

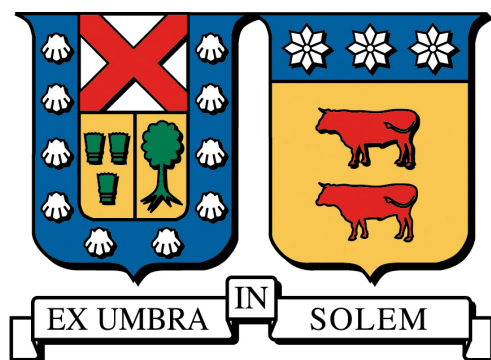
2019-11

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR IMPLEMENTACIÓN DE MODULARIZACIÓN EN PROYECTOS MINEROS EN CHILE

PÉREZ MACHUCA, VÍCTOR ANDRÉS

<https://hdl.handle.net/11673/49490>

Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INDUSTRIAS

**PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EVALUAR
IMPLEMENTACIÓN DE MODULARIZACIÓN EN
PROYECTOS MINEROS EN CHILE**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

AUTOR

VÍCTOR ANDRÉS PÉREZ MACHUCA

PROFESOR GUÍA

SR. RAÚL STEIGMAIER.

PROFESOR CORREFERENTE

SR. JAVIER SCAVIA.

SANTIAGO - CHILE, NOVIEMBRE 2019

RESUMEN

Chile para mantener y/o aumentar su participación en el mercado del cobre, es necesario la implementación de nuevos proyectos mineros, pero estos proyectos serán evaluados en condiciones distintas a las existentes en el súper ciclo del cobre, donde el objetivo principal era la puesta en marcha lo antes posible para así aprovechar el buen precio del commodity, lo que origina sobre costos promedios del 34 %. Los sobre costos generados en proyectos pasados fuerzan la necesidad de optimizar el CAPEX para proyectos futuros, uno de los métodos de reducción de CAPEX ampliamente utilizada en industrias de economías más desarrolladas ha sido la modularización, pero el uso de modularización en Chile es casi inexistente. Ante esto el presente trabajo busca verificar la viabilidad del uso de modularización como mecanismo de reducción de CAPEX en proyectos mineros en Chile y entregar una metodología para la identificación temprana de los potenciadores de la modularización en el proyecto.

En primera instancia se busca identificar las características de los proyectos mineros en Chile, para lograrlo se realiza un estudio a un grupo de expertos que generan una muestra representativa de los profesionales de la industria, así se logra identificar factores críticos para la implementación de la modularización y la evaluación de esta como ventaja competitiva en proyectos mineros en Chile. El resultado de dicha evaluación clasifica a la modularización como *ventaja competitiva temporal*, pero con posibilidades de convertirse en una *ventaja competitiva sustentable*.

Al aplicar la metodología presentada en el presente trabajo se logra identificar los factores que apoyan y que se oponen a la modularización en el caso de un proyecto específico (Proyecto

A), los cuales se centran en factores de transporte, logística y disponibilidad de mano de obra en el sitio de construcción. Adicionalmente en base al análisis realizado queda en evidencia que no toda fase de un proyecto es viable para comenzar la aplicación de la modularización y es prioritario analizar por intermedio de *trade off* de los potenciales candidatos a modularización, para lo cual se requiere un análisis metódico y con información confiable.

En el análisis realizado al "proyecto A", se considero a 2 potenciales candidatos para la utilización de la modularización los cuales fueron analizados de forma independiente, dicho análisis consiste en un *trade off* entre modularizar o construir utilizando el métodos tradicionales. Para el primer candidato, que consiste en el sistema se piperack del proyecto, se observa que existe una reducción potencial US\$2,806,623 lo que implica un ahorro del 16 % en comparación el método tradicional, en cambio para el segundo candidato, que consiste en el stacker que alimenta la pila de acopio de mineral grueso, se obtiene como resultado del análisis un aumento del US\$1,172,623 lo que implica costos 25 % más elevados en comparación al método tradicional.

Los resultados obtenidos indican que solo para el caso del sistema de piperack es uso de modularización genera una disminución del CAPEX, en cambio, al aplicar modularización al Stacker el CAPEX aumenta generando que la modularización no sea viable.

La principal diferencia entre los piperack y el stacker es la proporción de la infraestructura que puede ser modular, e.g. los piperack consideran 95 % de la estructura y el 90 % del piping bajo esquema modular generando una fuerte disminución en los costos indirectos, específicamente en costos asociados a campamento y servicios EPCM requeridos en el sitio, dada por la disminución de HH en terreno. En cambio, para el segundo candidato (stacker) se consideran solo el 80 %

de la estructura modular y la totalidad de los elementos mecánicos más platework asociado al stacker deben ser instalados en el sitio bajo métodos tradicionales, esto genera que la disminución de las HH de instalación no logra compensar el costo adicional requerido por los servicios de modularización y los aumentos en los costos de transporte.

Queda en evidencia que la modularización es una alternativa viable como método de reducción del CAPEX siempre y cuando sea posible llegar a una gran proporción de la infraestructura viable de modularizar. El ahorro de HH que produce la modularización genera un impacto significativo en los costos indirectos del proyecto por intermedio de disminución de infraestructura auxiliar (campamento) además de disminución en servicios de gestión de materiales, gestión de compras y controles de calidad post instalación, dado que estas actividades son previamente realizadas en el lugar donde se realiza la modularización.

... *“Muchas Gracias a mi familia: Claudia, Pablito y Beatriz por todo el apoyo
dado, la paciencia y comprensión entregada durante cada uno de los proyecto que
hemos realizado juntos.”*

ÍNDICE GENERAL

Resumen	ii
Índice General	ix
Índice de Figuras	xii
Índice de Tablas	xvi
Introducción	xvii
1. Problema de Investigación	18
2. Objetivos	22
2.1. Objetivo General	22
2.2. Objetivos Específicos	22
3. Estado del Arte	23
3.1. Situación Actual del Mercado del Cobre	23
3.1.1. Evolución reciente del precio del cobre	23
3.1.2. Evolución de los inventarios mundiales de cobre refinado.	25
3.1.3. Producción mundial de cobre de mina y cobre refinado	26
3.1.4. Balance mundial del mercado del cobre.	30
3.1.5. Prospectos de proyectos futuros	31
3.2. Estructura de proyectos de ingeniería	33
3.2.1. Etapas del Proyecto	33
3.2.1.1. Etapa pre-inversional	34
3.2.1.2. Etapa inversional	34
3.2.2. Principales áreas en el desarrollo de proyectos	35
3.2.3. Sobre costos en CAPEX de proyectos mineros	38
3.3. Modularización y estandarización como estrategia	40
3.3.1. Definiciones Generales	40
3.3.2. Impactos generados por la Modularización.	41

3.3.2.1.	Ventajas	43
3.3.2.2.	Desventajas	44
3.3.3.	Niveles actuales de estandarización y modularización	45
3.3.4.	Factores claves en la modularización	46
3.3.5.	Metodología Modularización	50
3.3.6.	Normativa	52
3.4.	Análisis Factibilidad Técnica	52
3.4.1.	Condiciones de Transporte Nacional Terrestre	53
3.4.1.1.	Riesgos en Transporte	55
3.5.	Metodología	58
3.5.1.	Encuesta aplicada a la investigación	58
3.5.2.	Casos de Estudio	59
4.	Metodología	61
4.1.	Enfoque Metodológico	61
4.2.	Alcance de la Investigación.	62
4.3.	Análisis Cualitativo - Encuesta	62
4.3.1.	Objetivos del Encuesta	62
4.3.2.	Variables a Evaluar	63
4.3.3.	Definición de muestra	63
4.3.4.	Confección y distribución del cuestionario de cuestionario	64
4.3.5.	Análisis de resultado	65
4.3.5.1.	Análisis Recursos y Capacidades	65
4.4.	Análisis Cuantitativo - Estudio de Casos	67
4.4.1.	Vías de acceso principal al Proyecto	69
4.4.2.	Candidato a PPMOF - Sistema Piperack	69
4.4.3.	Candidato PPMOF - Stacker	71
4.5.	Metodología PPMOF	72
4.5.1.	Análisis Nivel I - Evaluación Preliminar	74
4.5.2.	Análisis Nivel II - Evaluación Factores Predominantes	75
4.5.2.1.	Programa	77
4.5.2.2.	Costos	78

4.5.2.3.	Mano de Obra	79
4.5.2.4.	Seguridad	80
4.5.2.5.	Atributos del Sitio	82
4.5.2.6.	Sistemas Mecánicos	83
4.5.2.7.	Proyecto y Tipo de Contrato	84
4.5.2.8.	Aspectos del Diseño	85
4.5.2.9.	Transporte y Requerimientos de Izaje	86
4.5.2.10.	Capacidad de Proveedores	87
5.	Análisis de Resultados	89
5.1.	Análisis Encuesta	89
5.1.1.	Análisis de Varianza: Prueba de Kruskall Wallis	90
5.1.2.	Análisis de Fiabilidad: Alfa de Cronbach	92
5.1.3.	Interpretación de Resultados	94
5.1.3.1.	Aplicación Análisis V-R-I-O	108
5.2.	Estudio Caso - Análisis PPMOF	110
5.2.1.	Proyecto A - Análisis Nivel I	110
5.2.2.	Proyecto A - Análisis Nivel II	111
5.2.3.	Análisis Costo PPMOF - Sistema Piperack	115
5.2.3.1.	Costos Directos	116
5.2.3.2.	Costos Indirectos	118
5.2.3.3.	Resumen Costos - Sistema Piperack	123
5.2.4.	Análisis Costo PPMOF - Stacker	126
5.2.4.1.	Costos Directos	126
5.2.4.2.	Costos Indirectos	128
5.2.4.3.	Resumen Costos - Stacker	133
	Conclusión	137
	Referencias	141
	Anexo	145
A.	Catastro de proyectos mineros en Chile 2018 – 2027	146
B.	Cuestionario aplicado a muestra seleccionada	147

C.	Distribución de Encuesta	155
D.	Tabulación Cuestionario	156
E.	Resultados Encuesta	159
E.1.	Data sin procesar	159
E.2.	Gráficos de Data procesada	161
F.	Proyecto A: Evaluación PPMOF Nivel II	167
G.	Proyecto A - Sistema Piperack: Evaluación PPMOF	172
G.1.	Costos Directos - Materiales	172
G.2.	Costos Directos - Instalación	178
G.3.	Módulos para transporte - Piperack	179
H.	Proyecto A - Sistema Stacker: Evaluación PPMOF	182
H.1.	Costos Directos - Materiales	182
H.2.	Costos Directos - Instalación	183
H.3.	Módulos para transporte - Stacker	183

ÍNDICE DE FIGURAS

3. Estado del Arte

3.1. Evolución a corto plazo del precio del cobre.	24
3.2. Evolución a largo plazo del precio del cobre.	25
3.3. Niveles de inventario en mercado del cobre.	26
3.4. Principales productores de cobre mina.	27
3.5. Principales productores de cobre refinado	27
3.6. Inversión esperada en MMUS\$ en proyectos mineros en Chile.	32
3.7. Etapas en proyectos Ingeniería.	33
3.8. Objetivos fundamentales en proyectos Ingeniería.	35
3.9. Estructura Simplificada en proyectos de ingeniería.	36
3.10. Relaciones entre disciplinas de Ingeniería.	36
3.11. Nivel de impacto de cambios en función del avance del proyecto.	37
3.12. Sobre costos para 60 proyectos mineros analizados por Gypson (2002)	38
3.13. Modularización vs estandarización: Aproximación actual por sector	45
3.14. Esquema de metodología de PPMOF	51

4. Metodología

4.1. Etapas de la metodología a aplicar.	61
4.2. Diagrama Flujo Análisis VRIO.	66
4.3. Vista Maqueta 3D, Proyecto A	67
4.4. Áreas Principales Proyecto A	68
4.5. Sección típica piperack, Proyecto A	70
4.6. Vista Maqueta 3D, Candidatos a PPMOF - Piperack	70
4.7. Vista Maqueta 3D, Candidato a PPMOF - Stacker	71
4.8. Diagrama Flujo Metodología PPMOF	73

5. Análisis de Resultados

5.1. Número de Respuestas por preguntas	89
---	----

5.2. Escala para evaluar fiabilidad según Alfa de Cronbach	93
5.3. Media ponderada para resultados Pregunta 16	104
5.4. Media ponderada para resultados Pregunta 17	104
5.5. Media ponderada para resultados Pregunta 18	105
5.6. Media ponderada para resultados Pregunta 19	106
5.7. Media ponderada para resultados Pregunta 20	107
5.8. Media ponderada para resultados Pregunta 21	107
5.9. Diagrama Flujo Análisis VRIO.	109
5.10. Puntaje por categoría en evaluación Nv. II	112
5.11. Factores Favorables para proyecto A	113
5.12. Factores Desfavorables para proyecto A	114
5.13. Comparación Costos directos e indirectos - Piperack	124
5.14. Comparación Costos por categoría - Piperack	125
5.15. Comparación Costos directos e indirectos - Stacker	134
5.16. Comparación Costos por categoria - Stacker	136

Anexo

C.1. E-mail de distribución de encuesta	155
E.1. Resultados Pregunta 1, 2 & 3	161
E.2. Resultados Pregunta 4, 5, 6 & 7	162
E.3. Resultados Pregunta 8, 9, 10 & 11	163
E.4. Resultados Pregunta 12, 13, 14 & 15	164
F.1. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Programa	167
F.2. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Costos	168
F.3. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Mano de Obra	168
F.4. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Seguridad	169
F.5. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Atributos del Sitio	169
F.6. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Sistemas Mecánicos	170
F.7. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Proyecto y Tipo de contrato	170
F.8. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Diseño	171
F.9. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Transporte e Izaje	171
F.10. Proyecto A: Evaluación Nivel II - Capacidad Proveedores	172

G.1. Módulo tipo 1 - Modularización con piping	179
G.2. Modularización / Prearmados	179
G.3. Módulo tipo 4 - Modularización para soportes eléctricos	180
G.4. Modularización / Prearmados - Isométrico y Esquema #1	180
G.5. Modularización / Prearmados - Esquemas #2 @ #4	181
H.1. Modularización / Pre-armados Stacker Tipo 1	183
H.2. Modularización / Pre-armados Stacker Tipo 1 & 2	184
H.3. Modularización / Pre-armados Stacker Tipo 3 & 4	185
H.4. Módulo Tipo 5 - Mesas Correa Overland	186

ÍNDICE DE TABLAS

3. Estado del Arte

3.1. Producción mundial de cobre mina el 2018 y proyecciones para 2019/2020. . .	28
3.2. Producción nacional de cobre mina por Empresas durante el 2018.	29
3.3. Balance del mercado del cobre.	30
3.4. Inversión minera en Chile, según probabilidad de materialización.	32
3.5. Factores claves para la modularización.	46
3.6. Dimensiones limites de sobre dimensionamiento y los permisos asociados . . .	53

4. Metodología

4.1. Tipo y Objetivos de preguntas del cuestionario.	65
4.2. Característica generales proyecto a evaluar	67
4.3. Cantidades de principales partidas de materiales en proyecto A	68
4.4. Envolventes Máximas en vías de acceso a proyectos	69
4.5. Análisis Nivel I para Modularización	74
4.6. Análisis Nivel II para Modularización	76
4.7. Análisis Nivel II - Escala de evaluación	76
4.8. Análisis Nivel II-Programa	77
4.9. Análisis Nivel II-Programa (Continuación)	78
4.10. Análisis Nivel II-Costos	79
4.11. Análisis Nivel II-Mano de Obra	80
4.12. Análisis Nivel II-Seguridad	81
4.13. Análisis Nivel II-Atributos del Sitio	82
4.14. Análisis Nivel II-Sistemas Mecánicos	83
4.15. Análisis Nivel II-Proyecto y Tipo de Contrato	84
4.16. Análisis Nivel II-Aspectos del Diseño	85
4.17. Análisis Nivel II-Transporte y Requerimientos de Izaje	86
4.18. Análisis Nivel II-Transporte y Requerimientos de Izaje (Continuación)	87
4.19. Análisis Nivel II-Capacidad de Proveedores	88

5. Análisis de Resultados

5.1. Resultados de prueba de Kruskall Wallis para preguntas con escala de likert . .	91
5.2. Análisis univariado a variables en escala likert	92
5.3. Respuestas Pregunta 1	94
5.4. Respuestas Pregunta 2	95
5.5. Respuestas Pregunta 3	96
5.6. Respuestas Pregunta 4	96
5.7. Respuestas Pregunta 5	97
5.8. Respuestas Pregunta 6	97
5.9. Respuestas Pregunta 7	98
5.10. Respuestas Pregunta 8	98
5.11. Respuestas Pregunta 9	99
5.12. Respuestas Pregunta 10	99
5.13. Respuestas Pregunta 11	100
5.14. Respuestas Pregunta 12	100
5.15. Respuestas Pregunta 13	101
5.16. Respuestas Pregunta 14	102
5.17. Respuestas Pregunta 15	102
5.18. Factores claves. Literatura vs Encuesta.	103
5.19. Factores claves y su atributo principal	108
5.20. Análisis Nivel I para proyecto A	110
5.21. Peso relativo asignado según categoría	111
5.22. Composición Costos Directos	116
5.23. Costos directos - Materiales	117
5.24. Costos directos Instalación - Stick Built	117
5.25. Instalación Módulos PPMOF	118
5.26. Criterio Costos indirectos para Stick Built	119
5.27. Costo Campamento para Stick Built	119
5.28. Criterio Costos indirectos para PPMOF	120
5.29. Costo Campamento para PPMOF	120
5.30. Tipos de módulos a transportar - Piperack	121
5.31. Costo Unitario Transporte	122

5.32. Costo Transporte para Caso PPMOF	122
5.33. Análisis Comparativo - Piperack Proyecto A	123
5.34. Costos directos Materiales - Stacker	127
5.35. Costos directos Instalación - Stick Built	127
5.36. Instalación Módulos PPMOF - Stacker	128
5.37. Criterio Costos indirectos Stick Built - Stacker	129
5.38. Costo Campamento para Stick Built - Montaje Stacker	129
5.39. Criterio Costos indirectos para PPMOF	130
5.40. Costo Campamento para PPMOF - Montaje Stacker	130
5.41. Tipos de módulo a transportar - Stacker	131
5.42. Costo Transporte para Caso PPMOF	132
5.43. Análisis Comparativo - Stacker Proyecto A	134

Anexo

A.1. Prospectos de proyectos mineros en Chile 2018-2027	146
D.1. Análisis Nivel I para Modularización	156
D.2. Tabulación Pregunta 4 y 5	156
D.3. Tabulación Pregunta 6 @ 9	157
D.4. Tabulación Pregunta 10 y 11	157
D.5. Tabulación Pregunta 12 @ 15	158
E.1. Resultados para preguntas en escala likert	159
E.2. Resultados para pregunta 3	160
E.3. Respuestas Pregunta 16	165
E.4. Respuestas Pregunta 17	165
E.5. Respuestas Pregunta 18	165
E.6. Respuestas Pregunta 19	166
E.7. Respuestas Pregunta 20	166
E.8. Respuestas Pregunta 21	167
G.1. Detalle Cantidades Acero de Candidato a PPMOF	172
G.2. Detalle Cantidades Candidato a PPMOF	173
G.3. Servicios adicionales por PPMOF	173
G.4. Tasas de Costo para Stick Built	174

G.5. Tasas de Costo para PPMOF	175
G.6. Costo Suministro para Stick Built	176
G.7. Costo Suministro para PPMOF	177
G.8. Costos directos - Instalación Estructura	178
G.9. Costos directos - Instalación Piping	178
H.1. Costos directos Materiales Stick Built - Stacker	182
H.2. Costos directos Materiales Stick Built - Stacker	182
H.3. Costos directos - Instalación Estructura Stacker	183

INTRODUCCIÓN

Chile es conocido mundialmente como un país minero, de hecho es el poseedor del 30 % de las reservas mundiales de cobre, lo que en 2017 generó una participación de la minería en el PIB nacional del 10.1 % donde el 9 % corresponde específicamente a la extracción de cobre, además durante el año 2017 Chile ocupó el primer lugar como productor de cobre con un 27,9 % de la producción mundial y el segundo lugar como productor de molibdeno con un 21,1 % ([SERNAGEOMIN, 2017](#)).

Chile para mantenerse y/o aumentar su participación en el mercado del cobre, es necesario la implementación de nuevos proyectos mineros. Según *COCHILCO*, en el decenio 2018-2027 se estiman 44 iniciativas equivalentes a una inversión de US\$ 65.747 millones, donde el 55,1 % de los proyectos tienen mayores probabilidades de materializarse según los tiempos definidos por cada compañía productora ([COCHILCO, 2018](#)).

Dadas las características de los proyectos mineros en Chile tanto para proyectos *Brownfield* como *Greenfield*, la gran mayoría de las plantas concentradoras de cobre se encuentran sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar, esto implica adicionar una mayor complejidad en el proceso de construcción de las plantas generando una gran inversión tanto en costos directos como indirectos, donde los principales ítem que engrosan el *CAPEX* del proyectos son: (i) Larga duración en el proceso de construcción; (ii) Baja productividad en la construcción; (iii) Poca disponibilidad de suministros.

Por lo cual el optimizar los procesos constructivos generan la oportunidad de disminuir el *CAPEX* y por consiguiente una disminución en los costos totales del proyecto.

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

El cobre es uno de los commodities más importante en el mercado mundial. Analizado desde una perspectiva de oferta y demanda, el mercado del cobre refinado no se encuentra balanceado. En el 2018 la oferta de cobre refinado llegó a 23.297 mil toneladas, mientras que la demanda llegó a 23.501 mil toneladas reflejando un déficit de 204 mil toneladas. Para el año 2019 y 2020 también se espera que la balanza del cobre presente déficit de 242 y 201 mil toneladas, respectivamente. Esta sobre demanda es explicada por el consumo de cobre de China, el cual para el año 2020 será 12.757 mil toneladas, lo que representa el 52 % de la demanda mundial (COCHILCO, 2019b).¹

En una visión a largo plazo, el grupo financiero Citigroup Inc. anticipa que para el 2022 el precio promedio por tonelada llegará a US\$8.000, aumentando a US\$9.000 el 2028. Considerando que a mediados del 2018 el precio por tonelada fue US\$6.152, se observa una fuerte tendencia alcista que es explicada por el persistente déficit producido por la escasez de oferta. Este aumento de demanda es una consecuencia de la urbanización, el aumento en la energía renovable y las expectativas en el uso de vehículos eléctricos (El Mercurio, 2018).

Observando el mercado productor de cobre local, Chile es conocido mundialmente como un país minero, de hecho es el poseedor del 30 % de las reservas mundiales de cobre, lo que en 2017 generó una participación de la minería en el PIB nacional del 10.1 % donde el 9 % corresponde específicamente a la extracción de cobre. Además, durante el año 2017 Chile ocupó el primer lugar como productor de cobre con un 27,9 % de la producción mundial, y el segundo lugar como

¹COCHILCO = Comisión Chilena del Cobre

productor de molibdeno con un 21,1 % ([SERNAGEOMIN, 2017](#)).

Chile debe mantenerse y/o aumentar su participación en el mercado del cobre, para así hacer frente a las estimaciones descritas anteriormente, por lo cual es necesario la implementación de nuevos proyectos mineros. Según COCHILCO, en el decenio 2018-2027 se estima que la cartera de proyectos contemple 44 iniciativas evaluadas en US\$ 65.747 millones, donde el 55,1 % de los proyectos están catalogados como probables y el restante como potenciales inversiones ([COCHILCO, 2018](#)). Esta cartera de proyectos deberá lidiar con regulaciones ambientales cada vez más exigentes, con una baja sostenible en la ley del mineral en distintos yacimientos, y con la presión de entrar en operación lo antes posible para así aprovechar el buen precio del cobre proyectado y optar a recuperar la inversión anticipadamente.

Los prospectos de proyecto, como cualquier otro proyecto minero, debe sortear retos que históricamente se han presentado en la industria dadas las características de la minería nacional. Uno de los principales retos es el sobre costo, entendiéndose por sobre costo de capital la razón entre el costo final de la construcción y el costo estimado en la factibilidad. En parámetros aceptables, se espera que la desviación máxima no supere un 15 %. Según lo expuesto por [Agüero \(2018\)](#), entre el 2006 y 2016 para los proyectos mineros se obtuvo un sobre costo de capital promedio de 34 %, que está por sobre lo esperado en la industria. Este problema en la industria es independiente del tipo de proyecto ya sea Brownfield, proyectos donde se utilizan las instalaciones existentes, como Greenfield, proyectos en los cuales no se contempla el uso de instalaciones existentes, por que estas no existen o por que cambian completamente. La condición histórica y sostenida de sobre costos fuera del rango aceptable, genera un aumento en el ries-

go, lo que puede impactar en la búsqueda de financiamiento para la ejecución de nuevos proyectos.

Cabe mencionar que según Bertisen y Davis (2008), entre las variables influyentes en el sobrecosto, además de los errores de estimación, se encuentra el sesgo intencional que genera una sub-estimación de los costos de capital para obtener financiamiento para los proyectos. Este problema se transforma en un círculo vicioso, generado por sub-estimar CAPEX para lograr financiamiento a costa de desviaciones mayores en el costo real al final de la construcción, alimentando así el sobrecosto histórico de la industria.

Además, en Chile, la localización de los proyectos en su mayoría se encuentran sobre los 3.000 metros sobre el nivel del mar. Esto implica adicionar una mayor complejidad en el proceso de construcción de las plantas, lo que conlleva variables difíciles de cuantificar en etapas de pre-inversión, y si esta complejidad adicional es abordada de forma tardía, genera mayores impactos en el CAPEX² ya que mientras más avanzado se encuentre el proyecto (incluso en su etapa pre-inversional) mayor es el impacto negativo en ítem estratégicos tales como calidad, programa y costos (Oberlender, 1993), aumentando el riesgo de tener los sobrecostos indicados anteriormente. Algunos de los principales ítem que engrosan el CAPEX del proyectos son:

- Larga duración en el proceso de construcción.
- Baja productividad en la construcción.
- Poca disponibilidad de suministros en el lugar de ejecución.

Los ítem anteriormente mencionados aparecen bajo la consideración de métodos constructivos

² CAPEX = Capital expenditure. Cuantificación del gasto e inversión en proyectos, generalmente es definido en etapas de pre-inversión

tradicionales (stick-built),³ por lo cual el optimizar los procesos constructivos y tratar de controlar las variables descritas genera la oportunidad de disminuir el CAPEX, y por consiguiente una disminución en los costos totales del proyecto.

En otras industrias y/o economías es altamente utilizado métodos de estandarización y modularización para disminuir el CAPEX (O'Connor *et al.*, 2015), pero la aplicación de esta estrategia en la literatura está documentada bajo casos de estudios que presentan grandes diferencias con las características de los proyectos mineros en Chile ante lo cual nace la necesidad de comprobar si esta estrategia es aplicable en la industria nacional.

El presente proyecto de investigación busca diseñar una propuesta metodológica que permita evaluar en proyectos mineros nacionales la implementación de la modularización como mecanismo de optimización del método constructivo, generando una disminución de CAPEX. Esta metodología debe considerar las condiciones nacionales, ante lo cual se evaluarán las siguientes preguntas de investigación.

- ¿La Modularización minimiza costos del proyecto?
- ¿Cuáles son los ítem críticos para el éxito de la modularización?

Para evaluar las preguntas descritas anteriormente se emplearán herramientas de análisis estratégico y además se realizará un estudio de casos con proyectos representativos de la gran minería nacional para así identificar el o los ítem críticos que generan mayor impacto en el CAPEX.

³ STICK-BUILT = Método constructivo donde los componentes no se encuentran integrados y se acoplan todos en el lugar de construcción.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Verificar la viabilidad del uso de la metodología de modularización en la fase de ingeniería de proyectos de inversión como mecanismo de reducción de *CAPEX* y en base a esto, desarrollar una propuesta metodológica para la identificación de los factores claves para la implementación de modularización en etapas tempranas del desarrollo de un proyecto.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar el comportamiento del mercado del cobre y obtener una perspectiva de mercado productivo nacional a mediano y largo plazo, mediante análisis de los prospecto de proyectos.
- Identificar factores críticos para el uso de modularización y su nivel de importancia en proyectos mineros nacionales, mediante encuestas a juicio experto para conocer las variables con mayor influencia en el *CAPEX*.
- Verificar si el uso de modularización genera una ventaja competitiva mediante análisis de recursos y capacidades, para verificar el posible impacto en el mercado.
- Evaluar el *CAPEX* para dos candidatos del caso de estudio, considerando método tradicional y modularización, mediante análisis de costo.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1. Situación Actual del Mercado del Cobre

Para evaluar la situación actual del mercado del cobre es necesario considerar diversas variables, tales como el precio, niveles de inventario, producción esperada y el balance mundial del cobre, con estos antecedentes se puede evaluar la situación actual del mercado y si es requerido la construcción de nuevos proyectos para cubrir la demanda futura.

3.1.1. Evolución reciente del precio del cobre

Para los productores de cobre el precio es una variable exógena, por esto la evolución del precio es de vital importancia para la industria. Para evaluar la situación actual es necesario ver el comportamiento tanto a corto plazo como a largo plazo.

Según lo expuesto por [COCHILCO \(2019b\)](#), la disputa comercial entre Estados Unidos y China influye fuertemente en el precio del metal rojo, manteniéndose como el principal factor de incertidumbre que impide la recuperación del precio en el corto plazo. En este contexto los inversionistas buscan minimizar su riesgo limitando su exposición hacia el mercado del cobre. Dado que actualmente China y EEUU se encuentran en un proceso de negociaciones, Chile debe estar atento al resultado de estas ya que podría influir en el retorno de los inversores hacia proyectos del cobre. Tal como se muestra [Figura 3.1](#), durante mediados del 2018 comienza una fuerte caída del precio pero ya en octubre del mismo año se observa una recuperación parcial, que pueden asociarse a las negociaciones entr Estados Unidos y China. Se espera que durante el 2019

las tensiones comerciales se atenúen y adquieran fuerza las condiciones de oferta y demanda de cobre (COCHILCO, 2019b).

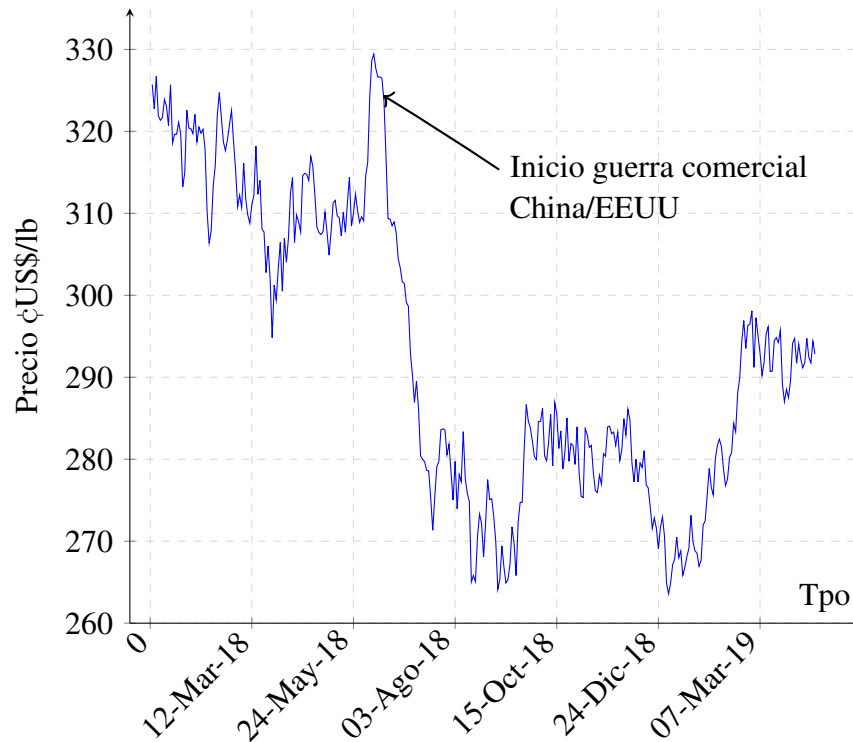


Figura 3.1: Evolución a corto plazo del precio del cobre.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (COCHILCO, 2019c)

Bajo una visión de largo plazo, el promedio nominal para el precio del cobre es de US\$2,96 por libra entre los años 2005 al 2019. En este periodo se visualiza el comportamiento del precio durante la crisis subprime, periodo donde llega a un mínimo. Desde fines del 2016 se observa un canal ascendente el cual es interrumpido levemente por el conflicto comercial (Figura 3.2). COCHILCO prevé una lenta recuperación del precio del cobre en los años 2019 y 2020, alcanzando promedios anuales de US\$ 3,05 y US\$ 3,08 por libra, respectivamente.

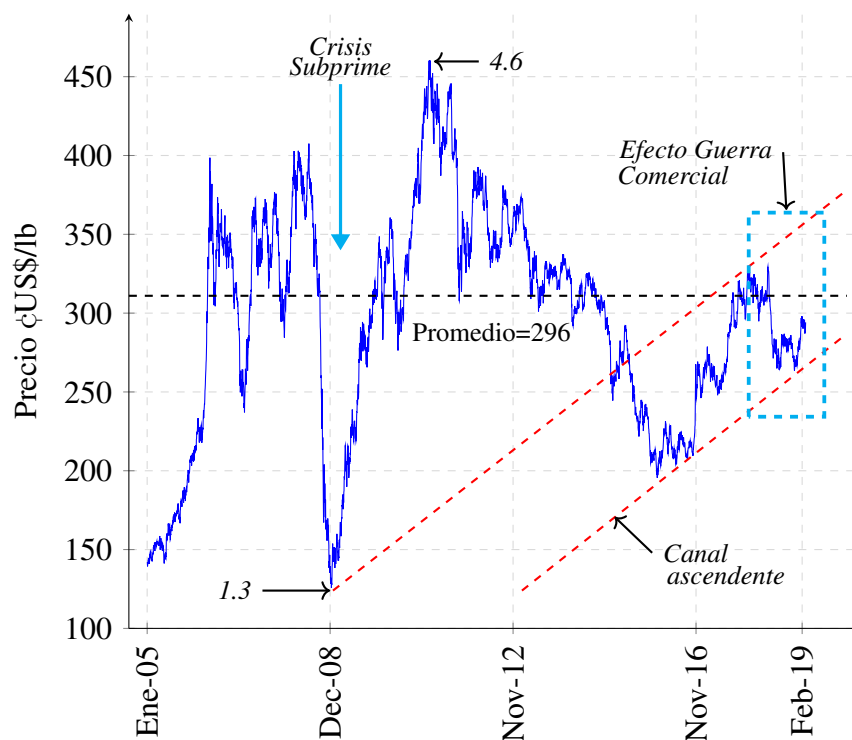


Figura 3.2: Evolución a largo plazo del precio del cobre.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (COCHILCO, 2019c)

3.1.2. Evolución de los inventarios mundiales de cobre refinado.

Para evaluar el volumen de inventario de cobre refinado, se consideran los stock disponibles en bodegas que informan a las bolsas de metales y los depósitos aduaneros en Shanghái. En la [Figura 3.3](#) se muestra el comportamiento de los inventarios desde enero del 2017 hasta marzo del 2019, donde se observa que el peak de niveles de inventario marzo del 2018 llegando a 689,3 miles de toneladas métricas (MTM) ahora observando los niveles de inventario actuales a abril del 2019 son 437,6 miles de toneladas métricas, lo que representa una disminución del 36 % en el inventario mundial de cobre (COCHILCO, 2019a).

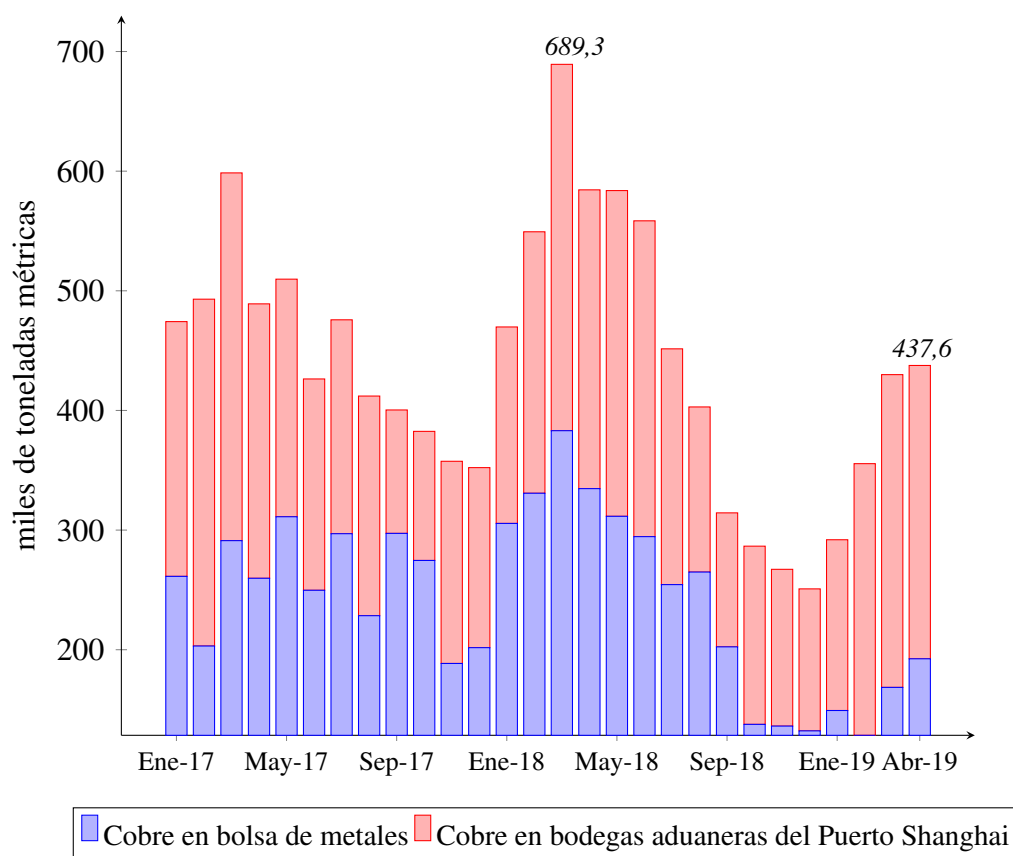


Figura 3.3: Niveles de inventario en mercado del cobre.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (COCHILCO, 2019a)

3.1.3. Producción mundial de cobre de mina y cobre refinado

Sobre la base de los últimos datos de World Bureau Metal Statistics (WBMS) indicados en (COCHILCO, 2019b), la distribución de producción mundial de cobre mina se muestra en la Figura 3.4. Se observa a Chile como el principal productor con una participación de mercado del 28 %, logrando una ventaja del 16 % sobre Perú, su más cercano competidor. Ahora bien al observar la producción mundial de cobre refinado, Chile se ubica en segundo lugar con un 10 % de participación de mercado (Figura 3.5).

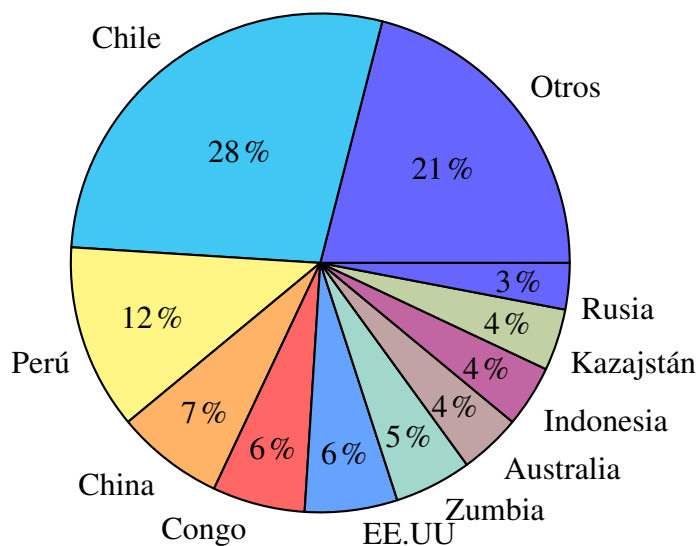


Figura 3.4: Principales productores de cobre mina.

Fuente: Elaboración propia en base a [COCHILCO \(2019b\)](#)

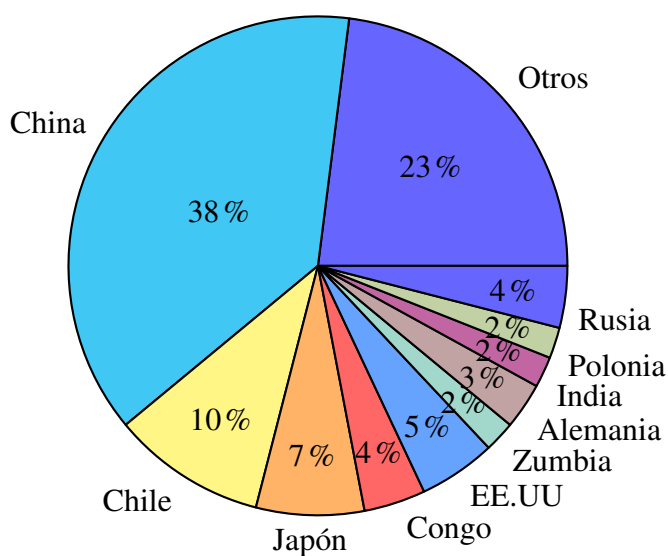


Figura 3.5: Principales productores de cobre refinado

Fuente: Elaboración propia en base a [COCHILCO \(2019b\)](#)

En Chile, el 2018 el resultado de la producción de cobre mina registró un aumento de 6 %

llegando a 5.831 (miles de toneladas). Para los años 2019 y 2020 se proyecta un aumento de producción del 1,9% y 1,6% respectivamente. En la [Tabla 3.1](#) se observa que Chile posee la mayor producción tanto el 2018 como para proyecciones para el 2019 y 2020.

País	2018		2019		2020	
	ktmf	var. %	ktmf	var. %	ktmf	var. %
Chile	5.831,0	6,0	5.941,0	1,9	6.024,0	1,4
Perú	2.420,0	-1,0	2.505,0	3,5	2.442,0	-2,5
China	1.433,0	-13,5	1.483,0	3,5	1.535,0	3,5
RD Congo	1.180,0	7,8	1.357,0	15,0	1.425,0	4,5
EE.UU	1.182,0	-6,0	1.259,0	6,5	1.284,0	2,0
Zambia	1.007,0	7,0	1.103,0	9,5	1.202,0	9,0
Australia	946,0	10,0	1.003,0	6,0	1.008,0	0,5
Indonesia	800,0	20,0	480,0	-40,0	624,0	30,0
Kazajastán	779,0	4,5	775,0	-0,5	759,0	-2,0
Rusia	744,0	0,5	733,0	-1,5	744,0	1,5
México	727,0	-2,0	764,0	5,0	794,0	4,0
Canadá	535,0	-10,0	568,0	6,0	511,0	-3,0
Otros	3.038,0	1,2	2.977,0	-2,0	3.052,0	2,5
Mundo	20.623,0	1,8	20.953,0	1,6	21.451,0	2,4

Tabla 3.1: Producción mundial de cobre mina el 2018 y proyecciones para 2019/2020.

Fuente: Elaboración propia en base a [COCHILCO \(2019b\)](#)

Como se menciona anteriormente, Chile tiene el 28% de participación de mercado mundial; la composición de los productores nacionales se muestran en la [Tabla 3.2](#), en conjunto con la producción de cada uno y su respectiva participación en el mercado nacional de cobre mina. Con estos antecedentes y en base a la [Ecuación 3.1](#) se obtiene el índice de Herfindahl e Hirschman para evaluar la concentración de mercado, el cual da como resultado un $HH=1.605$, lo que implica una concentración de mercado media para el cobre mina.

$$HH = 10,000 \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad (3.1)$$

Donde:

HH: Índice de Herfindahl e Hirschman.

S_i = Participación de la empresa i en el mercado del cobre mina.

