

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO - CHILE



“EVALUACIÓN DE PROYECTO DE INSTALACIÓN DE
TALLER DE MANTENIMIENTO DE MOTORES DE
TRACCIÓN FERROVIARIOS”

BENJAMÍN NICOLÁS GUERRA RIVERA
MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: ING. RAFAEL MENA YANSSEN
PROFESOR REFERENTE: ING. RENÉ VALDENEGRO OYANEDER

FEBRERO - 2018

Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias al apoyo de South Train Solutions SpA con su fundador y gerente Fabián Gamboa Ureta, su mecánico en jefe Marcial Ibarra y su electricista en jefe Nivaldo Belmar.

Dedicatoria

Este trabajo fue posible gracias al apoyo y amor incondicional de mi mamá, mi papá y mi hermano, que estuvieron conmigo estos años difíciles apoyándome incondicionalmente.

Resumen

Existen 7 empresas de ferrocarriles en Chile y alrededor de 100 en toda sudamérica que no poseen un taller provisto por el fabricante de sus locomotoras diésel-eléctricas para la recuperación de sus motores de tracción.

Con la empresa South Train Solutions -desde ahora STS spa- se pretende diseñar, dimensionar, instalar e implementar un taller que permita a todos esos ferrocarriles grandes y pequeños recuperar sus motores de tracción eliminando la necesidad de enviarlos de vuelta al fabricante, normalmente en Estados Unidos, y tener que comprar un motor nuevo o reacondicionado a precios de fábrica, afectando negativamente sus utilidades.

El taller contará con salas de mediciones mecánicas y eléctricas, un dinamómetro para pruebas dinámicas, bahías de control de calidad y cabinas de limpieza y pintura, además de personal altamente capacitado para mantener los estándares de calidad requeridos por los fabricantes de equipos ferroviarios más importantes, y principalmente para mantener al mínimo necesario los tiempos de reparación para la generación de valor a nuestros clientes por medio de la maximización de la disponibilidad de sus activos.

El taller contará con un generador diésel de 800 [kVA] para redundancia y las pruebas de los motores en el dinamómetro, además de una grúa horquilla, un compresor de aire y 2 camionetas 4x4 con especificación minera. Todo esto con un plan de mantención interna consistente con la filosofía de la empresa de maximizar la disponibilidad reduciendo las fallas mediante monitoreo y el tiempo de reparación utilizando los métodos del WCM.

El taller tendrá una capacidad máxima en el tiempo de 500 motores de tracción al año y 40 mecánicos de distintas especialidades, además de personal administrativo y un equipo de ingeniería para los clientes que necesiten soluciones personalizadas.

Financieramente, se requiere una inversión inicial de \$246 millones en la configuración recomendada con un tiempo de recuperación de 4 años y un valor actual neto a 10 años de \$2600 millones, tasa de retorno pura 13% y 9% con financiamiento.

Abstract

There are 7 railroad companies in Chile and around 100 in South America that do not have a workshop provided by the manufacturer of their diesel-electric locomotives for the repair of their traction motors.

With the company South Train Solutions - from now on STS spa - it is intended to design, size, install and implement a workshop that allows all those large and small railways to repair their traction motors eliminating the need to send them back to the manufacturer, usually in the United States, and having to buy a new or reconditioned motor at factory prices, negatively impacting its profits.

The workshop will have mechanical and electrical measurement rooms, a dynamometer for dynamic tests, quality control bays and cleaning and painting booths, as well as highly trained personnel to maintain the quality standards required by the most important railway equipment manufacturers, and mainly to keep repair times to the minimum necessary to generate value to our customers by maximizing the availability of their assets.

The workshop will have a diesel generator with 800 [kVA] for redundancy and for the tests of the motors in the dynamometer, in addition to a fork lift, an air compressor and 2 4x4 pickup trucks with mining specification. All this with an internal maintenance plan consistent with the company's philosophy of maximizing availability by reducing faults and repair time through monitoring using WCM methods.

The workshop will have a maximum capacity in time of 500 traction motors per year and up to 40 mechanics of different specialties, as well as administrative staff and an engineering team for customers who need customized solutions.

Financially, an initial investment of \$ 246 million is required in the recommended configuration with a recovery time of 4 and a half years and a 10-year net present value of \$ 2600 million, a pure return rate of 13 % and 9 % with financing.

