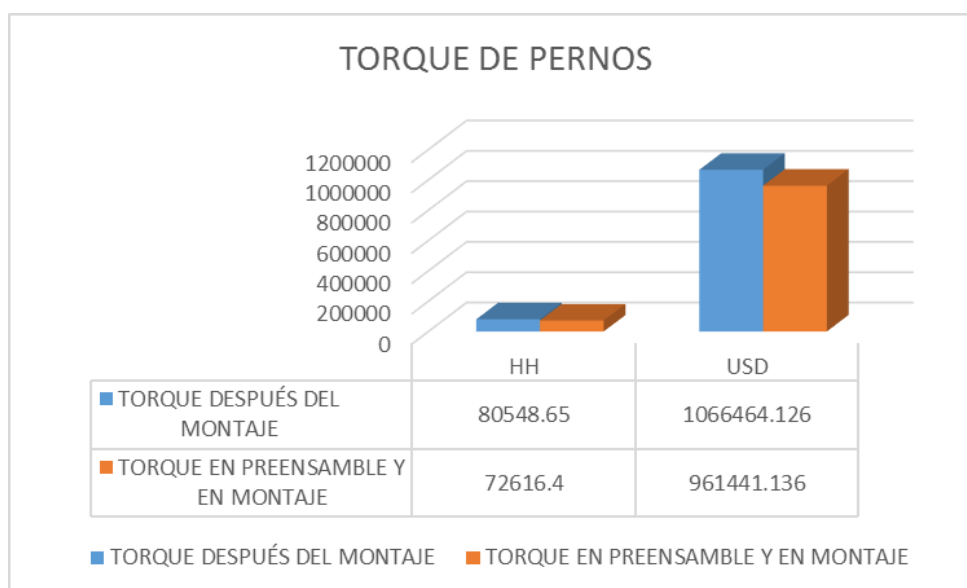


Figura 88. Diagrama comparativo de montaje de estructura con pernos pretensados

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo obtenido en la figura 88, se tiene que la diferencia de H-H al adoptar la mejora es de 7932 horas, y esto corresponde a 105022 dólares de ganancia efectiva por adoptar esta mejora en el pretensado de todos los *racks*, es decir en las más de 14 mil toneladas de estructura que se ejecutan en los 2.5 años según lo estipulado en el contrato.

4.2.3.3. Resultados de montaje de estructura con pernos pintados

Para esta mejora, también se realizó el análisis respectivo en el capítulo 3, tomando como muestra el *rack* de aguas cuyo peso es de 666.45 toneladas y con

38144 pernos de diámetros entre 3/4'' y 1 1/2'', de la muestra real seleccionada, se pudo sacar *ratios* de la actividad y con esto, se estimaron las horas hombre que se hubieran consumido si el pintado de pernos se hubiera ejecutado considerando la opción de mejora. Por tanto se estimarán 3 valores del alcance total de estructuras (14 *racks*) para comparar:

- Las H-H, si la actividad se hubiera ejecutado de forma normal
- Las H-H, si la actividad se hubiera ejecutado adoptando la mejora propuesta.
- las horas hombre real ganadas esperadas es un porcentaje de la ganancia total; que corresponde al porcentaje de estructura que implementó la mejora respecto a la cantidad total de *pipe racks* del proyecto.

Para determinar el porcentaje de estructura que realmente implementó la mejora, debemos usar la tabla 63, que muestra los *pipe racks* del proyecto, además, los *racks* con código resaltados en amarillo corresponde a los *racks* que se le aplicaron la mejora, esos *racks* suman un peso de 1894.918 toneladas respecto a las 14028.189 toneladas totales. Por tanto, el porcentaje esperado de ganancia real respecto a la ganancia total calculada es el 13.5%.