Empresa/Operación	Producción	% Participación [S_i]
Codelco	1.678,0	28,8 %
Escondida	1.243,0	21,3 %
Collahuasi	559,0	9,6 %
Los Pelambres	371,0	6,4 %
Anglo American Sur	422,0	7,2 %
El Abra	91,0	1,6 %
Candelaria	102,0	1,7 %
American Norte	84,0	1,4 %
Zaldivar	95,0	1,6 %
Cerro Colorado	66,0	1,1 %
El Tesoro	93,0	1,6 %
Quebrada Blanca	26,0	0,4 %
Lomas bayas	73,0	1,3 %
Esperanza	155,0	2,7 %
Spence	176,0	3,0 %
Otros	600,0	10,3 %
Total	5.834,0	100,0 %

Tabla 3.2: Producción nacional de cobre mina por Empresas durante el 2018.

Fuente: Elaboración propia en base a [COCHILCO \(2019b\)](#)

En base a la información de [Tabla 3.2](#) se observa que la producción nacional de las empresas con capitales privados al año 2018 fue 4.156 miles de toneladas, equivalentes al 71,2% del mercado, en cambio solo el 1.678 miles de toneladas fueron producidas por la Corporación Nacional del Cobre, no obstante CODELCO es la empresa con mayor participación.

3.1.4. Balance mundial del mercado del cobre.

Como resultado a las componentes de oferta y demanda más la variable precio, obtenemos una visión del balance para mercado del cobre, [Tabla 3.3](#) donde se muestra el déficit obtenido el 2018 equivalente a 204 mil toneladas métricas. Además por las estimaciones de mercado para el 2019 y 2020 se espera un déficit se mantenga a niveles de 242 y 201 mil toneladas, respectivamente. En base a estos resultados [COCHILCO \(2019b\)](#) establece la visión que en el corto plazo el mercado del cobre está prácticamente en equilibrio, pero con un persistente déficit.

En la conferencia asiática de cobre, según [Mining.com \(2017\)](#), los ejecutivos advirtieron que el aumento de la regulación ambiental en Chile y China está elevando los costos de producción para las fundiciones y los mineros, lo que implica una presión adicional a la oferta en el corto plazo.

	2018		2019		2020	
	ktmf	var. %	ktmf	var. %	ktmf	var. %
Producción cobre mina	20623	1,8	20953	1,6	21451	2,4
Oferta de refinado	23297	-0,4	23834	2,3	24295	1,9
Demanda de refinado	23501	0,9	24076	2,4	24495	1,7
Balance de Mercado	-204		-242		-201	
Precio de cobre [US\$/lb]	2,97		3,05		3,08	

Tabla 3.3: Balance del mercado del cobre.

Fuente: Elaboración propia en base a [COCHILCO \(2019b\)](#)

En el largo plazo el grupo financiero Citigroup Inc. prevé que existirá una escasez de oferta, por lo que anticipan que para el 2022 el precio promedio por tonelada llegará a US\$8.000, hasta US\$9.000 el 2028. Considerando que a mediados del 2018 el precio por tonelada fue US\$6.152, esta alza esperada representa un aumento de precios del 46,3 % (El Mercurio, 2018).

3.1.5. Prospectos de proyectos futuros

En su informe de inversión en minería, COCHILCO (2018) prevé que entre el 2018 - 2027 entrarán en operación 44 proyectos avaluados en US\$65.747 millones, de los cuales 25 proyectos tienen mayor probabilidad de materializarse (categorizados por COCHILCO como "*base + probable*") y representan una inversión de US\$36.257 millones.

Dentro de los tipos de proyectos considerados como con mayor probabilidad de ejecución se encuentran los proyectos de reposición (aquellos que buscan mantener la capacidad productiva de una planta), proyectos de expansión (buscan expandir la capacidad operacional y disminuir sus costos unitarios), estos dos tipos considerados proyectos Brownfield y proyectos nuevos también llamados Greenfield los cuales deben realizar una mayor cantidad de estudios (permisos ambientales, sectoriales y desarrollo de infraestructura). De la totalidad de proyectos 25 son Brownfield y 19 son Greenfield.

En Tabla 3.4 y Figura 3.6, se observa la inversión entre el 2018 al 2022, donde se muestra la recuperación en la inversión durante 2019 la cual se espera se mantenga durante el 2020 y baje levemente en años posteriores. En una visión a largo plazo (2023-2027), se espera una fuerte inversión.

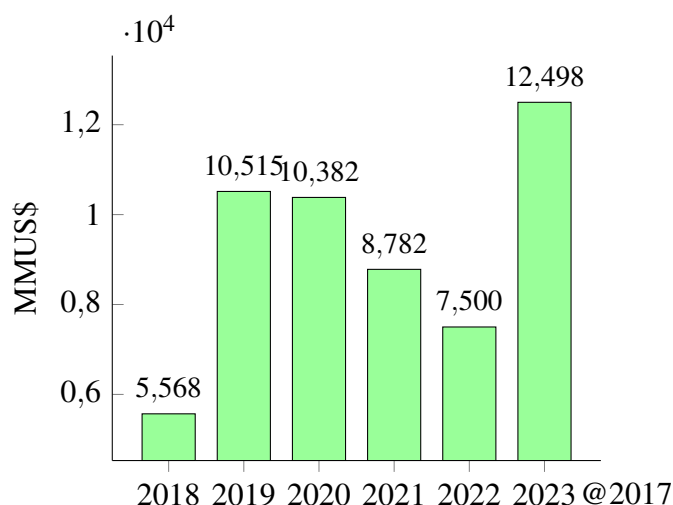


Figura 3.6: Inversión esperada en MMUS\$ en proyectos mineros en Chile.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de (COCHILCO, 2018)

	2018	2019	2020	2021	2022	2023-'27	Total (%)
MINERÍA ESTATAL	3238	3765	3408	2274	2875	3983	19543 (35 %)
Base + Probable	2918	3007	2512	1650	1920	174	12181 (22 %)
Posible + Potencial	320	758	896	624	955	3809	7362 (13 %)
MINERÍA PRIVADA	2330	6750	6974	6509	4625	8515	35703 (65 %)
Base + Probable	1941	5295	3924	2207	1435	860	15662 (28 %)
Posible + Potencial	389	1455	3050	4302	3190	7655	20041 (36 %)

Tabla 3.4: Inversión minera en Chile, según probabilidad de materialización.

Fuente: Elaboración propia en base a COCHILCO (2018)

La minería privada tiene gran relevancia en los prospectos de proyectos, dado que concentra el 65 % de la inversión futura equivalentes a US\$35.703 millones. Además de prospectos de proyectos catalogados como *base + probable* el 22 % corresponden a minería estatal y el 28 % a minería privada se observa que el monto de inversión en minería estatal es relativamente estable, en cambio en el sector privado se prevé una alta tasa de crecimiento en la inversión (Tabla 3.4).

Dadas las condiciones de oferta y demanda se espera que el mercado del cobre sea muy atractivo para los inversionistas, lo que es explicado por la cantidad de prospectos de proyectos que considera posibles en el corto y largo plazo, [COCHILCO \(2018\)](#). Todos estos proyectos deben cumplir con ciertas etapas antes de comenzar con su ejecución las cuales varían en el error admisible en las estimaciones de CAPEX. A continuación se presenta la estructura con la cual tradicionalmente se desarrollan proyectos de ingeniería en minería.

3.2. Estructura de proyectos de ingeniería

La estructura de proyectos de la gran minería establece una estructura común, independiente si corresponde a minería estatal o privada, ni del tipo de proyecto a ejecutar (proyectos Brownfield y/o Greenfield).

3.2.1. Etapas del Proyecto

Según lo que establece [CODELCO \(sf\)](#), las etapas de los proyectos se dividen en dos grandes grupos *pre-inversional* e *inversionales* siguiendo la secuencia mostrada en [Figura 3.7](#).

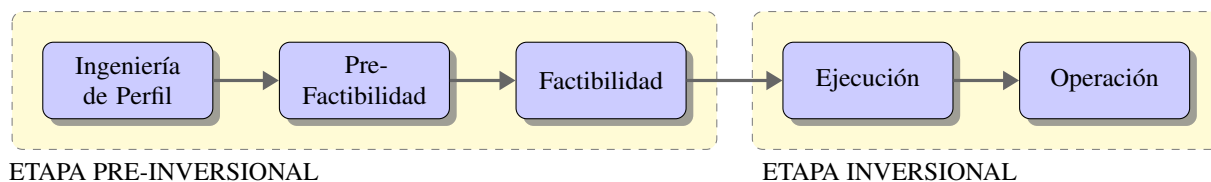


Figura 3.7: Etapas en proyectos Ingeniería.

Fuente: Elaboración propia en base a [CODELCO \(sf\)](#)

Una descripción de cada etapa se presenta a continuación:

3.2.1.1. Etapa pre-inversional

- **Ingeniería de Perfil:** etapa de identificación de potencial de negocio del proyecto y la justificación estratégica. En esta etapa se establecen los aspectos de proceso más generales, el nivel de inversión requerido y definición de los factores claves para el éxito y riesgos asociados.
- **Pre-Factibilidad:** etapa donde se verifica en primera instancia la viabilidad técnica y económica del proyecto, evaluando distintos métodos de extracción y producción, se definen las tecnologías, tamaños y capacidades de los procesos. En esta etapa se confecciona un CAPEX con un error admisible del $\pm 30\%$ y se definen alternativas de financiamiento.
- **Factibilidad:** etapa en la cual se profundiza la opción seleccionada en la pre-factibilidad con el fin de confeccionar un CAPEX con un error admisible menor ($\pm 15\%$). En esta etapa se define el alcance, el costo y el tiempo de ejecución del proyecto en un mayor nivel de profundidad que desarrollado en la etapa anterior y se planifica la siguiente etapa, de ejecución.

3.2.1.2. Etapa inversional

- **Ejecución:** Etapa de materialización del proyecto; contempla la construcción, montaje y puesta en marcha del proyecto.
- **Operación:** Etapa en la cual el nuevo proyecto entra en operación, realizando un escalamiento productivo (ramp up) hasta alcanzar la capacidad productiva definida para el proyecto.

En la actualidad se inicia la construcción antes de finalizar los diseños definitivos bajo la

premisa *el tiempo es dinero*, esta metodología es conocida como Fast-Track, la cual se basa en construir en paralelo con el desarrollo de la ingeniería, para entrar en la etapa de operación lo antes posible.

El área de ingeniería de todo proyecto minero esta compuesto por diversas disciplinas que deben trabajar en conjunto para desarrollar la ingeniería necesaria según los requerimientos de cada etapa, ante lo cual es requerida una coordinación de calidad entre las disciplinas. Esta vinculación y coordinación genera la interacción entre los componentes del *Project Management*, tal como se indica en [Figura 3.8](#), para así cumplir con los objetivos fundamentales de los proyectos de minería: tiempo, costo, calidad y seguridad ([Lester, 2017](#)).

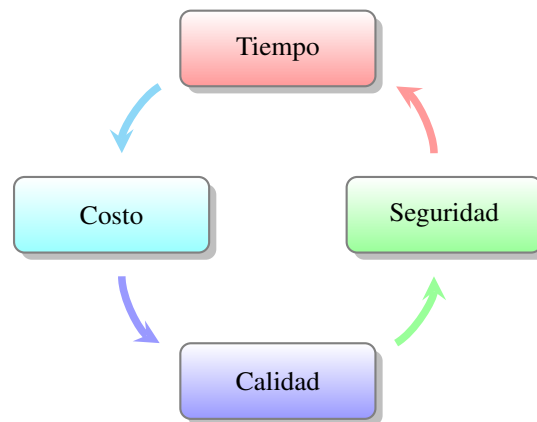


Figura 3.8: Objetivos fundamentales en proyectos Ingeniería.

Fuente: Elaboración propia en base a [Lester \(2017\)](#)

3.2.2. Principales áreas en el desarrollo de proyectos

Las estructura como se abordan el desarrollo de proyectos de ingeniería mineros se indica de forma simplificada en la [Figura 3.9](#).

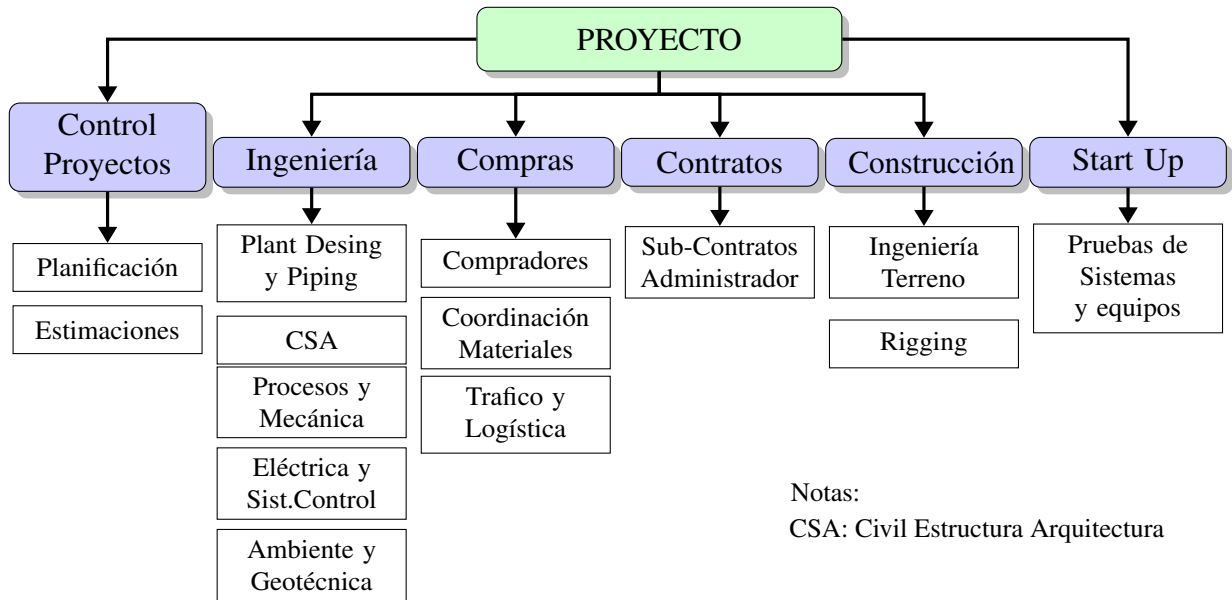


Figura 3.9: Estructura Simplificada en proyectos de ingeniería.

Fuente: Elaboración propia en base a [Hickson y Owen \(2015\)](#)

Cabe destacar que existe una fuerte interacción entre las diferentes áreas ya sea en etapas pre-inversionales como en etapas avanzadas del proyecto, a modo de ejemplo se presentan las interacciones entre las diferentes disciplinas en ingeniería en la [Figura 3.10](#).

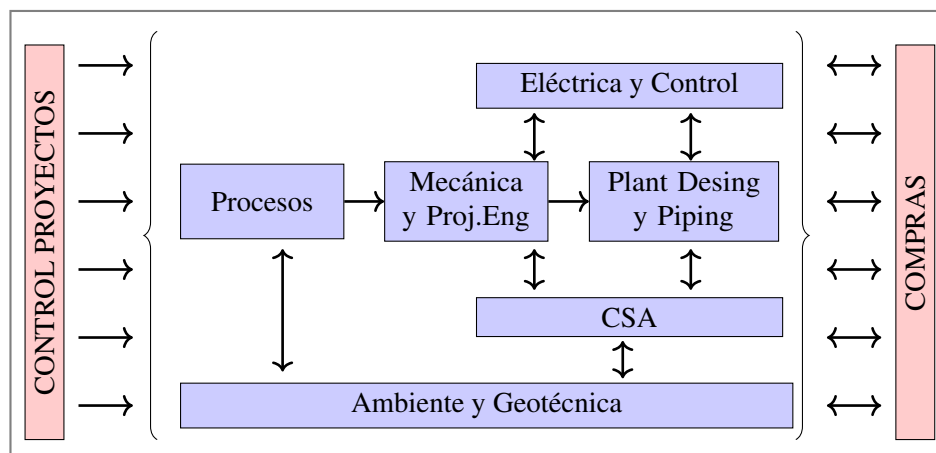


Figura 3.10: Relaciones entre disciplinas de Ingeniería.

Fuente: Elaboración propia en base a [Hickson y Owen \(2015\)](#)

La Figura 3.11 ilustra la mayor capacidad para influir de manera significativa en el resultado de un proyecto en función de la etapa en la cual se realiza la implementación de estrategias, mientras más avanzado se encuentra el proyecto menor es el impacto generado en el resultado del proyecto (representada por la curva azul), también se observa que contrario al comportamiento de la curva de impacto se encuentra la curva de costos, la cual representa que mientras más tarde es implementada una estrategia mayores son los costos asociados, disminuyendo los beneficios del proyecto.

Un error en la decisión del momento en implementar una estrategia muchas veces genera desviaciones en el CAPEX lo que origina sobre costo en los proyectos, existe evidencia en la cual en proyectos mineros han terminado con sobre costos.

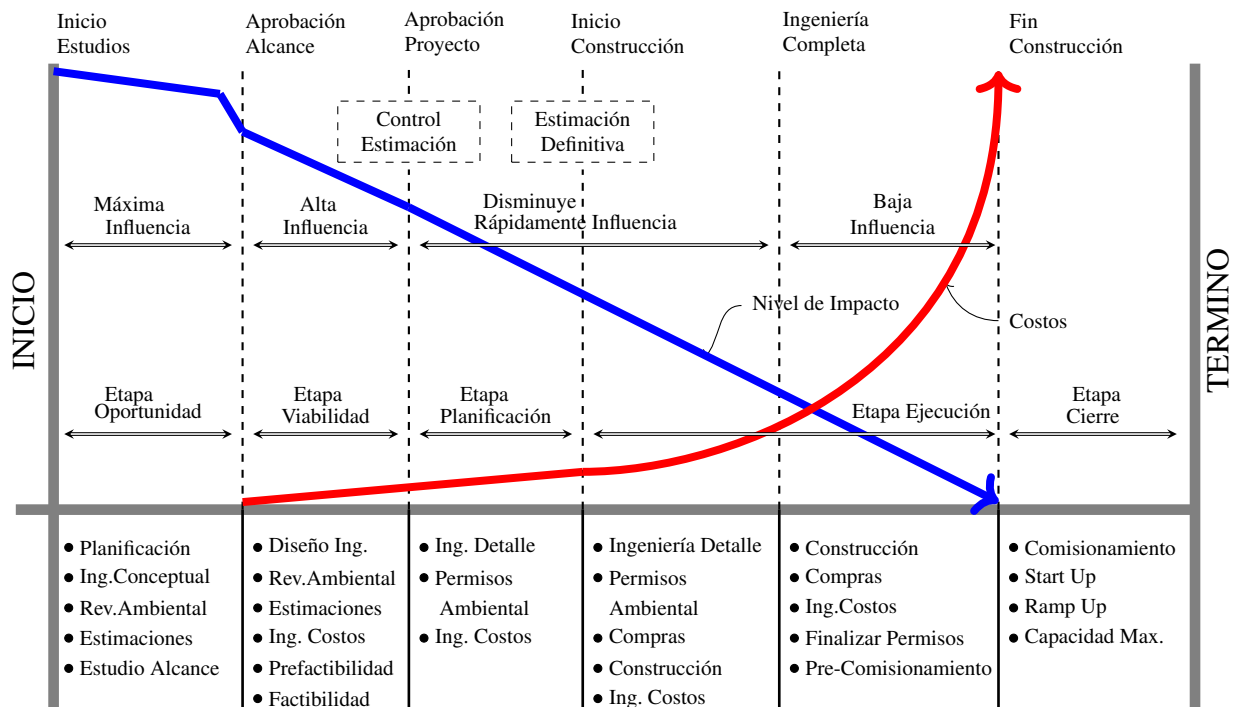


Figura 3.11: Nivel de impacto de cambios en función del avance del proyecto.

Fuente: Elaboración propia en base a *Hickson y Owen (2015)*

3.2.3. Sobre costos en CAPEX de proyectos mineros

Como se indicó anteriormente, mientras más avanzado se encuentre el proyecto más certera debe ser la estimación del CAPEX. Históricamente en los proyectos mineros se ha originado un sobre costo. [Gypson \(2002\)](#) desarrolló un estudio que considera 60 proyectos desarrollados en América desde 1980 y donde el sobre costo promedio fue del 22 %, y el sobre costo máximo está por sobre el 50 % ([Figura 3.12](#)), ante lo cual concluye que el CAPEX debe considerar entre un 20 a 25 % sobre la estimación, incluyendo la contingencia.

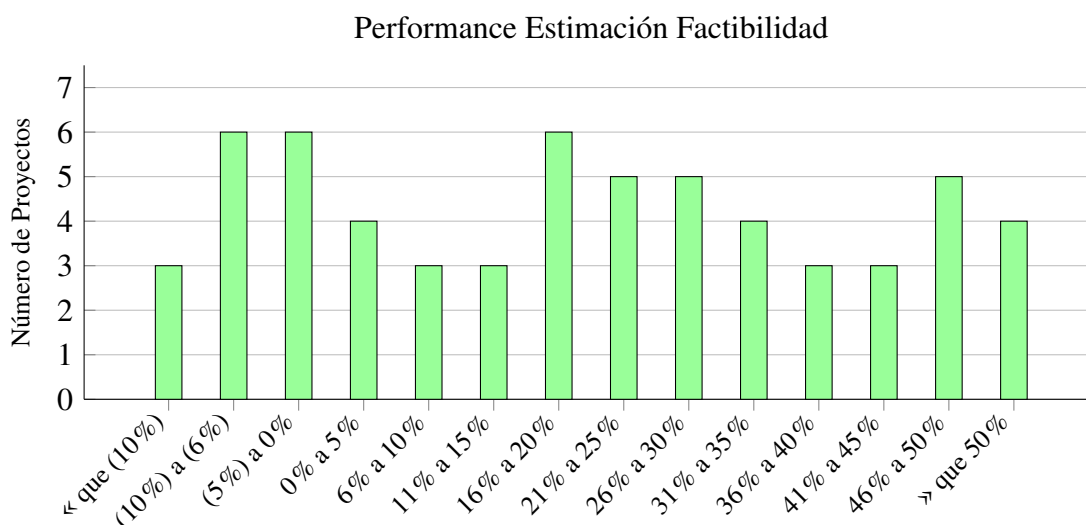


Figura 3.12: Sobre costos para 60 proyectos mineros analizados por [Gypson \(2002\)](#)

Fuente: Elaboración propia en base a [Gypson \(2002\)](#)

Posteriormente [Bertisen y Davis \(2008\)](#), realiza una revisión de 63 proyectos y confirma que los costos de capital construidos son, en promedio, un 14 % más altos que los estimados en el estudio de factibilidad. Además sostiene que existe una ausencia de aprendizaje por parte del patrocinador del proyecto o la consultora de ingeniería, dado que el sesgo en la estimaciones

esta impulsada por la escasez de financiamiento del proyecto y la necesidad por parte de los patrocinadores del proyecto de disminuir la inversión requerida por el proyecto en un intento por asegurar el financiamiento.

En estudios más actuales y ajustados a los proyectos nacionales, por ejemplo [Agüero \(2018\)](#), donde sostiene que entre el 2006 y el 2016, el sobre costo de capital promedio fue de 34 %, valor obtenido al contrastar el valor de la estimación versus la inversión final de 76 proyectos.

También se hace presente el error en las estimaciones por variables difíciles de cuantificar en etapas de pre-inversión, algunas de estas variables son:

- Larga duración en el proceso de construcción. Explicada por la complejidad del tipo de construcción y el nivel de especialización requerida. Además hay que considerar que el proceso constructivo tradicional (stick-built) tiene un enfoque secuencial impidiendo el trabajo en paralelo de las diferentes cuadrillas, generando un aumento en las HH requeridas para la construcción.
- Baja productividad en la construcción. Condición explicada por la prevalencia de fatiga física y cognitiva para trabajadores que desempeñan labores en condiciones de altitud geográfica ([Vera et al., 2008](#)).
- Poca disponibilidad de suministros en el lugar de ejecución.

Para atenuar los efectos de las variables descritas y así disminuir el CAPEX, en la literatura se hace mención a la modularización donde el enfoque principal es trasladar actividades de construcción en sitio a la fábrica, disminuyendo las HH de terreno las cuales tienen un alto costo,

tanto en costos directos como indirectos. Se mejoran los KPI de productividad y se disminuye el requerimiento de suministros en el lugar de ejecución. A continuación se presenta la modularización como estrategia.

3.3. Modularización y estandarización como estrategia

Estandarización del proyecto se refiere a todas las actividades para hacer que un proyecto a gran escala sea tan idéntico como otro proyecto similar mediante la estandarización del diseño, la reducción de la variabilidad de los resultados, la planificación estratégica y la estrategia de orientación del proyecto (Nekoufar y Karim, 2011).

Haas *et al.* (2000) define la modularización como la preconstrucción de un sistema completo fuera de la obra y luego se transporta a la obra. Los módulos son de gran tamaño y es posible que sea necesario descomponerlos en varias piezas más pequeñas para su transporte.

La decisión de aplicación de la estandarización y modularización debe tener en cuenta el equilibrio entre la beneficios potenciales, riesgos y barreras de ejecución.

3.3.1. Definiciones Generales

Para unificar los conceptos y facilitar la implementación de estrategias de modularización dentro de la literatura se establecen definiciones transversales para la modularización, por ejemplo las descritas por CII (2002):

- **Prefabricación:** proceso de fabricación, generalmente en una instalación especializada, en el que se unen varios materiales para formar parte de una instalación final; una práctica

común en la mayoría de los proyectos industriales actuales.

- **Premontaje:** proceso por el cual diversos materiales, componentes prefabricados y/o equipos se unen entre sí mediante diferentes artesanías en un lugar remoto para su posterior instalación como subunidad. Generalmente se centra en un sistema; también es una práctica común en la mayoría de los proyectos industriales de hoy en día.
- **Módulo:** una sección importante de una planta resultante de una serie de operaciones de ensamblaje y puede incluir partes de muchos sistemas; generalmente la unidad o componente transportable más grande de una instalación.
- **Modularización:** construcción off-site de módulos (unidades enteras o partes de unidades de gran tamaño), a ser transportadas, montadas e interconectadas en el sitio (on site).
- **Fabricación fuera del sitio:** una práctica de premontaje o fabricación de componentes tanto fuera del sitio como en el sitio en un lugar que no sea el punto final de instalación.

Los ítem anteriormente descritos [Haas et al. \(2000\)](#) los denomina colectivamente como:

- **PPMOF:** (prefabricación, premontaje, modularización y offsite fabricación) diversas técnicas de fabricación e instalación, que mueven muchas actividades de fabricación e instalación del emplazamiento de la planta a un entorno más seguro y eficiente.

3.3.2. Impactos generados por la Modularización.

La modularización genera dos tipos de beneficios: mejora la ejecución del proyecto y mejora las instalaciones construidas. Son diversos los tipos de mejoras que se obtienen con la implementación de esta estrategia. Según [CII \(1987\)](#) algunos ejemplos de las mejoras son:

1. Superar los obstáculos de las condiciones adversas del lugar o de las condiciones locales desfavorables.
2. Cumplir con un horario exigente.
3. Cumplir con criterios o requisitos de diseño especializados.
4. Aprovechar las ventajas de la tecnología especializada de la construcción.
5. Darse cuenta de las ventajas de las condiciones de fabricación.
6. Obtener una ventaja competitiva.

El no gestionar y no anticiparse ante posibles problemas con nuevas variables nacidas de la implementación de la modularización puede generar impactos que merman los beneficios del proyecto, algunas de estas variables son:

1. Cambios en el riesgo del proyecto, como la reducción de los riesgos derivados de las condiciones meteorológicas adversas en el emplazamiento o el aumento de los riesgos de transporte y manipulación de grandes conjuntos.
2. Diferencias en la organización, las operaciones y la gestión de los proyectos que resultan de cambiar la división de responsabilidades, hacer que las operaciones sean más interdependientes y aumentar las necesidades de coordinación.
3. Un mayor alcance, criterios adicionales y un cambio en la responsabilidad del diseño, junto con las demandas de decisiones más tempranas y el aumento de las consecuencias del cambio de diseño.
4. Nuevas tareas y requisitos más complejos para la adquisición.

5. La adición de la fabricación y el transporte en el taller y la necesidad de planificar y controlarlos.
6. Cambios en el alcance, las fases de construcción y puesta en marcha en el emplazamiento.
7. Resultados alterados tanto para la instalación construida como para la ejecución del proyecto.

Estas implicaciones pueden tener una gran influencia en el rendimiento del proyecto dependiendo de la forma de abordarlas en el *como* y *cuando*.

En función a los ítem descritos anteriormente, [O'Connor *et al.* \(2015\)](#) indica ventajas y desventajas para la modularización.

3.3.2.1. Ventajas

Las ventajas de la aplicación de métodos de modularización son:

- a. Diseñar solo una vez y reutilizar varias veces.
- b. Beneficios de la curva de aprendizaje en la fabricación.
- c. Obtener descuentos por volúmenes o por compromisos anticipados.
- d. Ahorro de costos en la gestión de materiales de construcción.
- e. Traslada las horas de construcción en sitio a una fuente de mano de obra menos costosa.
- f. Reduce la congestión en el sitio de obra.

- g. Facilita el mantener y entrenar la mano de obra especializada fuera del sitio de obra.
- h. La labor de PPMOF se desarrolla en un ambiente controlado que favorece la productividad, la seguridad y la calidad.
- i. Permite trabajar simultáneamente en el sitio de obra y en el taller de PPMOF, creando oportunidades de mejora del programa.
- j. Reduce costos de equipamiento de construcción como herramientas, andamios, moldajes.
- k. Reduce requerimientos de área de bodegaje en el sitio.
- l. Reduce los impactos a operaciones (proyectos brownfield) y el tiempo de exposición a condiciones riesgosas.

3.3.2.2. Desventajas

- a. Costos adicionales por bodegaje, ensamblaje, armado y oficinas del contratista PPMOF.
- b. Costos asociados al transporte y manejo de cargas sobre-tamaño y sobrepeso. Grúas
- c. Costos asociados a elementos de sujeción/estabilización temporal de los módulos.
- d. Costo adicional de ingeniería para PPMOF.
- e. Restricciones de programa (compras tempranas) inicio de actividades de procurement antes en comparación con estrategia stick built.
- f. Costos adicionales por protección de equipos y componentes sensibles a la corrosión o condiciones ambientales adversas (lluvia, polvo).

3.3.3. Niveles actuales de estandarización y modularización

McGraw-Hill Construction (2011) desarrolló una encuesta para definir los niveles de uso de la modularización por sector, en base a los resultados los sectores donde se utiliza la modularización sobre el 40% de los proyectos es en proyectos de sanidad, de educación superior, fabricas, proyectos de baja altura y obras publicas.

En la Figura 3.13 se observan diversas industrias evaluadas por el nivel de desarrollo de la modularización y la estandarización en base a la información de CII (2012).

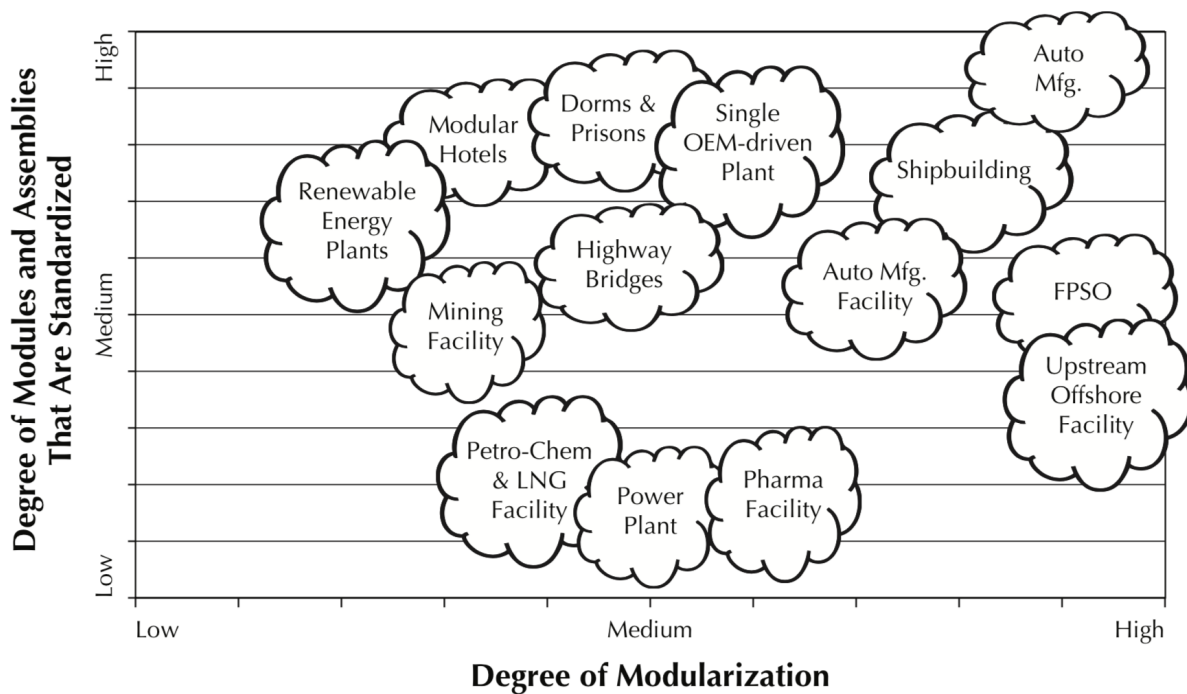


Figura 3.13: Modularización vs estandarización: Aproximación actual por sector

Fuente: Elaboración propia en base a CII (2012)

3.3.4. Factores claves en la modularización

CII (1992) en su publicación de apoyo en la toma de decisión para la modularización, entrega una categorización y orden de impacto en los factores a considerar cuando se realiza un estudio de para la implementación modularización, estos factores presentados según su impacto se presentan en la [Tabla 3.5](#):

Factores claves en Modularización	Orden de Impacto
Ubicación de la planta	1
Consideraciones laborales	2
Características de la planta	3
Factores ambientales y organizacionales	4
Riesgos del proyecto	5

Tabla 3.5: Factores claves para la modularización.

Fuente: Elaboración propia en base a datos de CII (1992)

A continuación se explican con mayor detalle los factores presentados:

1. **Ubicación de la planta:** Donde se emplaza el proyecto es uno de los factores más importante que inciden en la decisión de la modularización, e.g. las limitaciones dadas por las condiciones climáticas que generen periodos de construcción limitados y altos costos de manos de obra, la construcción fuera del sitio puede atenuar la falta de mano de obra calificada. Sin embargo, los beneficios de la modularización no solo son aplicables a proyectos en áreas remotas, proyectos ubicados cercanos a centros con alta densidad poblacional también pueden beneficiarse con ahorros significativos en costo y tiempo. Los atributos a evaluar para la aplicación de la modularización son:

- Modo de transporte.
- Preparación, envío y complejidad del acceso in situ.
- Condiciones climáticas.
- Disponibilidad de equipo de transporte.
- Disponibilidad de mercancías a granel.
- Disponibilidad de equipos de construcción.

2. **Consideraciones laborales:** La diferencia que existe entre el costo total de la mano de obra realizada en el sitio del proyecto versus el mismo trabajo realizado en un taller es una fuerte impulsor de la utilización de la métodos de construcción modular. Este diferencial nace a raíz de que el salarios base para fuerza laboral en el sitio considera un monto mayor al ofrecido por el mercado, otra componente que incrementa en el diferencial es la baja de productividad dada por las condiciones de sitio de los proyectos y por los costos indirectos de mantener la fuerza laboral en el sitio de construcción. Los atributos para las consideraciones laborales son:

- Impacto de la reducción de la fuerza laboral en el lugar de trabajo.
- Nivel de cualificación laboral.
- Disponibilidad de mano de obra.
- Tasa de salario comparativa de la taller.
- Disponibilidad de equipo de transporte.
- Aumento de la productividad de la tienda.

3. **Características de la planta:** El tipo de planta y sus características particulares deben ser evaluadas para lograr obtener los beneficios trasladar construcciones fuera del sitio. Estas construcciones implican el desarrollo de un plan modular que contemplen los requisitos de operación, el mantenimiento y la disposición de los equipos dentro de los potenciales módulos, e.g., si el espacio es limitado, el propietario y/o operaciones por medio de talleres HAZOP.⁴ Los atributos para la caracterización de plantas son:

- Restricciones físicas de la planta.
- Densidad de proceso/sistema.
- Impacto en instalaciones adyacentes y existentes
- Tipo de proyecto

4. **Factores ambientales y organizacionales:** Un factor importante a considerar para el éxito en la implementación de la modularización es el conocimiento y la aceptación por parte de propietario. El propietario debe entender cualquier beneficio potencial de proceder con la construcción fuera del sitio. Los temas sociales y la actitud del público hacia la construcción dentro y fuera del sitio también están incluidos en estos factores ambientales. Los atributos para los factores ambientales y organizacionales son:

- Restricciones locales/sociales.
- Receptividad de la modularización.
- Comprensión de la modularización.
- Participación temprana de los operadores.

⁴HAZOP = Análisis Funcional de Operatividad, metodología que se basa sobre la identificación y caracterización de riesgos, que actúa sobre el principio de los riesgos, accidentes o problemas de operación.

- Disposición a financiar el paquete de estudio de modularización.
- Disposición a vivir con las limitaciones del diseño.

5. **Riesgos del proyecto:** Al implementar la modularización genera aun aumento en los riesgos los cuales deben del absorbidos por una adecuada planificación, buscando una optimización del cronograma de la construcción. Esta planificación y control adicional pueden generar hitos menos flexibles y una disminución en la "holgura" de las actividades. Una planificación que considere la modularización puede disminuir tanto los riesgos de costos como de programa. Los atributos de los riesgos del proyecto son:

- Mayor seguridad en el entorno de la tienda.
- Importancia del ahorro de tiempo.
- Requisitos para una mayor planificación e ingeniería.
- Diferencia en los costos de control de calidad.
- Disminución de costos en equipos y pruebas.
- Experiencia de las empresas de Ingeniería y Construcción
- Experiencia de los fabricantes disponibles

Además de estos factores influyentes, se determinó que la economía también era un factor importante. Algunos costos aumentan con la modularización, como el transporte, el acero y la ingeniería; sin embargo, los costos totales de mano de obra se reducen debido a una mayor productividad. La reducción potencial en el calendario, cuando se evalúa en el CAPEX, puede convertirse en una ventaja considerable en la selección de la construcción modular sobre los métodos tradicionales.

3.3.5. Metodología Modularización

CII (2012) presenta una metodología para la aplicación de la modularización que contempla 4 etapas: proceso de estudio de caso; diferencias en el plan de ejecución; Factores críticos de éxito; Estrategia de estandarización. Esta metodología fue desarrollada por un conjunto de expertos representativos de 17 industrias diferentes y con una alta experiencia en proyectos con modularización integrada. A continuación se presenta una breve descripción de las etapas:

1. **Proceso de estudio de caso:** Estudio de viabilidad de candidatos a modularización, esta evaluación debe ser implementada en etapas tempranas del proyecto. Durante esta fase se responde a las siguientes preguntas: ¿cómo pueden los equipos de proyecto evaluar todos los beneficios y costos del enfoque modular?; ¿cuál es el nivel óptimo de modularización para el proyecto?; ¿cuándo se debe evaluar el caso de negocio?; ¿con qué información debe ser evaluada?.
2. **Diferencias en el plan de ejecución:** Se identifican diferencias entre cómo deben planificarse y ejecutarse los proyectos modulares y los contruidos con stick built. Durante esta fase se responde a las siguientes preguntas: ¿en qué se diferencia la implementación de la modularización de la de un enfoque de construcción por medio stick built?; ¿cómo se refleja esta diferencia en la planificación y ejecución del proyecto?
3. **Factores críticos de éxito:** identificar que factores críticos están presentes en el proyecto. Durante esta fase se responde a las siguientes preguntas: ¿Cuáles son los factores que pueden impulsar el éxito con la modularización? ¿Quién es responsable de esto? ¿Cuándo

son más críticos? ¿Con qué frecuencia se logra cada uno y qué esfuerzos especiales se necesitan?

4. **Estrategia de estandarización:** Los beneficios de combinar la modularización con la estandarización del diseño pueden superar la suma aditiva y, por lo tanto, merecen una consideración especial. Existen dos enfoques básicos: 1) el desarrollo de módulos estandarizados; y 2) el desarrollo de plantas modulares estandarizadas. Durante esta fase se responde a las siguientes preguntas: ¿Cómo se relaciona la estandarización del diseño con la modularización? ¿Qué formas de estandarización son más relevantes en el contexto modular? ¿Cuáles son los beneficios compuestos y cuáles son las compensaciones? ¿Cómo puede un propietario, contratista o fabricante de módulos crear o establecer una planta modular estandarizada? ¿Qué pasos son necesarios?

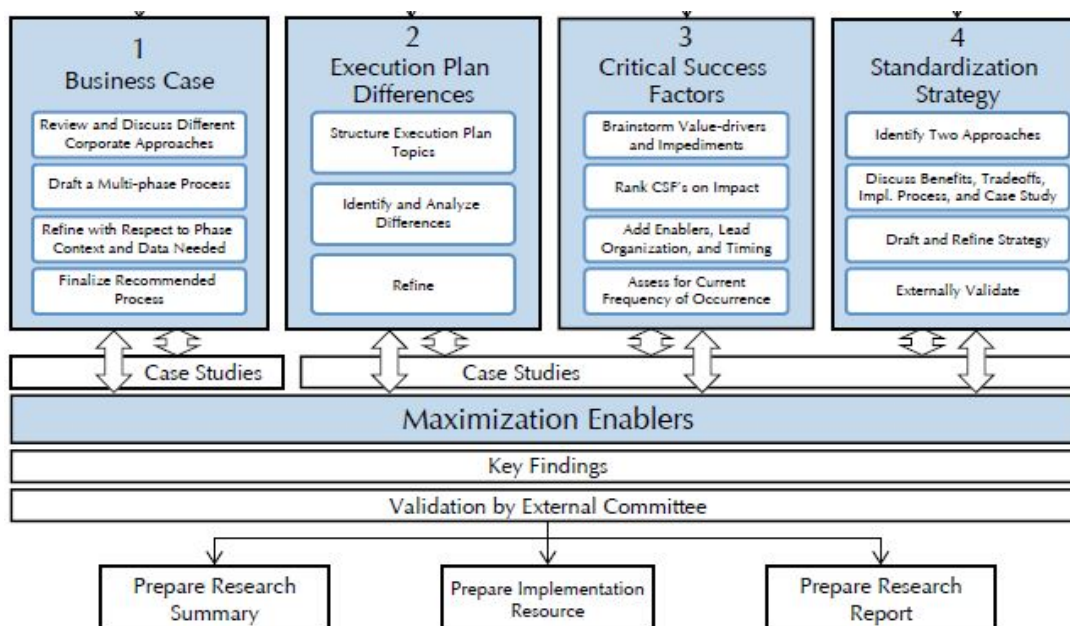


Figura 3.14: Esquema de metodología de PPMOF

Fuente: Elaboración propia en base a [CII \(2012\)](#)

3.3.6. Normativa

La normativa nacional para el proceso constructivo es independiente del método a utilizar, por lo cual el proyecto debe cumplir con toda las normas asociadas a la construcción. La definición de normas obligatorias es realizada en Decreto Supremo – D.S. N° 10 y en la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones (OGUC).⁵

Adicionalmente dado los volúmenes de transporte en la modularización se debe prestar atención a los requerimientos establecidos en el manual de autorizaciones para transportes especiales [Dirección de Vialidad \(2018\)](#). Dado el impacto de la variable de transporte a continuación se desarrolla más en detalle las condiciones nacionales de ruta que definen la factibilidad técnica.

3.4. Análisis Factibilidad Técnica

Para abordar la factibilidad técnica en el uso de la modularización como alternativa de optimización es necesario evaluar las variables adicionales que debe cumplir la modularización versus la construcción stick built, dado que los requerimientos impuestos por condiciones de proceso, normativa de construcción, seguridad, montaje y de constructibilidad deben ser cumplidas independientemente de la estrategia a utilizar. Las variables adicionales al aplicar la modularización son:

- Condiciones de ruta.
- Tipo de transporte para transporte de carga.
- Dimensionamiento máximo para montaje y transporte.

⁵ En el caso de requerir el detalle de las normativa obligatoria para la construcción en Chile refiérase a <http://normastecnicas.minvu.cl>

3.4.1. Condiciones de Transporte Nacional Terrestre

La modularización anteriormente se definió como un sistema complejo pre-construido fuera de la obra pero que considera las dimensiones de transporte, ante lo cual es requerido definir los parámetros que controlaran el tamaño de los módulos.