Glosario

1. **Motor de tracción:** componente de una locomotora diésel-eléctrica cuya función es reconvertir la energía eléctrica producida por el generador principal en energía mecánica y transmitirla a las ruedas por medio de un engranaje reductor.
2. **Capex:** valor monetario necesario para la implementación de un proyecto, también conocido como *costo de inversión*.
3. **Opex:** valor monetario necesario para el funcionamiento de un proyecto, también conocido como *costo de operación*.
4. **Flujo de caja:** método de cálculo de viabilidad económica de un proyecto mediante la proyección de todos los ingresos y egresos, así como de los beneficios fiscales y tributarios devengados durante la vida del proyecto.
5. **CIF:** sigla en inglés para costo, seguro y transporte. Valor que representa el precio que un objeto ha acumulado al llegar a un destino, incluyendo los costos de internación definidos por el servicio de aduanas correspondiente.
6. **RCM:** sigla en inglés para mantenimiento basado en confiabilidad, es el conjunto de herramientas que busca mejorar la productividad mediante el diseño de planes de mantenimiento que disminuyen la cantidad de fallas que sufren los equipos.
7. **WCM:** sigla en inglés para mantenimiento de clase mundial, es un avance del mantenimiento basado en confiabilidad que integra métodos del mantenimiento proactivo y predictivo para obtener mejores resultados de productividad que con otros sistemas.
8. **Mantenimiento reactivo:** sistema de mantenimiento en el que se reparan los equipos una vez que se detecta la falla.
9. **Mantenimiento preventivo:** sistema de mantenimiento en el que se reemplazan partes de los equipos según un plan basado en el uso, ya sea por producción o tiempo.
10. **Mantenimiento predictivo:** sistema de mantenimiento en el que se realiza un monitoreo de condiciones a los equipos en búsqueda de señales tempranas de falla para reemplazar el componente afectado antes de que falle.
11. **Mantenimiento proactivo:** sistema de mantenimiento en el que se aprovecha toda oportunidad en la que el equipo se detenga para realizar operaciones de mantenimiento.

Índice

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos Generales	2
1.3. Objetivos Específicos	2
2. Bases Teóricas	3
2.1. Implementación RBM	3
2.2. Mantención de Clase Mundial	3
2.3. Confiabilidad de Motores Eléctricos	4
2.3.1. Tasa de Falla y Tiempo Muerto	4
2.3.2. Fallas por Componentes	7
2.3.3. Causas de las Fallas	8
3. Definición de Procesos	12
3.1. Desarme	12
3.2. Limpieza con vapor	13
3.3. Secado al Horno	13
3.4. Metrología	13
3.5. Barnizado	14
3.6. Pruebas Eléctricas	14
3.7. Cambio de Rodamientos	15
3.8. Desarme de Masas Polares	15
3.9. Cambio de Aislación	15
3.10. Armado	15
3.11. Pintar, Embalar y Despachar	15
4. Determinación de Costos	16
4.1. Terreno y galpón y oficinas	16
4.2. Equipos	17
4.3. Herramientas	19
4.4. Personal	19
4.5. Energía	20
4.6. Insumos y Repuestos	20
4.7. Mantención Interna	20
5. Dimensionamiento de Planta	22
5.1. Diseño y Crecimiento	22
5.2. Punto de Equilibrio	22
5.3. Capacidad instalada inicial	22
5.4. <i>Layout</i> de Planta	23
5.4.1. Edificio 1	26

5.4.2. Edificio 2	27
5.4.3. Edificio 3	27
6. Análisis Económico y Financiero	29
6.1. Flujo de Caja	29
6.1.1. Entradas	29
6.2. Indicadores	30
6.3. Alternativas	30
6.4. Análisis FODA	32
7. Análisis final y resultados	33
7.1. Recomendaciones	34
7.2. Conclusiones	35
8. Referencias	36
9. Anexos	36

1 Introducción

La empresa *South Train Solutions spa* solicitó la evaluación de factibilidad técnica, económica y financiera de la instalación de un taller para la recuperación de los motores de tracción usados por las locomotoras diésel-eléctricas de carga usadas a lo largo de todo Chile y, posiblemente latinoamérica, para reemplazar la necesidad de enviar los motores al fabricante a Estados Unidos o Europa con el gran costo monetario y de tiempo muerto asociado.

1.1 Motivación

En la actualidad existen 13 empresas de ferrocarriles grandes en nuestro país, de las cuales 7 no poseen instalaciones para el reacondicionamiento de sus motores de tracción provistas por los fabricantes de los equipos que utilizan, esto trae como consecuencia que cerca de 1100 de los 1900 motores de tracción ferroviarios necesarios para mantener móvil los sectores mineros e industriales de nuestro país se vean en riesgo de llegar al punto de falla sin contar con un plan de recuperación que evite la situación de tener que reemplazar el equipo, que tiene un costo que afecta negativamente los resultados de las empresas.

Por otra parte, las empresas que brindan servicios de reparaciones suelen tener problemas administrativos que llevan a retrasos en la ejecución de las Órdenes de Trabajo, los equipos caen a los patios al ser bajados de los transportes y permanecen ahí, en ocasiones semanas, esperando que un equipo de mecánicos quede libre para comenzar el proceso de desarmado y formulación del presupuesto. Para luego esperar más tiempo por un repuesto que, al no realizar una inspección suficientemente detallada durante el desarme, no fue incluido en el presupuesto y, en consecuencia, debe ser cubierto por la empresa reparadora disminuyendo su margen. [3]

Con todo lo anterior como base, se propone la implementación de un taller de reacondicionamiento de motores de tracción que utilice las técnicas de la Ingeniería de Mantenimiento para entregar a sus clientes un valor generado que no pueda ser encontrado en un sustituto, un servicio de reparación basado en procesos definidos con el objetivo de disminuir el Tiempo de Reparación al mínimo, manteniendo estándares de calidad excepcionales mediante planes creados a la medida de las necesidades del cliente.

Este proyecto se propone a la empresa STS spa. El gerente general y dueño acepta y recibirá el resultado para realizar la instalación del taller según los indicadores del análisis.

1.2 Objetivos Generales

- Determinar las características del mercado de mantención de equipos ferroviarios en Chile
- Evaluar técnica y económicamente la factibilidad de la instalación de un taller de reparación de motores de tracción ferroviarios para prestar servicios a la industria y mercado en Chile.