Tabla 63. Peso total de estructura

ITEM	UNIDAD	ÁREA	DESCRIPCIÓN	PESO [KG]
1	INT	EO1	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS E/O N°1	3,003,683.68
2	INT	EO2	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS E/O N°2	875,593.30
3	INT	EO3	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS E/O N°3	1,610,423.70
4	INT	EO4	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS E/O N°4	205,153.57
5	INT	NS1	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS N/S N°1	627,521.69
6	INT	NS2	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS N/S N°2	1,924,737.35
7	INT	NS3	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS N/S N°3	2,102,892.25
8	INT	NS4	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS N/S N°4	381,903.97
9	INT	NS5	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS N/S N°5	800,797.72
10	INT	MU1	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS MU1	165,380.5
11	INT	MU2	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS MU2	435,179.90
12	INT	BCOG	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS COGENERACIÓN	1,038,780.03
13	INT	BTAG	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS TRATAMIENTO DE AGUA	673,788.42
14	INT	BWWS	ESTRUCTURA BANDEJA DE TUBERÍAS TRATAMIENTO DE AGUA A WWS	182,349.77
				13,862,805.35

Fuente: Elaboración propia

Calculando las H-H de las tres opciones que tenemos:

- Las H-H, si la actividad se hubiera ejecutado de forma normal, de acuerdo a la tabla 52 serían 157081.
- Las H-H, si la actividad se hubiera ejecutado adoptando la mejora propuesta, de acuerdo a la tabla serían 152636 H-H; es decir 4445 horas menos que si la actividad se hubiera ejecutado de forma normal. Con el precio de 13.24 dólares la hora hombre. El ahorro sería la diferencia de horas hombre entre las opciones 01 y 02 multiplicado por el precio unitario de la hora hombre, resultando 58 851. 8 dólares respecto a que si se tomara la opción 01.

- Las H-H real ganadas, según lo obtenido anteriormente se espera el 13.5% de las horas totales del apartado anterior. Se tiene que 20606 H-H se esperarían usar realmente; con el mismo porcentaje calculamos la ganancia real esperada, la cual sería de 7945 dólares.

Por otro lado, también se conoce que el *ratio* meta es 0.4625 hora hombre por perno. Por tanto las horas estimadas a consumir son 0.4625×333601 (total de pernos), que es igual a 154290.46 H-H. Por lo que debemos calcular el índice de performance PF para cada caso:

- Si la actividad se hubiera ejecutado de forma normal: El PF para esta opción es:

$$PF = \frac{HH \text{ ganadas a la fecha}}{HH \text{ gastadas a la fecha}} = \frac{154290}{157081} = 0.982235$$

Este valor de PF menor a 1, indica que las horas consumidas hubieran sido mucho mayor que las horas estimadas a consumir. Lo que significaría que no se cumplió con la meta establecida por la empresa.

- Si la actividad se hubiera ejecutado adoptando la mejora: El PF para esta opción es:

$$PF = \frac{HH \text{ ganadas a la fecha}}{HH \text{ gastadas a la fecha}} = \frac{154290}{152636} = 1.0108$$

Este valor de PF mayor a 1, indica que las horas consumidas hubieran sido mucho menor que las horas estimadas a consumir. Lo que significaría que si se cumplió con la meta establecida por la empresa y se tuvo un margen de ganancia.

- La actividad ejecutada de forma real. Antes de todo, se deben revisar nuestra data de H-H para verificar el total consumido real. De acuerdo a los datos obtenidos del área de control de proyectos, la cantidad de horas hombre asciende a 155353.

El PF para esta opción es:

$$PF = \frac{HH \text{ ganadas a la fecha}}{HH \text{ gastadas a la fecha}} = \frac{154290}{155353} = 0.9931575$$

Este valor de PF menor a 1, indica que las horas consumidas fueron mayor que las horas estimadas a consumir. Lo que significa que no se cumplió con la meta establecida por la empresa, y además según este control se estarían perdiendo 1063 H-H, que convertido en efectivo serían 14074.12 dólares. Sin embargo, se aclara que este *ratio* meta, es un objetivo de la empresa para el proyecto, y sirve para medirse de acuerdo a los rendimientos diarios; por tanto no se puede considerar como una pérdida sin verificar el costo de la actividad.

Así también, para calcular la ganancia real de la mejora comparada con la opción 01, es decir, lo real ejecutado del proyecto comparado a la opción normal sin la mejora. Se hallará la diferencia de H-H entre las horas real consumidas 155353 y las horas de la opción 01 que es 157081 horas. Resultando una ganancia real de 1728 horas hombre o lo mismo que es 22878.72 dólares.