La normativa vigente, la cual es supervisada por la dirección de vialidad establece una categorización para los distintos tipos de carga, en la [Tabla 3.6](#) se describen los requerimientos según dimensiones de carga y pesos máximos ([Dirección de Vialidad, 2018](#)).

MEDIDAS	SIN PERMISO	CON PERMISO SIN ESCOLTA		CON ESCOLTA ZONAS URBANAS		CON ESCOLTA TODO EL TRAYECTO	
	HASTA	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA
ANCHO	2,60	2,61	3,59	3,60	3,79	3,80	
ALTO	4,20	4,21	4,85			4,86	
LARGO	18,00	18,01	29,00			30,00	
ANCHO MAYOR A 4,50 MTS SE EXIGIRÁ ESTUDIO DE RUTA							
ALTURA IGUAL O MAYOR A 5,00 MTS. DEBE SOLICITAR AUTORIZACIÓN A EMPRESAS DE CABLEADO AEREO (TELEFÓNICAS, ELECTRICAS, TROLLEY BUS, ETC.)							

Tabla 3.6: Dimensiones límites de sobre dimensionamiento y los permisos asociados

Fuente: Elaboración propia en base a [Dirección de Vialidad \(2018\)](#)

Los requerimientos para cada tipo de carga implica costos y tiempos distintos dependiendo de la categoría, por ejemplo elementos que requieran permisos sobre tamaño con escolta permanente generan una condición negativa para el programa de construcción dado que el tránsito del módulo estará sujeto a la disponibilidad de Carabineros dentro de la jurisdicción que se encuentre la carga, pudiendo la carga demorar hasta 2 meses en trayecto Santiago-Iquique.

Adicionalmente se establecen requerimientos adicionales dependiendo de la zona de tránsito, específicamente las coordinaciones para escolta requeridas son:

1. Para la Región Metropolitana:

- Se debe reservar la última semana del mes anterior a la fecha pronosticada de Salida un cupo para tránsito nocturno para salidas al interior del radio urbano o Diurno para lugares fuera de este.
- Se deben presentar con 48 hr. de anticipación los documentos necesarios (Vale vista, informe técnico, resolución de sobrepeso (si aplica) y el formato de solicitud de escolta policía.)
- Al día hábil siguiente se debe retirar el comprobante de escolta policial, documento que debe ser portado todo el trayecto.

2. Para el resto de los puntos de salida (Copiapó, Valparaíso, Antofagasta).

- Se debe consultar cupo de Escolta directamente con el Carabinero en la SIAT u oficina designada para tal efecto (de manera personal o telefónica), de esta manera se asigna el cupo directamente.
- La documentación debe ser entregada con 48 hr de anticipación (Vale vista, informe técnico, resolución de sobrepeso (si aplica) y el formato de solicitud de escolta policía.)
- Al día hábil siguiente se debe retirar el comprobante de escolta policial, documento que debe ser portado todo el trayecto.

3.4.1.1. Riesgos en Transporte

En el transporte existen peligros propios o inherentes al rubro. Es importante conocer dichas variables que pueden condicionar de manera total o parcial el cumplimiento de los plazos asignados a cada labor. A continuación, se presentan algunos de los riesgos que podemos controlar o que podemos conocer y no cuantificar el riesgo que representa tanto en plazos como en seguridad.

A. Variables ponderables

- Tramitación de permisos viales: Se adjuntan plazos de tramitación que deben ser considerados, cualquier cambio generado en base a la planificación inicial de los equipos produce un retraso.
- Plazos promedio de traslado: Se puede generar una estimación del tiempo que demorará un traslado en base a la experiencia.
- Coordinaciones necesarias con autopistas: Se puede coordinar con anticipación el plazo y fecha necesario en el cual se deben tener realizadas las modificaciones necesarias de la infraestructura existente.

B. Variables imponderables

- Inspecciones de cargas (preaprobación de permisos viales): Existe posibilidad de que vialidad de manera aleatoria realice inspección a las cargas especiales (con sobre dimensión y/o sobrepeso). Esto con el fin de verificar que las dimensiones declaradas

sean las correctas y los equipos de transporte a utilizar cumplan con dimensiones y condiciones adecuadas.

- **Factor climático:** Es un factor que se debe considerar de manera importante dado que genera retrasos y/o riesgos físicos a los equipos de transporte, Vialidad solo restringe horario, pero el avance de la carga en condiciones climáticas desfavorables lo decide el supervisor/jefatura del transporte en conjunto con Carabineros. Además, en ocasiones ha producido gran variación en las condiciones que se declaran los caminos a utilizar, debiendo revisar nuevamente las singularidades existentes en los distintos recorridos.
- **Paros de Puerto/aduana/vialidad:** Este tipo de actividad más común en entidades públicas afecta directamente en los plazos de traslado. Es muy difícil de prever y anticipar alguna solución alternativa, dado que son el único “proveedor” para el servicio.
- **Accidentes en la ruta:** Hace referencia a ambos casos, con y sin vehículos del convoy involucrados, dado que se pueden tomar medidas para minimizar la culpa del transporte en accidentes, pero la intervención de terceros en actitudes poco seguras es muy común en carretera. Así también se deben mencionar los accidentes donde no se vea involucrado el transporte, pero si afecte en el aumento de los plazos de traslado.
- **Disponibilidad de escolta policial:** La coordinación para continuar con el avance de las cargas en los diferentes relevos existentes en la carretera es vital para minimizar los tiempos muertos por cambio de Tenencia responsable de la escolta. Es muy

importante el aviso oportuno del avance con la siguiente escolta para conocer su disponibilidad, dado que en muchas partes Carabineros no solo cumple la labor de escolta con las Patrullas disponibles.

- **Fallas en los equipos de transporte:** La revisión periódica y mantención vigente de los camiones y camas bajas que se deben utilizar genera una disminución de las fallas mecánicas. No obstante, siempre existen fallas que deben ser solucionadas en terreno simplemente reemplazar equipos, para esto el transportista debe tener recursos adicionales para suplir estas fallas correctivas.
- **Modificaciones in-situ en recorrido asignado:** En ocasiones existe una mezcla de variables anteriores que generan modificaciones del recorrido, que deben ser autorizadas por la Dirección de Vialidad correspondientes con la posterior validación de Carabineros, en este intertanto las cargas se mantienen detenidas. En ocasiones y por ser cambios menores, Carabineros entrega autorización para utilizar la nueva ruta (siempre escoltados por la patrulla respectiva).

La gran mayoría de la literatura referente a modularización es en base a proyectos fuera de Chile, por lo cual es necesario validar esta metodología para la condición nacional la cual tiene particularidades que podría generar una no viabilidad en el uso de modularización, por ejemplo los requerimientos de de transporte indicados anteriormente. Para realizar la validación se propone el uso de metodologías las cuales se detallan a continuación.

3.5. Metodología

El presente trabajo de investigación es desarrollado en base a una metodología mixta, la cual contempla tanto aspectos cuantitativos como cualitativos.

La metodología a utilizar busca evaluar el comportamiento de la modularización en proyectos mineros nacionales, además de entregar una propuesta metodológica entregue una evaluación rápida, precisa y confiable de la implementación o no de la modularización en el proyecto. Para lograr esto se abordaran las siguientes metodologías:

3.5.1. Encuesta aplicada a la investigación

Para el análisis cuantitativo se considerara el desarrollo de de una encuesta a profesionales expertos de la industria minera y de la construcción, bajo el método Kano y la aplicación de herramientas **VRIO**⁶ (Thompson *et al.*, 2008), con el objetivo de evaluar si la modularización entrega una ventaja competitiva.

Anguita *et al.* (2003) define encuesta como:

“Una técnica que utiliza un conjunto de procedimientos estandarizados de investigación mediante los cuales se recoge y analiza una serie de datos de una muestra de casos representativa de una población o universo más amplio, del que se pretende explorar, describir, predecir y/o explicar una serie de características.”

Las características destacables en las encuestas son:

⁶ VRIO = Técnica o análisis mediante el cual la empresa es capaz de detectar cuáles son los recursos y capacidades que pueden proporcionarle una determinada ventaja competitiva

1. La información se obtiene mediante una observación indirecta de los hechos, a través de las manifestaciones realizadas por los encuestados, por lo que cabe la posibilidad de que la información obtenida no siempre refleje la realidad.
2. La encuesta permite aplicaciones masivas, que mediante técnicas de muestreo adecuadas pueden hacer extensivos los resultados a comunidades enteras.
3. El interés del investigador no es el sujeto concreto que contesta el cuestionario, sino la población a la que pertenece; de ahí, como se ha mencionado, la necesidad de utilizar técnicas de muestreo apropiadas.
4. Permite la obtención de datos sobre una gran variedad de temas.
5. La información se recoge de modo estandarizado mediante un cuestionario (instrucciones iguales para todos los sujetos, idéntica formulación de las preguntas, etc.), lo que faculta hacer comparaciones intragrupalas.

3.5.2. Casos de Estudio

En el presente documento se abordaran 2 casos de estudios los cuales buscan validar, para el contexto nacional, las ventajas de la modularización y considerando las externalidades propias del los proyectos minero nacionales.

Según Yin (1994) Un caso de estudio es:

“Una investigación empírica que estudia un fenómeno contemporáneo dentro de su contexto de la vida real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno y su contexto no son claramente evidentes. (...) Una investigación de estudio de caso trata exitosamente con una situación

técnicamente distintiva en la cual hay muchas más variables de interés que datos observacionales; y, como resultado, se basa en múltiples fuentes de evidencia, con datos que deben converger en un estilo de triangulación; y, también como resultado, se beneficia del desarrollo previo de proposiciones teóricas que guían la recolección y el análisis de datos.”

Los objetivos que posee un estudio de casos son la descripción de una situación, en base a la teoría explicar un resultado en particular y/o la validación de teorías, además el estudio de investigación busca establecer inferencias validas en función de análisis detallado de situaciones reales ([Yacuzzi, 2005](#)).

Para la correcta ejecución de un estudio de caso es necesario tener un sustento teórico que permita establecer una base para la observación, el estudio de caso viene de la teoría y también se considera que va hacia ella, pero con los cuidados de la inferencia estadística y de la representatividad de la muestra en relación a la población. Para el presente proyecto el respaldo teórico esta dado por lo indicado en secciones anteriores.

4. METODOLOGÍA

4.1. Enfoque Metodológico

El presente trabajo de investigación se desarrolla en base a metodologías mixtas las cuales se pueden conceptualizar como el uso o la combinación de metodologías de investigación provenientes de las tradiciones cuantitativas y cualitativas. Se desarrolla la propuesta metodológica, en dos etapas, bajo un análisis cuantitativo enfocado en la verificación de la modularización como ventaja competitiva con la herramienta VRIO y encuestas realizadas a profesionales expertos en el desarrollo de proyectos de construcción minera. Posteriormente en base a un análisis de caso se aborda la metodología cualitativa, la cual busca evaluar si las conclusiones entregadas en la literatura para la modularización son validas al aplicarla a proyectos mineros nacionales.

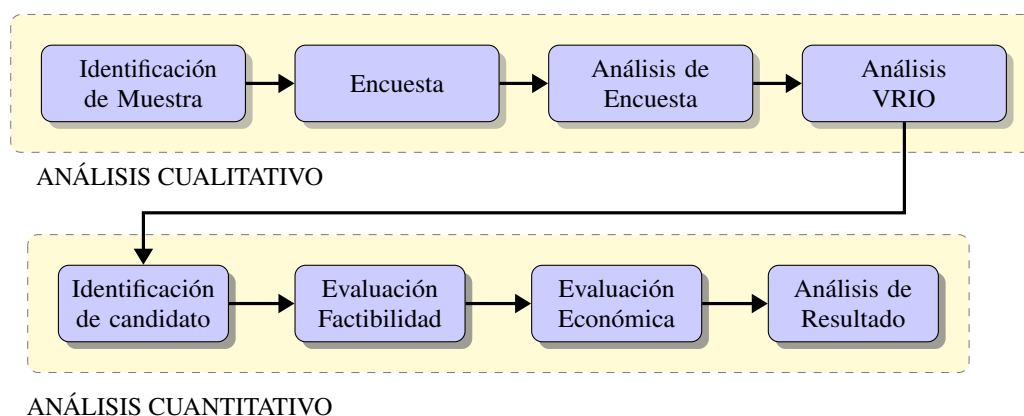


Figura 4.1: Etapas de la metodología a aplicar.

Fuente: Elaboración propia.

4.2. Alcance de la Investigación.

El alcance con el cual se aborda la investigación es en base a un estudio descriptivo, donde se busca recopilar información para caracterizar y perfilar la modularización aplicada a proyectos mineros en Chile. Se busca medir en diferentes dimensiones a la modularización para presentar una propuesta metodológica para su aplicación. El enfoque descriptivo busca mostrar con precisión diversos ángulos de la modularización para evaluarlo bajo el contexto nacional.

4.3. Análisis Cualitativo - Encuesta

4.3.1. Objetivos del Encuesta

Dado que la estrategia de modularización busca una optimización en los procesos constructivos, para evaluar si esta genera ventaja competitiva, se utilizan encuestas basadas en muestreo **no probabilístico** donde el grupo objetivo son profesionales involucrados en proyectos mineros.

Como el objetivo de este análisis cuantitativo es la verificación de ventaja competitiva al aplicar modularización, para el presente trabajo de investigación se adopta la definición entregada por **Ornelas (2016)**, para la ventaja competitiva:

"La serie de movimientos que la empresa debe emprender para alcanzar velocidad y capacidad de respuesta para innovar o producir conocimiento productivo antes que los competidores. En otras palabras, la ventaja competitiva depende de la acumulación del capital intelectual (conocimiento), de la flexibilidad y la celeridad organizacional para cambiar la dirección del negocio en lo relativo a la producción, la comercialización, o ambas, de acuerdo con los cambios en el mercado."

En base a la definición anterior la encuesta se centrara en la verificación de aspectos de conocimientos, flexibilidad, innovación y celeridad organizacional requeridos por la modularización. Adicionalmente se evaluara si los factores que impulsan la modularización, según la opinión de los profesionales concuerda con los indicados en la literatura.

4.3.2. Variables a Evaluar

Para cumplir con el objetivo planteado se evaluaran las siguientes variables: (i) Valor de modularización, (ii) Rareza de la aplicación del método en la industria, (iii) Capacidad de imitación de la estrategia de modularización, (iv) Preparación de la Organización para la aplicación de la modularización y (v) Factores potenciadores de la modularización concuerdan con los indicados en la literatura.

4.3.3. Definición de muestra

El tipo de muestreo a utilizar es un muestreo **no probabilístico**, dado que no se efectúa bajo las normas probabilísticas, no existe la oportunidad conocida de que cualquier profesional del rubro sea participe del estudio, por esto que se evaluara la ventaja competitiva de la implementación de modularización en la oficina de ingeniería de la cual pertenecen los profesionales, no es necesario generalizar a toda la industria, basta con la capacidad de generalización a sujetos similares, que en este caso es valido para grupos de profesionales de la misma oficina de ingeniería y construcción que trabajan bajo los mismos procedimientos que la muestra.

El método empleado para la definición de la muestra es *muestreo deliberado o por juicio*

experto, los miembros de la muestra se eligen sólo sobre la base del conocimiento y el juicio del investigador. El proceso de selección de una muestra mediante este método implica una selección cuidadosa de cada participante en el estudio.

Los individuos seleccionados para la muestra son 37 los cuales perteneces a las siguientes áreas: Project Management; Ingeniería; Compras; Trafico y Logística; Control de Proyectos y Construcción. Cada individuo seleccionado es participe en el desarrollo de proyectos de ingeniería ya sea en etapas de pre-inversión como de inversión.

4.3.4. Confección y distribución del cuestionario de cuestionario

El cuestionario esta conformado por tres secciones: (1) Solicitud de cooperación, (2) Instrucciones, (3) Clasificación e información solicitada. El cuestionario consta de 21 preguntas cerradas con escala likert, de clasificación y matriz de likert. En la [Tabla 4.1](#) se observa el tipo de pregunta utilizada y el objetivo de cada una, para ver en detalle el cuestionario ver [Anexo-Sección B](#).

La forma de presentar el cuestionario a la muestra es de forma digital utilizando la plataforma QuestionPro (<https://www.questionpro.com/es/?>) y distribuida via e-mail al grupo de expertos seleccionados. En [Anexo-Sección C](#) de puede observar la lista y mail por el cual se distribuyo el cuestionario.

Pregunta	Tipo	Objetivo
1	Elección única - Politémica	Categorizar
2	Escala Likert	Evaluación Variable - Valor
3	Pregunta Abierta	Identificar atributos
4	Escala Likert	Evaluación Variable - Valor
5	Escala Likert	Evaluación Variable - Rareza
6	Escala Likert	Evaluación Variable - Rareza
7	Escala Likert	Evaluación Variable - Imitación
8	Escala Likert	Evaluación Variable - Imitación y Organización
9	Escala Likert	Evaluación Variable - Factores potenciadores
10	Escala Likert	Evaluación Variable - Factores potenciadores
11	Escala Likert	Evaluación Variable - Valor
12	Escala Likert	Evaluación Variable - Ventajas y Desventajas
13	Escala Likert	Evaluación Variable - Ventajas y Desventajas
14	Escala Likert	Evaluación Variable - Organización
15	Escala Likert	Evaluación Variable - Organización
16	Ranking	Categorizar - Factores potenciadores
17	Ranking	Categorizar - Factores potenciadores
18	Ranking	Categorizar - Factores potenciadores
19	Ranking	Categorizar - Factores potenciadores
20	Ranking	Categorizar - Factores potenciadores
21	Ranking	Categorizar - Factores potenciadores
22	Matriz Likert	Evaluación Variable - V-R-I-O

Tabla 4.1: Tipo y Objetivos de preguntas del cuestionario.

Fuente: Elaboración propia

4.3.5. Análisis de resultado

Los resultados son procesados con el apoyo de *Microsoft Excel* y presentados de forma gráfica para facilitar su interpretación. Según las variables a evaluar expuestas anteriormente se evaluarán los recursos y capacidades generadas por el uso de la modularización y/o PPMOF.

4.3.5.1. Análisis Recursos y Capacidades

El análisis de recursos y capacidades presenta poderosas herramientas para identificar si el recurso genera una ventaja competitiva y si esta es sustentable sobre la competencia.

¿La modularización genera una ventaja competitiva?, para responder esta interrogante se realiza un análisis **VRIO** (Thompson *et al.*, 2008), el cual evalúa el recurso bajo los siguientes parámetros:

- **Valioso** : ¿Es valiosa la modularización competitivamente hablando?
- **Raro** : ¿Es poco frecuente usar la modularización en minería?
- **Difícil de Imitar** : ¿El uso de modularización es difícil de imitar por la competencia?
- **Raro:** : ¿Es poco frecuente usar la modularización en minería?
- **Organización** : ¿La organización esta preparada para el uso de la modularización?

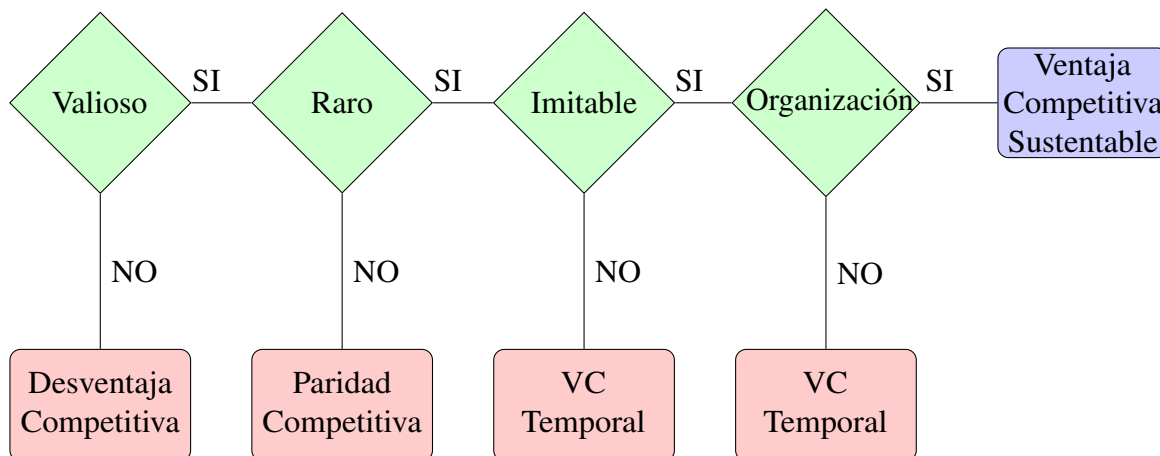


Figura 4.2: Diagrama Flujo Análisis VRIO.

Fuente: Elaboración propia en base a Thompson *et al.* (2008)

En base a las respuestas obtenidas durante el desarrollo de la encuesta y evaluándolas en el diagrama indicado en la Figura 4.2, es posible categorizar la modularización para verificar si es una ventaja competitiva sustentable (VCS).

4.4. Análisis Cuantitativo - Estudio de Casos

En el presente trabajo se evaluará la implementación la modularización en un proyecto minero representativo de la gran minería ubicado en el norte de Chile (Figura 4.3). El proyectos **A** es tipo greenfield y se encuentran a una distancia aproximada de 1.750 al norte de Santiago, dada la ubicación la accesibilidad presenta desafíos dada la altitud del proyecto, en la Tabla 4.2 se puede observar algunas características del proyecto.

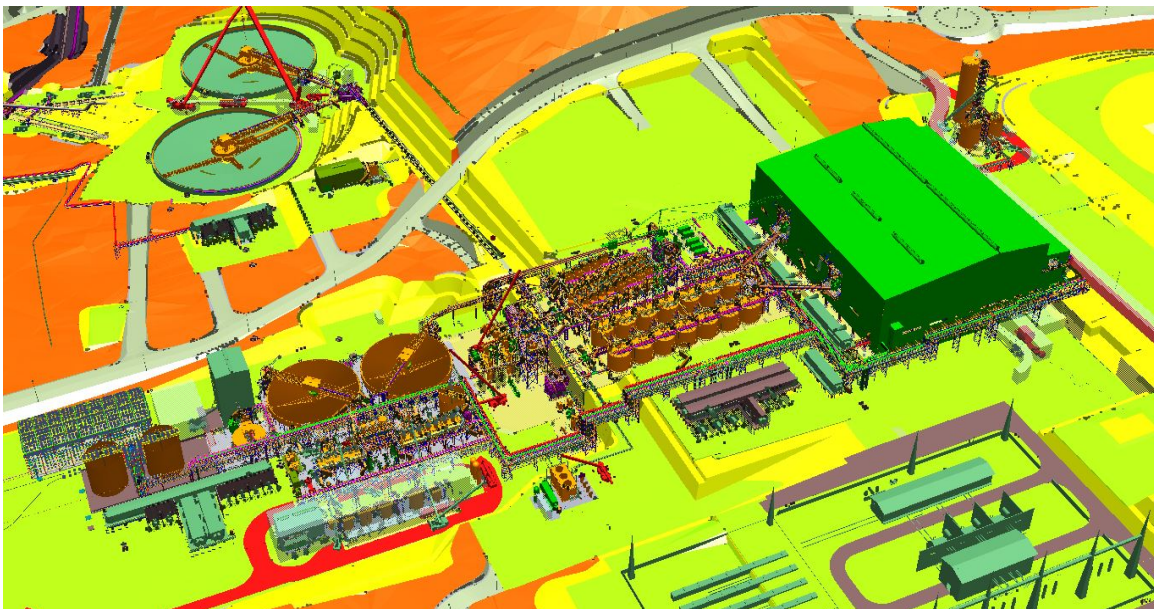


Figura 4.3: Vista Maqueta 3D, Proyecto A

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Proyecto A

CASO ESTUDIO	Tipo de Proyecto	Capacidad	Ubicación
Proyecto A	Greenfield	140 Ktpd	I Región / + 4.500 m s. n. m.

Tabla 4.2: Característica generales proyecto a evaluar

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de proyectos

Las áreas principales del proyecto A, se concentran desde las áreas de molienda hasta relaves, las cuales se observan en las Figura 4.4, estas áreas concentran el 82 % del acero del proyecto, equivalente a 12.500 toneladas y al 83 % del piping del proyecto equivalente a 88 kilómetros lineales. En la Tabla 4.3 se observan las cantidades principales para este proyecto.

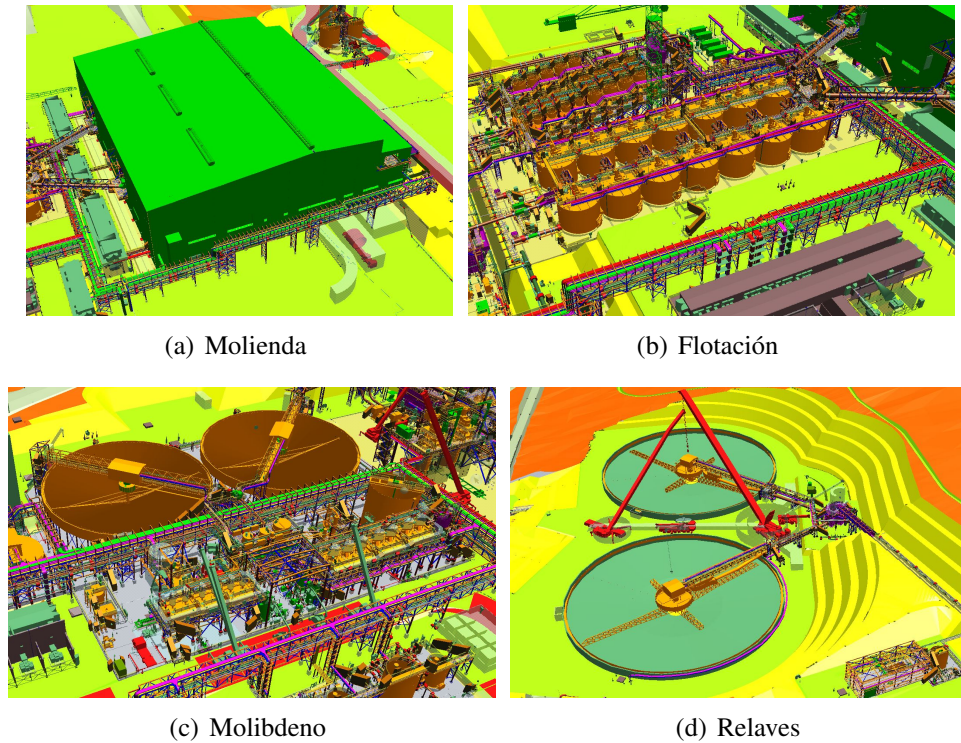


Figura 4.4: Áreas Principales Proyecto A

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Proyecto A

Ítem	Suministro	Unidad	Cantidad
1	Acero	ton	15.270
2	Concreto	m ³	121.200
3	Piping	ml	106.715
4	Cable Eléctrico	ml	1.954.840

Tabla 4.3: Cantidades de principales partidas de materiales en proyecto A

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de proyecto A

4.4.1. Vías de acceso principal al Proyecto

Dado el emplazamiento del proyecto a evaluar y según la normativa indicada en [Sección 3.4.1](#) las principales rutas de acceso para el proyecto se detallan en la [Tabla 4.4](#), donde se identifican las dimensiones y pesos máximos permitidos para el transporte de carga en estas vías. Se considera como puntos de origen los núcleos industriales donde se encuentran los principales proveedores de suministros para la industria minera.

Desde	Hasta	Envolvente Transporte Máxima			
		Ancho [m]	Alto [m]	Largo [m]	Peso [ton]
Santiago	Proyecto A	7.0	5.0	25	100
Concepción	Puerto San Vicente	6.8	5.4	25	100
Santiago	Puerto San Antonio	5.3	4.2	30	100
Puerto Iquique	Ruta 5	4.8	4.5	35	45
Puerto Iquique	Punta Patache	7.0	5.0	35	45
Punta Patache	Ruta 5	9.0	7.0	35	45
Puerto Angamos	Punta Patache	9.0	5.5	35	33
Puerto Angamos	Ruta 5	7.8	6.4	35	45
Puerto Angamos	Proyecto A	7.8	6.4	35	45

Tabla 4.4: Envolventes Máximas en vías de acceso a proyectos

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de proyectos

4.4.2. Candidato a PPMOF - Sistema Piperack

Para el proyecto A se considerara como candidatos a modularizar el sistema de piperack del área de la concentradora, lo que comprende sectores de molienda, flotación, remolienda y planta molibdeno, en la [Figura 4.6](#) se presentan una vista 3d de los elementos considerados como modulo. Estos módulos son un sistema que integra la estructura asociada y todos las líneas de piping que corresponda al sistema según la coordinación de CSA/Piping ([Figura 4.5](#)). Las

cantidades asociadas a PPMOF son **800 toneladas** de acero estructural y **7,237 metros** de piping.

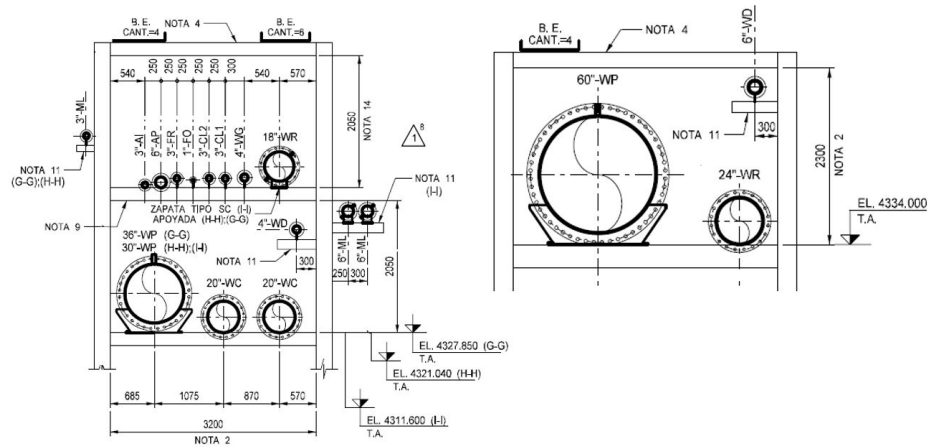


Figura 4.5: Sección típica piperack, Proyecto A

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Proyecto A

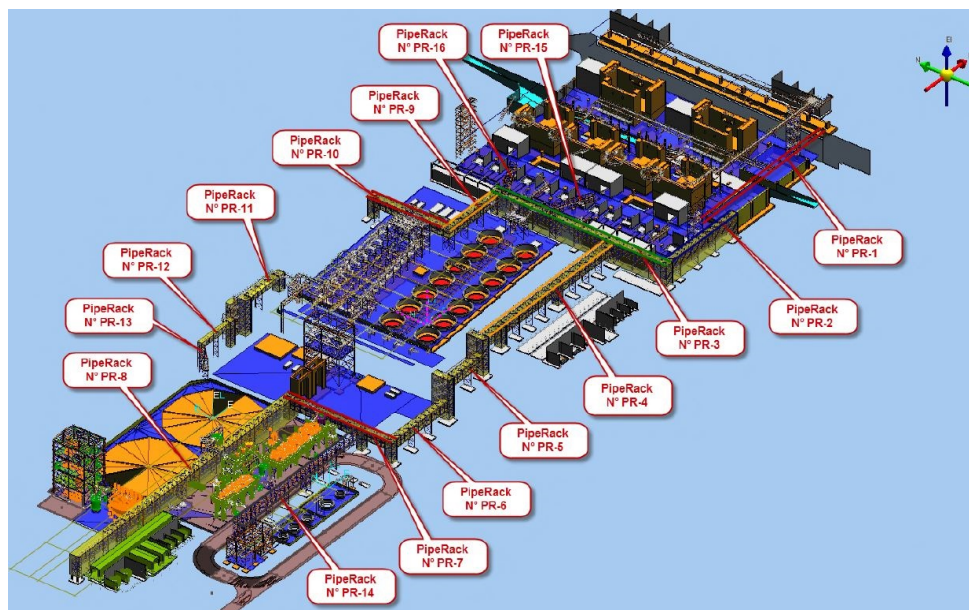


Figura 4.6: Vista Maqueta 3D, Candidatos a PPMOF - Piperack

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Proyecto A

4.4.3. Candidato PPMOF - Stacker

Otro candidato a modularización es el Stacker al final de la correa overland del proyecto A, para este candidato se considera sistemas pre-armados de estructura y mesas de soporte de la correa overland. En la [Figura 4.7](#) se muestra la estructura asociada al stacker con sus diferentes etapas de montaje, tanto el chute de descarga como los sistemas de control eléctricos e instrumentación se consideran montados bajo metodología tradicional stick built.

El sistema de transporte de mineral (stacker) esta compuesto por 670 toneladas de acero y 120 metros lineales de correa overland las cuales forman parte de la estrategia modular.

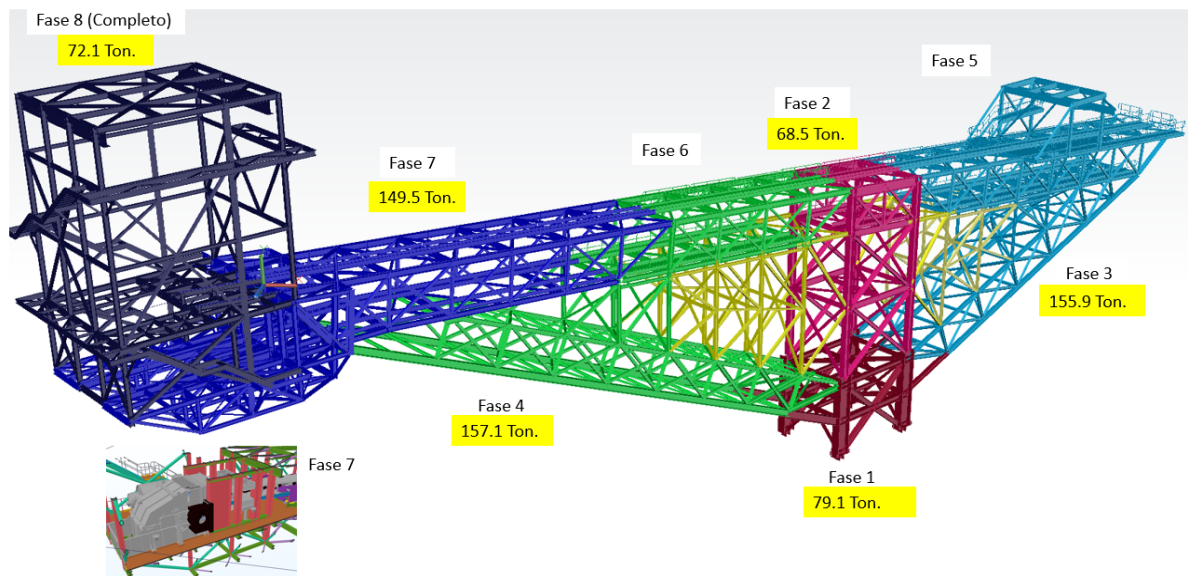


Figura 4.7: Vista Maqueta 3D, Candidato a PPMOF - Stacker

Fuente: Elaboración propia en base a antecedentes de Proyecto A

4.5. Metodología PPMOF

Para el proyectos A se utiliza una metodología para la evaluación de la implementación de **PPMOF**, la cual considera varias niveles de evaluación, cada una con distintos niveles de profundidad, en [Figura 4.8](#) se observa el proceso para la metodología.

El Nivel I entrega una visión preliminar, la cual busca identificar los principales impulsores y impedimentos para la implementación de **PPMOF** en el proyecto, donde las dimensiones que se evalúan son: (i) Programa, (ii) Mano de Obra, (iii) Seguridad, (iv) Ambiental, legal y regulatorio, (v) Atributos del sitio y (vi) Acceso al sitio.

El Nivel II, desarrolla en con mayor profundidad las dimensiones indicadas anteriormente y busca identificar los factores más favorables y los más desfavorables para la implementación del PPMOF en el proyecto a evaluar. Como antecedente de entrada para el análisis en la evaluación de los factores críticos se consideran los resultados obtenidos en la encuesta aplicada a juicio experto, según lo detallado en [Sección 4.3](#).

Por último el Nivel III, de enfoca en la evaluación económica de los candidatos a PPMOF, realizando un análisis comparativo entre el método tradicional “stick-built” y PPMOF.

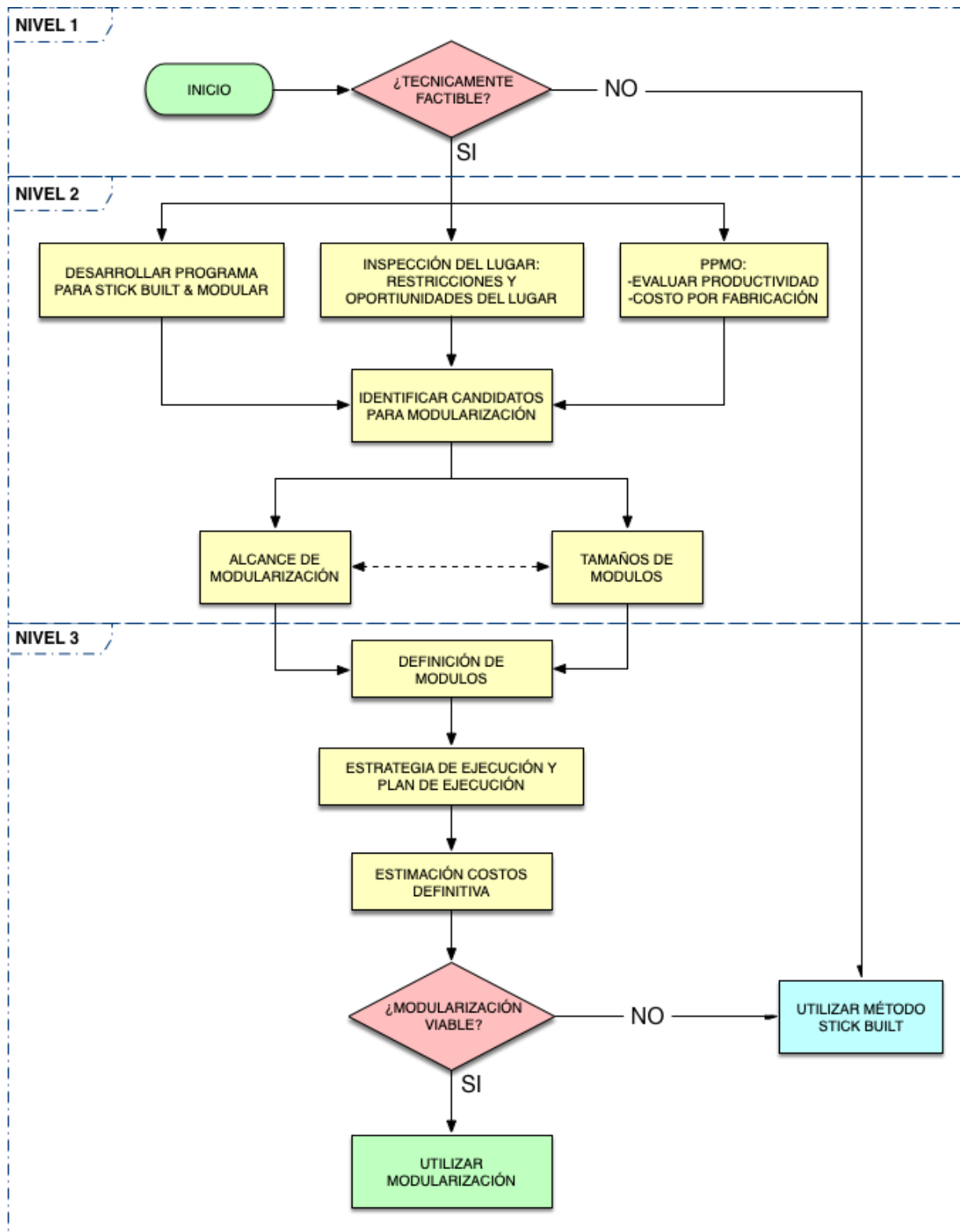


Figura 4.8: Diagrama Flujo Metodología PPMOF

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2002)

4.5.1. Análisis Nivel I - Evaluación Preliminar

El Nivel I implica la evaluación de 6 preguntas cerradas cuya alternativas de respuestas son: "Sí", "Tal vez." "No". Este grupo de preguntan evalúan el impacto potencial que generaría el uso de PPMOF en el proyecto. En la [Tabla 4.5](#) se observan las preguntas de análisis.

Área	Pregunta	Impacto PPMOF		
		Sí	Tal vez	No
Programa	¿Existen limitaciones o requisitos significativos para la programación del proyecto? PPMOF puede ayudar a cumplir con las limitaciones del cronograma, tales como la duración de las interrupciones y el tiempo de llegada al mercado o las necesidades de decisión.			
Mano de Obra	¿Hay una falta de mano de obra local disponible en el área del proyecto? PPMOF puede ayudar trasladando el trabajo a áreas con mano de obra adecuada.			
Seguridad	¿Existe la oportunidad de reducir los riesgos de seguridad mediante el uso de PPMOF? PPMOF puede ser capaz de reubicar el trabajo en ambientes menos peligrosos como el nivel del suelo o climas controlados.			
Ambiental, legal y regulatorio	¿Existen consideraciones ambientales, legales y/o regulatorias significativas que puedan limitar el proyecto? PPMOF puede ayudar a aliviar las limitaciones al permitir el trabajo paralelo mientras se manejan estos asuntos.			
Atributos del sitio	¿Existen atributos significativos del sitio, como el clima extremo o la falta de infraestructura, que puedan afectar el desempeño del proyecto? PPMOF puede potencialmente reubicar el trabajo en condiciones más favorables.			
Acceso al sitio	¿Las rutas y caminos de elevación disponibles permiten el uso de módulos con las dimensiones establecidas para el envío por camión, ferrocarril o barcaza? El uso de los módulos más grandes posibles aumenta los beneficios de PPMOF.			

Tabla 4.5: Análisis Nivel I para Modularización

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2. Análisis Nivel II - Evaluación Factores Predominantes

Esta segunda etapa del análisis busca profundizar los aspectos evaluados en el Nivel I para entregar una evaluación más certera de la utilización de PPMOF. El Nivel II requiere mayor conocimiento del proyecto como la ubicación del sitio, la definición preliminar del layout, los procesos, como así como las características generales en cuanto a infraestructura, mano de obra requerida, permisos, y asuntos legales. La estructura de este nivel se divide en 10 categorías:

- | | |
|-----------------------|--|
| ■ Programa | ■ Sistemas Mecánicos |
| ■ Costo | ■ Proyecto y tipo de contrato |
| ■ Mano de Obra | ■ Diseño |
| ■ Seguridad | ■ Transporte y requerimientos de izaje |
| ■ Atributos del Sitio | ■ Capacidad del proveedor |

El Nivel II contempla completar la [Tabla 4.6](#) donde el primer paso es asignar un factor de ponderación a cada una de las diez categorías (columna A), dicho factor representa el juicio del usuario la importancia relativa de cada categoría correspondiente, los valores del factor de ponderación pueden ser cualquier número entre 0 y 5, donde 5 puntos representa la ponderación asigna mayor importancia relativa. Posteriormente los datos para columna PROMEDIO ANÁLISIS X CATEGORÍA se obtienen del promedio de la puntuación obtenida al evaluar cada factor critico (escala indicada en [Tabla 4.7](#)). El detalle de las preguntas se observa en [Sección 4.5.2.1](#) hasta [Sección 4.5.2.10](#).

Al finalizar la evaluación por categoría de los factores críticos, si el puntaje ponderado total es positivo implica que el uso de PPMOF tiene potencial beneficio para el proyecto. Además de esta evaluación podemos obtener los factores más críticos y los más favorables PPMOF en el proyecto.