1.3 Objetivos Específicos

- Establecer el estado del arte del mercado e industria objetivo.
- Definir los distintos tipos de mantenimiento y reparaciones, con tareas y pautas.
- Diseñar dependencias, procesos y espacios necesarios. Generar un layout del taller.
- Determinar Capex y Opex para los equipos, insumos y mano de obra requeridos.
- Elaborar un Flujo de caja para evaluar el proyecto con los indicadores financieros apropiados.

2 Bases Teóricas

2.1 Implementación RBM

El mantenimiento basado en confiabilidad (RBM) es una estrategia para aumentar la productividad de la planta mediante la integración del mantenimiento preventivo (preventive maintenance, PM), mantenimiento predictivo (predictive maintenance, PDM), y mantenimiento proactivo (proactive maintenance, PAM) en un enfoque equilibrado para modificar los perfiles de falla normales de la maquinaria de la planta. PM está basado en intervalos de tiempo; PDM en la condición de la maquinaria; y PAM está basado en el análisis de falla. PDM es el punto pivote en este equilibrio, que posee las herramientas para monitorear la condición de las maquinaria. [2]

El monitoreo de la condición provee la información necesaria para optimizar las tareas y las frecuencias de trabajo de PM, e identificar candidatos proactivos y de causa raíz. Las instalaciones con RBM de referencia han sido capaces de modificar la curva "bañera." perfil de falla normal de la planta mediante el uso de RBM.

2.2 Mantenición de Clase Mundial

(World-Class Maintenance, WCM) Hasta finales de la década de 1970, el desarrollo de productos y la ingeniería de fabricación eran las disciplinas técnicas dominantes en la comunidad industrial de los Estados Unidos, con operaciones y mantenimiento (O & M) ocupando un segundo plano en la prioridad de las estrategias de éxito corporativo. Sin embargo, las últimas dos décadas han visto esta imagen cambiar dramáticamente a una situación donde O & M es ahora un compañero con las disciplinas de desarrollo y fabricación. Hay razones convincentes para ello, y no menos importante es el papel decisivo que O & M desempeña ahora en cuestiones que van desde la seguridad, la responsabilidad y los factores ambientales hasta la rentabilidad final. Con O & M en el centro de la escena, la optimización del Mantenimiento Preventivo (PM) proporciona oportunidades y retos nunca antes vistos a los especialistas de O & M. [2]

Algunos de estos desafíos vienen en forma de varios problemas de mantenimiento que actualmente tienen una gran cantidad de elementos comunes en nuestro sistema industrial.

A primera vista, preguntar *¿qué es el mantenimiento preventivo?* parece ser innecesario. Sin embargo, la experiencia ha demostrado claramente que existe cierta confusión sobre lo que se quiere decir cuando usa el término mantenimiento preventivo. Hay una variedad de razones posibles para esta confusión.

Un factor significativo se deriva de la evidencia de que una gran mayoría de nuestras plantas e instalaciones industriales han estado operando durante largos períodos, años en muchos casos, en un modo de mantenimiento reactivo. Es decir que los recursos de mantenimiento se han comprometido casi totalmente a responder a fallos inesperados de equipos y muy poco se hace en el ámbito preventivo. El mantenimiento correctivo, no preventivo, es frecuentemente el modo operativo del día, y esto tiende a difuminar cuántas personas ven lo preventivo y lo que es correctivo. En un caso extremo real, una planta desarrolló una cultura entera que fomenta un sentimiento de orgullo en la capacidad de las personas para arreglar las cosas rápidamente y bajo presión cuando ocurre una interrupción forzada, y recompensas fueron consistentemente dadas para tal desempeño. La filosofía de funcionamiento en estas condiciones era casi totalmente reactiva y correctiva, pero el personal de la planta consideraba sus acciones como preventivas en el sentido de que eran capaces de "prevenir un largo corte de energía debido a sus acciones reactivas y correctivas altamente eficientes y efectivas.

2.3 Confiabilidad de Motores Eléctricos

La información más significativa sobre la fiabilidad de los motores grandes se encuentra en una encuesta IEEE 1983-1985 de la fiabilidad de los motores de más de 200 caballos de fuerza (CV) en instalaciones industriales y comerciales. Estas referencias incluyen datos recogidos en 360 fallas de 75 plantas industriales en motores no mayores de 15 años. Los índices de falla se dan para motores de inducción, motores sincrónicos, rotores bobinados y de corriente continua, y se identifican varios factores pertinentes que afectan a la tasa de fallos. [1]

También se dan datos sobre el tiempo de inactividad por falla, componente fallido, causas de falla y en qué circunstancias se descubrió el fallo. Estos resultados se comparan con otras tres encuestas de fiabilidad del motor:

- La encuesta IEEE 1973-1974 de motores de más de 50 caballos de fuerza en las plantas industriales.
- La encuesta AIEE de 1962 de motores de 250 CV y mayores en plantas industriales.
- La encuesta de 1983-1985 auspiciada por el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) de motores de 100 CV y mayores en centrales eléctricas de electricidad.

2.3.1. Tasa de Falla y Tiempo Muerto

Los resultados de la tasa de fallos se muestran en el cuadro 1 para los motores de inducción, sincrónicos, de rotor bobinado, de corriente continua y

todos.