Los *ratios* obtenidos en el capítulo 3.2.3.3. Son *ratios* históricos reales, los cuales se desvían del *ratio* meta, y esto es debido a las condiciones de campo e interferencias propias del proyecto.

4.2.3.4. Resultados de montaje de estructura con cobertura instalada

Para esta mejora se tiene una diferencia de 20 horas ahorradas por el hecho de adoptar esta mejora para la muestra seleccionada, que corresponde a la plataforma con código TKS-Z-003. Estas horas de ahorro representan un ahorro de 265 dólares con el precio de 13.24 dólares por hora. Sin embargo se debe tener en cuenta que hay más de una plataforma con cobertura.

Así también, se tiene un día de ahorro de una grúa de 80 toneladas, usando el precio unitario de la tabla 59 resultan 1506.9 dólares.

Por tanto la ganancia total para la muestra seleccionada, estructura TKS-Z-003 será de 1771.9 dólares.

4.3. Análisis financiero

Para el análisis financiero de un proyecto, es común evaluar la viabilidad de lo propuesto desde múltiples perspectivas, que influyen finalmente en la toma de decisiones por parte de la gerencia, quienes son los que aprueban la ejecución de este tipo de modificaciones al proceso normal de trabajo.

Las decisiones siempre son tomadas en base a los márgenes de ganancia que se pueden obtener al adoptar nuevas formas de montaje. alguna de estas mejoras podría no ser significativa, pero, cuando se compara con todo el alcance, podría generar grandes beneficios.

Por otra parte, las suposiciones financieras son posibles situaciones de riesgo, las cuales se fundamentan en datos históricos o análisis académicos, cuyos resultados benefician o perjudican el proceso normal de trabajo dentro de la empresa, y no solo desde el ámbito económico, sino también, tecnológico y ambiental, tal como lo explica Allen, Bradley y Myers (2010).

En ese sentido se presentarán a continuación las 05 mejoras más representativas y desarrolladas en esta tesis como suposiciones; consolidando las ganancias y amplificando la aplicación de la mejora para todo el alcance de la empresa.

4.3.1. Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura

En este capítulo se va a consolidar la ganancia obtenida, y mostrándolo como si la mejora se aplicaría para las 14028.18585 toneladas de estructura total de los 14 *racks* mostrados en la tabla 63.

Se realizará una gráfica comparativa con las tres opciones, se compararán las H-H aproximando las denominadas opciones 01 y 02 a todo el universo de estructuras y las H-H estimadas para realizar esta actividad.

- Opción 01: Montaje normal con pórticos tradicionales, según lo obtenido 10746 H-H para las 388.596 toneladas, ya que los *pipe racks* siguen la misma proporción se puede realizar una aproximación lineal para estimar las H-H de

las 14028.19 toneladas de los 14 *racks*. Las horas obtenidas para esta opción serán 387927.01 H-H.

- Opción 02: Montaje mejorado con pórticos y alzados compuestos, de acuerdo a la opción anterior, se calculan las H-H para esta opción realizando una aproximación lineal. Las H-H para la muestra son 10296; Por tanto las horas obtenidas para esta opción serán 371682.16
- Las H-H estimadas para las actividades de montaje de los 14 *racks* de la refinería, se muestran en la tabla 64.

Tabla 64. H-H total estimadas previstas para las actividades de montaje de los *racks*

Nombre de frente	Nombre de partida de control	H-H totales previstas
INTERCONEXION 1 - N/S 3, N/S 5, E/O 2, E/O 4	Montaje Estructura Liviana	2,801
	Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	64,198
	Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	35,920
	Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	23,420
	Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	22
INTERCONEXION 2 - N/S 2, E/O 3, E/O 1, N/S 4	Montaje Estructura Liviana	7,051
	Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	122,260
	Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	37,280
	Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	56,246
	Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	871
INTERCONEXION 3 - N/S 1, MU 1, MU2	Montaje Estructura Liviana	4,247
	Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	27,140
	Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	7,185
	Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	5,672
	Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	
INTERCONEXION 4 - Antorcha, Cogeneración y Zona Aguas.	Montaje Estructura Liviana	3,554
	Montaje Estructura Mediana (25kg/ml < peso < 100kg/m)	39,433
	Montaje Estructura Pesada (100kg/ml < peso < 175kg/m)	13,224
	Montaje Estructura Extra Pesada (> 175 kg/m)	9,281
	Montaje de Barandas, escalera de gato, plataforma y accesorios	1,518
TOTAL		461322

Fuente: Elaboración propia

Con las horas estimadas en los tres apartados anteriores, se realiza una gráfica comparativa, que se muestra en la figura 89.