Categoría	(A) Peso Factor	(B) Promedio Análisis x Categoría	(C) Peso % Factor $C=A/\Sigma A$	(D) Puntaje $D=B \cdot C$
1. Programa	0 5	Según sección 4.5.2.1 @ 4.5.2.10		
2. Costo	⋮			
3. Mano de Obra	⋮			
4. Seguridad				
5. Atributos del Sitio				
6. Sistemas Mecánicos				
7. Proyecto y tipo de contrato				
8. Diseño	⋮			
9. Transporte y requerimientos de izaje	⋮			
10. Capacidad del proveedor	0 5			

Tabla 4.6: Análisis Nivel II para Modularización

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2012)

Ptos Asignados	Interpretación
N/A	No se aplica
-5	No apoya fuertemente a PPMOF
-2	No es compatible con PPMOF
0	Sin impacto con PPMOF
2	Soporta PPMOF
5	Apoya firmemente a PPMOF

Tabla 4.7: Análisis Nivel II - Escala de evaluación

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2012)

4.5.2.1. Programa

La revisión de factores críticos en el área de *Programa*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Horarios reducidos, (ii) Paradas planificadas e interrupciones.(iii) Decisiones comerciales tardías,(iv) Beneficios de inicio temprano,(v) Calendario de permisos ambientales,(vi) Limitaciones de tiempo relacionadas con el envío y transporte,(vii) Equipos o materiales con largos plazos de entrega,(viii) Riesgos asociados a penalizaciones de horarios,(ix) Recompensas por la finalización temprana del proyecto,(x) Requisitos de llevar el producto al mercado rápidamente. En la [Tabla 4.8](#) y [Tabla 4.9](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de programa que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

1	Factor	Descripción
1.1	Horarios reducidos	El trabajo previo puede comprimir el programa a través de actividades paralelas y mayores tasas de productividad en el taller.
1.2	Paradas planificadas, interrupciones	Maximizar el montaje y la verificación antes de la construcción tiene el potencial de reducir el tiempo de montaje.
1.3	Decisiones comerciales tardías	El trabajo previo tiene el potencial de comprimir el cronograma de instalación al utilizar una mayor productividad en el taller y múltiples sitios de fabricación, lo que permite posponer las decisiones comerciales finales relacionadas con el lanzamiento de un producto al mercado.
1.4	Beneficios de inicio temprano	La compresión programada es resultante de múltiples sitios de trabajo y el aumento de la productividad en sitios remotos, junto con la verificación del rendimiento del equipo antes de la instalación, puede resultar en una curva de aprendizaje de inicio más corta.
1.5	Calendario de permisos ambientales u permisos de otros proyectos que lo permitan.	El trabajo previo puede permitir que el trabajo comience fuera del sitio mientras se procesan los permisos del sitio (se debe tener precaución debido a la posibilidad de que se rechace la solicitud de permiso)

Tabla 4.8: Análisis Nivel II-Programa

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

Continuación...		
1	Factor	Descripción
1.6	Limitaciones de tiempo relacionadas con el envío y transporte.	Las ubicaciones de los proyectos pueden dictar o limitar la capacidad de enviar, recibir o instalar elementos. Los envíos previos al sitio pueden requerir la sincronización con las ventanas de envío o transporte.
1.7	Equipos o materiales con largos plazos de entrega.	Los elementos de largos plazos de entrega pueden dictar el programa independientemente del nivel de trabajo previo. Dichos elementos también pueden controlar el nivel y el alcance del trabajo previo.
1.8	Riesgos asociados a penalizaciones de horarios.	Al reducir los riesgos de horarios asociados con el clima o las condiciones laborales, el trabajo previo puede limitar el riesgo de penalizaciones de horarios.
1.9	Recompensas por la finalización temprana del proyecto	La compresión de la programación y / o la reducción en la variación de la programación a través del trabajo previo pueden brindar oportunidades de incentivos, si están disponibles.
1.10	Requisitos de llevar el producto al mercado rápidamente	El trabajo previo puede ser capaz de reducir el tiempo de comercialización a través de mejores tasas de productividad en el taller y mediante actividades de trabajo en paralelo . Esto puede permitir que los productos lleguen al mercado antes.

Tabla 4.9: Análisis Nivel II-Programa (Continuación)

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2.2. Costos

La revisión de factores críticos en el área de *Costos*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Control general de costos del proyecto, (ii) Flujos de efectivo generales del proyecto, (iii) Requisitos para cumplir con los nuevos requisitos reglamentarios u otros requisitos impuestos, (iv) Valor de reutilización futura, (v) Factores económicos locales específicos. En la [Tabla 4.10](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de costos que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

2	Factor	Descripción
2.1	Control general de costos del proyecto	Las características del trabajo previo pueden proporcionar un control de costos más estricto (la capacidad de pronosticar con mayor precisión y cumplir con las proyecciones de costos al limitar la variabilidad debido al clima, la mano de obra, etc.)
2.2	Flujos de efectivo generales del proyecto	El trabajo previo tiene el potencial de proporcionar más opciones para el flujo de caja, ya que el trabajo puede completarse antes o retrasarse sin afectar los objetivos.
2.3	Requisitos para cumplir con los nuevos requisitos reglamentarios u otros requisitos impuestos	La comprensión del cronograma mediante el uso de pre-trabajo podría permitir que la instalación cumpla con las regulaciones dentro del plazo establecido.
2.4	Valor de reutilización futura	Los aspectos previos al trabajo de un proyecto pueden diseñarse para su recuperación o reutilización.
2.5	Factores económicos locales específicos	Al reubicar el trabajo fuera del sitio a través del trabajo previo, se pueden evitar los factores económicos locales adversos.

Tabla 4.10: Análisis Nivel II-Costos

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2012)

4.5.2.3. Mano de Obra

La revisión de factores críticos en el área de *Mano de obra*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Productividad laboral, (ii) Requisitos de densidad de mano de obra total o máxima (cantidad de trabajadores), (iii) Disponibilidad de mano de obra local, regional o nacional, (iv) Disponibilidad de mano de obra calificada, (v) Requisitos específicos del proyecto, como licencias para profesionales, (vi) Acuerdos laborales o cuestiones jurisdiccionales, (vii) Suficiencia de mano de obra en un entorno de proyectos múltiples, (viii) Estabilidad de los costes laborales, (ix) Consideraciones políticas locales/regionales, (x) Múltiples turnos de trabajadores de la construcción. En la [Tabla 4.11](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de mano de obra que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

3	Factor	Descripción
3.1	Productividad laboral	Las tasas de productividad laboral antes del trabajo son potencialmente más altas debido a factores tales como las condiciones de la fábrica y sitio. Hay muchos casos en los que las tasas salariales de los talleres para el pre-trabajo son significativamente más bajas debido a las múltiples variables.
3.2	Requisitos de densidad de mano de obra total o máxima (cantidad de trabajadores)	El pre-trabajo puede reubicar el trabajo en un área con una mayor disponibilidad de mano de obra o espacio de trabajo. La reducción de la densidad de trabajadores in situ puede proporcionar oportunidades de mejora de la productividad.
3.3	Disponibilidad de mano de obra local, regional o nacional	El pre-trabajo puede reubicar el trabajo lejos de situaciones laborales adversas a nivel local, regional o nacional.
3.4	Disponibilidad de mano de obra calificada	El pre-trabajo puede trasladar el trabajo crítico a lugares donde se dispone de mano de obra calificada adecuada.
3.5	Requisitos específicos del proyecto, como licencias para profesionales	En los proyectos en los que no se requiere la presencia de profesionales con licencia, el pre-trabajo puede ser una alternativa económica para traer a los trabajadores calificados al lugar de trabajo.
3.6	Acuerdos laborales o cuestiones jurisdiccionales	Los acuerdos laborales o los asuntos jurisdiccionales pueden limitar la cantidad de trabajo transferido fuera del sitio. El trabajo previo puede ser restringido o anti económico basado en incentivos fiscales locales, condiciones preexistentes que requieren el uso de mano de obra local, acuerdos laborales artesanales u otros.
3.7	Suficiencia de mano de obra en un entorno de proyectos múltiples	Dada una compañía con múltiples proyectos que se derivan de una mano de obra, el trabajo previo puede ayudar a aliviar las tensiones laborales en otros proyectos de la compañía.
3.8	Estabilidad de los costes laborales	El trabajo puede ser reubicado a través del pre-trabajo en áreas con menor volatilidad laboral.
3.9	Consideraciones políticas locales/regionales	Porcentaje de trabajo garantizado a la mano de obra local para asegurar un apoyo político favorable o para el alivio de impuestos.
3.10	Múltiples turnos de trabajadores de la construcción	La mano de obra en el sitio que requiere múltiples turnos puede ser reubicada fuera del sitio a través de pre-trabajo para reducir las disminuciones de productividad debido al trabajo por turnos.

Tabla 4.11: Análisis Nivel II-Mano de Obra

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2012)

4.5.2.4. Seguridad

La revisión de factores críticos en el área de *Seguridad*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Riesgos inusuales en el lugar o regionales, (ii)

Operaciones en curso de las instalaciones, (iii) Densidad de mano de obra in situ, (iv) Mayor riesgo por trabajos en altura, espacios confinados, atmósferas tóxicas conocidas, etc., (v) Incentivos monetarios contractuales para mejorar la seguridad de los proyectos, (vi) Reducción de los costes de seguro, (vii) Levantamiento de cargas pesadas, (viii) Requisitos reglamentarios. En la [Tabla 4.12](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de seguridad que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

4	Factor	Descripción
4.1	Riesgos inusuales en el lugar o regionales	El trabajo fuera del sitio puede minimizar el trabajo necesario en áreas peligrosas y reducir los costos de protección de los trabajadores durante los métodos de trabajo tradicionales.
4.2	Operaciones en curso de las instalaciones	La reducción del número de trabajadores y tipos de embarcaciones puede reducir el impacto en las operaciones en curso.
4.3	Densidad de mano de obra in situ	La reducción del número de trabajadores y tipos de embarcaciones puede reducir la exposición a los peligros.
4.4	Mayor riesgo por trabajos en altura, espacios confinados, atmósferas tóxicas conocidas, etc.	El trabajo previo puede reducir la exposición de los trabajadores en áreas tales como trabajos en altura, ambientes húmedos o resbaladizos, o zanjas. El uso del pre-trabajo tiene el potencial de llevar una mayor porción de trabajo a un ambiente controlado a nivel del suelo.
4.5	Incentivos monetarios contractuales para mejorar la seguridad de los proyectos	La reducción de la exposición al peligro a través del trabajo previo puede proporcionar una mayor oportunidad de obtener incentivos monetarios asociados con la seguridad.
4.6	Reducción de los costes de seguro	La reducción de la exposición a través del pre-trabajo puede justificar la reducción de los costes de seguro.
4.7	Levantamiento de cargas pesadas	Los trabajos previos pueden implicar elevaciones más grandes, lo que requiere una mayor planificación de la seguridad.
4.8	Requisitos reglamentarios	Los requisitos reglamentarios de seguridad para el personal de la obra pueden reducirse si el trabajo se traslada a áreas con menos requisitos.

Tabla 4.12: Análisis Nivel II-Seguridad

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2.5. Atributos del Sitio

La revisión de factores críticos en el área de *Atributos del Sitio*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Condiciones meteorológicas previstas en el lugar de la obra, (ii) Cuestiones políticas, (iii) Restricciones medioambientales, (iv) Infraestructura local para apoyar el proyecto, (v) Derechos de uso y límites de propiedad, (vi) Espacio de instalación y puesta en marcha, (vii) Acceso a la obra y en el lugar de trabajo, (viii) Ubicaciones remotas con una infraestructura mínima. El la [Tabla 4.13](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de atributos del sitio que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

5	Factor	Descripción
5.1	Condiciones meteorológicas previstas en el lugar de la obra	El trabajo previo se puede realizar en lugares remotos donde el clima es más predecible o controlado.
5.2	Cuestiones políticas	Los trabajos previos pueden ser reubicados en áreas con climas políticos más favorables.
5.3	Restricciones medioambientales	El pre-trabajo puede mover algunas obras fuera de la parcela o fuera de ella, donde los métodos tradicionales requerirían consideraciones adicionales debido a las restricciones ambientales.
5.4	Infraestructura local para apoyar el proyecto	El pre-trabajo puede reubicar las actividades en lugares donde hay una infraestructura adecuada, como suministros, vendedores, viviendas u hoteles, y suministro de energía.
5.5	Derechos de uso y límites de propiedad	El sitio debe ser revisado para detectar cualquier área que pueda restringir el transporte de los trabajos previos al área de instalación.
5.6	Espacio de instalación y puesta en marcha	Los trabajos previos, como el pre-montaje, requieren espacio adicional para el montaje y la preparación para la instalación.
5.7	Acceso a la obra y en el lugar de trabajo	Se debe asignar espacio para el equipo de montaje e instalación necesario para el trabajo previo.
5.8	Ubicaciones remotas c/ infraestructura mínima	El trabajo previo puede reducir la necesidad de establecer la infraestructura del sitio al reducir el tamaño y la duración de la mano de obra en el sitio.

Tabla 4.13: Análisis Nivel II-Atributos del Sitio

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2.6. Sistemas Mecánicos

La revisión de factores críticos en el área de *Sistemas Mecánicos*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Densidad mecánica del sistema, (ii) Disposición de sistemas mecánicos, (iii) Requisitos de mantenimiento de la instalación, (iv) Tamaño del equipo de montaje, (v) Métodos especiales de ensamblaje de materiales, (vi) Requisitos especiales de montaje, e.g. *sala limpia*, (vii) Densidad del sistema eléctrico, (viii) Requisitos de automatización del sistema eléctrico. En la [Tabla 4.14](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de sistemas mecánicos que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

6	Factor	Descripción
6.1	Densidad mecánica del sistema	Las eficiencias en el diseño y el control de calidad se pueden lograr a través del pre-trabajo en lugares altamente densos, e.g. proyectos intensos de tuberías.
6.2	Disposición de sistemas mecánicos	Agrupar el equipo en pre-montajes o módulos puede proporcionar ventajas para la eficiencia de la construcción o la mantenibilidad.
6.3	Requisitos de mantenimiento de la instalación	El diseño previo a la obra puede tener en cuenta los requisitos de mantenimiento siempre y cuando la información esté disponible en el momento del diseño.
6.4	Tamaño del equipo de montaje	Los tamaños de los equipos de menos de 5 metros ofrecen la oportunidad de maximizar las ventajas de la fase previa al trabajo, al tiempo que se ajustan a la mayoría de los sobres de envío. Los proyectos con equipos más grandes pueden beneficiarse de un trabajo previo parcial.
6.5	Métodos especiales de ensamblaje de materiales	Condiciones de taller proporcionadas por algunas formas de pre-trabajo.
6.6	Requisitos especiales de montaje, e.g. <i>sala limpia</i>	Algunos equipos sensibles pueden pre-ensamblarse y verificarse en un entorno controlado, lo que reduce los riesgos de daño o exposición.
6.7	Densidad del sistema eléctrico	Los diseños previos a la obra pueden ayudar a consolidar los sistemas eléctricos de alta densidad, e.g. salas eléctricas.
6.8	Requisitos de automatización del sistema eléctrico	Los extensos requisitos de automatización pueden requerir un diseño adicional para el cableado de módulos cruzados, lo que aumenta los costos de diseño y los requisitos de ajuste.

Tabla 4.14: Análisis Nivel II-Sistemas Mecánicos

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2.7. Proyecto y Tipo de Contrato

La revisión de factores críticos, según la evaluación al *Tipo de proyecto y tipo de contrato*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Replicación en otros proyectos, (ii) Protección de tecnologías o métodos patentados, (iii) Objetivos del proyecto que incluyen incentivos financieros, (iv) Flexibilidad del proveedor para proporcionar una instalación que cumpla con los requisitos de rendimiento del propietario. En la [Tabla 4.15](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de tipo de proyecto y contrato, que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

7	Factor	Descripción
7.1	Replicación en otros proyectos	El trabajo previo se realiza a menudo en estructuras repetibles que se ajustan a los sobres de transporte. El resultado es un producto final que puede proporcionar diseños actualizables o flexibles.
7.2	Protección de tecnologías o métodos patentados	El pre-trabajo se puede llevar a cabo en lugares seguros donde se pueden ensamblar y proteger los artículos de propiedad exclusiva.
7.3	Objetivos del proyecto que incluyen incentivos financieros	Los beneficios en cuanto a plazos, costos y seguridad que se derivan de la fase de modularización al trabajo podrían ofrecer oportunidades para maximizar los incentivos.
7.4	Flexibilidad del proveedor para proporcionar una instalación que cumpla con los requisitos de rendimiento del propietario.	Permitir que el proveedor/contratista de trabajos previos y/o modular generando flexibilidad en el diseño puede mejorar el rendimiento del proyecto.

Tabla 4.15: Análisis Nivel II-Proyecto y Tipo de Contrato

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2.8. Aspectos del Diseño

La revisión de factores críticos, evaluando según los *Aspectos del diseño*, implica estudiar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Disponibilidad de los miembros clave del equipo del proyecto, (ii) Requisito de "congelación" precoz del diseño, (iii) Estructura organizativa del Proyecto, (iv) Disponibilidad de tecnología de diseño 3D CAD, (v) Hardware y software para comunicaciones, (vi) Compatibilidad de software para el diseño y la comunicación, (vii) Flexibilidad para adaptarse a modificaciones o ampliaciones. En la [Tabla 4.16](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de aspectos del diseño que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

8	Factor	Descripción
8.1	Disponibilidad de los miembros clave del equipo del proyecto	El trabajo previo requiere la participación temprana de muchas partes, incluidos el cliente, el diseñador y los representantes de la construcción, para así generar una evaluación con alto nivel de confiabilidad.
8.2	Requisito de "congelación" precoz del diseño	Muchos tipos de trabajo previo a la obra requieren un cierto nivel de congelación del diseño antes de la fabricación para cumplir con los requisitos de transporte.
8.3	Estructura organizativa del Proyecto	Los participantes en el proyecto que no tengan experiencia o no estén bien informados pueden requerir una sesión informativa sobre las características, los beneficios y los requisitos de la modularización.
8.4	Disponibilidad de tecnología de diseño 3D CAD	Algunos diseños complejos para pre-trabajo se benefician de la capacidad de diseñar con tecnologías CAD 3D.
8.5	Hardware y software para comunicaciones	Una mayor coordinación e intercambio de información necesaria para el trabajo previo puede beneficiarse del uso de nuevas tecnologías entre los participantes.
8.6	Compatibilidad de software para el diseño y la comunicación	La comunicación entre múltiples lugares de trabajo, como los talleres de fabricación, puede requerir actualizaciones en el diseño y la tecnología de comunicación para asegurar la compatibilidad y la integración de las dimensiones BIM, e.g. 4D y 5D (análisis de programa y costo respectivamente)
8.7	Flexibilidad para adaptarse a modificaciones o ampliaciones	Los elementos de pre-trabajo pueden ser diseñados para duplicación o expansión. El pre-trabajo también puede diseñarse para facilitar la modificación, lo que proporciona flexibilidad a la planta o a la fabricación.

Tabla 4.16: Análisis Nivel II-Aspectos del Diseño

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

4.5.2.9. Transporte y Requerimientos de Izaje

La revisión de factores críticos en el área de *Transporte y requerimientos de izaje*, implica evaluar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Disponibilidad de medios de transporte, (ii) Costos de transporte local, (iii) Infraestructura de transporte, (iv) Permisos, (v) Riesgos de pérdida durante el transporte, (vi) Impactos de las condiciones meteorológicas, (vii) Seguros y garantías durante el transporte, (viii) Disponibilidad de equipos de elevación y transporte, (ix) Fundaciones necesarias para los elementos modulares, (x) Izajes pesados y la planificación relacionada. En la [Tabla 4.17](#) y [Tabla 4.18](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de transporte y requerimientos de izaje que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

9	Factor	Descripción
9.1	Disponibilidad de medios de transporte	Se requerirán transportadores adecuados de camiones, rieles o barcas, dependiendo del tamaño y peso de los elementos de pre-trabajo.
9.2	Costos de transporte local	El envío de elementos modulares puede implicar tarifas u otros costos asociados con la ubicación o la ruta de transporte.
9.3	Infraestructura de transporte	Las rutas de transporte deben ser evaluadas para manejar los envíos propuestos (restricciones de altura y peso de carreteras y puentes).
9.4	Permisos	Algunas áreas requieren permisos para cargas de ciertos tamaños y pesos. Se deben obtener permisos para hacer posible el transporte.
9.5	Riesgos de pérdida durante el transporte	El modularizado puede incluir ensamblajes más grandes y aumentar el valor de los envíos individuales.
9.6	Impactos de las condiciones meteorológicas	Las condiciones climáticas pueden dictar ventanas de envío o métodos de transporte antes del trabajo.

Tabla 4.17: Análisis Nivel II-Transporte y Requerimientos de Izaje

Fuente: Elaboración propia en base a ([CII, 2012](#))

Continuación...		
9	Factor	Descripción
9.7	Seguros y garantías durante el transporte	Los grandes envíos por el uso de modularizado pueden conllevar una cobertura de seguro significativamente más alta. También se deben considerar las garantías de los proveedores para los trabajos previos.
9.8	Disponibilidad de equipos de elevación y transporte	El trabajo previo puede reducir la duración del equipo en el sitio. Sin embargo, los ensamblajes más grandes o pesados pueden requerir soporte de equipo adicional durante la instalación. La ubicación del sitio y la disponibilidad del equipo pueden afectar el alcance del trabajo previo.
9.9	Fundaciones necesarias para los elementos modulares	Los trabajos previos pueden requerir menos o más Fundaciones estructurales que los métodos convencionales, dependiendo del tipo y alcance del trabajo.
9.10	Izajes pesados y la planificación relacionada	Los trabajos modulares de gran envergadura y complejidad pueden requerir una planificación adicional en el caso de cargas pesadas o de gran tamaño.

Tabla 4.18: Análisis Nivel II-Transporte y Requerimientos de Izaje (Continuación)

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2012)

4.5.2.10. Capacidad de Proveedores

La revisión de factores críticos para la evaluación de la *Capacidad de proveedores*, implica estudiar la modularización v/s stick built bajo los siguientes factores; (i) Disponibilidad de los proveedores, (ii) Disponibilidad de proveedores calificados, (iii) Capacidad de la tienda del proveedor, (iv) Nivel de sofisticación de los sistemas de información del proveedor, (v) Disponibilidad del proveedor de representación in situ. El la [Tabla 4.19](#) se presenta las situaciones a evaluar, una vez asignados los puntajes se obtiene el valor promedio de la dimensión de capacidad de proveedores que alimenta la columna "B" de la [Tabla 4.6](#).

10	Factor	Descripción
10.1	Disponibilidad de los proveedores	La disponibilidad de los proveedores puede afectar a los plazos de entrega de los productos (mientras que los problemas de entrega de los proveedores de componentes in situ pueden provocar problemas de programa, los problemas de entrega de los proveedores de pre-trabajo pueden generar inviabilidad del método).
10.2	Disponibilidad de proveedores calificados	Los requisitos de los proveedores de modularizado pueden incluir ciertas certificaciones o niveles de calidad.
10.3	Capacidad de la tienda del proveedor	Las características de producción, experiencia y calidad de un proveedor pueden dictar el alcance del trabajo previo.
10.4	Nivel de sofisticación de los sistemas de información del proveedor	Los proyectos previos al trabajo generalmente requieren una mayor coordinación y comunicación entre los participantes del proyecto. El uso de transferencia electrónica de archivos, correo electrónico, CAD en 3D y otros recursos electrónicos pueden ser requisitos para ciertos tipos de trabajos previos.
10.5	Disponibilidad del proveedor de representación in situ	La representación de los proveedores puede ser necesaria durante la instalación, inspección u otros aspectos del proyecto.

Tabla 4.19: Análisis Nivel II-Capacidad de Proveedores

Fuente: Elaboración propia en base a (CII, 2012)

Una vez realizada la evaluación nivel II descrita anteriormente, se procede al realizar el trade off con el cual se evaluara el beneficio del uso modularización (PPMOF) versus el método tradicional (stick built).

El desarrollo del trade off debe ser realizado con la información más actualizada disponible y debe ser re-evaluado durante el desarrollo de las diversa etapas del proyecto, con el objetivo de aumentar el nivel de confiabilidad del estudio dado el acceso a información más confiable, e.g. el uso de cotizaciones definitivas versus cotizaciones presupuestarias utilizadas en primeras etapas de estudio de proyectos mineros.

A continuación se presentan los resultados obtenidos del estudio el cual busca verificar viabilidad de uso de metodología modularización como mecanismo de reducción de CAPEX.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Análisis Encuesta

Al finalizar el proceso de recolección de datos por medio de la encuesta, la cual tuvo una tasa de respuestas del 81 %, lo que corresponde a 30 encuestas, en la [Figura 5.1](#), se observa el número de respuestas para cada pregunta, donde la media de respuestas por preguntas es 25.

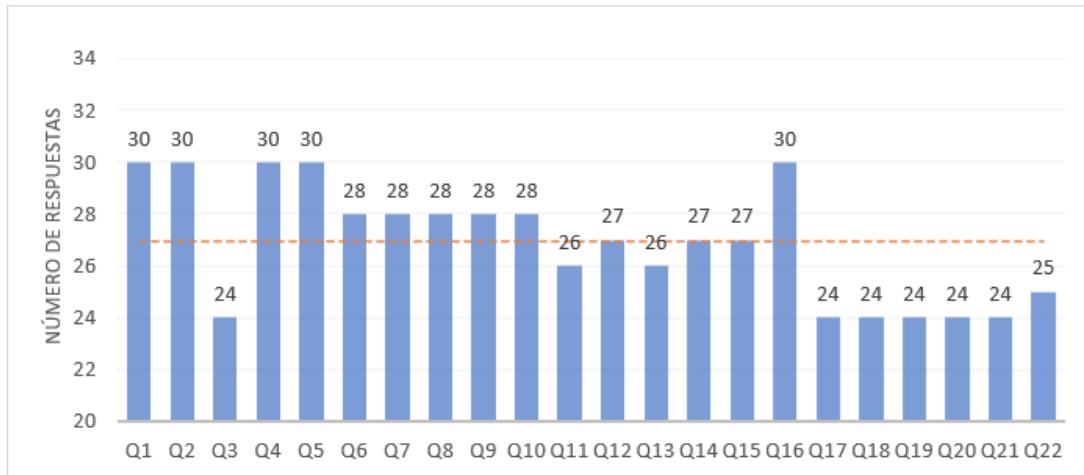


Figura 5.1: Número de Respuestas por preguntas

Fuente: Elaboración propia

Los resultados se evaluarán bajo inferencia estadística no paramétrica, dado que no se puede asumir que los datos se ajustan a una distribución conocida. específicamente se realizarán las pruebas de Kruskal Wallis para evaluar si los datos obtenidos provienen de la misma población y para verificar la fiabilidad de la escala utilizada se emplea el *Alfa de Cronbach*.

5.1.1. Análisis de Varianza: Prueba de Kruskall Wallis

La encuesta desarrollada en el presente estudio utiliza una escala de likert la cual es de carácter ordinal y no se conoce la distribuciones de las variables. Por lo cual se utilizara la prueba de Kruskall Wallis (Levin y Rubin, 2006) para el análisis de varianza y determinar si las muestras provienen o no de la misma población. Se establecen las siguientes hipótesis:

$$\begin{cases} H_o : \text{Las k muestras provienen de una misma población} \\ H_a : \text{Al menos una de las muestras es de diferente población} \end{cases}$$

El estadístico a utilizar es:

$$KW_i = \frac{12}{N(N+1)} \cdot \sum_{j=1}^v \frac{R_{ji}^2}{n_{ji}} - 3(N+1) \sim \chi_{v-1}^2; \alpha \quad (5.1)$$

Donde:

KW_i : Estadístico de Kruskall Wallis para variable i.

N : Tamaño Total de la Muestra.

V : Numero de grupos.

R_{ji} : Suma de los rangos de grupo j en variable i.

n_{ji} : Número de muestras de grupo j en variable i.

α : Nivel de significancia.

$\chi_{v-1; \alpha}$: $KW_{critico}$ según distribución Ji cuadrado (χ^2) para v-1 grados de libertad y nivel de significancia α .

Las variables independiente del estudio es el área a la que pertenecen los expertos consultados. Si bien en la *Pregunta 1* se clasifican a los encuestado según su especialidades, estas se pueden re-agrupar en tres grupos:

- **Grupo 1:** Project Management, Procurement, Tráfico & Logística y Control de Proyectos.
- **Grupo 2:** Ingeniería.
- **Grupo 3:** Construcción.

Al aplicar el estadístico presentado en [Ecuación 5.1](#), al grupo de variables dependientes que utilizan escala de likert se obtiene que para todas las variables se acepta la hipótesis nula (H_0), por ende todas las muestras provienen de la misma población. El detalle de los resultados de la prueba se pueden observar en [Tabla 5.1](#).

Variables = X_i													
	2	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
N	30	30	30	28	28	28	28	28	26	27	26	27	27
K	3												
n_{1i}	9	9	9	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
n_{2i}	17	17	17	16	16	16	16	16	16	16	15	16	16
n_{3i}	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4
R_{1i}	113	107	145	112	103	136.5	105.5	104	106	89.5	96.5	82	96.5
R_{2i}	296	283	283	244	242	190	235	236	227	243	188	240	213
R_{3i}	55.5	73	37.5	52	60.5	79.5	65	66	17.5	45.5	66	56	68
KW_i	1.97	1.61	2.30	1.15	0.44	4.11	0.40	0.52	3.48	0.96	0.85	0.83	0.69
G.Libertad	V-1 = 3												
α	0.05												
$KW_{\text{crítico}}$	5.9915 (según tabla χ^2)												
H_0 :	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 5.1: Resultados de prueba de Kruskall Wallis para pruguntas con escala de likert

Fuente: Elaboración propia

5.1.2. Análisis de Fiabilidad: Alfa de Cronbach

En la [Tabla 5.2](#) en función del en análisis univariado de las variables dependientes se indica la media y varianza de cochrans , según las siguientes expresiones:

$$\text{Media:} \quad \bar{X}_i = \frac{\sum_1^n X_i}{n_i} \quad (5.2)$$

$$\text{Varianza:} \quad \hat{S}_i^2 = \frac{\sum_1^n X_i^2 - \frac{(\sum_1^n X_i)^2}{n_i}}{n_i - 1} \quad (5.3)$$

Donde adicional a los parámetros descritos anteriormente:

n_i : Número de ítem de la variable i.

K : Número de variables independientes.

Variable	Media	IC	Varianza	Variable	Media	IC	Varianza
P2	4.33	[4.20 - 4.47]	0.44	P10	2.71	[2.31 - 3.12]	1.25
P4	4.13	[3.82 - 4.45]	1.02	P11	3.88	[3.69 - 4.08]	0.59
P5	2.10	[1.88 - 2.32]	0.71	P12	3.22	[2.63 - 3.81]	1.79
P6	4.14	[4.01 - 4.28]	0.42	P13	2.54	[2.18 - 2.89]	1.06
P7	2.54	[2.31 - 2.76]	0.70	P14	3.59	[3.13 - 4.05]	1.40
P8	3.04	[2.71 - 3.36]	1.00	P15	3.07	[2.67 - 3.48]	1.23
P9	3.04	[2.67 - 3.40]	1.15				
Varianza Global		$V_i = 80.60$					

Tabla 5.2: Análisis univariado a variables en escala likert

Fuente: Elaboración propia

La varianza global indicada en la [Tabla 5.2](#), es la varianza de la suma de todos los puntos obtenido por cada experto considerando las variables independientes.

Los intervalos de confianza de la media en cada respuesta y dado que la varianza poblacional es desconocida, se utiliza la siguiente expresión:

$$IC(\mu) = \bar{X}_i \pm t_{\alpha-1 \ n-1} \cdot \frac{\hat{S}_i}{\sqrt{n_i}} \quad (5.4)$$

Donde:

$t_{\alpha-1 \ n-1}$: Valor crítico de distribución t de student con n-1 grados de libertad.

Para medir la fiabilidad del instrumento se utiliza el parámetro *Alfa de Cronbach* el cual se obtiene en base a la siguiente expresión:

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \cdot \left(1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right) = 0,91 \quad (5.5)$$

Con un $\alpha = 0,91$ y según la escala indicada en [Figura 5.2](#), el instrumento empleado tiene un nivel de alta fiabilidad.

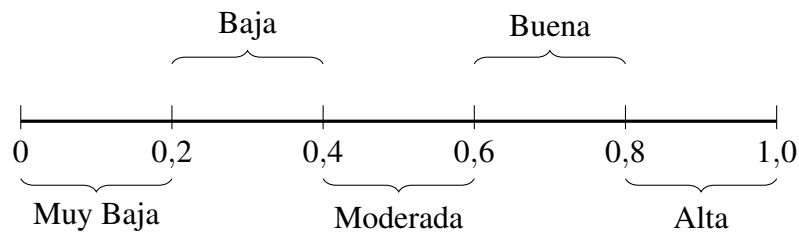


Figura 5.2: Escala para evaluar fiabilidad según Alfa de Cronbach

Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Interpretación de Resultados

A continuación se presenta un resumen de los resultados por pregunta y una interpretación de las mismas, en [Anexo-Sección E.2](#) podemos observar las gráficas y resultados con mayor detalle.

Pregunta 1: *A que áreas pertenece.*

Concluido el cuestionario se observa que los expertos en un 80 % son principalmente del área de ingeniería, construcción o Procurement representados en un 56,67 %, 13.10 % y 10 % respectivamente. Como quedo demostrado anteriormente con la Prueba de Kruskal Wallis todos los expertos pertenecen a la misma población. Además se hace notar que estas áreas son las que intervienen principalmente en el proceso de decisión de los posibles candidatos a modularización en los proyectos de ingeniería, tanto en sus etapas pre-inversionales de inversión. Ante lo cual el comparar si la opinión de experto difiere de los antecedentes teóricos y la evaluación de la Modularización como ventaja competitiva, resulta altamente atractivo.

P1	Qty	%
Project Management	2	6.67 %
Ingeniería	17	56.67 %
Procurement	3	10.00 %
Tráfico & Logística	2	6.67 %
Control de Proyectos	2	6.67 %
Construcción	4	13.33 %
Total	30	

Tabla 5.3: Respuestas Pregunta 1

Fuente: *Elaboración propia*

Pregunta 2: *Modularización genera atributo/resultados relevantes para el proyecto.*

Respecto a si la modularización genera atributos/resultados relevantes para el proyecto, el 90 % considerara como relevante y/o muy relevante, mientras que el 10 % restante lo considera como moderadamente relevante para el proyecto. En la [Tabla 5.4](#) se presenta la distribución de las respuestas obtenidas.

En base a los antecedentes evaluados en esta pregunta se puede considerar la modularización como una condición **Valiosa** para el proyecto.

P2	Qty	%
Sin Relevancia	0	0.00 %
De poca Relevancia	0	0.00 %
Moderadamente Relevante	3	10.00 %
Relevante	14	46.67 %
Muy Relevante	13	43.33 %
Total	30	

Tabla 5.4: Respuestas Pregunta 2

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 3: *Atributos/resultados afectado por la estrategia de modularización.*

En función a las respuesta entregada en la pregunta 2 se solicitaba indicar el atributo que respalda su apreciación del aporte de la modularización.

Al evaluar las respuestas se logra identificar 6 dimensiones y/o características que los expertos asocian a la modularización, estas son: (i) disminución de costos, (ii) disminución en plazos, (iii) mejoras de seguridad. (iv) disminución HH en terreno, (v) optimización de recursos y (vi) impacto ambiental y comunidades.

Se observa en la [Tabla 5.5](#) que la moda para esta pregunta fue la característica de *disminución de costos*, seguida por una *disminución de HH en terreno y disminución en plazos*, estas características coinciden con lo indicado por la literatura como valor agregado generado por la modularización y/o PPMOF.

Dimensión	Frecuencia
Disminución en costos	13
Disminución en plazos	8
Mejoras de Seguridad	5
Disminución HH en Terreno	9
Optimización de Recursos	2
Impacto Ambiental y Comunidades	1

Tabla 5.5: Respuestas Pregunta 3

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 4: *¿Modularización es una capacidad valiosa?.*

El 90% de los encuestados considera a lo menos como relevante el impacto generado por la utilización de la modularización, la opción *relevante* con un 53.33% es la moda obtenida, seguido de los *muy relevante* con un 36.67% de las preferencias.

Q4	Qty	%
Sin Relevancia	2	6.67 %
De poca Relevancia	0	0.00 %
Moderadamente Relevante	1	3.33 %
Relevante	16	53.33 %
Muy Relevante	11	36.67 %
Total	30	

Tabla 5.6: Respuestas Pregunta 4

Fuente: Elaboración propia

En base a estos antecedentes se considera como **Valiosa** la utilización de PPMOF.

Pregunta 5: Nivel de implementación tiene la modularización estandarizada.

Se observa a juicio experto la utilización de la modularización estandarizada en proyectos mineros es considerada a lo menos baja con un 73.33 % de las preferencias.

Q5	Qty	%
Muy Baja	7	23.33 %
Baja	15	50.00 %
Media	6	20.00 %
Alta	2	6.67 %
Muy Alta	0	0.00 %
Total	30	

Tabla 5.7: Respuestas Pregunta 5

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 6: Intención de uso de modularización en proyectos futuros.

Se observa a juicio experto la utilización de la modularización en futuros en proyectos mineros es considerada a lo menos probable con un 92.85 % (63.33 % probable y 23.33 % muy probable) de las preferencias.

Q6	Qty	%
Muy poco probable	0	0.00 %
Poco Probable	1	3.33 %
Indiferente	1	3.33 %
Probable	19	63.33 %
Muy Probable	7	23.33 %
Total	28	

Tabla 5.8: Respuestas Pregunta 6

Fuente: Elaboración propia

En base a estos antecedentes de acuerdo al poco uso de la modularización en la industria y el potencial de uso de en prospectos futuros, se considera como **Rara** la utilización de PPMOF.

Pregunta 7: Capacidad de Imitación por parte de la competencia.

La capacidad de imitación que tiene la utilización de la modularización, según a juicio experto puede ser imitada sin requerir grandes esfuerzos, esto ya que según el 40 % considera la modularización medianamente difícil de imitar y un 33.33 % fácil de imitar.

P7	Qty	%
Muy Fácil	3	10.00 %
Fácil	10	33.33 %
Medianamente Difícil	12	40.00 %
Difícil	3	10.00 %
Muy Difícil	0	0.00 %
Total	28	

Tabla 5.9: Respuestas Pregunta 7

Fuente: Elaboración propia

Se observa una tendencia de las respuestas hacia considerar como *fácil de Imitar*.

Pregunta 8: Existen mecanismos de protección ante imitaciones.

Referente a la existencia de mecanismos de mitigación a la imitación, se observa una gran diversidad en las respuesta, donde, el 23.3 % se muestra de acuerdo en la existencia de mecanismos que impiden la imitación , mientras que el 26.6 % muestra una opinión totalmente contraria.

P8	Qty	%
Totalmente desacuerdo	1	3.33 %
Desacuerdo	8	26.67 %
Indiferente	10	33.33 %
De acuerdo	7	23.33 %
Totalmente de acuerdo	2	6.67 %
Total	28	

Tabla 5.10: Respuestas Pregunta 8

Fuente: Elaboración propia

La mayor proporción de los consultados (33.33 %) se muestra indiferente ante la existencia o no de mecanismos de protección. Los resultados no son concluyentes.

Pregunta 9: En proyectos Fast Track, los riesgos aumentan con la modularización.

En función de la información obtenida el 60.71 % (53.57 % de acuerdo y 7.14 % totalmente de acuerdo) de los encuestados considera que los riesgos aumentan con la utilización de la modularización en proyectos Fast Track.

P9	Qty	%
Totalmente desacuerdo	0	0.00 %
Desacuerdo	5	17.86 %
Indiferente	6	21.43 %
De acuerdo	15	53.57 %
Totalmente de acuerdo	2	7.14 %
Total	28	

Tabla 5.11: Respuestas Pregunta 9

Fuente: Elaboración propia

Este resultado es consecuente con la teoría ya que los riesgos del proyectos son considerados uno de los factores claves para la modularización.

Pregunta 10: El cronograma de compras se ve afectado con la modularización.

En función de la información obtenida el 64.28 % (50.00 % de acuerdo y 14.29 % totalmente de acuerdo) de los encuestados considera que el cronogramas se ve afectado por la modularización.

P10	Qty	%
Totalmente desacuerdo	2	7.14 %
Desacuerdo	5	17.86 %
Indiferente	3	10.71 %
De acuerdo	14	50.00 %
Totalmente de acuerdo	4	14.29 %
Total	28	

Tabla 5.12: Respuestas Pregunta 10

Fuente: Elaboración propia

Resultados consistentes con la literatura donde se confirma que el uso de PPMOF implica adelantar el proceso de compra de suministros.

Pregunta 11: Es posible estimar adecuadamente la modularización en etapas de pre-inversión.

A juicio experto un 88.46 % (66.67 % de acuerdo y 10.00 % totalmente de acuerdo) considera que es posible estimar adecuadamente los candidatos a modularización para poder identificar tempranamente posibles oportunidades de implementación de la construcción.

P11	Qty	%
Totalmente desacuerdo	0	0.00 %
Desacuerdo	3	10.00 %
Indiferente	0	0.00 %
De acuerdo	20	66.67 %
Totalmente de acuerdo	3	10.00 %
Total	26	

Tabla 5.13: Respuestas Pregunta 11

Fuente: Elaboración propia

La capacidad de estimar adecuadamente los candidatos implica considerar la modularización como una estrategia **Valiosa**.

Pregunta 12: La modularización implica un aumento en los costos de ingeniería.

A juicio experto un 48.14 % (25.93 % de acuerdo y 22.22 % totalmente de acuerdo) considera que la modularización implica un aumento en los costos de ingeniería. En cambio el 40.74 % (33.33 % desacuerdo y 7.41 % totalmente desacuerdo) considera que no existe aumento en costos de ingeniería.

P12	Qty	%
Totalmente desacuerdo	2	6.67 %
Desacuerdo	9	30.00 %
Indiferente	3	10.00 %
De acuerdo	7	23.33 %
Totalmente de acuerdo	6	20.00 %
Total	27	

Tabla 5.14: Respuestas Pregunta 12

Fuente: Elaboración propia

Dadas las diferencia se realizaron consultas dirigidas a algunos de los encuestados y como resultado se observa que la consulta tuvo dos interpretaciones:

- Aumentos en costos por la extensión de la Ingeniería generada por estudios adicionales necesarios para la modularización, e.g. estudio de izaje.
- Disminución de HH ingeniería por el uso de modularización estandarizada. Lo que generaría una disminución en los costos de ingeniería.

Pregunta 13: *La modularización implica un aumento en las cantidades de los suministros.*

A juicio experto un 56.67 % (50.00 % desacuerdo y 6.67 % totalmente desacuerdo) considera que la modularización implica un aumento en las cantidades.

P13	Qty	%
Totalmente desacuerdo	2	6.67 %
Desacuerdo	15	50.00 %
Indiferente	3	10.00 %
De acuerdo	5	16.67 %
Totalmente de acuerdo	1	3.33 %
Total	26	

Tabla 5.15: Respuestas Pregunta 13

Fuente: Elaboración propia

Esto difiere con la literatura donde indica que la modularización implica un aumento en cantidades, dado que el producto modular busca generar una solución estándar lo que no da opción a optimización.

Pregunta 14: *Existe coordinación interdisciplinaria que facilita la modularización.*

Los resultados reflejan que para el 62.96 % grupo de expertos (36.67 % de acuerdo y 20 % totalmente de acuerdo) considera que existe una coordinación interdisciplinario que facilita la modularización, mientras que un 18.5 % no se muestra de acuerdo con esta afirmación.

Los resultados obtenidos entregan evidencia para considerar a la organización como **Organización preparada**.

P14	Qty	%
Totalmente desacuerdo	2	6.67 %
Desacuerdo	3	10.00 %
Indiferente	5	16.67 %
De acuerdo	11	36.67 %
Totalmente de acuerdo	6	20.00 %
Total	27	

Tabla 5.16: Respuestas Pregunta 14

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 15: La estructura organizacional facilita la implementación de nuevos métodos constructivos

Los resultados en un 48.15 % muestran que existen una estructura que facilita la implementación de nuevos métodos constructivos.

Dado los resultados se considera la organización como una **Organización preparada**.

P15	Qty	%
Totalmente desacuerdo	2	6.67 %
Desacuerdo	8	26.67 %
Indiferente	4	13.33 %
De acuerdo	12	40.00 %
Totalmente de acuerdo	1	3.33 %
Total	27	

Tabla 5.17: Respuestas Pregunta 15

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 16: Orden de factores según nivel de impacto

Para computar los datos presentados en [Anexo-Sección E.2](#), se considera la media ponderada de considerando la siguiente estructura:

$$\text{Nvl Impacto} = \left(\sum_{i=1}^n 5 \cdot \text{I} + \sum_{i=1}^n 4 \cdot \text{II} + \sum_{i=1}^n 3 \cdot \text{III} + \sum_{i=1}^n 2 \cdot \text{IV} + \sum_{i=1}^n 1 \cdot \text{V} \right) \cdot \frac{1}{\text{Total}} \quad (5.6)$$

En base a los resultados se observa en términos generales que la opinión del grupo de expertos es consistente a la literatura, tanto para la literatura como para el grupo de expertos el factor más relevante es la *ubicación de la planta*, por otro lado, para el grupo de expertos el factor considerado como quinto en nivel de impacto son los *factores ambientales*, en cambio para la literatura son los *riesgos del proyecto*.