La hora del calendario se utiliza al calcular los años-unitarios de servicio más que el tiempo de ejecución; esto se hizo con el fin de simplificar los datos que se recogieron. Los motores con funcionamiento intermitente tenían una tasa de fallos que era aproximadamente la mitad de la de aquellos con servicio continuo y no se sabe cuán diferente habría sido si se hubiera usado tiempo de ejecución en vez de tiempo de calendario. También se recogieron datos sobre el número de arranques por día para ver si esto tendría algún efecto significativo sobre la tasa de falla; Los motores con menos de un arranque por día tenían aproximadamente la misma tasa de falla que los motores con entre 1 y 10 arranques por día.

Los motores de inducción y los motores sincrónicos tenían aproximadamente la misma tasa de fallos, 0,07-0,08 fallas por año unitario. Los motores de inducción entre 0-1000 V y entre 1001-5000 V, tenían aproximadamente los mismos índices de falla. El tamaño de la muestra en los motores por encima de 5000 V era demasiado pequeño para sacar conclusiones. Los motores rotor-devanado entre 0-1000 V tenían una tasa de fallos que era aproximadamente la misma que la de los motores de inducción de jaula de ardilla entre 0-1000 V.

El tamaño de la muestra en los motores de corriente continua era demasiado pequeño para extraer conclusiones significativas.

El tiempo de inactividad por datos de fallo se muestra en el cuadro 2 para todos los tipos de motores agrupados como un grupo. La comparación del tiempo de inactividad por datos de fallo para *reparación* o *reemplazar con repuesto* es importante para decidir si se debe comprar un motor de repuesto al diseñar una nueva planta.

Tanto el tiempo de inactividad promedio por datos de fallo como el tiempo de inactividad medio por datos de fallo se dan de modo que el efecto de unos cuantos interrupciones muy largas en el tiempo de inactividad medio puede indicarse por una gran diferencia entre los valores medios y medianos. El cuadro 2 también muestra el efecto en el tiempo de *reparación* que ha tenido la *urgencia de reparación*. Hubo 45 casos de fallas motrices donde la *reparación* se llevó a cabo en una *todo el día, máxima potencia*. Hubo cuatro casos de fallas motoras donde la urgencia de *baja prioridad* resultó en un tiempo de inactividad muy largo; Es importante excluir estos casos al tomar decisiones sobre el diseño de sistemas de energía industriales o comerciales. En general, el *tiempo de inactividad promedio por falla* es aproximadamente cinco veces mayor para *reparación* que para *reemplazar con repuesto*.

Cuadro 1: Resumen general, motores grandes sobre 200 [hp]

Subclase	Número de plantas en muestra	Tamaño de la muestra	Número de fallas reportadas
Todos	75		360
Inducción			
0 - 1000 [V]	33	1080,3	89
1001 - 5000 [V]	52	2844,4	203
5001 - 15000 [V]	5	78,1	2*
No especificado	1	13,5	-
Sincrónico			
19	459,3	35	1001 - 5000 [V]
2	29,5	3*	5001 - 15000 [V]
			Motor bobinado
5	137	10	0 - 1000 [V]
9	251,1	8	1001 - 5000 [V]
2	39	4*	5001 - 15000 [V]
Corriente directa			
1000 [V]	5	122,7	6*
1001 - 5000 [V]	1	30	-
Subclase	Razón de la falla	Tiempo detenido promedio por falla	Tiempo detenido medio por falla
Todos	0,0708	69,3	16
Inducción			
0 - 1000 [V]	0,0824	42,5	15
1001 - 5000 [V]	0,0714	75,1	12
5001 - 15000 [V]	*	*	*
No especificado	-	-	-
Sincrónico			
1001 - 5000 [V]	0,0762	78,9	16
5001 - 15000 [V]	*	*	*
Motor bobinado			
0 - 1000 [V]	0,073	*	*
1001 - 5000 [V]	0,0319	*	*
5001 - 15000 [V]	*	*	*
Corriente directa			
0 - 1000 [V]	*	*	*
1001 - 5000 [V]	-	-	-

* Muestra pequeña

Cuadro 2: Tiempo muerto por falla

	Número de fallas	Horas promedio por falla	Horas media por falla
Reparación - horas laborales	87	97,7	244
Reparación - cronológicas	45	81,4	72
Reemplazo con repuesto	111	18,2	8
Baja prioridad	4*	370*	400*
No especificado	6*	288*	240*
Total	251	69,3	16

* Muestra pequeña

* Una falla de 6570 horas omitida

* Una falla de 960 horas omitida

2.3.2. Fallas por Componentes

Los datos sobre componentes fallidos se muestran en el cuadro 3 para los motores de inducción, sincrónicos, bobinados, de corriente continua y *todos*. Se puede observar que las dos categorías más grandes reportadas son rodamientos y bobinados, con 166 y 97 fallas, respectivamente, de un total de 380 fallos. Los rodamientos y devanados representan el 44 % y el 26 %, respectivamente, de los fallos totales.

Cuadro 3: Número de fallas por componentes

Componente Falla	Inducción	Sincrónico	Debanado	Corriente directa	Total
Descanso	152	2	10	2	166
Debanado	75	16	6	-	97
Rotor	8	1	4	-	13
Eje	19	-	-	-	19
Escobillas	-	6	8	2	16
Debanado externo	10	7	1	-	18
No especificado	40	9	-	2	51
Total	304	41	29	6	380

Algunos participantes expresaron la existencia de casos con más de un componente fallando simultáneamente.