De esta gráfica, se puede concluir que la mejor opción para desarrollar el montaje de estructuras es la opción 02, la cual adopta la mejora de incorporar pórticos y alzados compuestos en la etapa de pre-ensamble.

Según lo obtenido en el capítulo 4.2.1. Para la muestra trabajada del *rack* BTCC, con 388.596 toneladas, se tuvo de ganancia total para la opción 02 de 10832.13 dólares; de las cuales 1076.75 dólares o 11.7 horas máquina son de *manlift*, 3797.38 dólares o 25.2 horas máquina son de grúa y 5958 dólares o 450 H-H.

La estructura en todos los *pipe racks* es muy parecida, por lo que se podría aproximar de forma lineal la ganancia total de todo el universo de estructuras. Por tanto para el universo de estructura tipo *pipe racks* se tendría una ganancia total representada por la siguiente operación, $10832.13 \times 14028.18585 / 388.596$, que resulta 391036.2762 dólares, dicha ganancia se obtendría en el tiempo contractual de 2.5 años.

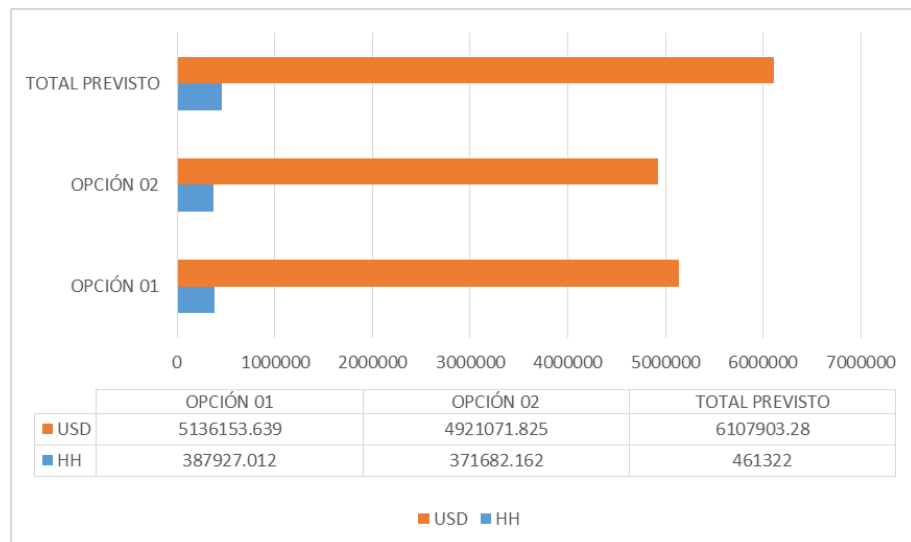


Figura 89. Diagrama comparativo de montaje de estructura con pernos pretensados
Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura con equipo

Para este análisis, se requiere conocer primero el universo de las estructuras que tienen equipo o equipos sobre ellas, por tanto, se revisó el metrado de estas estructuras para definir las cantidades de estructuras y pesos. En la tabla 65 se muestran los códigos de plataformas de estructuras que llevan equipos sobre ellas.

Tabla 65. H-H total estimadas previstas para las actividades de montaje de los racks

ESTRUCTURA	PESO TOT (Kg)	EQUIPO
PLATAFORMA TKPM TKS-D-003	1459.6	TKS-D-003
ESTRUCTURA MU503	9997.1	MU2-D-003, MU2-D-004
ESTRUCTURA MU504	7295.4	MU2-D-005, MU2-D-006

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en el capítulo 4.2.3.2. Se tiene una ganancia de 2168.9 dólares por equipo que va sobre estructura, ya que el único ahorro es por el día de maniobra y el día de la grúa que se ahorra también.