En la [Tabla 5.18](#) y [Figura 5.3](#) se observan los niveles de impacto calculados y el orden definido por la literatura.

Factores claves	Resultados		Orden según Literatura
	Nvl Impacto	Orden	
Ubicación de la planta	4.00	1	1
Consideraciones laborales	2.87	3	2
Características de la planta	3.70	2	3
Riesgos del proyecto	2.83	4	5
Factores ambientales	1.57	5	4

Tabla 5.18: Factores claves. Literatura vs Encuesta.

Fuente: Elaboración propia

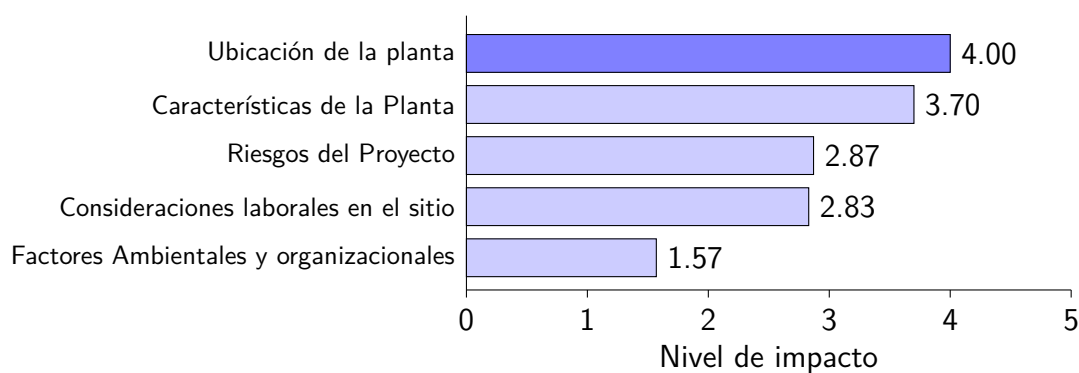


Figura 5.3: Media ponderada para resultados Pregunta 16

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 17: *Condiciones Laborales afectadas por la modularización. Ordene según importancia los atributos.*

El compute de los datos referente a las condiciones laborales afectadas por la modularización se realiza en base a [Ecuación 5.6](#), los resultados son presentados en [Figura 5.4](#).

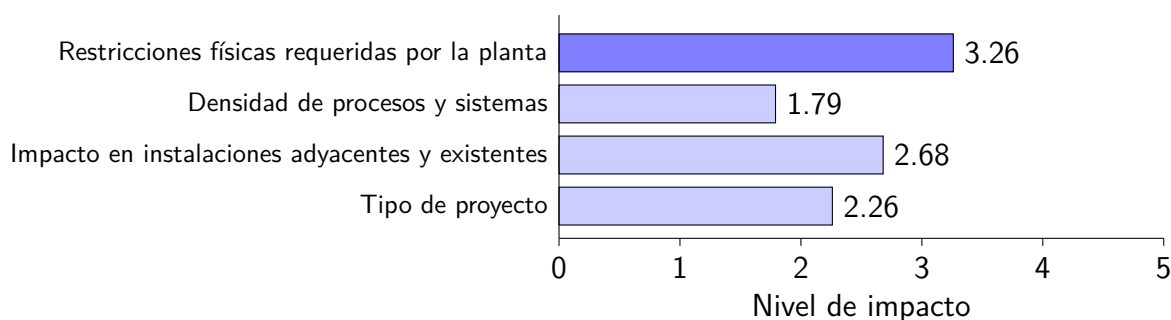


Figura 5.4: Media ponderada para resultados Pregunta 17

Fuente: Elaboración propia

Al evaluar las condiciones laborales afectadas por la modularización, el atributo más importante para evaluar la utilización de PPMOF son las *restricciones físicas requeridas por la planta*, con una media ponderada de 3.26 puntos seguido por el *impacto en instalaciones adyacentes y*

existentes. El atributo menos relevante para el grupo de expertos es la *densidad de procesos y sistemas* con 1.79 puntos.

Pregunta 18: *Características de la Planta. Ordene según importancia los atributos.*

El compute de los datos referente a los atributos presentes por las características de la planta se realiza en base a [Ecuación 5.6](#) y los resultados son presentados en [Figura 5.5](#).

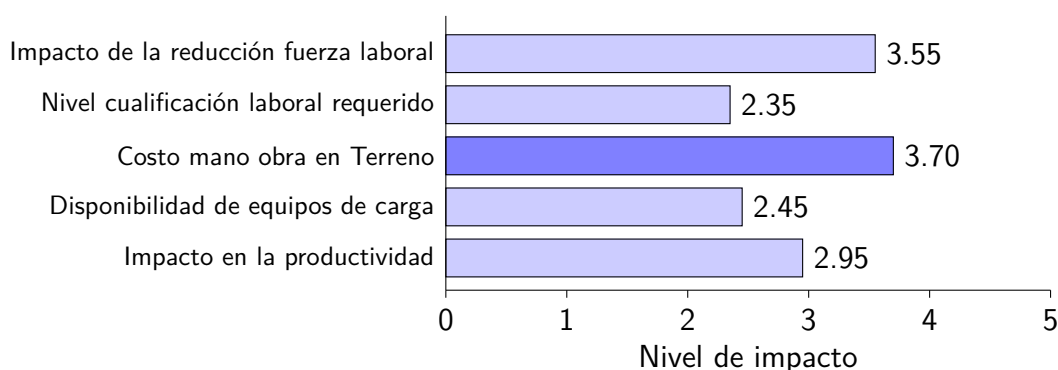


Figura 5.5: Media ponderada para resultados Pregunta 18

Fuente: *Elaboración propia*

Al evaluar las características de la planta, el atributo más importante para evaluar la utilización de PPMOF es *costo mano obra en terreno*, con una media ponderada de 3.70 puntos seguido por el *impacto de la reducción en la fuerza laboral requerida*. El atributo menos relevante para el grupo de expertos es el *nivel de cualificación laboral requerido* con 2.35 puntos.

Pregunta 19: Ubicación de la planta. Ordene según importancia los atributos.

El computo de los datos referente a los atributos presentes por la ubicación de la planta se realiza en base a Ecuación 5.6 y los resultados son presentados en Figura 5.6.

Al evaluar la ubicación de la planta, el atributo mas importante para evaluar la utilización de PPMOF es *la complejidad en el acceso al sitio*, con una media ponderada de 4.70 puntos seguido por el *modo de transporte y restricciones asociadas*. El atributo menos relevante para el grupo de expertos es el *la disponibilidad de materiales* con 1.95 puntos.

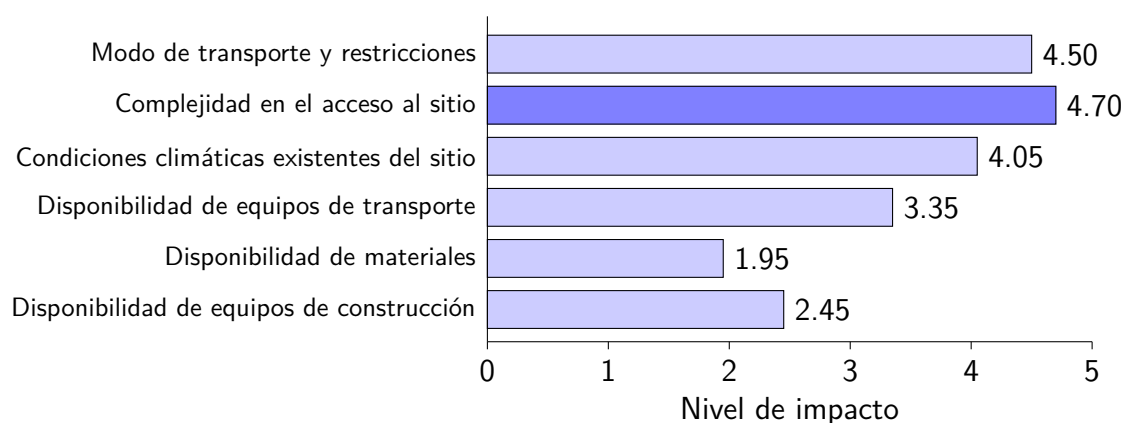


Figura 5.6: Media ponderada para resultados Pregunta 19

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 20: Factores ambientales y organizacionales. Ordene según importancia los atributos.

El computo de los datos se realiza en base a Ecuación 5.6, los resultados son presentados en Figura 5.7. Al evaluar los factores ambientales y organizacionales, el atributo más importante para

evaluar la utilización de PPMOF es la *receptividad del cliente a la utilización de PPMOF*, con una media ponderada de 3.45 puntos seguido por el *disposición a realizar estudios de PPMOF*.

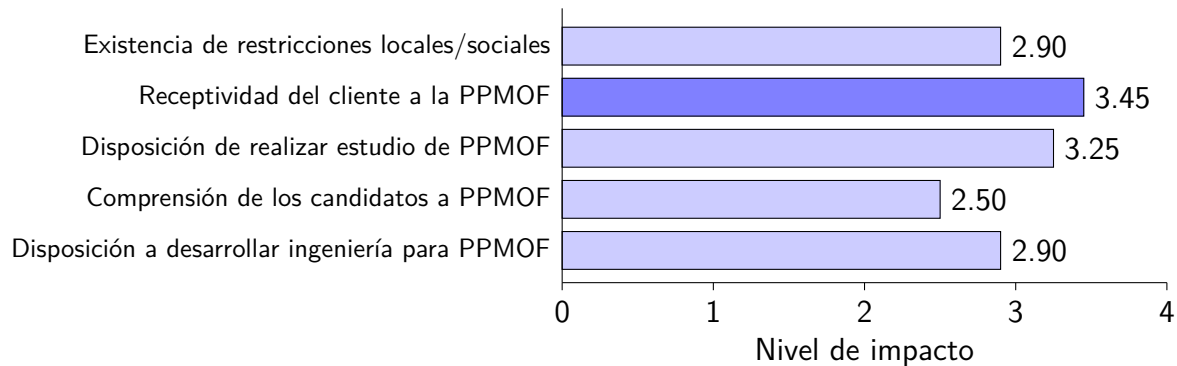


Figura 5.7: Media ponderada para resultados Pregunta 20

Fuente: Elaboración propia

Pregunta 21: *Riesgos del Proyecto. Ordene según importancia los atributos.*

El compute de los datos referente a los atributos asociados a los riesgos del proyecto se realiza en base a [Ecuación 5.6](#) y los resultados son presentados en [Figura 5.8](#).

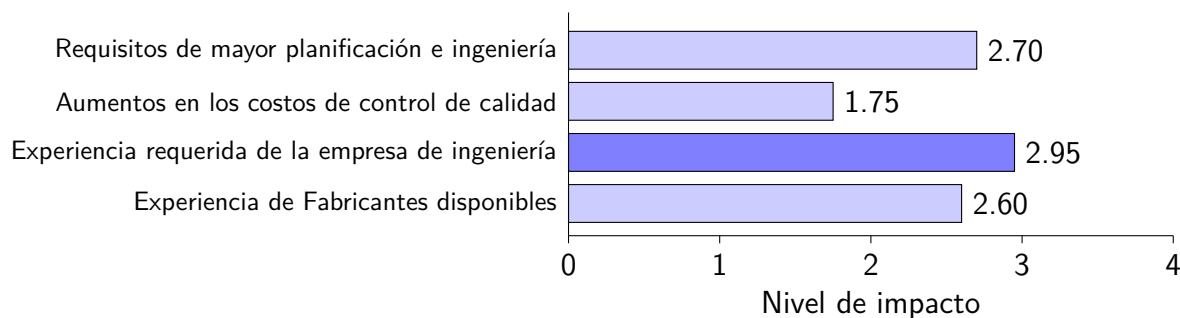


Figura 5.8: Media ponderada para resultados Pregunta 21

Fuente: Elaboración propia

Al evaluar los riesgos del proyecto, el atributo mas importante para evaluar la utilización de PPMOF es la *experiencia requerida de la empresa de ingeniería*, con una media ponderada de

2.95 puntos seguido por los *requisitos de mayor planificación e ingeniería*. El atributo menos relevante para el grupo de expertos es el *el aumento en los costos de control de calidad* con 1.75 puntos.

Como resumen podemos observar que para cada factor clave existe un atributo que genera un mayor nivel de impacto en la evaluación de PPMOF, en la [Tabla 5.19](#) se observa el atributo preponderante para cada factor clave.

Factores claves	→	Atributo Principal
Ubicación de la planta	→	Complejidad en el acceso al sitio
Consideraciones laborales	→	Restricciones físicas requeridas por la planta
Características de la planta	→	Costo mano obra en Terreno
Riesgos del proyecto	→	Experiencia requerida de la empresa de ingeniería
Factores ambientales y/o organizacionales	→	Receptividad del cliente a la PPMOF

Tabla 5.19: Factores claves y su atributo principal

Fuente: Elaboración propia

5.1.3.1. Aplicación Análisis V-R-I-O

En base a los resultados indicados, a continuación se evalúa el algoritmo VRIO para determinar si el uso de la modularización genera una ventaja competitiva.

Con los antecedentes anteriormente indicados y evaluados para cada categoría del algoritmo obtenemos:

- **Valioso:** → ✓ La modularización y/o PPMOF se considera *valiosa*.
- **Raro:** → ✓ La modularización y/o PPMOF se considera un recurso *raro* en la industria.

- **Difícil de Imitar:** → ✗ La modularización y/o PPMOF se considera un recurso *fácil de imitar* en la industria. No existen mecanismo que impidan la fuga del *know how* hacia la competencia una vez implementada la modularización.
- **Organización preparada:** → ✓ La organización presenta características que evidencia una preparación para la implementación de modularización y/o PPMOF, la estructura organizacional facilita la implementación de nuevos métodos, además existe una coordinación interdisciplinaria en la organización.

La utilización de la modularización y/o PPMOF implica una **ventaja competitiva temporal**, pero con la capacidad de convertirse en una **ventaja competitiva sustentable** si se solucionan los problemas presentes en la capacidad de imitación del recurso, en la [Figura 5.9](#).

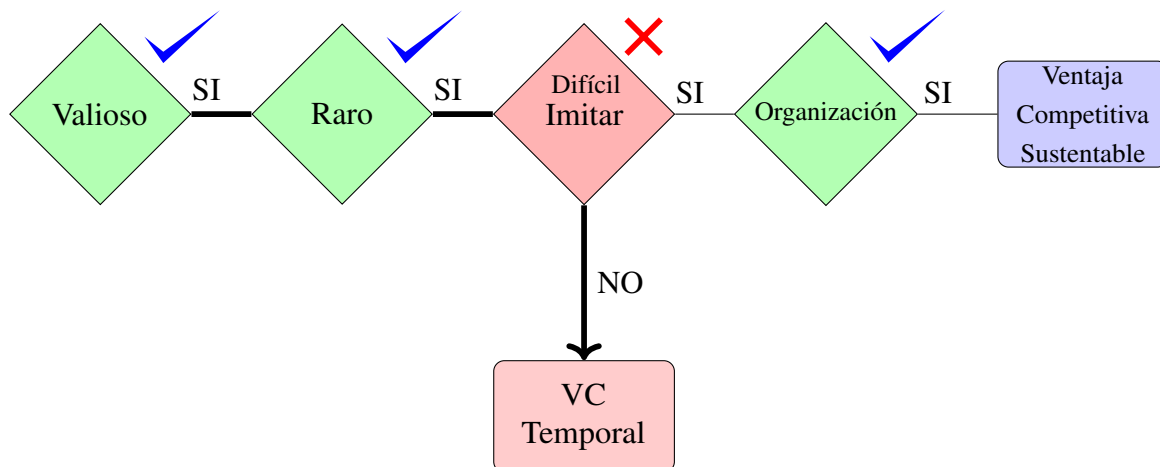


Figura 5.9: Diagrama Flujo Análisis VRIO.

Fuente: Elaboración propia en base a [Thompson et al. \(2008\)](#)

5.2. Estudio Caso - Análisis PPMOF

5.2.1. Proyecto A - Análisis Nivel I

El análisis preliminar de para evaluar el impacto potencial del uso de PPMOF en el proyecto A se indica en la [Tabla 5.20](#).

Área	Pregunta	Impacto PPMOF		
		Si	Tal vez	No
Programa	¿Existen limitaciones o requisitos significativos para la programación del proyecto?	✓		
Mano de Obra	¿Hay una falta de mano de obra local disponible en el área del proyecto?	✓		
Seguridad	¿Existe la oportunidad de reducir los riesgos de seguridad mediante el uso de PPMOF?		✓	
Ambiental, legal y regulatorio	¿Existen consideraciones ambientales, legales y/o regulatorias significativas que puedan limitar el proyecto?		✓	
Atributos del sitio	¿Existen atributos significativos del sitio, como el clima extremo o la falta de infraestructura, que puedan afectar el desempeño del proyecto?	✓		
Acceso al sitio	¿Las rutas y caminos de elevación disponibles permiten el uso de módulos con las dimensiones establecidas para el envío por camión, ferrocarril o barcaza?		✓	

Tabla 5.20: Análisis Nivel I para proyecto A

Fuente: Elaboración propia

Como resultado del análisis preliminar enfocado en las categorías indicadas en la tabla anterior, se observa que existe un **beneficio potencial** en la implementación PPMOF, por lo cual se procede a evaluar con mayor profundidad los candidatos a PPMOF indicados en la [Sección 4.4](#).

5.2.2. Proyecto A - Análisis Nivel II

Para definir el peso relativo de cada categoría, que es el primer paso para la utilización del análisis nivel II (como se indica en [Sección 4.5.2](#)), se utiliza como antecedente los resultados obtenidos en la encuesta realizada a juicio experto donde se identificó el nivel de impacto de cada factor clave para la utilización metodología PPMOF. Los factores claves ordenadas por nivel impacto (de mayor impacto a menor) son: (i) Ubicación de la planta, (ii) Características de la planta, (iii) Consideraciones laborales, (iv) Riesgos del proyecto y (v) Factores ambientales, en función del orden descrito el peso relativo asignado a cada categoría se indica en [Tabla 5.21](#)

Categoría	Peso Asignado	Categoría	Peso Asignado
Programa	5	Sistemas Mecánicos	2
Costo	4	Proyecto y tipo de contrato	1
Mano de Obra	5	Diseño	3
Seguridad	4	Transporte y req. de izaje	4
Atributos del Sitio	5	Capacidad del proveedor	3

Tabla 5.21: Peso relativo asignado según categoría

Fuente: Elaboración propia en base a resultados encuesta

Al evaluar las categorías en mayor profundidad de acuerdo a conjunto de preguntas presentadas en el *Nivel II* obtenemos los factores más favorables ([Figura 5.11](#)) y los menos favorables ([Figura 5.12](#)) para la utilización de PPMOF en el proyecto A, para ver en detalle la evaluación

para cada categoría referirse a [Anexo-Sección F](#).

Category	Weight Factor (0 to 5) A	Average Raw Score B	Peso Porcentaje de factor $C=A / \Sigma A$	Weighted Score $D=B*C$
1. Programa	5	1.00	14%	0.14
2. Costo	4	3.40	11%	0.38
3. Mano de Obra	5	2.70	14%	0.38
4. Seguridad	4	1.75	11%	0.19
5. Atributos del Sitio	5	1.88	14%	0.26
6. Sistemas Mecánicos	2	2.38	6%	0.13
7. Proyecto y tipo de contrato	1	2.00	3%	0.06
8. Diseño	3	1.71	8%	0.14
9. Transporte y requerimientos de izaje	4	1.30	11%	0.14
10. Capacidad del proveedor	3	3.00	8%	0.25

Figura 5.10: Puntaje por categoría en evaluación Nv. II

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la [Figura 5.10](#) las categorías con mayor peso relativo después de realizado el análisis de factores críticos son: Costo, Mano de obra y Atributos del sitio; las categorías con una asignación media de peso son: Seguridad, Programa, Diseño y Transporte e izaje. Mientras que la categoría con menor peso relativo resulta el tipo de contrato.

Factores que más apoyan a PPMOF					
Ranking	Raw Score	Weighted Score	Factor	Categoría	Item
1	5	0.69	Horarios reducidos	Programa	1.01
1	5	0.69	Requisitos de densidad de mano de obra total o máxima (cantidad de trabajadores)	Mano de Obra	3.02
1	5	0.69	Múltiples turnos de trabajadores de la construcción	Mano de Obra	3.10
1	5	0.69	Productividad laboral	Mano de Obra	3.01
1	5	0.69	Estabilidad de los costes laborales	Mano de Obra	3.08
1	5	0.69	Disponibilidad de mano de obra local, regional o nacional	Mano de Obra	3.03
1	5	0.69	Infraestructura local para apoyar el proyecto	Atributos Sitio	5.04
1	5	0.69	Condiciones meteorológicas previstas en el lugar de la obra	Atributos Sitio	5.01
1	5	0.69	Restricciones medioambientales	Atributos Sitio	5.03
1	5	0.69	Decisiones comerciales tardías	Programa	1.03

Figura 5.11: Factores Favorables para proyecto A

Fuente: Elaboración propia

Para el proyecto A, los factores que apoyan la implementación de PPMOF pertenecen principalmente a las categorías: *programa*, *mano de obra* y *atributos del sitio*. El 80% de los factores que potencian el uso de PPMOF hacen referencia a consecuencias ocasionadas por la ubicación del sitio, el deterioro de la productividad por la altitud geográfica del lugar de construcción y los problemas asociados a disponibilidad de mano de obra calificada que pueda trabajar en condiciones adversas para la salud.

Factores que se oponen con más fuerza a PPMOF					
Ranking	Raw Score	Weighted Score	Factor	Categoría	Item
1	-2	-0.28	Calendario de permisos ambientales u permisos de otros proyectos.	Programa	1.05
2	-2	-0.22	Seguros y garantías durante el transporte	Transporte y Requerimiento Izaje	9.07
2	-2	-0.22	Permisos	Transporte y Requerimiento Izaje	9.04
2	-2	-0.22	Infraestructura de transporte	Transporte y Requerimiento Izaje	9.03
2	-2	-0.22	Heavy lifts y planificación relacionada	Transporte y Requerimiento Izaje	9.10
2	-2	-0.22	Levantamiento de cargas pesadas	Seguridad	4.07
3	-2	-0.17	Requisito de "congelación" precoz del diseño	Diseño	8.02
4	-2	-0.06	Flexibilidad del proveedor/contratista para proporcionar una instalación que cumpla con los requisitos de rendimiento del propietario	Tipo Proyecto y Contrato	7.04
5	0	0.00	Densidad del sistema eléctrico	Sistemas Mecánicos	6.07
5	0	0.00	Requisitos de encaminamiento del sistema eléctrico	Sistemas Mecánicos	6.08

Figura 5.12: Factores Desfavorables para proyecto A

Fuente: Elaboración propia

Los factores que generan menor impulso en el uso de PPMOF pertenecen principalmente a las categorías: *programa, transporte y requerimiento izaje, seguridad, diseño, tipo de proyecto y contrato y sistemas mecánico*. El 50 % de los factores que se oponen al uso de PPMOF hacen referencia al transporte y manipulación de los módulos, el 20 % hacen referencia a consideraciones de tiempo, e.g. el adelantar el montaje por el uso de PPMOF implica presionar el calendario de los permisos requeridos para la construcción.

5.2.3. Análisis Costo PPMOF - Sistema Piperack

El análisis de costos de PPMOF se basa en los ahorros producidos por la transferencia de una cantidad de horas de trabajo construidas en el sitio a la mano de obra del taller.

El costo de las HH ahorradas al transferir trabajos desde el sitio (construcción stick built) debe ser suficientes para cubrir los trabajos realizados en taller (PPMOF) más un grupo de costos adicionales originados por el uso de estrategias PPMOF, estos costos se agrupan en:

- a.- **Calidad y Compras:** estos costos agrupan supervisión calidad montaje modular, expediting, coordinación y preparación de despacho.
- b.- **Suministro de Acero:** Incremento en Cantidades por ejecución de sistema modulares.
- c.- **Servicios de Ingeniería:** Los costos consideran estudio transporte y carga módulos, detallamiento adicional generado por implementación de PPMOF, revisión sísmica y calculo izaje, coordinación interdisciplinar requerida, planos y documentos adicionales por modularización.
- d.- **Servicios Modularización:** Instalación Materiales en taller (piping & cable tray) y Soporte en Terreno.

El análisis de costos de stick built se extrajo directamente del CAPEX del proyecto A. La fuente de datos para el costo de modularización se obtuvo a partir de las cotizaciones presupuestarias.

A continuación se presentan la estructura de costos directos e indirectos para ambos casos en evaluación.

5.2.3.1. Costos Directos

La composición de los costos directos dependen del tipo de metodología constructiva que se emplea. En la [Tabla 5.22](#) se categorizan las diferentes componentes de los costos directos según método constructivo.

Ítem	Descripción	Stick Built	PPMOF
1	Coste de suministro (acero estructural, tuberías, válvulas y bandejas eléctrica).	SI	SI
2	Servicios Ingeniería Adicional (estudio transporte y carga módulos, detallamiento estructural adicional, revisión sísmica y calculo izaje, coordinación interdisciplinar requerida, planos y documentos adicionales por modularización).	NO	SI
3	Modularización en Taller (armado, montaje de equipos, inspección en taller).	NO	SI
4	Construcción en sitio	SI	NO
5	Montaje Módulos en Sitio	NO	SI

Tabla 5.22: Composición Costos Directos

Fuente: Elaboración propia

Los ítem 1 al 3 de la [Tabla 5.22](#) son mostrados en forma detallada en [Anexo-Sección G.1](#) en dicha sección se indican las cantidades y valores para suministro de los candidatos a modularización. Los valores provienen de cotizaciones presupuestarias del proyecto A.

Los costos directos asociado al suministro de materiales es indicada en [Tabla 5.23](#), se observa que el costo es un 31 % mayor en el caso de PPMOF.

Categoría	Costo directo Stick Built		Costo directo PPMOF	
Steel Supply	\$	2,189,360	\$	2,454,240
Pipe Support Supply	\$	106,305	\$	106,305
Pipe Supply	\$	1,991,887	\$	1,991,887
Valves Supply	\$	106,272	\$	106,272
Cable Tray Supply	\$	847,045	\$	847,045
Engineering Services	\$	-	\$	345,120
PPMOF Services	\$	-	\$	1,028,790
Total Costo Directo Materiales	\$	5,240,869	\$	6,879,659

Tabla 5.23: Costos directos - Materiales

Fuente: Elaboración propia

Los costos directos asociados a la construcción en sitio y el montaje de los módulos en sitio (ítem 5 y 6 de la [Tabla 5.22](#)) son mostrados [Tabla 5.24](#), para ver en detalle los costos descritos referirse a [Anexo-Sección G.2](#), en dicha sección se indican las HH de instalación en requeridas para el caso de stick built, considerando la información proveniente del CAPEX del proyecto A.

Suministro	Qty	Stick Built	
		[HH]	Costo [\$]
Estructura	800 [ton]	116,480	\$ 1,313,894
Piping	7,237 [ml]	70,628	\$ 875,790
Total Instalación			\$ 2,189,684

Tabla 5.24: Costos directos Instalación - Stick Built

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de las HH requeridas para el montaje considerando la alternativa PPMOF se toman como antecedentes de rendimiento entregados por el equipo de construcción del proyecto los cuales se observan en la [Tabla 5.25](#). Dado que el sistema de piperack requiere que todos los

módulos queden conectados entre si (conexión de sistema estructural y conexión de spool), se estima que el 5 % del acero estructural se utilizara para la conexión de los módulos y el 10 % de las HH consideradas para la instalación del piping del caso stick built serán utilizadas para la conexión del piping entre módulos.

Montaje Módulos PPMOF			
Qty Módulos	:	116	[módulo]
Cuadrilla	:	15	[personas]
HH laborales	:	10	[HH/día]
Tpo Montaje	:	2.5	[día/módulo]
Rate costo	:	11.28	[\$/HH]
HH totales x módulo	:	375	[HH/módulo]
HH Totales Montaje Módulos	:	43,500	[HH]
HH Conexión Módulos Estructura	:	5,824	[HH]
HH Conexión Módulos Piping	:	7,063	[HH]
Total HH Montaje PPMOF	:	56,386	[HH]
Costo Total Instalación	:	\$ 636,043	

Tabla 5.25: Instalación Módulos PPMOF

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.2. Costos Indirectos

Para el propósito de este estudio, se considero una estrategia de contrato EPCM para el propietario, por lo que los costos indirectos son evaluados en base a los criterios indicados en [Tabla 5.26](#) para el caso de Stick built y en [Tabla 5.28](#) para el caso de PPMOF.

Descripción	Stick Built	
	Qty	Observación e hipótesis
Servicios EPCM	$10\% \cdot \sum C.Directos$	considera la planificación de montaje, puntos de control de calidad durante etapas de montaje y control de avance para estados de pago montaje.
Áreas Almacenaje	$5\% \cdot \sum C.Directos$	Uso de Bodegas de almacenaje para suministro previo al montaje
Campamento	Ver sección <i>Campamento p/ Stick Built</i>	
Transporte	$15\% \cdot \sum C.Materiales$	Valor obtenido de estimaciones del CAPEX
Contingencia	$10\% \cdot \sum C.Directos$	

Tabla 5.26: Criterio Costos indirectos para Stick Built

Fuente: Elaboración propia

Campamento para Stick Built

Para la definición de los costos indirectos asociados al campamento en el caso de stick built, se considera un tiempo de instalación de 12 meses para así cubrir HH de instalación, en la siguiente tabla se detallan costos para este ítem.

Ítem	Descripción	Referencia	
(1)	Total HH necesarias	187,108	[HH] Tabla 5.24
(2)	Tiempo Montaje Estimado	12	[meses]
(3)	HH por mes	15,592	[HH/mes] (1) / (2)
(4)	Días Laborales mes	30	[días/mes]
(5)	HH por Trabajador	300	[HH/trab./mes]
(6)	Nro Trabajadores	52	[trabajadores] (3) / (5)
(7)	Días Campamento	18,711	[días] (2) · (4) · (6)
(8)	Costo Unitario Día	150	[\$/día]
Total		\$ 2,806,623	(7) · (8)

Tabla 5.27: Costo Campamento para Stick Built

Fuente: Elaboración propia

Descripción	PPMOF	
	Qty	Observación e hipótesis
Servicios EPCM	$\$120 \cdot \sum (\text{ton fabricada})$	Costos generales de fabricación en taller (plan de vigilancia de la calidad y preparación de despacho).
Áreas Almacenaje	$5\% \cdot \sum C.\text{Directos} + 20[\$/m^2] \cdot 20,000[m^2]$	Uso de Bodegas de almacenaje para suministro previo al montaje más patio manobras modularizado estimado en 20,000 m^2 adicionales
Campamento	Ver sección <i>Campamento p/ PPMOF</i>	
Transporte	Ver sección <i>Transporte p/ PPMOF</i>	
Contingencia	$10\% \cdot \sum C.\text{Directos}$	

Tabla 5.28: Criterio Costos indirectos para PPMOF

Fuente: Elaboración propia

Campamento para PPMOF

Para la definición de los costos indirectos asociados al campamento en el caso de PPMOF, se consideran el número de módulos y rendimientos indicados en [Tabla 5.25](#) para así cubrir las HH de instalación, en la siguiente tabla se detallan costos para este ítem.

Ítem	Descripción	Referencia		
(1)	Tiempo Montaje Estimado	290	[días]	2.5 [día/módulo]
(2)	Nro Trab. x Cuadrilla	15	[trab.]	Tabla 5.25
(3)	Días Campamento req.	4,350	[días]	(1) · (2)
(4)	Costo Unitario Día	150	[\$/día]	
Total		\$ 652,500		(3) · (4)

Tabla 5.29: Costo Campamento para PPMOF

Fuente: Elaboración propia

Transporte para PPMOF

Para la opción de stick built, el costo de transporte de materiales al sitio se incluye como un aumento del 15 % sobre el costo de suministro, como se describe en la [Tabla 5.26](#).

En el caso de las opciones modulares, la evaluación del transporte es resultado de un análisis del número y tipo de módulos a transportar par así evaluar la cantidad de camiones necesarios. La definición de la cantidad de módulos es obtenida en base a esquemas mostrados en [Sección G.3](#) de anexos, en [Tabla 5.30](#) se indican las dimensiones y pesos máximos asociados a cada tipo de módulo a evaluar.

En base a las dimensiones de los módulos el transporte, la principal condición de transporte es permiso de sobre tamaño sin escolta y solo 3 módulos es requerido transporte sobre-tamaño con escolta policial, de acuerdo a las características informadas en [Sección 3.4.1](#).

item	Modulo Tipo	Descripción	Qty	Peso Máx.	Ancho Máx.	Alto Máx.	Largo Máx.
1	Tipo 1 <i>Sobre-tamaño</i>	Módulo /piping	3	45 ton	4.50 m	5.15 m	26.5 m
2	Tipo 1	Módulo /piping	31	37 ton	3.35 m	3.40 m	25.0 m
3	Tipo 2	Módulo /escalerillas	43	16 ton	3.35 m	3.20 m	25.0 m
4	Tipo 3	Pre-armado Acero	20	13 ton	3.50 m	3.50 m	13.0 m
5	Tipo 4	Pre-armado Acero	29	08 ton	3.50 m	0.80 m	13.0 m

Tabla 5.30: Tipos de módulos a transportar - Piperack

Fuente: Elaboración propia

Desde el grupo de *Tráfico y Logística* en base a información histórica de los proyectos realizados, se definen los rate de costos para el transporte evaluado una distancia de transporte de 1750

[Km] (considerando los centros para modularizar desde Santiago). En [Tabla 5.31](#) se observan los costos unitarios según capacidad de camión.

Tipo Transporte	Rate \$/km	Costo Unitario \$/camion
Rampla Extensible Cap. 20 ton.	3.84	6,720
Cama Baja Cap. 30 ton.	5.09	8,908
Cama Baja Cap. 40 ton.	5.56	9,730
Cama Baja Cap. 50 ton.	20.07	35,123
Cama Baja Cap. 60 ton.	20.07	35,123
Cama Baja Cap. 70 ton.	24.12	42,210
Cama Baja Cap. 80 ton.	24.12	42,210

Tabla 5.31: Costo Unitario Transporte

Fuente: Elaboración propia

Los costos asociados al transporte para el caso de PPMOF se presentan en la [Tabla 5.32](#). Los costos indicados toman en consideración los antecedentes indicados en [Tabla 5.31](#).

item	Módulo Tipo	Qty	Costo Total
1	Módulo Sobre tamaño	3	\$ 105,368
2	Módulo / Piping	31	\$ 301,630
3	Módulo / Escalerillas	43	\$ 288,960
4	Pre-armado Acero	20	\$ 134,400
5	Pre-armado Acero	29	\$ 194,880
Total			\$ 1,025,238

Tabla 5.32: Costo Transporte para Caso PPMOF

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.3. Resumen Costos - Sistema Piperack

En base a los costos anteriormente descritos, tanto para el caso stick built como PPMOF, se realiza un análisis comparativo para evaluar la conveniencia o no de la aplicación de la metodología PPMOF para el caso de los piperack del proyecto A. En la [Tabla 5.33](#) se observa el la metodología PPMOF genera una reducción de 16 % en el *CAPEX*, adicionalmente se queda en evidencia que la principal baja es a raíz del comportamiento de los costos indirectos disminuyendo en un 41 %.

Categoría	Tipo Costo	Stick Built	PPMOF	%Dif
Suministro	Directo	\$ 5,240,869	\$ 5,505,749	5 %
Servicio Ing. Adicional	Directo	\$ -	\$ 345,120	100 %
Servicio Modularización	Directo	\$ -	\$ 1,028,790	100 %
Costo Instalación	Directo	\$ 2,189,684	\$ 636,043	-71 %
Servicios EPCM	Indirecto	\$ 743,055	\$ 154,400	-79 %
Áreas Almacenaje	Indirecto	\$ 371,527	\$ 771,527	108 %
Campamento	Indirecto	\$ 2,806,623	\$ 652,500	-77 %
Transporte	Indirecto	\$ 786,130	\$ 1,025,238	30 %
Contingencia	Indirecto	\$ 371,527	\$ 375,785	1 %
Total Costo Directo		\$ 7,430,553	\$ 7,515,702	1 %
Total Costo Indirecto		\$ 5,078,864	\$ 2,979,451	-41 %
Total		\$ 12,509,417	\$ 10,495,153	-16 %

Tabla 5.33: Análisis Comparativo - Piperack Proyecto A

Fuente: Elaboración propia

En [Figura 5.13](#) la distribución porcentual para cada metodología, donde e.g. para el caso de PPMOF el 28 % son costos indirectos y el 72 % restante corresponden a los costos directos. La disminución del 16 % implica un ahorro efectivo de *US\$2,806,623*.

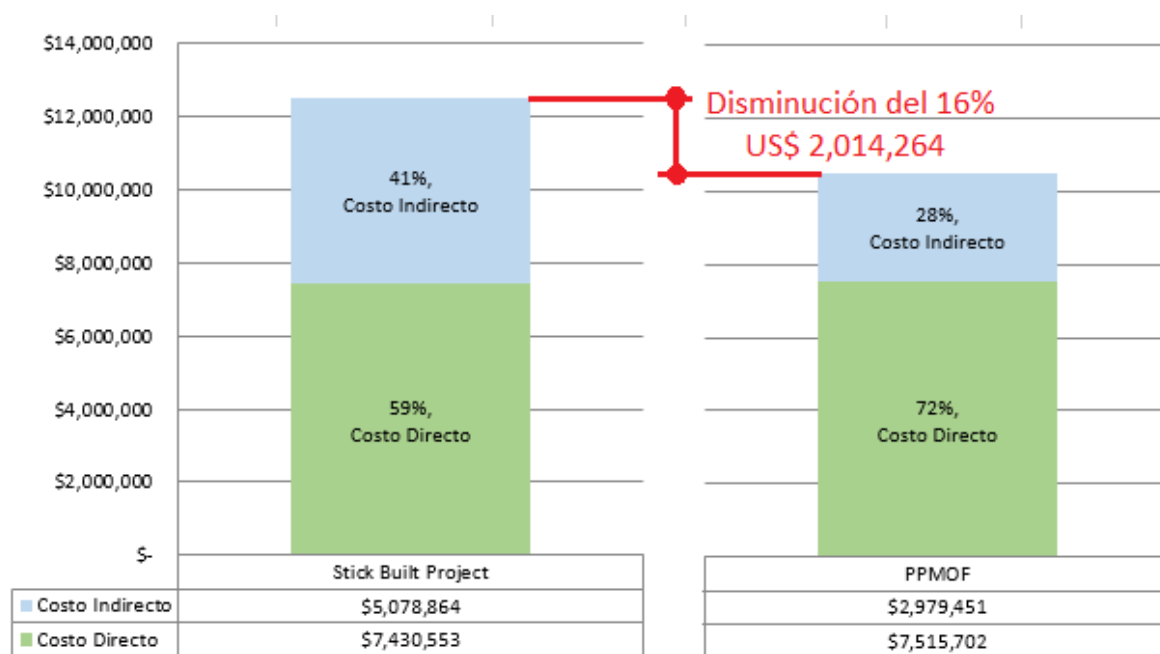


Figura 5.13: Comparación Costos directos e indirectos - Piperack

Fuente: Elaboración propia

En ordenes de magnitud los costos directos se mantienen relativamente iguales, para el caso de PPMOF se presenta un aumento del 1 % respecto al uso de metodología stick built, pero con una composición diferente. Si bien el costo de instalación presenta una disminución del 71 %, aparecen costos como el requerido por la ingeniería adicional para la realización de módulos y el costo de realizar la instalación de los suministros en taller que compensan la reducción en los costos directos de instalación.

Con respecto a los costos indirectos se observan reducciones importantes en los servicios EPCM (79 %), costos que incluyen para el caso stick built la planificación de montaje, touch up por control de calidad y el control de avance, dado que para PPMOF se minimizan la cantidad de elementos a instalar es necesario una menor cantidad de puntos de control en el sitio, puesto que

la calidad del módulo fue verificado previamente en taller. Otra reducción importante es en el ítem campamento, en función a los días requeridos para el montaje, dado que para cubrir las HH de instalación indicadas anteriormente son necesarios una menor cantidad de trabajadores (52 para stick built vs 15 trabajadores para PPMOF) por un periodo de tiempo menos (365 días para stick built vs 290 días para PPMOF), lo que genera una reducción del 77 %.

En la [Figura 5.14](#) se observan en detalle la composición porcentual de los costos tanto para stick built como PPMOF.

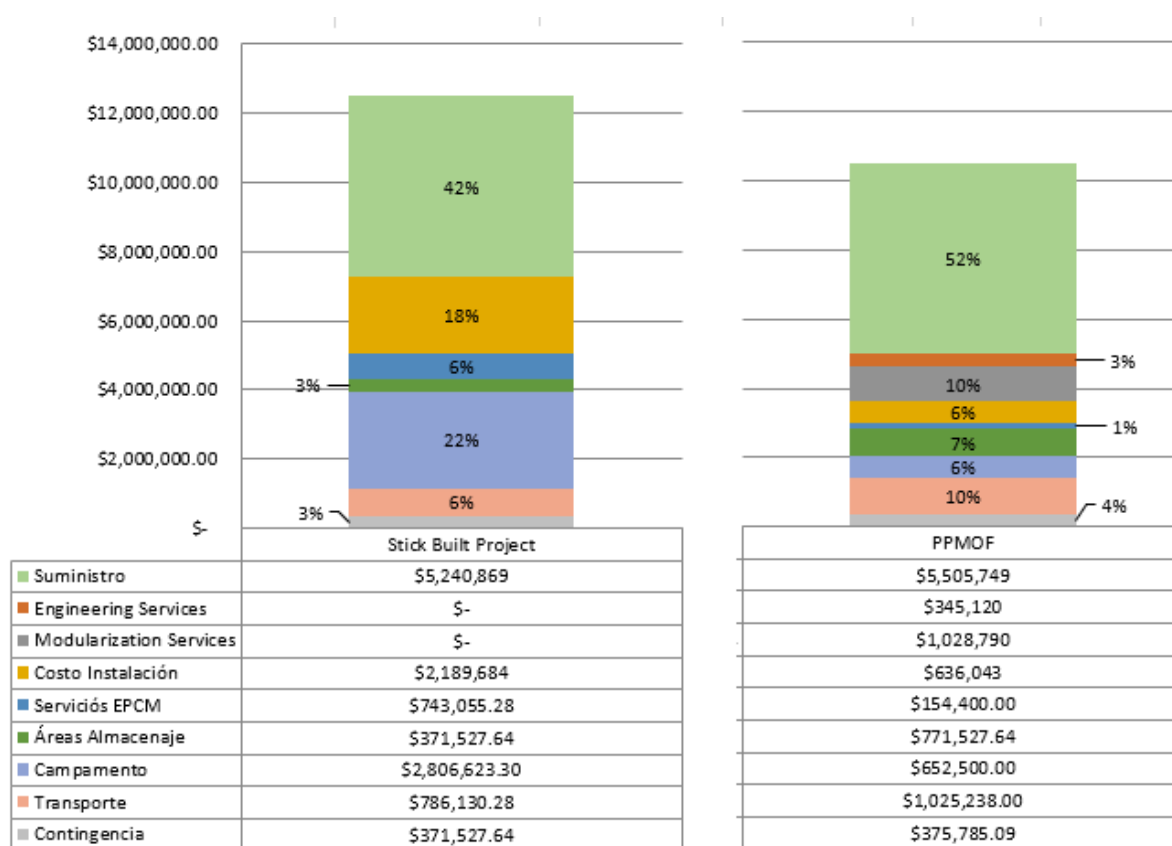


Figura 5.14: Comparación Costos por categoría - Piperack

Fuente: Elaboración propia

5.2.4. Análisis Costo PPMOF - Stacker

A continuación se desarrolla el análisis de costo para el segundo candidato a PPMOF (Stacker) perteneciente al proyecto A. La estructura de costos directos e indirectos siguen la misma forma y método de calculo indicado para el caso del sistema de piperack.