El cuadro 4 muestra los datos sobre el componente fallido en comparación con el *tiempo de detección*. Se puede observar que el 60,5 % de los fallos encontrados durante el *mantenimiento o prueba* son cojinetes. Muchas plantas industriales consideran que es importante encontrar tantos fallos como sea posible durante *mantenimiento o prueba* en lugar de *operación normal*. Los rodamientos y devanados representan el 36,6 % y 33,1 %, respectivamente, de los fallos descubiertos

durante el *funcionamiento normal*.

Cuadro 4: Falla de componente y tiempo de descubrimiento

Componente Falla	Operación normal	Tiempo descubrimiento	
		Mantenimiento o prueba	Otro
Descanso	36,60 %	60,50 %	50 %
Debanado	33,10 %	8,30 %	28,60 %
Rotor	5,10 %	1,80 %	0 %
Eje	5,80 %	8,30 %	14,30 %
Escobillas	3,10 %	7,30 %	0 %
Dispositivo externo	5 %	7,30 %	0 %
No especificado	11,30 %	10,10 %	7,10 %
Total porcentaje	100 %	100 %	100 %
Total	257	109	14

2.3.3. Causas de las Fallas

Las causas del fallo se muestran en el cuadro 5 para motores de inducción, sincrónicos y *todos*. Esto incluye el iniciador de fallos, el contribuidor de fallos y la causa subyacente.

La *Rotura mecánica* es el mayor iniciador de falla para motores de inducción, y *avería eléctrica o mal funcionamiento y otra avería de aislamiento* son grandes iniciadores de falla para motores sincrónicos. El *deterioro normal a partir de la edad* es el mayor contribuyente de fracaso para motores de inducción y sincrónico, pero *alta vibración y mala lubricación* son también grandes contribuyentes de fallo para motores de inducción. *Mantenimiento inadecuado* y *componente defectuoso* son las principales causas subyacentes de los fallos motores de inducción. *Componente defectuoso* es la mayor causa subyacente de fallas motores sincrónicos.

El cuadro 5 también muestra una correlación entre los fallos de rodamientos y bobinados y las causas de fallo: el 50,3 % de los fallos de cojinetes se inició por *rotura mecánica*; 31,3 % y 21,8 %, respectivamente, tenían *mala lubricación* y *alta vibración* como contribuyentes de la falla; Y el 27,6 % atribuyó el *mantenimiento inadecuado* como la causa subyacente. *Falla del aislamiento* se dio como iniciador del 36,7 % de los fallos de bobinado; 18,5 % y 18,5 %, respectivamente, tuvieron *deterioro normal a partir de la edad* y *humedad anormal* como fuentes de falla; Y el *fallo de la causa subyacente* tenía un 19,6 % de *mantenimiento inadecuado* y un 15,2 % de *protección eléctrica inadecuada*. Es interesante notar que el *mantenimiento inadecuado* es la mayor causa subyacente tanto de fallas de cojinetes como de fallos de bobinado.

Cuadro 5: Causas de falla

Causa de falla	Todos los Tipos		Todos los tipos %
	Descansos %	Debanados %	
Iniciador de falla			
Sobrevoltaje momentáneo	0	4,1	1,5
Sobrecalentamiento	12,4	21,4	13,2
Falla aislante	1,9	36,7	12,3
Fractura mecánica	50,3	10,2	33,1
Falla eléctrica	3,7	11,2	7,6
Detención	0	2,1	0,9
Otro	31,7	14,3	31,4
Total %	100	100	100
Total	161	98	341
Contribuyente de falla			
Sobrecarga persistente	1,4	6,5	4,2
Alta temperatura ambiente	0,7	7,6	3
Humedad anormal	2,7	18,5	5,8
Voltaje anormal	0	5,4	1,5
Frecuencia anormal	0	1,1	0,6
Alta vibración	21,8	8,7	15,5
Químicos agresivos	5,4	6,5	4,2
Lubricación pobre	31,3	5,4	15,2
Ventilación pobre	0	7,6	3,9
Deterioro normal	20,4	18,5	26,4
Otro	16,3	14,1	19,7
Total %	100	100	100
Total	147	92	330
Causa inicial de falla			
Componente defectuoso	17,8	10,9	20,1
Instalación pobre	14,5	10,9	12,9
Mantenimiento inadecuado	27,6	19,6	21,4
Operación inadecuado	2	6,5	3,6
Manejo inadecuado	0,7	0	0,6
Protección física inadecuada	7,9	7,6	6,1
Protección eléctrica inadecuada	2,6	15,2	5,8
Error de personal	7,2	5,4	6,8
Agente externo	2	3,3	3,9
Incompatibilidad equipamiento	5,9	4,3	4,9
Otro	11,8	16,3	13,9
Total %	100	100	100
Total	152	92	309