Por tanto, se puede deducir que para esta mejora implementada, se tendría una ganancia adicional o ahorro de 10844.5 dólares

4.3.3. Análisis financiero del montaje de estructura con pernos pretensados

Para esta mejora se compararán tres opciones; la opción 01, el proceso normal; la opción 02, el proceso con mejora y la opción 03, que corresponde a la opción ideal o la opción estimada prevista para esta actividad.

Según los datos obtenidos de la figura 87, se tienen los datos de la opción 01 y 02.

- Opción 01, Proceso normal de torque; es decir, la actividad realizada en el montaje. Se tienen un total de 80549 H-H.

- Opción 02, Proceso de torque con mejora implementada; es decir, la actividad realizada en la etapa de pre.-ensamble para pórticos y en la etapa de montaje. Se tienen un total de 72616 H-H.
- Asimismo, para estimar las H-H para la actividad de pretensado, se debe conocer las H-H totales para el montaje de todos los *racks*, Según la tabla 64 son 461322 H-H, pero el porcentaje de estas horas para la actividad de pretensado según la tabla 19 es de 14.4%. 66430.368.

Al graficar las tres opciones con los datos obtenidos en la figura 90, se observa que las horas previstas son mucho menor que las horas consumidas por las opciones 01 y 02. Sin embargo el PF para el proceso total de estructuras era mayor a 1 según lo calculado en el capítulo 4.2.1. Por lo tanto, se puede deducir que el porcentaje asignado por el área de control de proyectos para la actividad de pretensado debería ser mayor. No debería causarnos preocupación las horas previstas, ya que el proceso total si estaba dentro de las horas previstas.

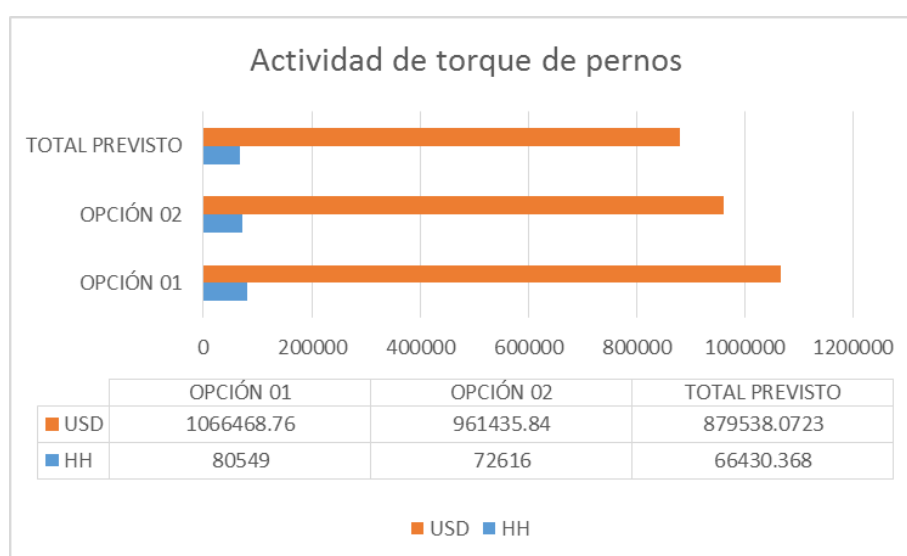


Figura 90. Diagrama comparativo de montaje de estructura con pernos pretensados

Fuente: Elaboración propia

Por tanto se puede concluir, que la mejor opción 02, la opción que adopta la mejora, con una ganancia o ahorro de 105022 dólares respecto a la opción 01 que no adopta la mejora.

4.3.4. Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura con pernos pintados

Para esta mejora, también se compararán tres opciones: la opción 01, proceso normal; opción 02, aplicando la mejora y la opción 03, que es lo previsto esperado. Todos estos datos ya han sido hallados en el capítulo 4.2.3.3.

- Opción 01, siguiendo el proceso normal de pintado después del montaje, se estimaron 157081 H-H.
- Opción 02, adoptando la mejora de pintar pernos de pórticos y alzados compuestos en etapa de pre-ensamble, se estimaron 152636 H-H.
- Horas hombre previstas a consumir por la actividad de pintado de pernos según el *ratio* meta, se obtuvo 154290.4625 H-H.

Por lo que se realiza una gráfica en la figura 88 para comparar los datos y seleccionar la alternativa óptima.