Para la metodología PPMOF aplicado a Stacker considera el pre-armado de la estructura y las mesas de soporte de la correa overland, los elementos mecánicos correspondientes a la correa de transporte de mineral y los Chutes de descarga de mineral deben ser instalados en el sitio dado el ajuste mecánico requerido y la conexión entre módulos de la correa.

5.2.4.1. Costos Directos

Los costos asociados a suministro, servicios de ingeniería adicional y modularización en taller para el stacker son mostrados en forma detallada en [Anexo-Sección H.1](#) en dicha sección se indican las cantidades y valores para suministro de los candidatos a modularización. Al igual que para el sistema piperack analizado anteriormente los valores provienen de cotizaciones presupuestarias del proyecto A.

Los costos directos asociado al suministro de materiales indicados en [Tabla 5.34](#) se observa que para el caso PPMOF son 78 % mayor.

Categoría	Costo Stick Built		Costo PPMOF	
Steel Supply	\$	1,586,281	\$	1,672,865
Eng. Services Additional	\$	-	\$	289,222
PPMOF Services	\$	-	\$	863,373
Total Costo Materiales:	\$	1,586,281	\$	2,825,460

Tabla 5.34: Costos directos Materiales - Stacker

Fuente: Elaboración propia

Los costos directos asociados a la construcción en sitio y el montaje de los módulos en sitio para el candidato stacker son mostrados [Tabla 5.35](#), para ver en detalle los costos descritos referirse a [Anexo-Sección H.2](#), en dicha sección se indican las HH de instalación en requeridas para el caso de stick built, considerando la información proveniente del CAPEX del proyecto A.

Suministro	Qty	Stick Built	
		[HH]	Costo [\$]
Estructura	737 [ton]	61,260	\$ 691,018
Correa Overland	350 [ml]	22,965	\$ 322,077
Total Instalación		84,225	\$1,013,095

Tabla 5.35: Costos directos Instalación - Stick Built

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación de las HH requeridas para el montaje del stacker considerando la alternativa PPMOF se toman como antecedentes de rendimiento entregados por el equipo de construcción del proyecto los cuales se observan en la [Tabla 5.36](#). Dado que la estructura pre-armada del stacker bajo metodología PPMOF y los módulos indicados en [Sección H.3](#) requieren una conexión para asegurar la correcta operación y además dada la irregularidad de la estructura y la gran cantidad de elementos mecánicos que deben ser montados en el sitio, genera que no

sea factible lograr el 100 % modularizado, esto implica que se estima un 20 % del acero estructural se utilizara para la conexión de los módulos serán montada bajo metodología stick built más el montaje de los elementos mecánicos, tales como polines, correas y chutes de descarga.

Montaje Módulos PPMOF			
Qty Módulos	:	64	[módulo]
Cuadrilla Estructura	:	25	[personas]
Cuadrilla Mecanica	:	10	[personas]
HH laborales	:	10	[HH/día]
Tpo Montaje	:	2.5	[día/módulo]
Rate costo Estructura	:	11.28	[\$/HH]
Rate costo Platework	:	11.28	[\$/HH]
Rate costo Correa	:	17.95	[\$/HH]
HH totales x módulo	:	375	[HH/módulo]
HH Totales Montaje Módulos	:	40,000	[HH]
HH Estructura Stick Built	:	8,422	[HH]
HH Instalación Platework	:	13,515	[HH]
HH Instalación Correa	:	9,450	[HH]
Total HH Montaje PPMOF	:	78,637	[HH]
Costo Total Instalación	:	\$ 950,056	

Tabla 5.36: Instalación Módulos PPMOF - Stacker

Fuente: Elaboración propia

5.2.4.2. Costos Indirectos

Bajo la estrategia de contrato EPCM aplicada al stacker implica que al igual que el caso de sistemas de piperack los costos indirectos son evaluados en base a los criterios indicados en [Tabla 5.37](#) para el caso de Stick built y en [Tabla 5.39](#) para el caso de PPMOF. A continuación se realiza un análisis particular para los ítem de campamento y transporte para el caso del stacker bajo metodología PPMOF.

Descripción	Stick Built	
	Qty	Observación e hipótesis
Servicios EPCM	$10\% \cdot \sum C.Directos$	considera la planificación de montaje, puntos de control de calidad durante etapas de montaje y control de avance para estados de pago montaje.
Áreas Almacenaje	$5\% \cdot \sum C.Directos$	Uso de Bodegas de almacenaje para suministro previo al montaje
Campamento	Ver sección <i>Campamento p/ Stick Built - Stacker</i>	
Transporte	$15\% \cdot \sum C.Materiales$	Valor obtenido de estimaciones del CAPEX
Contingencia	$10\% \cdot \sum C.Directos$	

Tabla 5.37: Criterio Costos indirectos Stick Built - Stacker

Fuente: Elaboración propia

Campamento para Stick Built - Stacker

Para la definición de los costos indirectos asociados al campamento en el caso de stick built en el stacker, se considera un tiempo de instalación de 6 meses para así cubrir HH de instalación, en la siguiente tabla se detallan costos para este ítem.

Ítem	Descripción	Referencia		
(1)	Total HH necesarias	84,225	[HH]	Tabla 5.35
(2)	Tiempo Montaje Estimado	6	[meses]	
(3)	HH por mes	14,038	[HH/mes]	(1) / (2)
(4)	Días Laborales mes	30	[días/mes]	
(5)	HH por Trabajador	300	[HH/trab./mes]	
(6)	Nro Trabajadores	47	[trabajadores]	(3) / (5)
(7)	Días Campamento	8,423	[días]	(2) · (4) · (6)
(8)	Costo Unitario Día	150	[\$/día]	
Total		\$ 1,263,375		(7) · (8)

Tabla 5.38: Costo Campamento para Stick Built - Montaje Stacker

Fuente: Elaboración propia

Descripción	PPMOF	
	Qty	Observación e hipótesis
Servicios EPCM	$\$120 \cdot \sum (\text{ton fabricada})$	Costos generales de fabricación en taller (plan de vigilancia de la calidad y preparación de despacho).
Áreas Almacenaje	$5\% \cdot \sum \text{C.Directos} + 20[\$/m^2] \cdot 20,000[m^2]$	Uso de Bodegas de almacenaje para suministro previo al montaje más patio manobras modularizado estimado en 20,000 m^2 adicionales
Campamento	Ver sección <i>Campamento p/ PPMOF - Stacker</i>	
Transporte	Ver sección <i>Transporte p/ PPMOF - Stacker</i>	
Contingencia	$10\% \cdot \sum \text{C.Directos}$	

Tabla 5.39: Criterio Costos indirectos para PPMOF

Fuente: Elaboración propia

Campamento para PPMOF - Stacker

Para la definición de los costos indirectos asociados al campamento en el caso de PPMOF, se consideran el número de módulos y rendimientos indicados en [Tabla 5.36](#) para así cubrir las HH de instalación, en la siguiente tabla se detallan costos para este ítem.

Ítem	Descripción	Referencia		
(1)	Total HH necesarias	78,637	[HH]	Tabla 5.36
(2)	Tiempo Montaje Estimado	6	[meses]	
(3)	HH por mes	13,106	[HH/mes]	(1) / (2)
(4)	Días Laborales mes	30	[días/mes]	
(5)	HH por Trabajador	300	[HH/trab./mes]	
(6)	Nro Trabajadores	44	[trabajadores]	(3) / (5)
(7)	Días Campamento	7,920	[días]	(2) · (4) · (6)
(8)	Costo Unitario Día	150	[\$/día]	
Total		\$ 1,188,000		(7) · (8)

Tabla 5.40: Costo Campamento para PPMOF - Montaje Stacker

Fuente: Elaboración propia

Como se detallo anteriormente para el caso PPMOF del stacker es necesario considerar trabajos en sitios lo cual aminora el beneficio del uso de la metodología para este candidato, la cantidad de HH que disminuyen en comparación con el caso stick built son 5588 [HH] lo que representa una disminución del 6.8 % en los días requeridos en campamento.

Transporte para PPMOF - Stacker

Para la opción de stick built del stacker el costo de transporte de materiales al sitio se incluye como un aumento del 15 % sobre el costo de suministro, como se describe en la [Tabla 5.37](#).

En el caso de las opciones modulares, la evaluación del transporte es resultado de un análisis del número y tipo de módulos a transportar para así evaluar la cantidad de camiones necesarios, más el transporte de la estructura stick built requerida para el caso PPMOF. La definición de la cantidad de módulos es obtenida en base a esquemas mostrados en [Figura H.1](#) y [Sección H.3](#) de anexos. En [Tabla 5.41](#) se indican las dimensiones y pesos máximos asociados a cada tipo de módulo a evaluar.

item	Módulo Tipo	Descripción	Qty	Peso Máx.	Ancho Máx.	Alto Máx.	Largo Máx.
1	Tipo 1 <i>Sobre-tamaño</i>	Galería Stacker	12	20 ton	3.8 m	1.5 m	12 m
2	Tipo 2 <i>Sobre-tamaño</i>	Galería Stacker	4	12 ton	3.8 m	1.5 m	8 m
3	Tipo 3 <i>Sobre-tamaño</i>	Galería Soporte	12	16 ton	4 m	1.5 m	8 m
4	Tipo 4 <i>Sobre-tamaño</i>	Torre Soporte	6	22 ton	8 m	1.5 m	9 m
5	Tipo 5	Mesas Correa	30	2 ton	2 m	1.5 m	6 m

Tabla 5.41: Tipos de módulo a transportar - Stacker

Fuente: Elaboración propia

En base a las dimensiones de los módulos el transporte, la condición de transporte predominante es **Permiso de sobre tamaño con escolta policial** de acuerdo a las características informadas en [Sección 3.4.1](#).

Esta condición de transporte genera complicaciones en el programa dado que la disponibilidad de escolta para la carga es incierta y aumenta los riesgos del proyecto y considerando que el factor de *Programa y Transporte y requerimiento Izaje* son puntos críticos del proyecto según el análisis realizado anteriormente la alternativa PPMOF pierde fuerza.

De igual manera se evalúa el costo de transporte considerando los costos indicados anteriormente en [Tabla 5.31](#). Los costos asociados al transporte para el caso de PPMOF del stacker se presentan en la [Tabla 5.42](#), los cuales se dividen en dos grupos: transporte modular y stick built.

Ítem	Módulo Tipo	Qty	Costo Total	
1	T1: Galería Stacker	12	\$	106,890
2	T2: Galería Stacker	4	\$	35,630
3	T3: Galería Soporte	12	\$	106,890
4	T3: Torre Soporte	6	\$	53,445
5	T4: Mesas Correa	30	\$	267,225
Total transporte PPMOF			\$	570,080
Total transporte Stick Built			\$	45,607
Total Transporte			\$	652,500

Tabla 5.42: Costo Transporte para Caso PPMOF

Fuente: Elaboración propia

Para determinar el costo de transporte de la porción stick built dentro de la alternativa PPMOF, se considera el 15 % del costo del suministro de las 145 toneladas que serán instaladas en el sitio.

5.2.4.3. Resumen Costos - Stacker

En base a los costos anteriormente descritos para el stacker tanto para el caso stick built como PPMOF, se realiza un análisis comparativo para evaluar la conveniencia o no de la aplicación de la metodología PPMOF.

Se observa que la metodología PPMOF genera un aumento en los costos del 25 % en comparación al método que considera el 100 % stick built. Los costos directos al utilizar la metodología PPMOF se estima que suben un 37 %, mientras que los costos indirectos tienen una disminución de tan solo el 10 % respecto al caso stick built.

El aumento en costos directos principalmente ocurren por los servicios de ingeniería adicional necesarios para la implementación de PPMOF y el costo adicional requerido por el proveedor que realizara la modularización.

Dado que para el stacker no es posible generar un 100 % de la estructura modularizada, la disminución de HH en terreno no es significativa lo que implica que los costos asociados al campamento tampoco disminuyen significativamente. Y considerando además que existe un aumento en los costos de almacenamiento, genera que la metodología no cumple con el objetivo de disminución de costos para este candidato.

El detalle de los costos para el caso del stacker se presentan en la [Tabla 5.43](#). Adicionalmente en [Figura 5.15](#) se muestra la distribución porcentual para cada metodología.

Categoría	Tipo Costo	Stick Built	PPMOF	%Dif
Suministro	Directo	\$ 1,586,281	\$ 1,672,865	5 %
Servicio Ing. Adicional	Directo	\$ -	\$ 289,222	100 %
Servicio Modularización	Directo	\$ -	\$ 863,373	100 %
Costo Instalación	Directo	\$ 1,013,095	\$ 731,002	-28 %
Servicios EPCM	Indirecto	\$ 259,938	\$ 129,392	-50 %
Áreas Almacenaje	Indirecto	\$ 129,969	\$ 577,823	345 %
Campamento	Indirecto	\$ 1,263,375	\$ 888,258	-30 %
Transporte	Indirecto	\$ 389,906	\$ 615,687	58 %
Contingencia	Indirecto	\$ 129,968	\$ 177,823	37 %
Total Costo Directo		\$ 2,599,376	\$ 3,556,462	37 %
Total Costo Indirecto		\$ 2,173,156	\$ 2,388,983	10 %
Total		\$ 4,772,532	\$ 5,945,445	25 %

Tabla 5.43: Análisis Comparativo - Stacker Proyecto A

Fuente: Elaboración propia

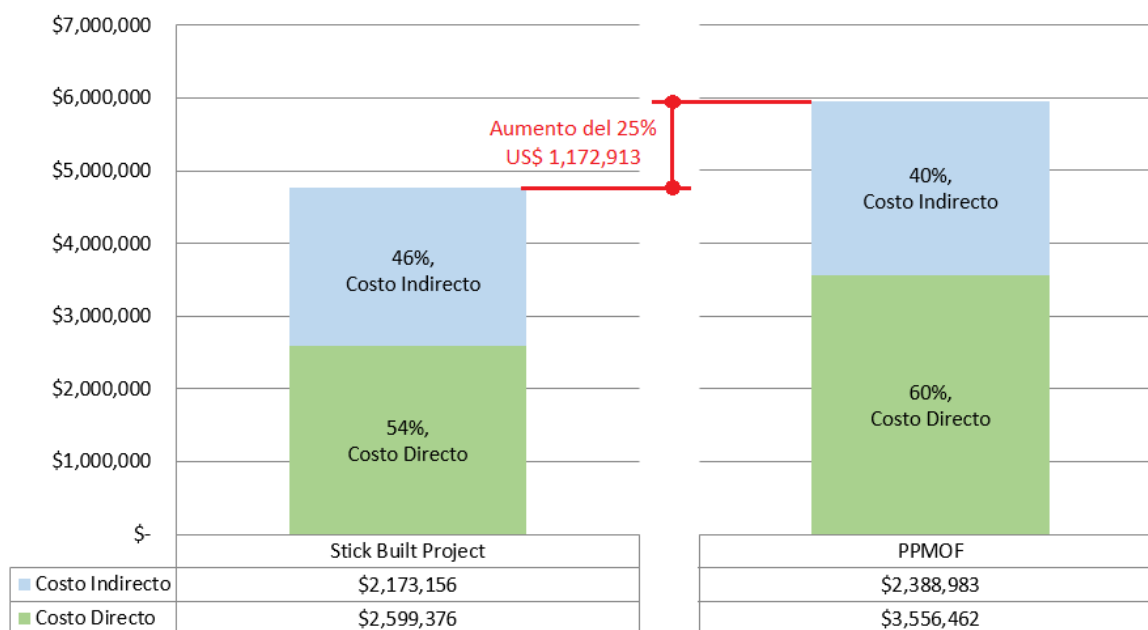


Figura 5.15: Comparación Costos directos e indirectos - Stacker

Fuente: Elaboración propia

Al evaluar el método PPMOF se observa un aumento de US\$957,086 en los costos directos y un aumento de US\$215,827 en los costos indirectos en relación al método stick built.

Con respecto a los costos directos, se observa para el caso PPMOF un aumento del 5 % en el costo de suministros y una disminución de 28 % en el costo de instalación expresada en la baja de HH estimadas para la instalación.

Con respecto a los costos indirectos se observan reducciones importantes en los servicios EPCM (50 %), costos que incluyen para el caso stick built la planificación de montaje, touch up por control de calidad y el control de avance, dado que para PPMOF se minimizan la cantidad de elementos a instalar es necesario una menor cantidad de puntos de control en el sitio, puesto que la calidad del módulo fue verificado previamente en taller. Con respecto al ítem campamento, en función a los días requeridos para el montaje, se observa una reducción del 30 % dado que para cubrir las HH de instalación indicadas anteriormente son necesarios una menor cantidad de trabajadores.

En la [Figura 5.16](#) se observan en detalle la composición porcentual de los costos tanto para stick built como PPMOF.

Al analizar en detalle los costos para el caso stick built queda en evidencia que el mayor porcentaje corresponde al costo por el suministro (33 % del total), seguido por el costo asociado al campamento (con un 26 % del total) y un 21 % que representan el costo de instalación.

Para el caso PPMOF en stick built, el costo por suministro representa el 28 % del costo total,

seguido por el 15 % del costo total imputado al costo por modularizar y 15 % del costo total correspondiente al costo por campamento. Al comparar los costos para el caso Stick built y PPMOF se observa que los costos que solamente son imputables para el caso PPMOF representan un 20 % del total (costo por servicios adicionales de ingeniería y por servicios modularización).

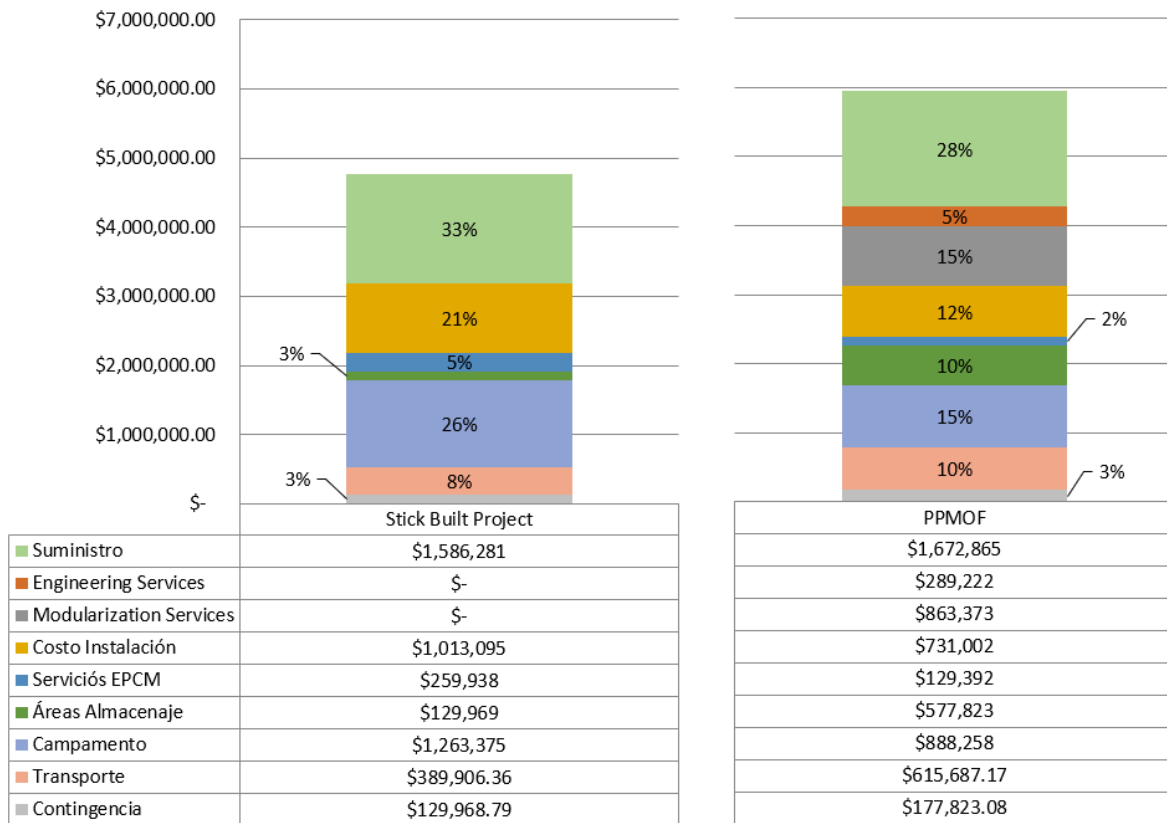


Figura 5.16: Comparación Costos por categoria - Stacker

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIÓN

Al desarrollar la presente investigación se observa que tanto a mediano como largo plazo existe una gran cantidad de prospectos de proyectos mineros que tienen altas posibilidades de ejecutarse y considerando el fin del súper ciclo del cobre que vivimos durante los últimos años, es primordial lograr CAPEX competitivos y confiables para lograr contener problemas de sobre costo. Ante esto el uso de la modularización (PPMOF) se presenta como una herramienta que logra una disminución del CAPEX, pero es requerida una evaluación metodológica y responsable durante todas las etapas de evaluación y ejecución del proyecto.

El desarrollo de proyectos mineros tanto en etapas pre-inversional como inversional poseen una estructura ampliamente conocida en la industria y no presentan grandes variaciones respecto a la oficina de ingeniería que desarrolle el estudio. En base a la implementación de cambios al proyecto durante el proceso de evaluación, se muestra que mientras más avanzada la ingeniería el beneficio del cambio disminuye, en cambio mientras más avanzado se encuentre el proyecto el costo del cambio aumenta de forma exponencial.

El uso de modularización (PPMOF) se a utilizado desde mucho tiempo en diversas industrias, existe evidencia en base a casos de estudio que la metodología PPMOF logra disminuciones de CAPEX, pero dichos casos de estudio son realizados en industrias que poseen un desarrollo de infraestructura mayor al de Chile (carreteras y puentes), además la locación de los proyectos evaluados en la literatura posee mejores características de acceso que el caso de proyectos mineros nacionales. Ante esto se concluye que un punto critico para todo proyecto a evaluar bajo

PPMOF es el tamaño del modulo en base a las limitantes que impone la normativa dada por la infraestructura vial de Chile.

El tipo de muestreo utilizado no permitía que cualquier profesional del rubro sea participe del estudio, por ende fue requerido verificar si la muestra de expertos estadísticamente pertenecían a la misma población, verificación realizada por intermedio de pruebas no perimétricas. El resultado obtenido confirmo que el grupo de expertos pertenecían a la misma población, ante estos resultados se pudo caracterizar los puntos críticos del proyectos nacionales en base a la experiencia de los profesionales consultados.

Al evaluar en base a juicio experto diferentes características de los proyectos mineros y el uso de PPMOF en los mismos se observa que los factores críticos en proyectos mineros nacionales definidos por el grupo experto es mayormente coincidente con los factores críticos indicados en la literatura. El factor crítico primario para el PPMOF es la *Ubicación de la Planta* dado que este factor determina las condiciones laborales del sitio, la accesibilidad al mismo y la disponibilidad de mano de obra.

En base a los antecedentes, la utilización de la modularización (PPMOF) implica una ***ventaja competitiva temporal***, la empresa tiene la oportunidad de convertir la modularización en una ***ventaja competitiva sustentable*** si se solucionan los problemas presentes en la capacidad de imitación del recurso, dado principalmente por la alta rotación de profesionales entre empresas que compiten entre si.

Al aplicar la metodología planteada al Proyecto A, se identifican factores críticos y favorables

para la ejecución de PPMOF, donde los potenciadores del uso de PPMOF en el proyecto A son principalmente: Mano de Obra y Atributos del sitio en cambio los factores que se oponen con más fuerza al uso de PPMOF son: Transporte y requerimientos de izaje. Esto genera una oportunidad de identificar de manera temprana el beneficio potencial del uso o no de PPMOF en el proyecto. Cabe destacar que el uso de PPMOF requiere un alto nivel de coordinación interdisciplinar desde el momento de la definición de candidatos hasta la ejecución y la evaluación de PPMOF debe ser revisada en función avanza el proyecto para así considerar cada vez antecedentes más certeros y poder incluir en la evaluación variables detectadas durante el avanza del proyecto.

Respecto a los candidatos evaluados, se observa que solamente para el caso del sistemas piperack el uso de PPMOF genera beneficios al proyecto, en cambio al aplicar el PPMOF al stacker se genera un sobre costo vs el método tradicional, esto demuestra que la selección de candidatos de forma metódica y con información confiable es de vital importancia para lograr el objetivo de la baja del CAPEX.

Se concluye que la modularización es una alternativa viable como método de reducción del CAPEX siempre y cuando sea posible llegar a un gran porcentaje modular, para así generar un ahorro significativo en las horas hombres requeridas en el lugar de construcción, además estableciendo módulos que no excedan el tamaño definido como "sobre-tamaño sin escolta" indicado por las normas de vialidad, las posibilidades de aumentos de éxito de la modularización aumentan ya que el programa no se vera exigido por la disponibilidad de escoltas policiales durante el transporte. Este ahorro de HH generan un impacto significativo en los costos indirectos del proyecto por intermedio de disminución de infraestructura auxiliar (campamento) además de

disminución en servicios gestión de materiales, gestión de compras y controles de calidad post instalación, dado que estas actividades son previamente realizadas en el lugar donde se realiza la modularización.

REFERENCIAS

- Agüero, E. (2018). *Análisis del sobrecosto de CAPEX entre el estudio de factibilidad y construcción de proyectos mineros y su comparación con proyectos de infraestructura y proyectos de petróleo y gas entre los años 2006-2016*. (Memoria de Licenciatura inédita). Universidad de Chile. Santiago, Chile.
- Anguita, J. C., Labrador, J. R., Campos, J. D., Casas Anguita, J., Repullo Labrador, J., & Donado Campos, J. (2003). La encuesta como técnica de investigación. elaboración de cuestionarios y tratamiento estadístico de los datos (i). *Atención primaria*, 31, 527–538.
- Bertisen, J. & Davis, G. A. (2008). Bias and error in mine project capital cost estimation. *The Engineering Economist*, 53(2), 118–139.
- CII (1987). *Constructability Improvement Using Prefabrication, Preassembly and Modularization*. Construction Industry Institute (CII) Austin, TX.
- CII (1992). *Computerized Decision Support for Modularization of Industrial Construction*. Construction Industry Institute (CII) Austin, TX.
- CII (2002). *Prefabrication, preassembly, modularization, and offsite fabrication in industrial construction: A framework for decision-making*. Construction Industry Institute (CII) Austin, TX.
- CII (2012). *Industrial Modularization: How to Optimize; How to Maximize*. Construction Industry Institute (CII) Austin, TX.

- COCHILCO (2018). *Inversión en la minería chilena - Cartera de proyectos 2018 -2027*. Recuperado de: [https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Cartera%20de%20proyectos%202018%20-%202027%20\(final\).pdf](https://www.cochilco.cl/Listado%20Temtico/Cartera%20de%20proyectos%202018%20-%202027%20(final).pdf).
- COCHILCO (2019a). *Base de datos: Inventarios de Cobre Transados en Bolsa, enero 2017 a abril 2019*. Recuperado de: http://www.cochilco.cl:4040/boletin-web/pages/index/index.jsf;jsessionid=Cy3NmiZGWWfFZfkfQR3ne2a53Jvdq2H_v7WCJsuv.webcochilco.
- COCHILCO (2019b). *Informe Tendencias Mercado del Cobre: Proyecciones 2019-2020, Actualización enero de 2019*. Recuperado de: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Informe%20de%20tendencias%20act%20enero%202019%20VF.pdf>.
- COCHILCO (2019c). *Precios del Cobre y Otros Metales: Cotizaciones Contado y Futuro*. Recuperado de: <http://www.cochilco.cl:4040/boletin-web/pages/index/index.jsf>.
- CODELCO (sf). *El ABC de un proyecto*. Recuperado de: https://www.codelco.com/el-abc-de-un-proyecto/prontus_codelco/2013-10-24/114451.html.
- Dirección de Vialidad (2018). *Manual de autorizaciones para transportes especiales, versión 2018*. Recuperado de: http://www.vialidad.cl/productosyservicios/Documents/Manual_Autorizaciones_para_tansportes_especiales_v2018.pdf.
- El Mercurio (2018). *Citi: cobre se disparará por futura escasez de oferta*. Recuperado de: <http://www.elmercurio.com/Inversiones/Noticias/Analisis/2018/07/18/Citi-cobre-se-disparara-por-futura-escasez-de-oferta.aspx>.
- Gypson, C. (2002). How have we done? feasibility performance since 1980. *Engineering and Mining Journal*.

- Haas, C., O'Connor, J., Tucker, R., Eickmann, J., & Fagerlund (2000). Prefabrication and preassembly trends and effects on the construction workforce. *Center for Construction Industry Studies*. CII Austin, TX.
- Hickson, R. J. & Owen, T. L. (2015). *Project Management for Mining: Handbook for Delivering Project Success*. Englewood, USA, SME.
- Lester, A. (2017). *Project Management, Planning and Control: Managing Engineering, Construction, and Manufacturing Projects to PMI, APM, and BSI Standards*. Oxford, UK: ELSEVIER, seventh edition edición.
- Levin, R. I. & Rubin, D. S. (2006). *Estadística para Administración y Economía, Séptima Edición*. México, Pearson Educación.
- McGraw-Hill Construction (2011). *Prefabrication and Modularization: Increasing Productivity in the Construction Industry*. Recuperado de: <https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/el/economics/Prefabrication-Modularization-in-the-Construction-Industry-SMR-2011R.pdf>.
- Mining.com (2017). *Copper execs see balanced market, warn on rising costs, regulation*. Recuperado de: <http://www.mining.com/web/copper-execs-see-balanced-market-warn-rising-costs-regulation/>.
- Nekoufar, S. & Karim, A. (2011). Lean project management: In large scale industrial project via standardization. *Project Management Association Finland (PMAF)*, 33, 72–77.
- Oberlender, G. (1993). *Project Management for Engineering and Construction*. New York: McGraw-Hill, 2 edición.

- Ornelas, M. C. P. (2016). Ventaja competitiva: gestión en el nivel de empresa. *Mercados y Negocios* (2594-0163), 12, 125–146.
- O'Connor, J., O'Brien, W., & Choi, J. (2015). Standardization strategy for modular industrial plants. *Journal of Construction Engineering and Management*, 141(9), 04015026–1.
- SERNAGEOMIN (2017). *Anuario de la Minería de Chile: Servicio Nacional de Geología y Minería*. Recuperado de: https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/06/Anuario_2017.pdf.
- Thompson, A., Gamble, J., Peteraf, M., & III, S. (2008). *Administración Estratégica: Teoría y casos*. México DF, McGraw-Hill, 18va edición edición.
- Vera, A., Carrasco, C., Vanegas, J., & Contreras, G. (2008). Fatiga física y fatiga cognitiva en trabajadores de la minería que laboran en condiciones de altitud geográfica. relación con el mal agudo de montaña. *Ciencia & Trabajo*, 29, 90–94.
- Yacuzzi, E. (2005). *El estudio de caso como metodología de investigación: Teoría, mecanismos causales, validación*. Serie Documentos de Trabajo 296, UCEMA, Buenos Aires.
- Yin, R. (1994). Case study research: Design and methods. *Sage Publications*. Thousand Oaks, CA.

Anexo

A. Catastro de proyectos mineros en Chile 2018 – 2027

Tabla A.1: Prospectos de proyectos mineros en Chile 2018-2027

Puesta en Marcha	Proyectos	Operador	Condición	Etapas	Inversión (MMUS %)
2018-2022	OTROS PROYECTOS DE DESARROLLO	Codelco	BASE	Ejecución	2,907
2018-2022	PROYECTOS FURE	Codelco	BASE	Ejecución	1,972
2018-2022	TRANQUES	Codelco	BASE	Ejecución	1,380
2018-2022	PROYECTOS DE INFORMACIÓN	Codelco	POSIBLE	Factibilidad	1,375
2018	PROYECTO DE AMPLIACIÓN MOLYNOR	Molynor	BASE	Ejecución	240
2018	CANDELARIA 2030	CCM Candelaria	BASE	Ejecución	460
2019	MARIPOSA	Admiralty Minerals	BASE	Ejecución	70
2019	AMPLIACIÓN PLANTA LA NEGRA-FASE 3	Rockwood Litio	BASE	Ejecución	300
2019	PLANTA DIS. Y REF. PEDRO DE VALDIVIA	SQM Nitratos S.A.	BASE	Ejecución	140
2019	CHUQUICAMATA SUBTERRÁNEA	Codelco	BASE	Ejecución	5,554
2019	ORCOMA	SQM	PROBABLE	Factibilidad	230
2019	COLLAHUASI INST. COMPL. 170 KTPD	Collahuasi	PROBABLE	Factibilidad	302
2019	PLAYA VERDE	Copper Bay	PROBABLE	Factibilidad	95
2020	AMPLIACIÓN SALAR DEL CARMEN	SQM Salar S.A.	BASE	Ejecución	180
2020	SPENCE GROWTH OPTION	Pampa Norte	BASE	Ejecución	3,300
2020	DESEMB. CONC. MANTOS BLANCOS	Mantos Copper	BASE	Ejecución	181
2022	DIEGO DE ALMAGRO	CM Sierra Norte S.A	PROBABLE	Factibilidad	597
2020	AMP. MARG. LOS PELAMBRES FASE I	Los Pelambres	PROBABLE	Factibilidad	1,050
2020	LIXIVIACIÓN DE CONCENTRADOS	Ecometales Limited	PROBABLE	Factibilidad	370
2020	SALARES NORTE	Gold Fields	POSIBLE	Factibilidad	1,000
2020	PRODUCCIÓN DE SALES MARICUNGA	SIMCO SpA	POSIBLE	Factibilidad	350
2021	TRASPASO MINA-PLANTA	Codelco	BASE	Ejecución	1,321
2021	DESARROLLO MANTOVERDE	Mantos Copper	PROBABLE	Factibilidad	832
2021	NUEVA ESPERANZA - ARQUEROS	Laguna Resources	POSIBLE	Factibilidad	250
2021	CERRO MARICUNGA	Atacama Pacific Gold	POSIBLE	Factibilidad	587
2021	RAJO INCA	Codelco	POTENCIAL	Prefact.	817
2021	PRODUCTORA	SM El Águila Ltda.	POTENCIAL	Prefact.	725
2022	DESARROLLO DISTRITO CENTINELA (*)	Minera Centinela	PROBABLE	Factibilidad	4,350
2022	CONTINUIDAD ZALDÍVAR	CM Zaldívar SpA	PROBABLE	Factibilidad	100
2022	SANTO DOMINGO	Santo Domingo SCM	PROBABLE	Factibilidad	1,700
2022	QUEBRADA BLANCA HIPÓGENO	Teck	PROBABLE	Factibilidad	4,700
2022	AMP. CARBONATO DE LITIO A 180 KTPA	SQM Salar S.A.	POSIBLE	Factibilidad	450
2022	LA COIPA FASE 7	Kinross	POSIBLE	Factibilidad	200
2022	SIERRA GORDA EXPANSIÓN 230 KTPD	Sierra Gorda SCM	POSIBLE	Factibilidad	2,000
2022	AMP. MAR. LOS PELAMBRES FASE II	Los Pelambres	POSIBLE	Factibilidad	500
2022	EL ESPINO	Pucobre	POSIBLE	Factibilidad	624
2022	NUEVA PAIPOTE	Fundición Hernan	POSIBLE	Factibilidad	646
2023	NUEVO NIVEL MINA	Codelco	BASE	Ejecución	3,926
2023	NUEVAUNIÓN FASE I	NuevaUnion SpA	POTENCIAL	Factibilidad	3,500
2023	DOMINGA	Andes Iron SpA	POTENCIAL	Factibilidad	2,888
2024	SULFuros RT FASE II	Codelco	POSIBLE	Factibilidad	2,154
2026	EL ABRA MILL PROJECT (e)	CCM El Abra	POTENCIAL	Factibilidad	5,000
2026	NUEVAUNION FASE II y III	NuevaUnion SpA	POTENCIAL	Factibilidad	3,700
2026	EXPANSIÓN ANDINA	Codelco	POTENCIAL	Prefact.	2,725

Fuente: Elaboración propia en base a *COCHILCO (2018)*

B. Cuestionario aplicado a muestra seleccionada

CUESTIONARIO MODULARIZACIÓN

Estimados:

En función del desarrollo de una investigación referente al uso de modularización y prefabricados en proyectos mineros en Chile, se origina esta encuesta que busca la evaluación de la modularización y prefabricados, a juicio experto, para corroborar si califican como ventaja competitiva. Agradecería poder tomar 5 minutos de su tiempo.

De ante manos Muchas Gracias.

Con el objetivo de homologar algunas definiciones para conceptos que se utilizarán en la presente encuesta, se presentan las siguientes definiciones:

- **Módulo:** una sección importante de una planta resultante de una serie de operaciones de ensamblaje y puede incluir partes de muchos sistemas; generalmente la unidad o componente transportable más grande de una instalación.
 - **Modularización:** construcción off-site de módulos (unidades enteras o partes de unidades de gran tamaño), a ser transportadas, montadas e interconectadas en el sitio (on site).
-

1. A que áreas pertenece:

- | | |
|--|---|
| ☐ Project Management | ☐ Control de Proyectos |
| ☐ Ingeniería | ☐ Construcción |
| ☐ Procurement | ☐ Otra:_____ |
| ☐ Tráfico y Logística | |

2. Desde la perspectiva del cliente, ¿el que un proyecto de ingeniería incluya una estrategia de modularización genera algún atributo/resultado relevante para el proyecto?

- | | |
|---|---|
| ☐ Sin importancia | ☐ Relevantes |
| ☐ De poca Importancia | ☐ Muy Relevantes |
| ☐ Moderadamente Relevantes | |

3. Si considera el impacto **relevante** y/o **muy relevante**, Favor indique cual es el atributo / resultado afectado por la estrategia:

4. Considera que la modularización es una capacidad valiosa para los proyectos de ingeniería .

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

5. En proyectos de ingeniería, ¿qué nivel de implementación tiene la modularización estandarizada?.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ☐ Muy Baja | ☐ Alta |
| ☐ Baja | ☐ Muy Alta |
| ☐ Media | |

6. Considerando los prospectos de proyectos futuros, ¿qué tan viable considera incluir en proyectos de ingeniería la estrategia de modulación en las fases de ingeniería y/o construcción?

- | | |
|--|---------------------------------------|
| ☐ Muy poco probable | ☐ Probable |
| ☐ Poco Probable | ☐ Muy Probable |
| ☐ Indiferente | |

7. Una vez implementada la modularización que tan difícil de imitar será por parte de la competencia.

- | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| ☐ Muy Baja | ☐ Alta |
| ☐ Baja | ☐ Muy Alta |
| ☐ Media | |

8. En la compañía, existen mecanismos que impidan la copia de la estrategia por parte de la competencia.

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

9. Dada la estructura tradicional de proyectos y el desarrollo bajo modalidad “fast track”, los riesgos de proyectos aumentan al implementar la modularización.