Continuación cuadro 5: Causas de falla según tipo de motor

Causa de falla	Inducción %	Sincrónicos %
Iniciador de falla		
Sobrevoltaje momentáneo	1,4	0
Sobrecalentamiento	14,7	0
Falla aislante	11,9	21,1
Fractura mecánica	37,4	5,2
Falla eléctrica	5,8	23,7
Detención	0,7	2,6
Otro	28,1	47,4
Total %	100	100
Total	278	38
Contribuyente de falla		
Sobrecarga persistente	4,9	2,7
Alta temperatura ambiente	3,4	0
Humedad anormal	6,7	2,7
Voltaje anormal	1,5	2,7
Frecuencia anormal	0,7	0
Alta vibración	17,6	5,4
Químicos agresivos	4,5	2,7
Lubricación pobre	16,9	8,1
Ventilación pobre	2,2	2,7
Deterioro normal	24	51,4
Otro	17,6	21,6
Total %	100	100
Total	267	37
Causa inicial de falla		
Componente defectuoso	20,3	22
Instalación pobre	15,9	0
Mantenimiento inadecuado	22,8	11,1
Operación inadecuado	3,3	2,8
Manejo inadecuado	0,8	0
Protección física inadecuada	6,5	2,8
Protección eléctrica inadecuada	5,3	11,1
Error de personal	5,7	5,6
Agente externo	2,8	13,9
Incompatibilidad equipamiento	4,9	0
Otro	11,8	30,6
Total %	100	100
Total	246	36

Cuadro 6: Fallas por componente, indicador y contribuyente

Componente Falla	%	Iniciador de falla	%
Descanso	59,1	Sobrevoltaje momentario	0
Debanado	25,4	Sobrecalentamiento	4,2
Rotor	1,4	Falla aislante	14,1
Eje	0	Fractura mecánica	52,1
Escobillas	8,5	Falla eléctrica	2,8
Dispositivo externo	1,4	Detención	0
Otro	4,2	Otro	26,8
Total % (71)	100	Total % (71)	100
Componente Falla	%	Contribuyente de falla	%
Descanso	59,1	Alta temperatura ambiente	4,2
Debanado	25,4	Humedad anormal	7
Rotor	1,4	Alta vibración	4,2
Eje	0	Químicos agresivos	9,9
Escobillas	8,5	Lubricación pobre	43,7
Dispositivo externo	1,4	Deterioro normal	18,3
Otro	4,2	Otro	12,7
Total % (71)	100	Total % (71)	100

Un estudio especial de los 71 fracasos atribuidos a Mantenimiento se muestra en el cuadro 6; Se puede observar que el 59,1% son iniciados por *Ruptura mecánica*, y el 43,7% tenía *mala lubricación* como contribuyente a la falla.

Podemos concluir que las principales fuentes de fallas en motores eléctricos de todos los tipos y tamaños consisten en: fallas mecánicas en los descansos a causa en una lubricación pobre y pérdidas del aislante en los devanados por el desgaste propio del funcionamiento de los equipos.

A partir de esto se generarán dos categorías de reparación de motores de tracción, las que serán denominadas Mantención 1 (M1) y Mantención 2 (M2). Ambas incluirán el desmontaje y limpieza del equipo, una evaluación visual, metrológica y eléctrica de todos los componentes que pueden ser reutilizados, el recambio de sellos y elementos de desgaste y el ensamble, prueba y pintura de los motores renovados. La diferencia es la incorporación en M2 del reemplazo de los devanados según la condición determinada en las pruebas, el tiempo de uso del equipo por el operador y las recomendaciones del fabricante.

3 Definición de Procesos

Para aplicar los conceptos del mantenimiento de clase mundial se implementa un plan de monitoreo de condiciones de los motores de tracción en servicio, utilizando instrumentos para medir temperatura de los descansos del eje, al igual que vibraciones y deflexión para definir las condiciones normales de operación y detectar los cambios en el tiempo producidos por el desgaste y el deterioro natural de los componentes, y finalmente, anticipar la falla para maximizar la disponibilidad de los equipos.

En el ámbito eléctrico de los motores, se pueden usar amperímetros y cámaras termográficas para medir el tiempo real el estado de la aislación al igual que el desempeño de cada motor de tracción con respecto a sus vecinos en una locomotora, esto genera un cuadro que no solo permite conocer el estado de los equipos sino establecer en el tiempo un modelo de cómo distintos factores externos como el operador, la carga, la temperatura ambiente, la altura, la humedad y los ciclos de trabajo afectan el desempeño instantáneo y el desempeño a lo largo de la vida entre reparaciones de los equipos. Este sistema puede ser implementado sin la necesidad de programas computacionales complejos debido a que un simple gráfico con la evolución de las medidas en el tiempo y un histograma entregan una gran cantidad de información con la que se puede construir un modelo personalizado para cada locomotora.

Todos estos programas deben ser implementados con cada cliente de manera personalizada, adecuando el tipo y la frecuencia de las mediciones al contexto de trabajo de cada ferrocarril y de qué nivel de intervención sea permitido evitando una disminución en la productividad que pueda cancelar las posibles ganancias en disponibilidad y utilización.

Es posible que en el futuro sea necesario tener personal dedicado especialmente a esta tarea si la carga de trabajo del jefe de taller supera la que este pueda hacer individualmente.

3.1 Desarme

Al bajar los motores de tracción del transporte, se les da un lavado exterior inicial con hidro-lavadora y la prueba de ingreso en el dinamómetro a máxima potencia en ambas direcciones por 15 minutos sujeto una inspección visual previa. Luego de pasada (o fallada) la prueba, el motor es trasladado a una bahía de servicio por la grúa horquilla donde es instalado en la plataforma de trabajo -con altura regulable- para el desensamble. Los componentes que serán desechados deben ser separados al momento de su extracción en distintos contenedores según sus materiales, o-rines y empaquetaduras de goma, retenes y otros plásticos,

arandelas, pernos y cables según su composición metálica.