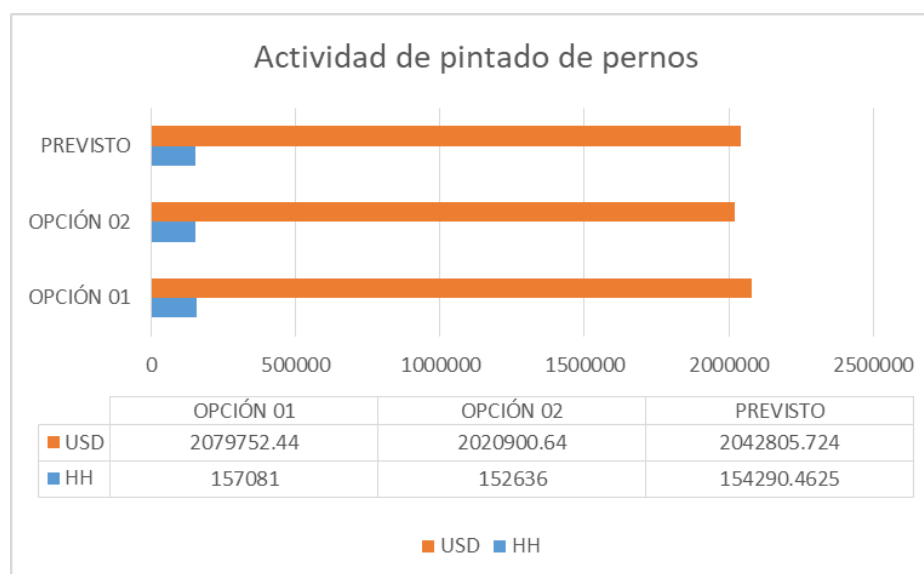


Figura 91. Diagrama comparativo de montaje de estructura con pernos pretensados

Fuente: Elaboración propia

De lo presentado en la figura 91, la mejor opción es la opción 02, que adopta la mejora propuesta, con una ganancia de 21905 dólares, respecto a lo previsto.

4.3.5. Análisis financiero de la mejora en montaje de estructura con cobertura

Para este análisis, similar al montaje de estructura con equipo, se requiere conocer primero el universo de las estructuras que tienen cobertura sobre ellas, por tanto, se revisó el metrado de estas estructuras para definir las cantidades de estructuras y pesos. En la tabla 66 se muestran los códigos de plataformas de estructuras con su peso respectivo que llevan cobertura sobre ellas.

Tabla 66. H-H total estimadas previstas para las actividades de montaje de los racks

ESTRUCTURA	PESO TOT (Kg)	CON COBERTURA O TECHO
02070-TKS-CIV-DRW-502 TKS-Z-003	3871	Aplica cobertura
ESTRUCTURA STA – ST500	3519.2	Aplica cobertura
ESTRUCTURA SO6	3351.33	Aplica cobertura
ESTRUCTURA FW500	47566.3	Aplica cobertura

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a lo presentado en el capítulo 4.2.3.4. Se tiene una ganancia de 1506.9 dólares por plataforma con cobertura que va sobre estructura, ya que el único ahorro es por el día de maniobra y el día de la grúa que se ahorra también. Sin embargo para la estructura FW500 con 47.5663 toneladas no aplicará la mejora, debido a la magnitud de la estructura con sus dimensiones. Por tanto la mejora solo se aplicará a 3 plataformas.

Por tanto, se puede deducir que para esta mejora implementada, se tendría una ganancia adicional o ahorro de 4520.7 dólares.