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

10. El cronograma requerido para la compra de suministros no se ve afectado por la utilización de la modularización.

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

11. Es posible considerar y estimar adecuadamente áreas de un proyecto factibles de modularizar en etapas tempranas de evaluación (etapas de pre-inversión)

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

12. El uso de la modularización implica un aumento en los costos de ingeniería.

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

13. El uso de la modularización implica un aumento en las cantidades de los suministros para la construcción.

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

14. Existe una coordinación interdisciplinaria que facilita la implementación de la modularización.

- | | |
|--|--|
| ☐ Totalmente desacuerdo | ☐ De acuerdo |
| ☐ Desacuerdo | ☐ Totalmente de acuerdo |
| ☐ Indiferente | |

15. La estructura organizacional facilita la implementación de nuevos métodos constructivos, e.g. la modularización.

- ☐ Totalmente desacuerdo ☐ De acuerdo
- ☐ Desacuerdo ☐ Totalmente de acuerdo
- ☐ Indiferente

16. Según ud. Ordene según importancia los factores que impulsan el éxito de la modularización. (donde 1 es el más relevante y 5 el menos relevante)

Riesgos del Proyecto	
Factores Ambientales y organizacionales	
Ubicación de la planta	
Características de la Planta	
Consideraciones laborales en el sitio de construcción	

17. Considerando Características de la Planta. Ordene según importancia los siguientes atributos. (donde 1 es el más relevante y 4 el menos relevante)

Restricciones físicas requeridas por la planta	
Densidad de procesos y sistemas	
Impacto en instalaciones adyacentes y existentes	
Tipo de proyecto	

18. Considerando consideraciones Laborales afectadas por la modularización. Ordene según importancia los siguientes atributos. (donde 1 es el más relevante y 5 el menos relevante)

Impacto de la reducción en fuerza laboral en terreno	
Nivel cualificación laboral requerido	
Costo mano obra en Terreno	
Disponibilidad de equipos de carga	
Impacto en la productividad	

19. Considerando Ubicación de la planta. Ordene según importancia los siguientes atributos. (donde 1 es el más relevante y 6 el menos relevante)

Modo de transporte y restricciones	
Complejidad en el acceso en el sitio	
Condiciones Climáticas existentes del sitio	
Disponibilidad de equipos de transporte	
Disponibilidad de materiales	
Disponibilidad de equipos de construcción	

20. Considerando Factores Ambientales y organizacionales. Ordene según importancia los siguientes atributos. (donde 1 es el más relevante y 5 el menos relevante)

Existencia de restricciones locales/sociales (comunidades)	
Receptividad por parte del cliente a la modularización	
Disposición de realizar de forma temprana estudio de modularización	
Comprensión por parte de todas las áreas del proyecto los candidatos a modularizar	
Disposición a desarrollar ingeniería respetando la restricciones requeridas para la modularización	

21. Considerando Riesgos del Proyecto. Ordene según importancia los siguientes atributos. (donde 1 es el más relevante y 4 el menos relevante)

Requisitos de mayor planificación e ingeniería	
Aumentos en los costos de control de calidad	
Experiencia requerida de la empresa de ingeniería y construcción	
Experiencia de Fabricantes disponibles	

C. Distribución de Encuesta



Figura C.1: E-mail de distribución de encuesta

Fuente: Elaboración propia

D. Tabulación Cuestionario

PREGUNTA 1		PREGUNTA 2	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Project Management	1	Sin Relevancia	1
Ingenieria	2	De poca Relevancia	2
Procurement	3	Moderadamente Relevante	3
Trafico & Logística	4	Relevante	4
Control de Proyectos	5	Muy Relevante	5
Construcción	6		
Other	7		

Tabla D.1: Análisis Nivel I para Modularización

Fuente: Elaboración propia

PREGUNTA 4		PREGUNTA 5	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Sin Relevancia	1	Muy Baja	1
De poca Relevancia	2	Baja	2
Moderadamente Relevante	3	Media	3
Relevante	4	Alta	4
Muy Relevante	5	Muy Alta	5

PREGUNTA 4		PREGUNTA 5	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Sin Relevancia	1	Muy Baja	1
De poca Relevancia	2	Baja	2
Moderadamente Relevante	3	Media	3
Relevante	4	Alta	4
Muy Relevante	5	Muy Alta	5

Tabla D.2: Tabulación Pregunta 4 y 5

Fuente: Elaboración propia

PREGUNTA 6		PREGUNTA 7	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Muy poco probable	1	Muy Fácil	1
Poco Probable	2	Fácil	2
Indiferente	3	Medianamente Difícil	3
Probable	4	Difícil	4
Muy Probable	5	Muy Difícil	5

PREGUNTA 8		PREGUNTA 9	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Totalmente desacuerdo	1	Totalmente desacuerdo	1
Desacuerdo	2	Desacuerdo	2
Indiferente	3	Indiferente	3
De acuerdo	4	De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5	Totalmente de acuerdo	5

Tabla D.3: Tabulación Pregunta 6 @ 9*Fuente: Elaboración propia*

PREGUNTA 10		PREGUNTA 11	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Totalmente desacuerdo	1	Totalmente desacuerdo	1
Desacuerdo	2	Desacuerdo	2
Indiferente	3	Indiferente	3
De acuerdo	4	De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5	Totalmente de acuerdo	5

Tabla D.4: Tabulación Pregunta 10 y 11*Fuente: Elaboración propia*

PREGUNTA 12		PREGUNTA 13	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Totalmente desacuerdo	1	Totalmente desacuerdo	1
Desacuerdo	2	Desacuerdo	2
Indiferente	3	Indiferente	3
De acuerdo	4	De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5	Totalmente de acuerdo	5
PREGUNTA 14		PREGUNTA 15	
Escala Likert	Puntos	Escala Likert	Puntos
Totalmente desacuerdo	1	Totalmente desacuerdo	1
Desacuerdo	2	Desacuerdo	2
Indiferente	3	Indiferente	3
De acuerdo	4	De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5	Totalmente de acuerdo	5

Tabla D.5: Tabulación Pregunta 12 @ 15

Fuente: Elaboración propia

E. Resultados Encuesta

E.1. Data sin procesar

N	Q1	Q2	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Q15
E-1	2	5	4	2	4	4	2	3	2	4	5	5	5	2
E-2	2	5	1	1	4	2	3	5	1	4	5	1	5	2
E-3	2	5	5	3	5	2	3	2	3	4	4	2	4	3
E-4	2	5	5	2	4	3	4	2	3	4	2	3	3	4
E-5	2	5	5	1	4	3	3	4	4	5	3	2	3	3
E-6	2	4	4	3	4	3	4	3	4		2	4	4	4
E-7	2	5	5	1	4	1	3	2	4	2	2	2	4	4
E-8	2	4	5	1	5	3	5	4	1	2	5	4	4	2
E-9	2	4	4	2	4	3	3	4	2	4	4	2	4	2
E-10	2	5	5	4	5	2	2	2	2	4	4	2	5	5
E-11	2	4	4	2	4	3	4	4	4	4	4	4	2	2
E-12	6	4	4	2	4	2	2	4	2	4	5	2	5	4
E-13	2	4	4	2	4	2	3	2	2	4	1	1	5	4
E-14	2	4	4	3	4	2	4	2	2	4	1	4	4	4
E-15	2	4	4	2	4	2	3	4	4					
E-16	2	4	4	1	2	4	4	5	1	5	5	3	2	2
E-17	2	4	4	1	3	3	3	4	3	4	2	2	3	4
E-18	2	5	5	1	4	3	3	3	4	4	2	2	3	3
E-19	3	5	1	2	5	1	2	2	1	4	3	2	1	1
E-20	1	4	4	4	5	2	2	2	2	4	4	2	5	5
E-21	4	5	5	2	5	4	5	2	4	4	4	2	4	4
E-22	2	4	4	2	4	2	2	4	2	4	5	3	3	4
E-23	4	4	4	3	4	1	2	2	2	4	3	2	4	4
E-24	5	3	4	2	5	4	5	2	4	4	4	2	4	4
E-25	5	3	3	2	4	2	2	4	3	4	2	2	2	2
E-26	2	5	5	2	5	2	1	4	2	5	2	2	1	1
E-27	2	3	4	2	4	3	4	2	4	4	2	2	4	4
E-28	1	5	5	3	4	3	3	2	4	4	4	2	4	4
E-29	2	4	5	2	5	3	4	2	4	2	2	2	5	3
E-30	3	5	4	3	4	3	2	2	2	4	4	4	4	2

Tabla E.1: Resultados para preguntas en escala likert

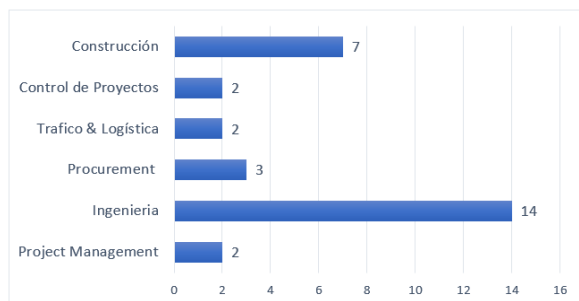
Fuente: Elaboración propia

N°	Q3
E-1	Disminución en Costos
E-2	Costo total instalado. Menor impacto de la construcción en el entorno (reducción de plazos, implica reducción de contaminación, gasto de energía/agua donde es escasa, menos tiempo de interacción con comunidades, etc)
E-3	Menor tiempo de montaje
E-4	Gestión y costos. También podría incluir seguridad en las faenas de construcción, muchas actividades no se realizarían ahí.
E-5	Menor trabajo en terreno
E-6	
E-7	El principal benéfico se genera en la disminución de los tiempos de construcción y la cantidad de mano de obra en terreno.
E-8	Disminución de HH en terreno, las cuales impactan en costos y seguridad ya que se disminuyen personas trabajando, menos actividades se puede acotar las actividades riesgosas.
E-9	Reducción de costos de construcción
E-10	Optimización en los tiempos
E-11	Reducción de mano de obra en terreno, con la consecuente reducción de costos
E-12	Impacto en Costo Total Instalado (TIC)
E-13	Impacto en menor Inversión
E-14	Reducción de los tiempos de construcción / montaje de las estructuras.
E-15	Relevante en costos
E-16	Reducción de HHs efectivas en sitio, lo que debiera traducirse en menos costos y disminución de riesgo de accidentes
E-17	Cantidades de HH de ahorro para el montaje en Obra
E-18	
E-19	Disminución en HH del contratista de montaje. Y para faenas mineras de gran altura geográfica, mayor control en temas de seguridad
E-20	Optimización de recursos
E-21	Los costos se reducen al transportar un equipo modular, ya que, el costo de realizarlo directamente en terreno es mas elevado, por esta razón, la importancia de reducir costo es relevante para el proyecto
E-22	Programa de Ejecución, Adelanto de costos/recursos de ingeniería, Estrategia de contratación (calificación de contratistas), Plan de tráfico y logística
E-23	Economía de espacio y monetaria.
E-24	
E-25	
E-26	Mejorar la entrega en terreno y la construcción
E-27	
E-28	Como afecta al TIC
E-29	
E-30	Disminución en costos

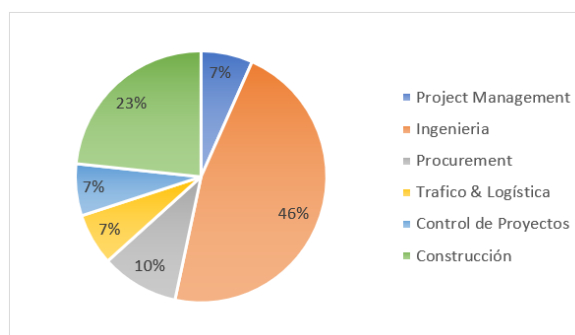
Tabla E.2: Resultados para pregunta 3

Fuente: Elaboración propia

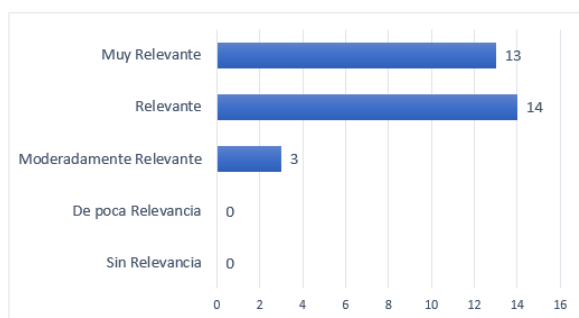
E.2. Gráficos de Data procesada



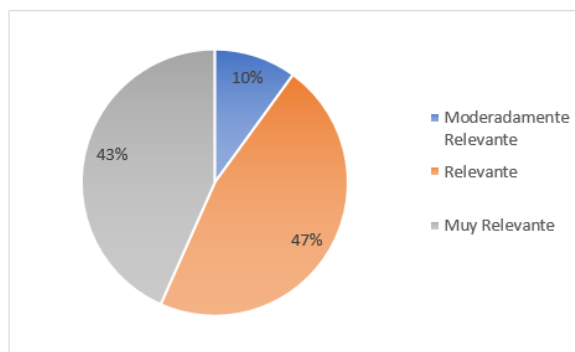
(a) Gráfico de barras, Pregunta 1



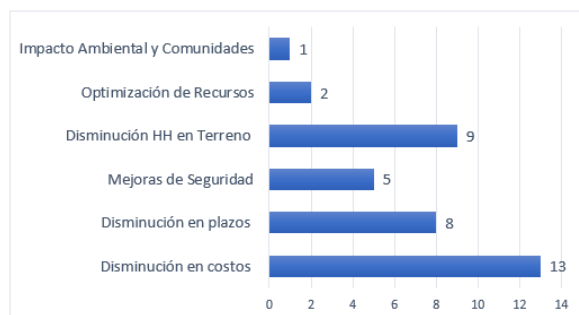
(b) Gráfico de torta, Pregunta 1



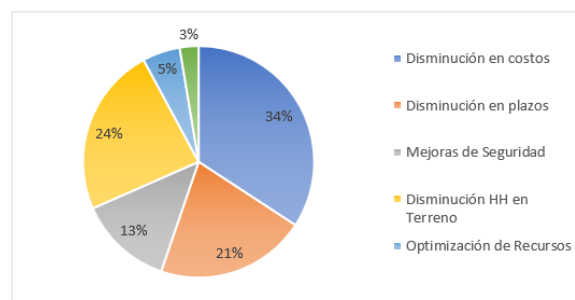
(c) Gráfico de barras, Pregunta 2



(d) Gráfico de torta, Pregunta 2



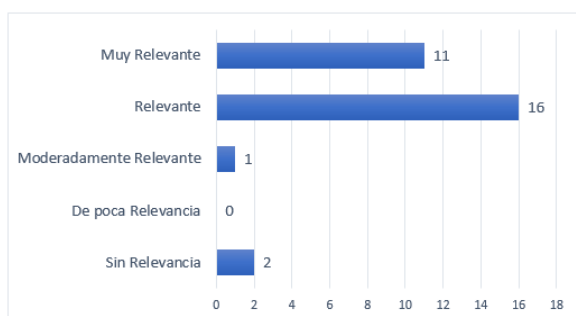
(e) Gráfico de barras, Pregunta 3



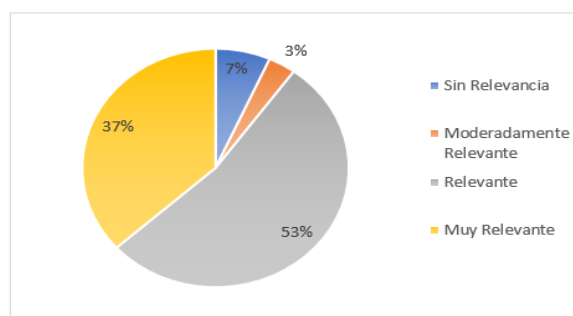
(f) Gráfico de torta, Pregunta 3

Figura E.1: Resultados Pregunta 1, 2 & 3

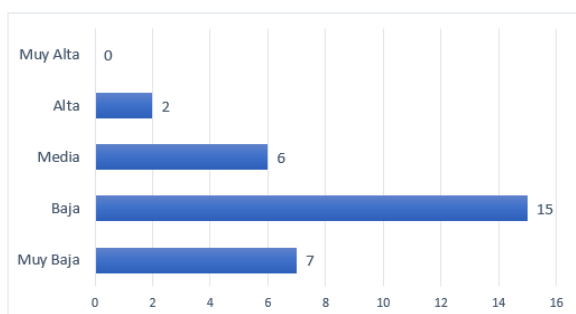
Fuente: Elaboración propia



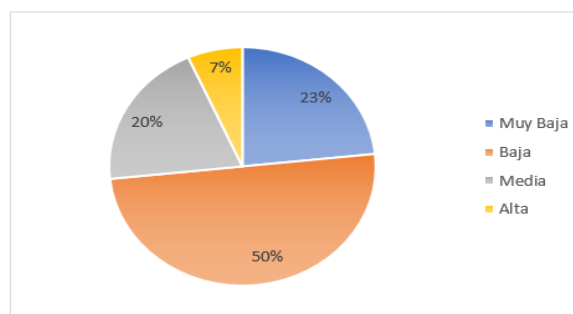
(a) Gráfico de barras, Pregunta 4



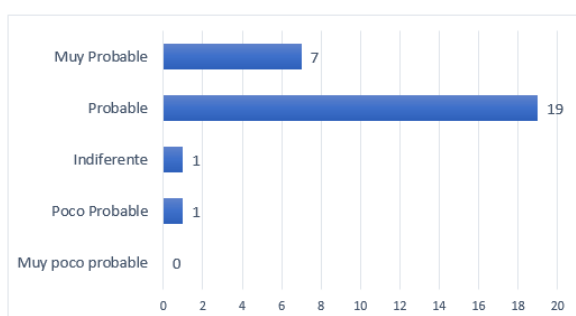
(b) Gráfico de torta, Pregunta 4



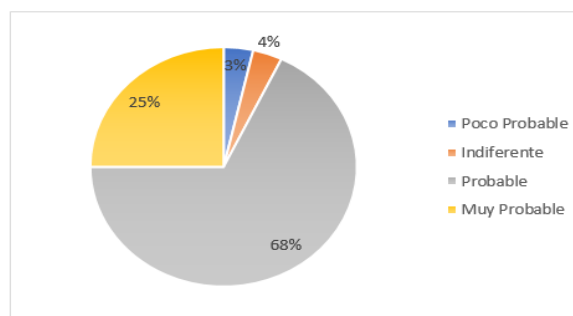
(c) Gráfico de barras, Pregunta 5



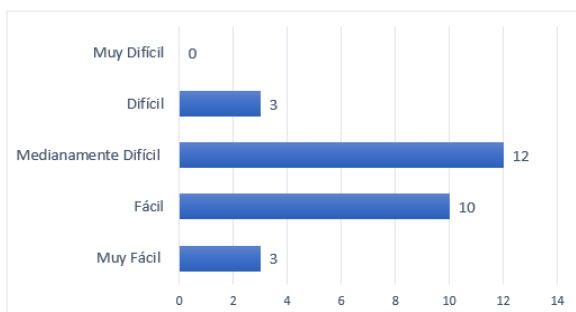
(d) Gráfico de torta, Pregunta 5



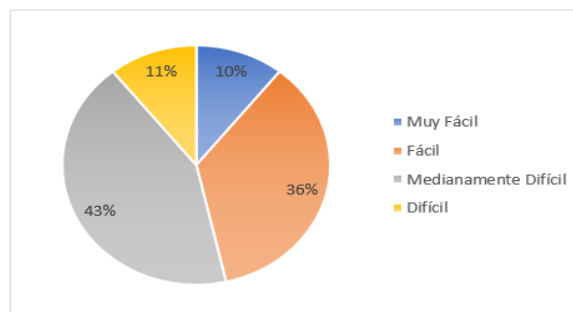
(e) Gráfico de barras, Pregunta 6



(f) Gráfico de torta, Pregunta 6



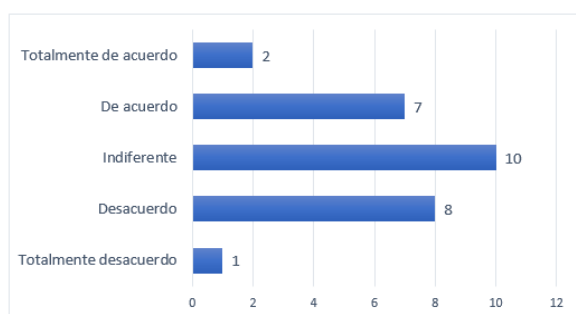
(g) Gráfico de barras, Pregunta 7



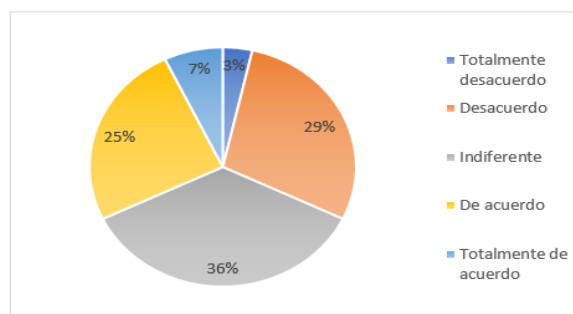
(h) Gráfico de torta, Pregunta 7

Figura E.2: Resultados Pregunta 4, 5, 6 & 7

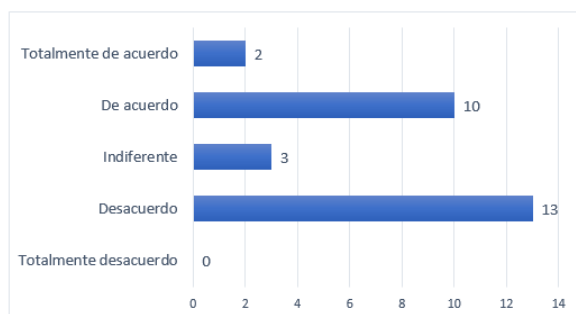
Fuente: Elaboración propia



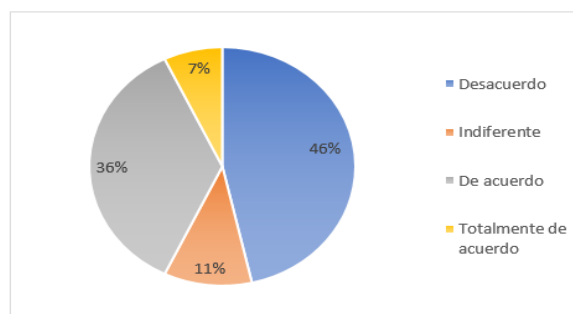
(a) Gráfico de barras, Pregunta 8



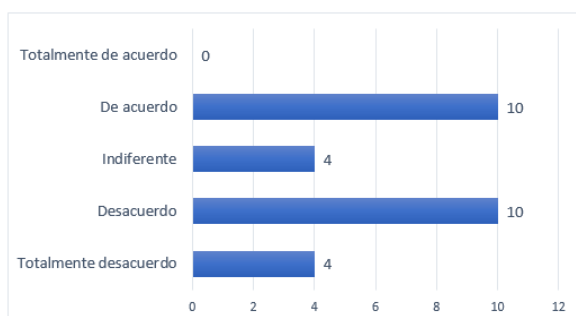
(b) Gráfico de torta, Pregunta 8



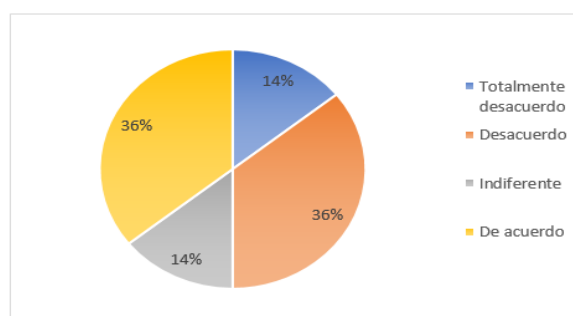
(c) Gráfico de barras, Pregunta 9



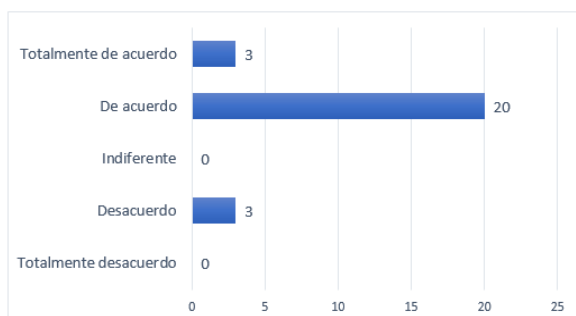
(d) Gráfico de torta, Pregunta 9



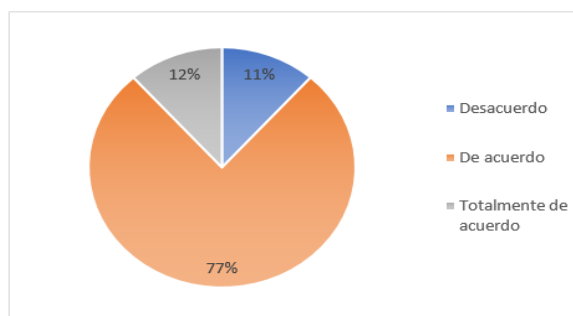
(e) Gráfico de barras, Pregunta 10



(f) Gráfico de torta, Pregunta 10



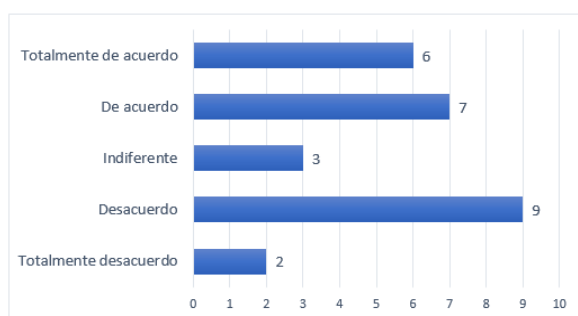
(g) Gráfico de barras, Pregunta 11



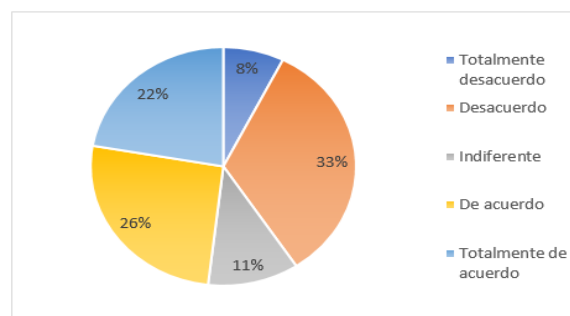
(h) Gráfico de torta, Pregunta 11

Figura E.3: Resultados Pregunta 8, 9, 10 & 11

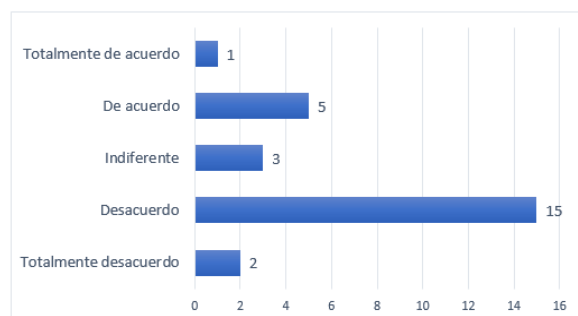
Fuente: Elaboración propia



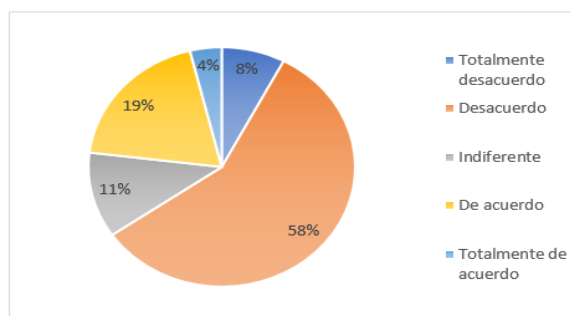
(a) Gráfico de barras, Pregunta 12



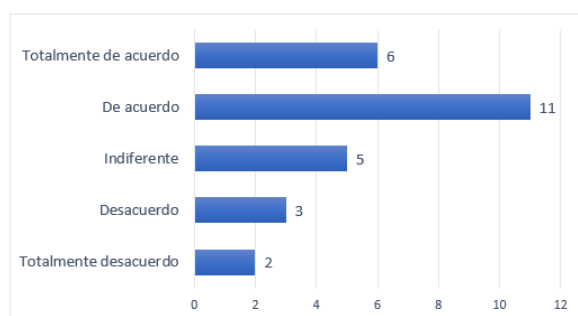
(b) Gráfico de torta, Pregunta 12



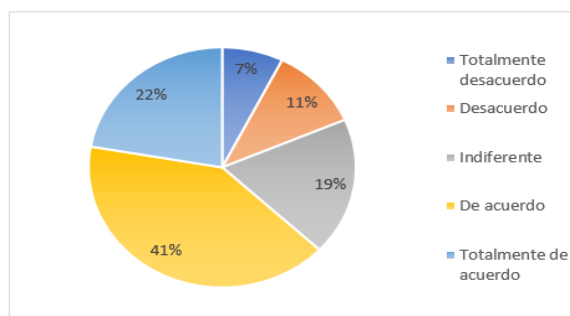
(c) Gráfico de barras, Pregunta 13



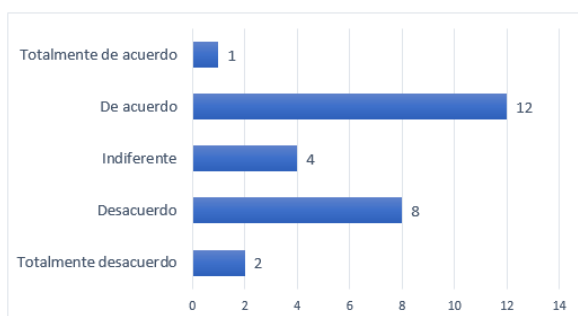
(d) Gráfico de torta, Pregunta 13



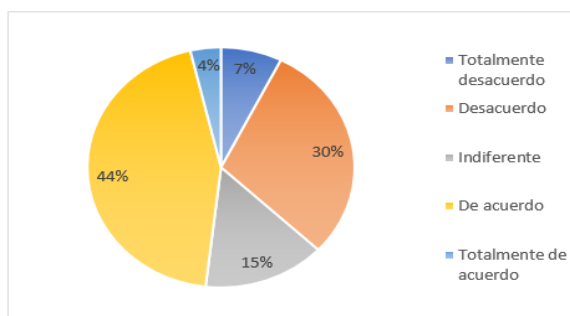
(e) Gráfico de barras, Pregunta 14



(f) Gráfico de torta, Pregunta 14



(g) Gráfico de barras, Pregunta 15



(h) Gráfico de torta, Pregunta 15

Figura E.4: Resultados Pregunta 12, 13, 14 & 15

Fuente: Elaboración propia

i	Factor	I	%	II	%	III	%	IV	%	V	%
1	Riesgos del Proyecto	8	26.7 %	1	3.3 %	7	23.3 %	7	23.3 %	7	23.3 %
2	Factores Ambientales	0	0.0 %	0	0.0 %	1	3.3 %	15	50.0 %	14	46.7 %
3	Ubicación de la planta	11	36.7 %	12	40.0 %	4	13.3 %	2	6.7 %	1	3.3 %
4	Características de la Planta	6	20.0 %	15	50.0 %	6	20.0 %	0	0.0 %	3	10.0 %
5	Consideraciones laborales en el sitio	5	16.7 %	2	6.7 %	11	40.0 %	7	20.0 %	5	16.7 %
	Total	30									

Tabla E.3: Respuestas Pregunta 16*Fuente:* Elaboración propia

i	Factor	I	%	II	%	III	%	IV	%
1	Restricciones físicas requeridas por la planta	11	36.7 %	4	13.3 %	2	6.7 %	2	6.7 %
2	Densidad de procesos y sistemas	0	0.0 %	3	10.0 %	9	30.0 %	7	23.3 %
3	Impacto en instalaciones adyacentes y existentes	3	10.0 %	9	30.0 %	5	16.7 %	2	6.7 %
4	Tipo de proyecto	5	16.7 %	3	10.0 %	3	10.0 %	8	26.7 %
	Total	19							

Tabla E.4: Respuestas Pregunta 17*Fuente:* Elaboración propia

i	Factor	I	%	II	%	III	%	IV	%	V	%
1	Impacto de la reducción Fuerza Laboral	5	16.7 %	7	23.3 %	4	13.3 %	2	6.7 %	2	6.7 %
2	Nivel cualificación laboral requerido	1	3.3 %	2	6.7 %	3	10.0 %	11	36.7 %	3	10.0 %
3	Costo mano obra en Terreno	7	23.3 %	5	16.7 %	4	13.3 %	3	10.0 %	1	3.3 %
4	Disponibilidad de equipos de carga	2	6.7 %	4	13.3 %	4	13.3 %	1	3.3 %	9	30.0 %
5	Impacto en la productividad	5	16.7 %	2	6.7 %	5	16.7 %	3	10.0 %	5	16.7 %
	Total	20									

Tabla E.5: Respuestas Pregunta 18*Fuente:* Elaboración propia

i	Factor	I	%	II	%	III	%	IV	%	V	%	VI	%
1	Modo de transporte y restricciones	6	30 %	6	30 %	3	15 %	3	15 %	1	5 %	1	5 %
2	Complejidad en el acceso en el sitio	7	35 %	7	35 %	1	5 %	3	15 %	2	10 %	0	0 %
3	Condiciones Climáticas existentes del sitio	5	25 %	2	10 %	7	35 %	3	15 %	1	5 %	2	10 %
4	Disponibilidad de equipos de transporte	1	5 %	4	20 %	4	20 %	4	20 %	6	30 %	1	5 %
5	Disponibilidad de materiales	1	5 %	0	0 %	2	10 %	2	10 %	4	20 %	11	55 %
6	Disponibilidad de equipos de construcción	0	0 %	1	5 %	3	15 %	5	25 %	6	30 %	5	25 %
	Total	20											

Tabla E.6: Respuestas Pregunta 19*Fuente: Elaboración propia*

i	Factor	I	%	II	%	III	%	IV	%	V	%
1	Existencia de restricciones locales/sociales	6	20.0 %	3	10.0 %	2	6.7 %	1	3.3 %	8	26.7 %
2	Receptividad por parte del cliente a la modularización	3	10.0 %	9	30.0 %	5	16.7 %	0	0.0 %	3	10.0 %
3	Disposición de realizar estudio de modularización	5	16.7 %	3	10.0 %	5	16.7 %	6	20.0 %	1	3.3 %
4	Comprensión de los candidatos a modularizar	1	3.3 %	2	6.7 %	6	20.0 %	8	26.7 %	3	10.0 %
5	Disposición a desarrollar ingeniería para la modularización	5	16.7 %	3	10.0 %	2	6.7 %	5	16.7 %	5	16.7 %
	Total	20									

Tabla E.7: Respuestas Pregunta 20*Fuente: Elaboración propia*

i	Factor	I	%	II	%	III	%	IV	%	V	%
1	Impacto de la reducción Fuerza Laboral	5	16.7 %	7	23.3 %	4	13.3 %	2	6.7 %	2	6.7 %
2	Nivel cualificación laboral requerido	1	3.3 %	2	6.7 %	3	10.0 %	11	36.7 %	3	10.0 %
3	Costo mano obra en Terreno	7	23.3 %	5	16.7 %	4	13.3 %	3	10.0 %	1	3.3 %
4	Disponibilidad de equipos de carga	2	6.7 %	4	13.3 %	4	13.3 %	1	3.3 %	9	30.0 %
5	Impacto en la productividad	5	16.7 %	2	6.7 %	5	16.7 %	3	10.0 %	5	16.7 %
	Total	20									

Tabla E.8: Respuestas Pregunta 21

Fuente: Elaboración propia

F. Proyecto A: Evaluación PPMOF Nivel II

Factor: Programa	Description	N/A	Pro Field Erect	-2	Neutral	+2	Pro PPMOF
			-5				+5
1.1 Horarios reducidos	El trabajo previo puede comprimir el programa a través de actividades paralelas y mayores tasas de productividad en el taller.	☐	☐	☐	☐	☐	☒
1.2 Paradas planificadas y interrupciones	Maximizar el montaje y la verificación antes de la construcción tiene el potencial de reducir el tiempo de parada.	☒	☐	☐	☐	☐	☐
1.3 Decisiones comerciales tardías	El trabajo previo tiene el potencial de comprimir el cronograma de instalación al utilizar una mayor productividad en el taller y múltiples sitios de fabricación, lo que permite posponer las decisiones comerciales finales relacionadas con el lanzamiento de un producto al mercado.	☐	☐	☐	☐	☐	☒
1.4 Beneficios de inicio temprano	La compresión programada resultante de múltiples sitios de trabajo y el aumento de la productividad en sitios remotos, junto con la verificación del rendimiento del equipo antes de la instalación, puede resultar en una curva de aprendizaje de inicio más corta.	☐	☐	☒	☐	☐	☐
1.5 Calendario de permisos ambientales u permisos de otros proyectos.	El trabajo previo puede permitir que el trabajo comience fuera del sitio mientras se procesan los permisos del sitio (se debe tener precaución debido a la posibilidad de que se rechace la solicitud de permiso)	☐	☐	☒	☐	☐	☐
1.6 Limitaciones de tiempo relacionadas con el envío y transporte.	Las ubicaciones de los proyectos pueden dictar o limitar la capacidad de enviar, recibir o instalar elementos. Los envíos previos al trabajo pueden requerir la sincronización con las ventanas de envío o transporte y pueden restringirse si se pierde la ventana de envío.	☐	☐	☐	☒	☐	☐
1.7 Equipos o materiales con largos plazos de entrega.	Los elementos de plazos largos de entrega pueden afectar el programa independientemente del nivel de trabajo previo. Dichos elementos también pueden controlar el nivel y el alcance del trabajo previo.	☒	☐	☐	☐	☐	☐
1.8 Riesgos asociados a penalizaciones de horarios.	Al reducir los riesgos de horarios asociados con el clima o las condiciones laborales, el trabajo previo puede limitar el riesgo de penalizaciones de horarios.	☐	☐	☐	☐	☒	☐
1.9 Recompensas por la finalización temprana del proyecto	La compresión de la programación y / o la reducción en la variación de la programación a través del trabajo previo pueden brindar oportunidades de incentivos, si están disponibles.	☐	☐	☐	☐	☒	☐
1.10 Requisitos para llevar el producto al mercado rápidamente	El trabajo previo puede ser capaz de reducir el tiempo de comercialización a través de mejores tasas de productividad en la tienda y mediante actividades de desequencing. Esto puede permitir que los productos lleguen al mercado antes.	☒	☐	☐	☐	☐	☐

Figura F.1: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Programa

Fuente: Elaboración propia

Factor: Costos	Description		Pro Field Erect		Neutral		Pro PPMOF
		N/A	-5	-2	0	+2	+5
2.1 Control general de costos del proyecto	Las características del trabajo previo pueden proporcionar un control de costos más estricto (la capacidad de pronosticar con mayor precisión y cumplir con las proyecciones de costos al limitar la variabilidad debido al clima, la mano de obra, etc.)	☐	☐	☐	☐	☐	☒
2.2 Flujos de efectivo generales del proyecto	El trabajo previo tiene el potencial de proporcionar más opciones para el flujo de caja, ya que el trabajo puede completarse antes o retrasarse sin afectar los objetivos.	☐	☐	☐	☐	☒	☐
2.3 Disminución en de costos indirectos asociados al montaje	La reducción del calendario mediante el uso de trabajos previos podría permitir ahorros por disminución en costos indirectos por termino anticipado.	☐	☐	☐	☐	☐	☒
2.4 Valor de reutilización futura	Los aspectos previos al trabajo de un proyecto pueden diseñarse para su recuperación o reutilización.	☒	☐	☐	☐	☐	☐
2.5 Factores económicos locales específicos.	Al reubicar el trabajo fuera del sitio a través del trabajo previo, se pueden evitar los factores económicos locales adversos.	☐	☐	☐	☐	☐	☒

Figura F.2: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Costos

Fuente: Elaboración propia

Factor: Mano de Obra	Description	N/A	Pro Field Erect -5	-2	Neutral 0	+2	Pro PPMOF +5
3.1 Productividad laboral	Las tasas de productividad laboral antes del trabajo son potencialmente más altas debido a factores tales como las condiciones de la fábrica. Hay muchos casos en los que las tasas salariales de los talleres para el pretrabajo son significativamente más bajas debido a las múltiples variables.	☐	☐	☐	☐	☐	☐
3.2 Requisitos de densidad de mano de obra total o máxima (cantidad de trabajadores)	El pretrabajo puede reubicar el trabajo en un área con una mayor disponibilidad de mano de obra o espacio de trabajo. La reducción de la densidad de trabajadores in situ puede proporcionar oportunidades de mejora de la productividad.	☐	☐	☐	☐	☐	☒
3.3 Disponibilidad de mano de obra local, regional o nacional	El pretrabajo puede reubicar el trabajo lejos de situaciones laborales adversas a nivel local, regional o nacional.	☐	☐	☐	☐	☐	☒
3.4 Disponibilidad de mano de obra calificada	El pretrabajo puede trasladar el trabajo crítico a lugares donde se dispone de mano de obra calificada adecuada.	☐	☐	☐	☐	☒	☐
3.5 Requisitos específicos del proyecto, como licencias para artesanos.	En los proyectos en los que se requiere la presencia de artesanos con licencia, el pretrabajo puede ser una alternativa económica para traer a los trabajadores con licencia al lugar de trabajo.	☐	☐	☐	☐	☒	☐
3.6 Acuerdos laborales o cuestiones jurisdiccionales	Los acuerdos laborales o los asuntos jurisdiccionales pueden limitar la cantidad de trabajo transferido fuera del sitio. El trabajo previo puede ser restringido o antieconómico basado en incentivos fiscales locales, condiciones preexistentes que requieren el uso de mano de obra local, acuerdos laborales artesanales u otros.	☒	☐	☐	☐	☐	☐
3.7 Suficiencia de mano de obra en un entorno de proyectos múltiples	Dada una compañía con múltiples proyectos que se derivan de una mano de obra, el trabajo previo puede ayudar a aliviar las tensiones laborales en otros proyectos de la compañía.	☒	☐	☐	☐	☐	☐
3.8 Estabilidad de los costes laborales	El trabajo puede ser reubicado a través del pretrabajo en áreas con menor volatilidad laboral.	☐	☐	☐	☐	☐	☒
3.9 Consideraciones políticas locales/regionales	Porcentaje de trabajo garantizado a la mano de obra local para asegurar un apoyo político favorable o para el alivio de impuestos.	☐	☐	☒	☐	☐	☐
3.10 Múltiples turnos de trabajadores de la construcción	La mano de obra en el sitio que requiere múltiples turnos puede ser reubicada fuera del sitio a través de pretrabajo para reducir las disminuciones de productividad debido al trabajo por turnos.	☐	☐	☐	☐	☐	☒

Figura F.3: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Mano de Obra

Fuente: Elaboración propia

Factor: Seguridad	Description	N/A	Pro Field Erect			Neutral		Pro PPHOF
			-5	-2	0	+2	+5	
4.1 Riesgos inusuales en el lugar o regionales	El trabajo fuera del sitio puede minimizar el trabajo necesario en áreas peligrosas y reducir los costos de protección de los trabajadores durante los métodos de trabajo tradicionales.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
4.2 Operaciones en curso de las instalaciones	La reducción del número de trabajadores y tipos de embarcaciones puede reducir el impacto en las operaciones en curso.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
4.3 Densidad de mano de obra in situ	La reducción del número de trabajadores y tipos de embarcaciones puede reducir la exposición a los peligros.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
4.4 Mayor riesgo por elevaciones elevadas, espacios confinados, atmósferas tóxicas conocidas, etc.	El trabajo previo puede reducir la exposición de los trabajadores en áreas tales como elevaciones altas, ambientes húmedos o resbaladizos, o zanjas. El uso del pretrabajo tiene el potencial de llevar una mayor porción de trabajo a un ambiente controlado a nivel del suelo.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
4.5 Incentivos monetarios contractuales para mejorar la seguridad de los proyectos	La reducción de la exposición al peligro a través del trabajo previo puede proporcionar una mayor oportunidad de obtener incentivos monetarios asociados con la seguridad.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
4.6 Reducción de los costes de seguro	La reducción de la exposición a través del pretrabajo puede justificar la reducción de los costes de seguro.	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐
4.7 Levantamiento de cargas pesadas	Los trabajos previos pueden implicar elevaciones más grandes, lo que requiere una mayor planificación de la seguridad.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
4.8 Requisitos reglamentarios	Los requisitos reglamentarios de seguridad para el personal de la obra pueden reducirse si el trabajo se traslada a áreas con menos requisitos.	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐

Figura F.4: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Seguridad

Fuente: Elaboración propia

Factor: Atributos del Sitio	Description	N/A	Pro Field Erect			Neutral		Pro PPHOF
			-5	-2	0	+2	+5	
5.1 Condiciones meteorológicas previstas en el lugar de la obra	El trabajo previo se puede realizar en lugares remotos donde el clima es más predecible o controlado.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
5.2 Cuestiones políticas	Los trabajos previos pueden ser reubicados en áreas con climas políticos más favorables.	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐
5.3 Restricciones medioambientales	El pretrabajo puede mover algunas obras fuera de la parcela o fuera de ella, donde los métodos tradicionales requerirían consideraciones adicionales debido a las restricciones ambientales.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
5.4 Infraestructura local para apoyar el proyecto	El pretrabajo puede reubicar las actividades en lugares donde hay una infraestructura adecuada, como suministros, vendedores, viviendas u hoteles, y suministro de energía.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
5.5 Derechos de paso y límites de propiedad	El sitio debe ser revisado para detectar cualquier área que pueda restringir el transporte de los trabajos previos al área de instalación.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
5.6 Espacio de instalación y puesta en escena en la obra	Los trabajos previos, como el premontaje, requieren espacio adicional para el montaje y la preparación para la instalación.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
5.7 Acceso a la obra y en el lugar de trabajo	Se debe asignar espacio para el equipo de montaje e instalación necesario para el trabajo previo.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
5.8 Ubicaciones remotas con una infraestructura mínima	El trabajo previo puede reducir la necesidad de establecer la infraestructura del sitio al reducir el tamaño y la duración de la mano de obra en el sitio.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Figura F.5: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Atributos del Sitio

Fuente: Elaboración propia

Factor: Sistemas Mecánicos	Description	N/A	Pro Field Erect	-5	-2	Neutral 0	+2	Pro PPMOF +5
6.1 Densidad mecánica del sistema (cantidad de elementos instalados en un espacio determinado)	Las eficiencias en el diseño y el control de calidad se pueden lograr a través del pretrabajo de proyectos intensos de tuberías.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
6.2 Agrupación o disposición de sistemas mecánicos	Agrupar el equipo en premontajes o módulos puede proporcionar ventajas para la eficiencia de la construcción o la mantenibilidad.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
6.3 Requisitos de mantenimiento de la instalación	El diseño previo a la obra puede tener en cuenta los requisitos de mantenimiento siempre y cuando la información esté disponible en el momento del diseño.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
6.4 Tamaño del equipo de montaje	Los tamaños de los equipos de menos de 14 pies ofrecen la oportunidad de maximizar las ventajas de la fase previa al trabajo, al tiempo que se ajustan a la mayoría de los sobres de envío. Los proyectos con equipos más grandes pueden beneficiarse de un trabajo previo parcial.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
6.5 Métodos especiales de ensamblaje de materiales (soldadura de aleaciones, etc.)	Condiciones de taller proporcionadas por algunas formas de pretrabajo.	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐
6.6 Requisitos especiales de montaje como, por ejemplo, las condiciones de una "sala blanca"	Algunos equipos sensibles pueden preensamblarse y verificarse en un entorno controlado, lo que reduce los riesgos de daño o exposición.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
6.7 Densidad del sistema eléctrico	Los diseños previos a la obra pueden ayudar a consolidar los sistemas eléctricos de alta densidad.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
6.8 Requisitos de encaminamiento del sistema eléctrico	Los extensos requisitos de enrutamiento pueden requerir un diseño adicional para el cableado de módulos cruzados, lo que aumenta los costos de diseño y los requisitos de ajuste.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐

Figura F.6: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Sistemas Mecánicos

Fuente: Elaboración propia

Factor: Proyecto y Tipo contrato	Description	N/A	Pro Field Erect	-5	-2	Neutral 0	+2	Pro PPMOF +5
7.1 Replicación en otros proyectos	El trabajo previo se realiza a menudo en estructuras repetibles que se ajustan a los sobres de transporte. El resultado es un producto final que puede proporcionar diseños actualizables o flexibles.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
7.2 Protección de tecnologías o métodos patentados	El pretrabajo se puede llevar a cabo en lugares seguros donde se pueden ensamblar y proteger los artículos de propiedad exclusiva.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
7.3 Objetivos del proyecto que incluyen incentivos financieros	Los beneficios en cuanto a plazos, costes y seguridad que se derivan de la fase previa al trabajo podrían ofrecer oportunidades para maximizar los incentivos.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
7.4 Flexibilidad del proveedor/contratista para proporcionar una instalación que cumpla con los requisitos de rendimiento del propietario.	Permitir que el proveedor/contratista de trabajos previos tenga flexibilidad en el diseño puede mejorar el rendimiento del proyecto.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

Figura F.7: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Proyecto y Tipo de contrato