En esta etapa, la consideración más importante es la seguridad, el piso de la bahía contará con un recubrimiento de goma que protegerá a las piezas del motor en caso de caída, también se dispondrá de una grúa para motores 2 toneladas para el manejo de los componentes de mayor peso.

La segunda consideración es la inspección rigurosa de los componentes que pueden ser reutilizados, que pasaran a la sección de metrología para su chequeo completo.

En tercer lugar se da importancia al tiempo requerido para el desarme el que no debe exceder las 12 horas, o un día y medio.

3.2 Limpieza con vapor

Todos los componentes mayores a reutilizar se vuelven a inspeccionar visualmente y se montan en una plataforma para recibir una limpieza profunda con vapor para eliminar todo tipo de contaminante. Los residuos líquidos de este proceso deben ser recolectados y almacenados en un contenedor para su eliminación por parte de una empresa externa que realice todos los procesos de filtración requeridos por la legislación vigente.

3.3 Secado al Horno

Las temperaturas de secado al horno de un bobinado van desde las 6 horas hasta 10 horas. La curva de secado de un bobinado por mantenimiento con lavado por agua y detergente neutro es de aproximadamente 12 horas con mediciones de la aislación al cabo de las primeras 4 horas y cada 2 horas esto debido que en un punto del secado al horno se produce la condensación de la humedad que se evapora por el calentamiento interno del bobinado y otras partes metálicas, es necesario llenar una tabla de registro de las mediciones para encontrar el punto de mayor aislación y poder llegar a barnizar, la temperatura varía entre 100 y 150 [°C] seleccionada según norma y fabricante en tablas con variaciones según la experiencia del operador basado en las condiciones ambientales, el estado del motor y otros factores para no llegar a quemar el componente.

3.4 Metrología

Caja de rodamientos ambas tapas, laberintos internos y externos, alojamiento cubeta de rodamientos en el eje, ambos extremos, base soporte de amortiguador MT, excentricidad del colector, diámetro del colector, desgaste del cono del eje, desgaste del cono del piñón (si es piñón nuevo solo medir cono eje), avance en frío del piñón con respecto al eje.

3.5 Barnizado

El barniz se aplica sobre el bobinado del motor para retrasar la corrosión y evitar que la acumulación de polvo cause cortocircuitos. Se hace necesaria la renovación del barniz con cada recuperación del equipo debido a los efectos abrasivos de la acumulación de polvo y otros contaminantes que ingresan al motor por las vías de ventilación.

Este proceso debe realizarse en una cabina de pintura diferente a la del pintado tradicional que se le da a los motores antes de ser despachados de vuelta al cliente. El pintor debe usar un equipo de protección respiratoria con fuente de aire externa para evitar toda inhalación de los vapores tóxicos que libera el barniz y un traje sellado que de protección en caso de salpicaduras a toda la superficie de su cuerpo, además, de un protector facial transparente que no disminuya la visibilidad en la cabina.

La cabina debe contar también con un sistema de captura de emisiones para evitar la salida de vapores a la atmósfera.

3.6 Pruebas Eléctricas

Índice de polarización: Es la medición de la rigidez dieléctrica en un lapso de 10 minutos y el valor del IP se obtiene en la ecuación 10 minutos dividido por la resultante a 1 minutos debe ser igual o superior a 2 que sería lo ideal. Esta medición nos indica el comportamiento de la aislación en relación al tiempo y sirve para los análisis predictivos en el caso que sean tomados en equipos con mantenimiento sea 1 o 2. En estas pruebas también tenemos otros parámetros muy importantes que se deben considerar para cualquier informe técnico: la corriente de fuga, corriente capacitiva presente en toda prueba de alto potencial.

Índice de absorción: Es el valor de aislación en el instante y el tiempo que demora en descargarse, hay otros factores que desaparecen al término de la prueba, pero el DAR nos indica la capacidad de mantener un valor de aislación sin pérdidas por otros factores: envejecimiento por contaminantes, humedad, temperatura.

Corriente de fuga : En toda prueba de alto potencial con los instrumentos modernos de hoy en día se entrega el IP, DAR, corriente de fuga, y corriente de capacidad. En el caso de la corriente de fuga cuando se realiza la prueba de Hipot si esta se dispara el instrumento detendrá la medición antes de la ruptura de la aislación. Este valor es importante pues me indica el valor máximo de voltaje que podría soportar un bobinado.

3.7 Cambio de Rodamientos

Lado piñón (Pinion-end, PE) y lado conmutador (Commuter-end, CE).

Se debe llenar una hoja de seguridad cada vez que se usa la bomba hidráulica para extraer e instalar los rodamientos en ambos lados del motor de tracción, se usa un interruptor que mantendrá ocupadas ambas manos del operario para evitar accidentes.

3.8 Desarme de Masas Polares

Solo para mantención M2, debe realizarse una prueba de cortocircuito entre chapas para asegurar la aislación entre las chapas de los polos.

Incluye armadura de cable, lo que aporta una parte importante de la diferencia de tiempo con la reparación M1, este proceso debe ser realizado por un electricista experimentado usando equipos de protección personal limpios para evitar la contaminación del embobinado con material biológico como aceites cutáneos, cabellos o uñas.