Conclusiones

1. Al implementar un método de montaje de estructuras que reduzca los recursos para la realización de actividades, resulta fácil tener un control general de las actividades involucradas en el proceso de montaje de estructuras en una refinería o en cualquier otro sector industrial.
2. Las horas hombre ahorradas al adoptar las mejoras planteadas, genera un avance importante en la eficiencia global del proceso. Inclusive considerando el universo de estructuras o alcance de la empresa de montaje en la refinería de Talara. Inclusive al efectuar las estimaciones de ganancia de todo el alcance, se tendría ganancias de hasta 391 mil dólares durante los 2.5 años de plazo del proyecto, de acuerdo a lo corroborado en las pruebas realizadas.
3. El proyecto de modernización de la refinería de Talara, es uno de los pocos en muchos años. Por tanto, las estimaciones que se hagan en este estudio, servirán de muestra para optimizar los procesos constructivos en proyectos de gran magnitud en refinerías y mineras.
4. A diferencia de otros tipos de proyectos, este proyecto, tiene efectos inmediatos, es por eso que pudo aplicarse las mejoras planteadas de forma inmediata. Sin embargo el sector de construcción no es como las empresas que realizan un mismo proceso por tiempo indefinido; el sector construcción sobrevive de los proyectos y estos tienen un inicio y un final siguiendo una distribución normal como la campana de gauss para todas las actividades involucradas.
5. Se puede afirmar, que la clave de todas las mejoras ha sido la etapa de pre-ensamble en el proceso de montaje de estructuras. Ya que, en esta etapa se puede aprovechar mayor maniobrabilidad y trabajos a nivel de piso en el taller de pre-ensambles fuera de la refinería, sin tanto control en los trabajos de altura dentro de refinería.
6. Si bien reducir las horas hombre implementando alternativas de mejora respecto a la opción normal, siguiendo el procedimiento establecido genera grandes ganancias. No se debe asumir esta diferencia como una ganancia definitiva, ya que esta opción mejorada, debe compararse a las horas hombre previstas para la actividad antes de su inicio, según datos históricos.
7. Luego de haber realizado las pruebas reales de las mejoras propuestas y evaluar los beneficios de la muestra y del alcance total, se demuestra con fundamento técnico y simulaciones en software que las mejoras planteadas son alternativas viables para el presente proyecto, lo que resulta muy atractivo para la terna gerencial.
8. Se puede afirmar que al adoptar las mejoras, no solo se reducen las horas hombre disminuyendo el índice de performance PF y por consiguiente el *ratio* de montaje; sino también, las horas máquina de los diferentes equipos utilizados, como grúas,

plataformas elevadoras o *manlift*, equipos menores de torque, maniobras en general, llaves de apriete, entre otros.

9. La ingeniería y diseño del proyecto, debió haber tenido una mayor inversión con el objetivo de evitar o minimizar los errores de ingeniería que generaron retrasos y re-trabajos en el proyecto.

Bibliografía

Research Council on Structural Connections. Specification for Structural Joints Using High Strength Bolts RCSC 2014. Agosto 1, 2014.

American Institute of Steel Construction. Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. Marzo 9, 2005.

American Institute of Steel Construction ANSI/AISC 360-16. Specification for Structural Steel Buildings. Julio 7, 2016.

Allen, F., Bradley, R., Myers, S. (2010). *Principios de finanzas corporativas*. México D. F., México: McGraw Hill.

Global Practice GP 04.01.01, *Concrete Design and Construction*, Noviembre 2005.

Global Practice GP 04.06.01, *Reinforced Concrete Foundations, Anchor Bolts and Grout*. Febrero, 2007.

Global Practice GP 04.09.01, *Site Preparation and Earthwork*. Febrero, 2007

Global Practice GP-19-01-01, *Paint and Protective Coatings*. Abril, 2004.

Global Practice GP 14-03-01, *Fireproofing*. Agosto 2006

Global Practice GP 19-03-01, *Guniting for Linings and Fireproof Coatings*. Junio, 2005.

Global Practice GP-04-01-02, *Structural Steel Design*. Octubre, 2009.

Procedimiento de trabajo: 02070-GEN-QUA-GYM-02-113_Rev.1 Montaje de Estructuras. Julio, 2016.

Procedimiento de trabajo 02070-GEN-QUA-GYM-02-108_Rev.4 Procedimiento de Carga y Descarga de Estructura. Enero, 2017.

Procedimiento de trabajo 02070-GEN-QUA-GYM-02-119_Rev.2 Aplicación de Grout Cementicio y epoxico. Octubre, 2016.

Procedimiento de trabajo 02070-GEN-QUA-GYM-02-125_Rev.3 Procedimiento de torque de pernos en etapa de montaje. Enero, 2017.

Procedimiento de trabajo 02070-GEN-QUA-GYM-02-169_Rev.2 Trabajo resane de pinturas en superficies metálica. Abril 2018.