Fuente: Elaboración propia

Factor: Diseño	Description	N/A	Pro Field Erect	-5	-2	Neutral 0	+2	Pro PPMOF +5
8.1 Disponibilidad de los miembros clave del equipo del proyecto en las primeras etapas del desarrollo del proyecto	El trabajo previo requiere la participación temprana de muchas partes, incluidos el cliente, el diseñador y los representantes de la construcción.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
8.2 Requisito de "congelación" precoz del diseño	Muchos tipos de trabajo previo a la obra requieren un cierto nivel de congelación del diseño antes de la fabricación para cumplir con los requisitos de transporte.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
8.3 Proyecto y/o estructura organizativa del Propietario	Los participantes en el proyecto que no tengan experiencia o no estén bien informados pueden requerir una sesión informativa sobre las características, los beneficios y los requisitos previos al trabajo.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
8.4 Disponibilidad de tecnología de diseño 3D CAD o similar	Algunos diseños complejos para pretrabajo se benefician de la capacidad de diseñar con CAD 3D.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
8.5 Infraestructura (hardware y software) para comunicaciones	Una mayor coordinación e intercambio de información necesaria para el trabajo previo puede beneficiarse de las conexiones a Internet entre los participantes.	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐
8.6 Compatibilidad de software para el diseño y la comunicación	La comunicación entre múltiples lugares de trabajo, como los talleres de fabricación, puede requerir actualizaciones en el diseño y la tecnología de comunicación para asegurar la compatibilidad.	☒	☐	☐	☐	☐	☐	☐
8.7 Flexibilidad para adaptarse a modificaciones o ampliaciones	Los elementos de pretrabajo pueden ser diseñados para duplicación o expansión. El pretrabajo también puede diseñarse para facilitar la modificación, lo que proporciona flexibilidad a la planta o a la fabricación.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐

Figura F.8: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Diseño

Fuente: Elaboración propia

Factor: Transporte y Req Izaje	Description	N/A	Pro Field Erect	-5	-2	Neutral 0	+2	Pro PPMOF +5
9.1 Disponibilidad de medios de transporte	Se requerirán transportadores adecuados de camiones, rieles o barcasas, dependiendo del tamaño y peso de los elementos de pretrabajo.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
9.2 Costos de transporte local	El envío previo al trabajo puede implicar tarifas u otros costos asociados con la ubicación o la ruta de transporte.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
9.3 Infraestructura de transporte	Las rutas de transporte deben ser evaluadas para manejar los envíos propuestos (restricciones de altura y peso de carreteras y puentes).	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
9.4 Permisos	Algunas áreas requieren permisos para cargas de ciertos tamaños y pesos. Se deben obtener permisos para hacer posible el transporte.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
9.5 Riesgos de pérdida durante el transporte	El trabajo previo puede incluir ensamblajes más grandes y aumentar el valor de los envíos individuales.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
9.6 Impactos de las condiciones meteorológicas	Las condiciones climáticas pueden dictar ventanas de envío o métodos de transporte antes del trabajo.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
9.7 Seguros y garantías durante el transporte	Los grandes envíos antes del trabajo pueden conllevar una cobertura de seguro significativamente más alta. También se deben considerar las garantías de los proveedores para los trabajos previos.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐
9.8 Disponibilidad de equipos de elevación y transporte	El trabajo previo puede reducir la duración del equipo en el sitio. Sin embargo, los ensamblajes más grandes o pesados pueden requerir soporte de equipo adicional durante la instalación. La ubicación del sitio y la disponibilidad del equipo pueden afectar el alcance del trabajo previo.	☐	☐	☐	☐	☐	☒	☐
9.9 Cimientos necesarios para los elementos previos al trabajo	Los trabajos previos pueden requerir menos o más cimientos que los métodos convencionales, dependiendo del tipo y alcance del trabajo.	☐	☐	☐	☐	☒	☐	☐
9.10 Heavy lifts y planificación relacionada	Los trabajos previos de gran envergadura y complejidad pueden requerir una planificación adicional en el caso de cargas pesadas o de gran tamaño.	☐	☐	☒	☐	☐	☐	☐

Figura F.9: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Transporte e Izaje

Fuente: Elaboración propia

Factor: Proveedores	Description	N/A	Pro	Field	Erect	Neutral	+2	Pro
			-5	-2	0			PPMOF
10.1 Disponibilidad de los proveedores	La disponibilidad de los proveedores puede afectar a los plazos de entrega de los productos (mientras que los problemas de entrega de los proveedores de componentes in situ pueden provocar problemas de pretrabajo, los problemas de entrega de los proveedores de pretrabajo pueden ser un impedimento).	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
10.2 Disponibilidad de proveedores calificados	Los requisitos de los proveedores de pretrabajo pueden incluir ciertas certificaciones o niveles de calidad.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
10.3 Capacidad de la tienda del proveedor	Las características de producción, experiencia y calidad de un proveedor pueden dictar el alcance del trabajo previo.	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐
10.4 Nivel de sofisticación de los sistemas de información del proveedor	Los proyectos previos al trabajo generalmente requieren una mayor coordinación y comunicación entre los participantes del proyecto. El uso de transferencia electrónica de archivos, correo electrónico, CAD en 3D y otros recursos electrónicos pueden ser requisitos para ciertos tipos de trabajos previos.	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☒
10.5 Disponibilidad del proveedor de representación in situ	La representación de los proveedores puede ser necesaria durante la instalación, inspección u otros aspectos del proyecto.	☐	☐	☐	☒	☐	☐	☐

Figura F.10: Proyecto A: Evaluación Nivel II - Capacidad Proveedores

Fuente: Elaboración propia

G. Proyecto A - Sistema Piperack: Evaluación PPMOF

G.1. Costos Directos - Materiales

Categoría	Descripción	Unit	Qty	Observaciones
General	Supervisión Calidad + Expediting + Preparación Despacho	t	800.0	
General	Identificación de Módulos	t	800.0	
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	t	80.0	10 % · Σ Peso Diseño
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	t	440.0	55 % · Σ Peso Diseño
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	t	360.0	45 % · Σ Peso Diseño
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	t	-	
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	t	-	
Steel Supply	Acero Adicional por Modularizar y Transporte	t	120.0	15 % · Σ Peso Diseño

Tabla G.1: Detalle Cantidades Acero de Candidato a PPMOF

Fuente: Elaboración propia en base a CAPEX

Categoría	Descripción	Unit	Qty
Pipe Supply	Piping Soportes e instalación	t	150.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, <2.5"	m	1,520.0
Pipe Supply	Spool Pipe, HDPE, <2.5"	m	-
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 2.5-4"	m	3,056.2
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 6-8"	m	982.4
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 10-14"	m	216.4
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 16-24"	m	953.1
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 26-48"	m	425.5
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 50"& >	m	82.8
Valves Supply	Lg Valve >2.5"	Un.	1,968.0
Valves Supply	Fire Protection	lote	1.0
Cable Tray Supply	Cable Tray	m	1,800.0
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 600mm	m	2,800.0
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 900mm	m	1,800.0
Cable Tray Supply	Cable Tray- Chancel, Tray, Bajada	m	480.0
Cable Tray Supply	Cable Tray Cover, Galvanized Steel 600mm	m	4,600.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, Rigid Steel	m	3,195.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC	m	5,550.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC 6"	m	2,000.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, fuerzas debiles	m	2,325.0

Tabla G.2: Detalle Cantidades Candidato a PPMOF*Fuente:* Elaboración propia en base a CAPEX

Categoría	Descripción	Unit	Qty
Eng. Services	Estudio Transporte y carga Módulos	t	800.0
Eng. Services	Steel detailing	t	800.0
Eng. Services	Revisión Sísmica	t	800.0
Eng. Services	Coordinación Interdisciplinaria	HH	160.0
Eng. Services	Planos y Documentos adicionales por modularización	t	800.0
PPMOF Services	Soporte en Terreno Proveedor Modularización	día	30.0
PPMOF Services	Bulks materials instalation (pipes and cable tray)	t	800.0

Tabla G.3: Servicios adicionales por PPMOF*Fuente:* Elaboración propia en base a CAPEX

Categoría	Descripción	Unidad	Precio Unitario Stick Built
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	US\$/t	2,834
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	US\$/t	2,528
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	US\$/t	2,362
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	US\$/t	2,025
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	US\$/t	1,958
Steel Supply	Acero Adicional por Modularizar y Transporte	US\$/t	-
Pipe Support Supply	Piping Soportes e instalación	US\$/t	709
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, <2.5"	US\$/m	55
Pipe Supply	Spool Pipe, HDPE, <2.5"	US\$/m	55
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 2.5-4"	US\$/m	67
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 6-8"	US\$/m	204
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 10-14"	US\$/m	367
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 16-24"	US\$/m	595
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 26-36"	US\$/m	1,386
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 48"& >	US\$/m	3,184
Valves Supply	Lg Valve >2.5"	US\$/Un.	54
Pipe Supply	Fire Protection	US\$/lote	3,176
Cable Tray Supply	Cable Tray	US\$/m	56
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 600mm	US\$/m	56
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 900mm	US\$/m	56
Cable Tray Supply	Cable Tray- Chanel, Tray, Bajada	US\$/m	56
Cable Tray Supply	Cable Tray Cover, Galvanized Steel 600mm	US\$/m	56
Cable Tray Supply	Conduit Supports, Rigid Steel	US\$/m	17
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC	US\$/m	18
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC 6"	US\$/m	18
Cable Tray Supply	Conduit Supports, fuerzas debiles	US\$/m	6

Tabla G.4: Tasas de Costo para Stick Built*Fuente:* Elaboración propia en base a CAPEX

Categoría	Descripción	Unidad	Precio Unitario PPMOF
General	Supervisión Calidad + Expediting + Preparación Despacho	US\$/t	120.0
General	Identificación de Módulos	US\$/t	73.0
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	US\$/t	2,735.0
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	US\$/t	2,440.0
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	US\$/t	2,464.0
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	US\$/t	1,995.0
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	US\$/t	1,814.0
Steel Supply	Acero Adicional por Modularizar y Transporte	US\$/t	2,290.0
Pipe Support Supply	Piping Soportes e instalación	US\$/t	3,706.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, <2.5"	US\$/m	55.0
Pipe Supply	Spool Pipe, HDPE, <2.5"	US\$/m	55.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 2.5-4"	US\$/m	67.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 6-8"	US\$/m	204.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 10-14"	US\$/m	367.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 16-24"	US\$/m	595.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 26-36"	US\$/m	1,386.0
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 48" & >	US\$/m	3,184.0
Valves Supply	Lg Valve >2.5"	US\$/Un.	54.0
Pipe Supply	Fire Protection	US\$/lote	3,176.0
Cable Tray Supply	Cable Tray	US\$/m	56.0
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 600mm	US\$/m	56.0
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 900mm	US\$/m	56.0
Cable Tray Supply	Cable Tray- Chancel, Tray, Bajada	US\$/m	56.0
Cable Tray Supply	Cable Tray Cover, Galvanized Steel 600mm	US\$/m	56.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, Rigid Steel	US\$/m	17.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC	US\$/m	18.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC 6"	US\$/m	18.0
Cable Tray Supply	Conduit Supports, fuerzas débiles	US\$/m	6.0
Engineering Services	Estudio Transporte y carga Módulos	US\$/t	47.0
Engineering Services	Steel detailing	US\$/t	206.0
Engineering Services	Revisión Sísmica	US\$/t	75.0
Engineering Services	Coordinación Interdisciplinaria	US\$/HH	47.0
Engineering Services	Planos y Documentos adicionales por PPMOF	US\$/t	94.0
Modularization Services	Soporte en Terreno Proveedor Modularización	US\$/día	250.0
Modularization Services	Bulks materials instalation (pipes and cable tray)	US\$/t	1,276.6

Tabla G.5: Tasas de Costo para PPMOF*Fuente:* Elaboración propia en base a cotización presupuestaria

Categoría	Descripción	Costo Suministro Stick Built
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	\$ 226,720
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	\$ 1,112,320
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	\$ 850,320
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	\$ -
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	\$ -
Pipe Support Supply	Piping Soportes e instalación	\$ 106,305
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, <2.5"	\$ 83,612
Pipe Supply	Spool Pipe, HDPE, <2.5"	\$ -
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 2.5-4"	\$ 204,765
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 6-8"	\$ 200,408
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 10-14"	\$ 79,433
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 16-24"	\$ 567,100
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 26-36"	\$ 589,757
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 48"& >	\$ 263,635
Valves Supply	Lg Valve >2.5"	\$ 106,272
Pipe Supply	Fire Protection	\$ 3,176
Cable Tray Supply	Cable Tray	\$ 100,800
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 600mm	\$ 156,800
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 900mm	\$ 100,800
Cable Tray Supply	Cable Tray- Chancel, Tray, Bajada	\$ 26,880
Cable Tray Supply	Cable Tray Cover, Galvanized Steel 600mm	\$ 257,600
Cable Tray Supply	Conduit Supports, Rigid Steel	\$ 54,315
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC	\$ 99,900
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC 6"	\$ 36,000
Cable Tray Supply	Conduit Supports, fuerzas débiles	\$ 13,950

Tabla G.6: Costo Suministro para Stick Built*Fuente:* Elaboración propia en base a cotización presupuestaria

Categoría	Descripción	Costo Suministro PPMOF
General	Supervisión Calidad + Expediting + Preparación Despacho	\$ 96,000
General	Identificación de Módulos	\$ 58,400
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	\$ 218,800
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	\$ 1,073,600
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	\$ 887,040
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	\$ -
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	\$ -
Steel Supply	Acero Adicional por Modularizar y Transporte	\$ 274,800
Pipe Support Supply	Piping Soportes e instalación	\$ 555,900
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, <2.5"	\$ 83,612
Pipe Supply	Spool Pipe, HDPE, <2.5"	\$ -
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 2.5-4"	\$ 204,765
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 6-8"	\$ 200,408
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 10-14"	\$ 79,433
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 16-24"	\$ 567,100
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 26-36"	\$ 589,757
Pipe Supply	Spool Pipe, CS, 48" & >	\$ 263,635
Valves Supply	Lg Valve >2.5"	\$ 106,272
Pipe Supply	Fire Protection	\$ 3,176
Cable Tray Supply	Cable Tray	\$ 100,800
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 600mm	\$ 156,800
Cable Tray Supply	Cable Tray Ladder, Galvanized Steel 900mm	\$ 100,800
Cable Tray Supply	Cable Tray- Chancel, Tray, Bajada	\$ 26,880
Cable Tray Supply	Cable Tray Cover, Galvanized Steel 600mm	\$ 257,600
Cable Tray Supply	Conduit Supports, Rigid Steel	\$ 54,315
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC	\$ 99,900
Cable Tray Supply	Conduit Supports, PVC 6"	\$ 36,000
Cable Tray Supply	Conduit Supports, fuerzas débiles	\$ 13,950
Engineering Services	Estudio Transporte y carga Módulos	\$ 37,600
Engineering Services	Steel detailing	\$ 164,800
Engineering Services	Revisión Sismica	\$ 60,000
Engineering Services	Coordinación Interdisciplinaria	\$ 7,520
Engineering Services	Planos y Documentos adicionales por modularización	\$ 75,200
Modularization Services	Soporte en Terreno Proveedor Modularización	\$ 7,500
Modularization Services	Bulks materials instalation (pipes and cable tray)	\$ 1,021,290

Tabla G.7: Costo Suministro para PPMOF*Fuente:* Elaboración propia en base a cotización presupuestaria

G.2. Costos Directos - Instalación

Suministro	Qty [ton]	Rate Instalación [HH/ton]	HH Instalación [HH]	Rate Costo [\$/HH]	Costo [\$]
Structural Steel - Conexiones	80	495	39,600	11.28	\$ 446,688
Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	400	124	54,560	11.28	\$ 615,437
Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	320	62	22,320	11.28	\$ 251,770
Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	-	31	-	11.28	-
Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	-	25	-	11.28	-
Total instalación - Stick Built	880		116,480		\$ 1,313,894

Tabla G.8: Costos directos - Instalación Estructura*Fuente:* Elaboración propia en base a CAPEX

Diámetro [in]	Qty [ml]	Rate Inst. [HH/ml]	HH Inst. [HH]	Rate Costo [\$/HH]	Costo [\$]
Piping < 2"	1,520	7	10,641	12.4	\$ 131,954
Piping 3"	2,130	7	14,909	12.4	\$ 184,883
Piping 4"	926	7	6,483	12.4	\$ 80,395
Piping 6"	807	11	8,879	12.4	\$ 110,112
Piping 8"	175	11	1,926	12.4	\$ 23,886
Piping 10"	51	11	557	12.4	\$ 6,910
Piping 12"	156	11	1,718	12.4	\$ 21,315
Piping 14"	10	12	114	12.4	\$ 1,415
Piping 16"	44	13	568	12.4	\$ 7,046
Piping 18"	359	15	5,380	12.4	\$ 66,718
Piping 20"	551	15	8,260	12.4	\$ 102,430
Piping 26"	158	15	2,376	12.4	\$ 29,470
Piping 30"	93	24	2,222	12.4	\$ 27,558
Piping 36"	174	24	4,187	12.4	\$ 51,922
Piping 48"	56	29	1,629	12.4	\$ 20,202
Piping 60"	27	29	771	12.4	\$ 9,573
Total	7,237		70,628	\$	875,790

Tabla G.9: Costos directos - Instalación Piping*Fuente:* Elaboración propia en base a CAPEX

G.3. Módulos para transporte - Piperack

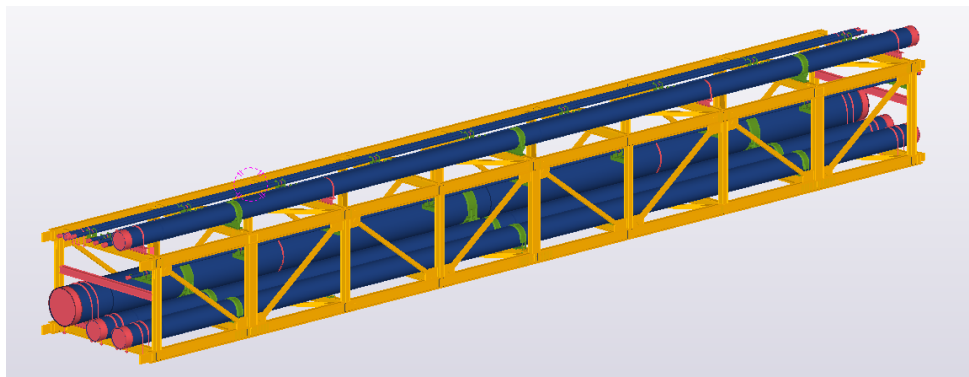
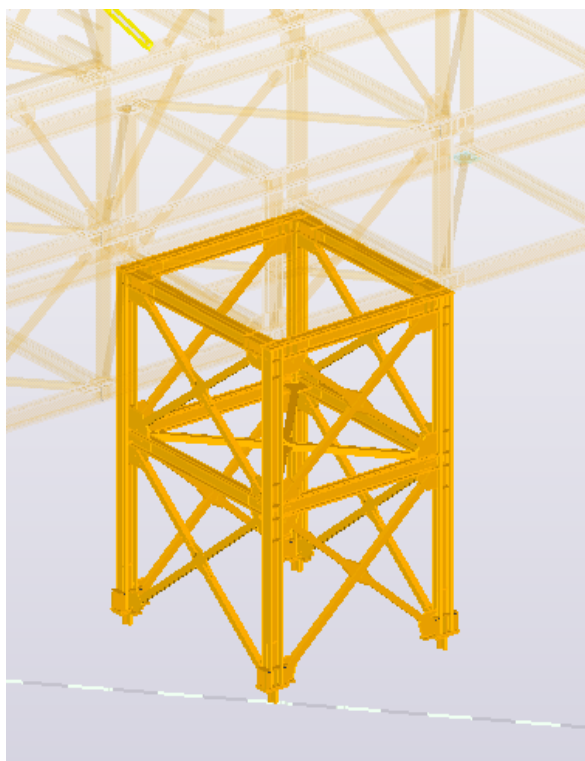
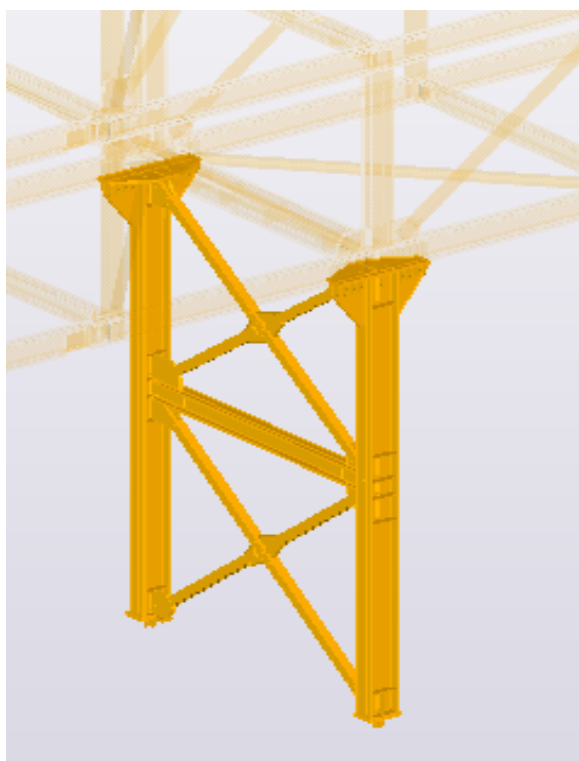


Figura G.1: Módulo tipo 1 - Modularización con piping

Fuente: Elaboración propia



(a) Módulo tipo 2



(b) Módulo tipo 3

Figura G.2: Modularización / Prearmados

Fuente: Elaboración propia

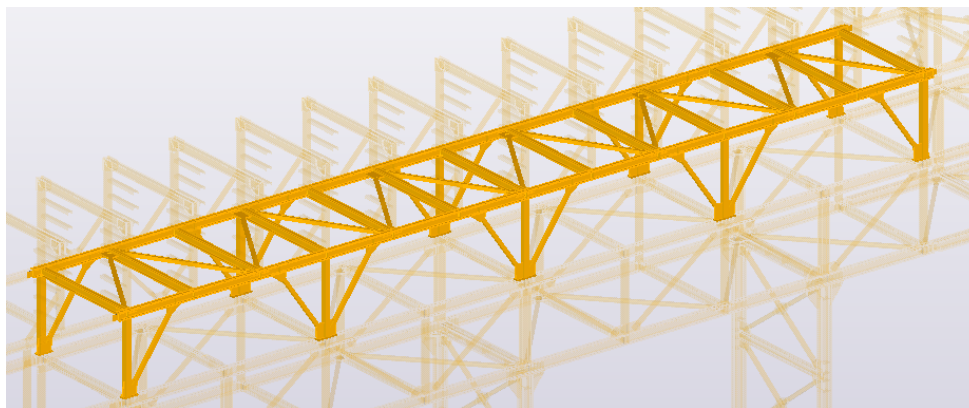
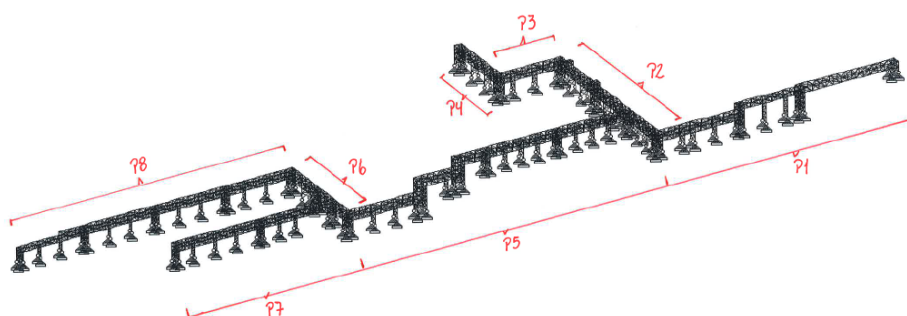
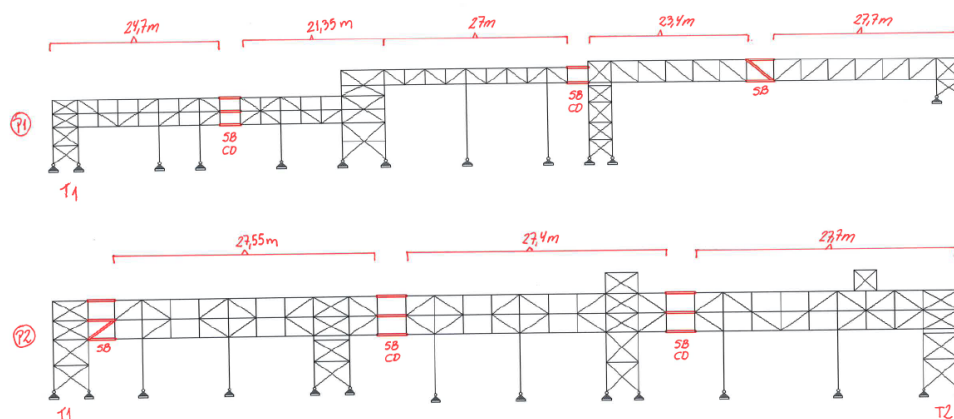


Figura G.3: Módulo tipo 4 - Modularización para soportes eléctricos

Fuente: Elaboración propia



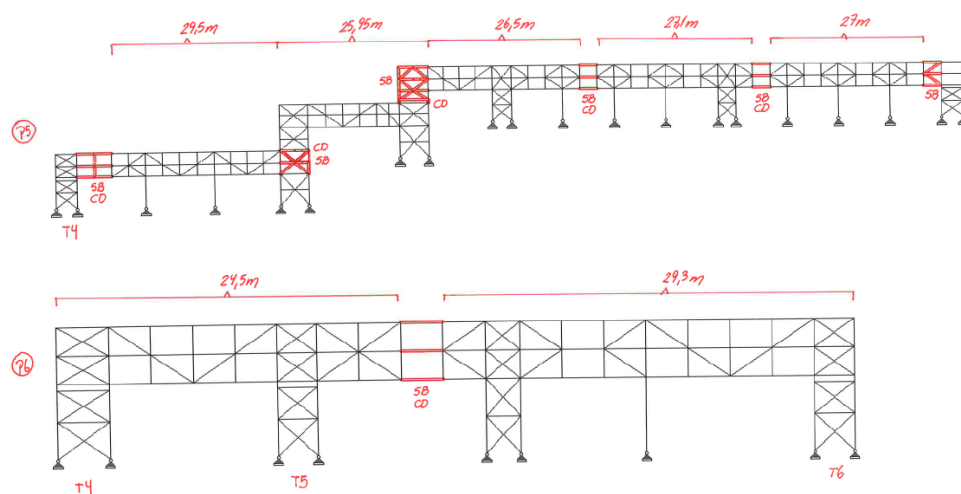
(a) Esquema Isométrico



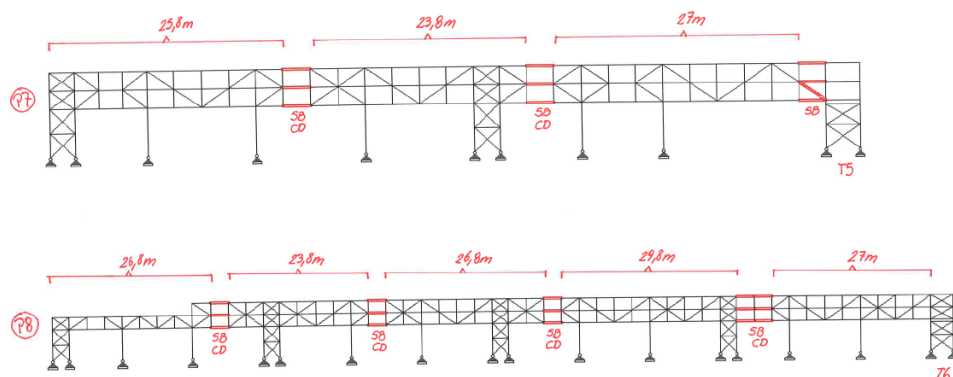
(b) Esquema #1

Figura G.4: Modularización / Prearmados - Isométrico y Esquema #1

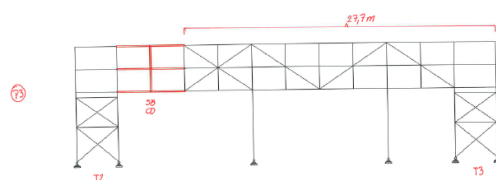
Fuente: Elaboración propia



(a) Esquema #2



(b) Esquema #3



(c) Esquema #4

Figura G.5: Modularización / Prearmados - Esquemas #2 @ #4

Fuente: Elaboración propia

H. Proyecto A - Sistema Stacker: Evaluación PPMOF

H.1. Costos Directos - Materiales

Categoría	Descripción	Costo Taller PPMOF	
General	Supervisión Calidad + Expediting + Despacho	\$	80,451
General	Identificación de Módulos	\$	48,941
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	\$	183,361
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	\$	191,530
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	\$	191,254
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	\$	223,040
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	\$	730,153
Steel Supply	Acero Adicional por Modularizar y Transporte	\$	153,527
Eng. Services	Estudio Transporte y carga Módulos	\$	31,510
Eng. Services	Steel detailing	\$	138,108
Eng. Services	Revisión Sismica	\$	50,282
Eng. Services	Coordinación Interdisciplinaria	\$	6,302
Eng. Services	Planos y Documentos adicionales por PPMOF	\$	63,020
PPMOF Services	Soporte en Terreno Proveedor Modularización	\$	7,500
PPMOF Services	Bulks materials instalation	\$	855,873
Total Costo Materiales:		\$	2,954,852

Tabla H.1: Costos directos Materiales Stick Built - Stacker

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones presupuestarias

Categoría	Descripción	Precio Stick Built	
Steel Supply	Structural Steel - Conexiones	\$	189,998
Steel Supply	Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	\$	198,438
Steel Supply	Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	\$	183,337
Steel Supply	Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	\$	226,394
Steel Supply	Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	\$	788,114
Total Costo Materiales:		\$	1,586,281

Tabla H.2: Costos directos Materiales Stick Built - Stacker

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones presupuestarias

H.2. Costos Directos - Instalación

Suministro	Unit	Qty	Rate Inst. [HH/Unit]	Qty HH [HH]	Rate Costo [\$/HH]	Costo [\$]
Structural Steel - Conexiones	[ton]	67	495	33,186	11.28	374,338
Structural Steel - Liviano < 30 kg/ml	[ton]	79	124	9,734	11.28	109,794
Structural Steel - Mediano 31 - 60 kg/ml	[ton]	78	62	4,812	11.28	54,284
Structural Steel - Pesado 61 - 90 kg/ml	[ton]	112	31	3,466	11.28	39,094
Structural Steel - Extra Pesado > 90 kg/ml	[ton]	403	25	10,063	11.28	113,508
Mechanical - Platework	[ton]	51	265	13,515	11.28	152,449
Mechanical - Belt Conveyor	[m]	350	27	9,450	17.95	169,628
Total instalación - Stick Built				116,480	\$	1,313,894

Tabla H.3: Costos directos - Instalación Estructura Stacker

Fuente: Elaboración propia en base a CAPEX

H.3. Módulos para transporte - Stacker

Los módulos pre-armados considerados son enrejados planos que son identificados en amarillo las siguientes imágenes:

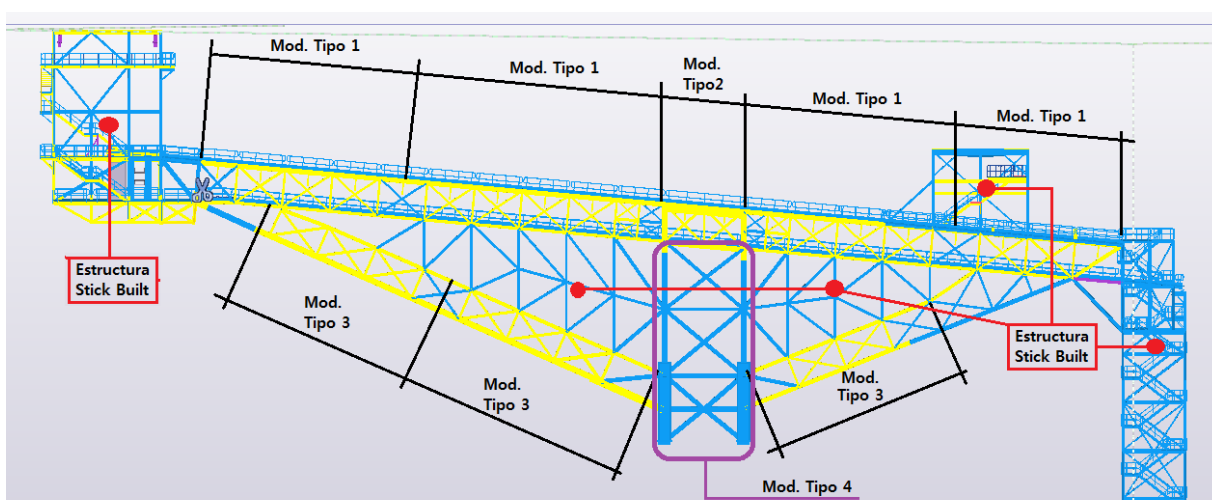
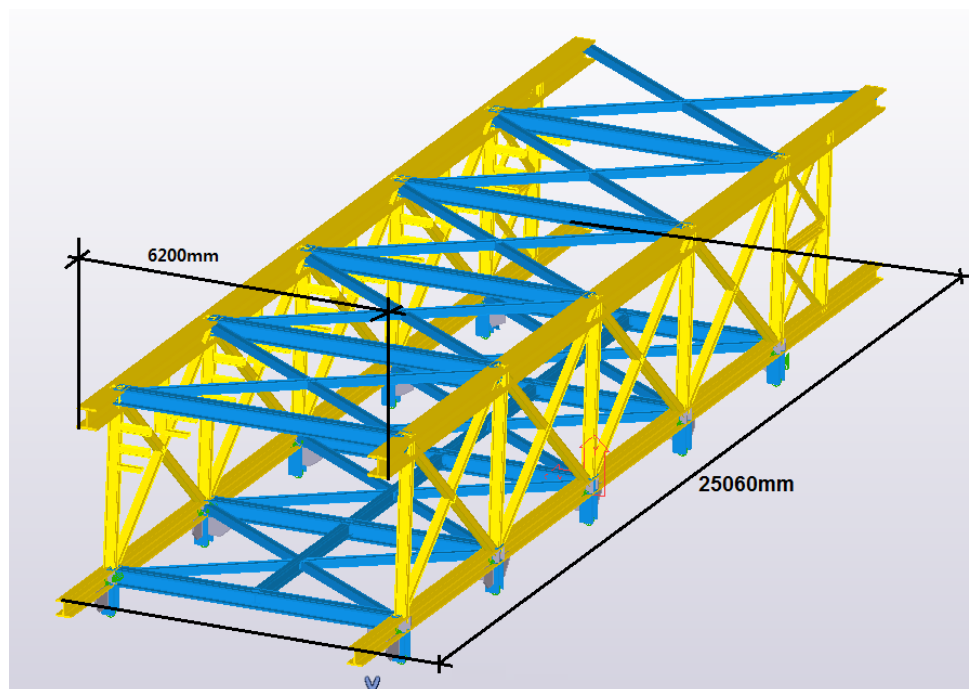
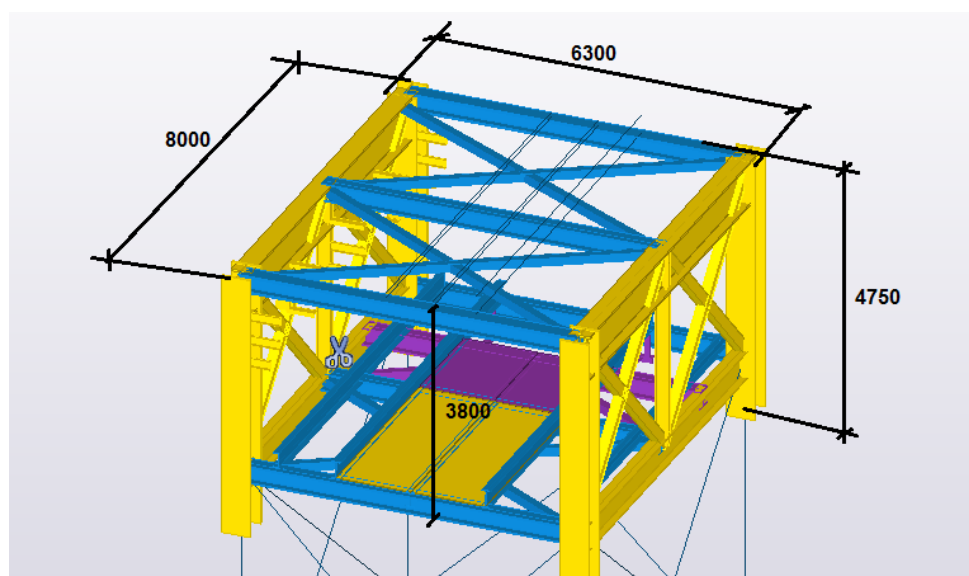


Figura H.1: Modularización / Pre-armados Stacker Tipo 1

Fuente: Elaboración propia



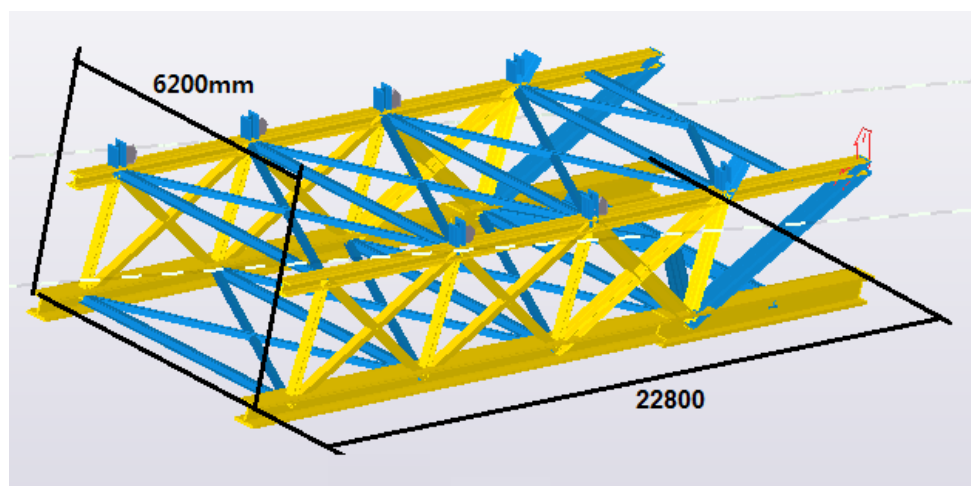
(a) Módulo Tipo 2



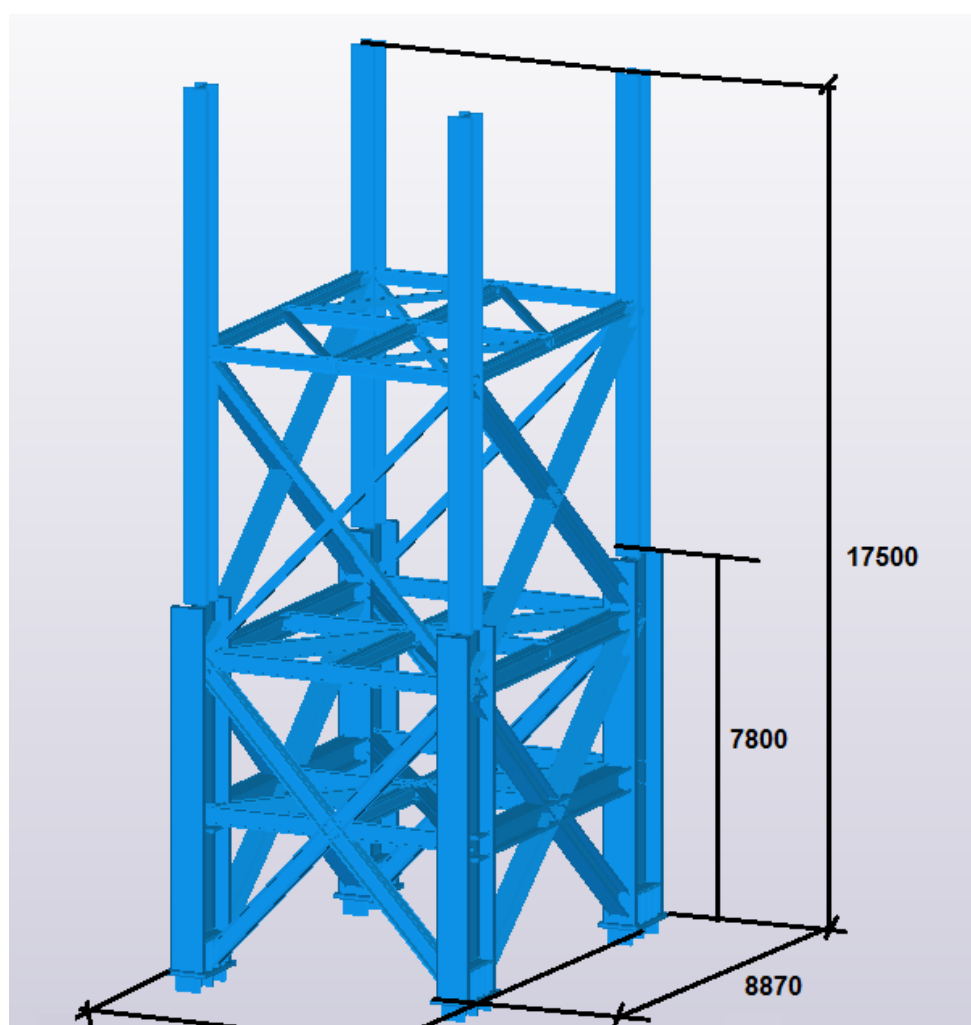
(b) Módulo Tipo 3

Figura H.2: Modularización / Pre-armados Stacker Tipo 1 & 2

Fuente: Elaboración propia



(a) Módulo tipo 3



(b) Módulo tipo 4

Figura H.3: Modularización / Pre-armados Stacker Tipo 3 & 4

Fuente: Elaboración propia

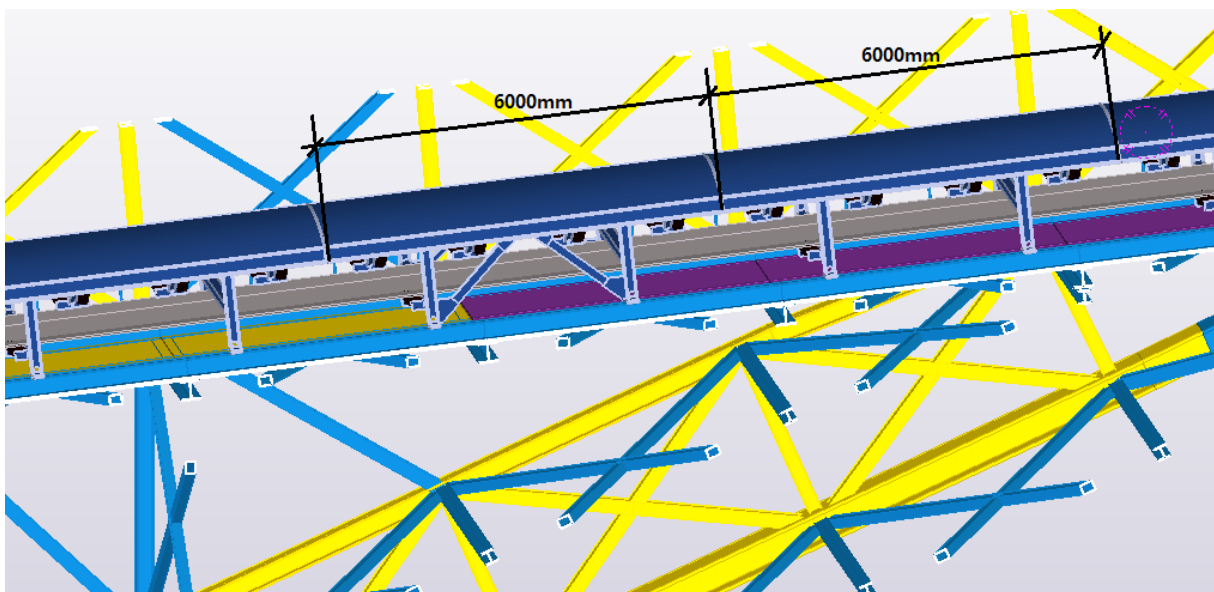


Figura H.4: Módulo Tipo 5 - Mesas Correa Overland

Fuente: Elaboración propia