3.9 Cambio de Aislación

Entre espiras y recubrimiento exterior. debe ser realizado usando equipos de protección personal limpios para evitar la contaminación del embobinado con material biológico como aceites cutáneos, cabellos o uñas.

3.10 Armado

Repuestos básicos son vendidos en un número de kits que incluyen todos los o-rings y empaquetaduras, los bujes y rodamientos, escobillas.

Repuestos opcionales son los mencionados en la *subsección Metrología* que no se encuentran dentro de las tolerancias especificadas por el fabricante o el cliente.

3.11 Pintar, Embalar y Despachar

Control visual de Calidad. Especificación del cliente. Recomendación del fabricante y leyes del tránsito MTT.

4 Determinación de Costos

CAPEX

4.1 Terreno y galpón y oficinas

Se tienen dos dimensiones para comparar, una es la ubicación geográfica del talleres y la otra es la forma de la adquisición del terreno. En el primer caso se debe elegir entre dos opciones: Santiago o Antofagasta, siendo el criterio de selección un compromiso entre la cercanía al centro de masa de los clientes -la mayoría de ellos se encuentran en la segunda región del país- y la cercanía al centro de operaciones de la empresa en la capital.

Por otro lado el terreno puede ser comprado o arrendado; en el caso de ser comprado, el costo debe cubierto en su totalidad al principio del proyecto -Capex-, de lo contrario es un costo constante durante la vida del proyecto -Opex-.

VENTA GALPÓN INDUSTRIAL-BUIN



INFORMACIÓN:

- Buin (Orilla oriente carretera 5 sur)
- 5.866 mt² terreno (63x101mt)
- 2.200mt² galpones y oficinas
- 300 KVA electricidad trifásica
- Agua - Termos Eléctricos
- Urbanizado - Pavimento
- Normativa Industrial Mixta Inofensiva
- Metalúrgica actualmente funcionando
- Valor: 42.000 U.F. (Se aceptan ofertas serias por escrito)
- Comisión: 2% + Impuesto
- Entrega inmediata

Figura 1: Detalle terreno para compra en Santiago

A continuación se listan las opciones a comparar:

1. Compra en Santiago: un terreno industrial con galpón y oficina construidas en la comuna de Buin, muy cercana a la oficina central de la empresa, de $5866 m^2$ con $2200 m^2$ construidos a un valor UF 42000 -equivalente a \$1117521000-.
2. Compra en Antofagasta: un terreno industrial con galpón y oficina construidas en el sector de La Negra, 24 kilómetros al sur-este de Antofagasta, de $5000 m^2$ a un valor de \$571865000.

3. Arriendo en Antofagasta: un terreno industrial con galpón y oficina construidas en el sector de La Negra, 24 kilómetros al sur-este de Antofagasta, de 3000 m^2 a un valor de \$2394000 mensual.

4.2 Equipos

Dinamómetro, se realiza la cotización de un equipo nuevo en los Estados Unidos mediante Innova Solutions, el representante para América latina de AW-Dynamometer, el equipo se solicitó con todos los accesorios para la prueba de motores eléctricos de alta potencia en ambas direcciones y con carga desde cero revoluciones por minuto.

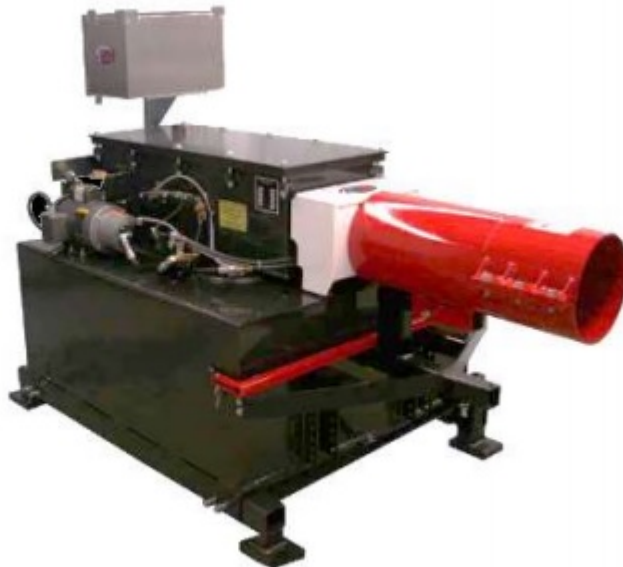


Figura 2: Dinamómetro AW I-1200E XT

Dinamómetro marca AW, Serie E, modelo I-1200E XT, equipado con sistema para adquisición de datos AW DynoPro 2100SXT, Sistema de monitoreo de temperatura del agua y monitoreo de caudal del agua.

La plataforma de elevación permite la elevación desde 11" hasta 47" desde el piso y asegura la perfecta alineación del dinamómetro con el motor a probar. La plataforma tiene construcción reforzada y capacidad de elevación hasta 6.000 Lb.

Módulo de control para dinamómetro Serie E 02 y Software MTS-XT.

Conjunto para torque constante a baja RPM, Eje de conexión al motor con grado 8C para alta velocidad y torque (incluye Brida de conversión, acoplamiento del eje 8C al dinamómetro y protección). Y Adaptador para acople rápido al motor eléctrico. Plataforma de elevación para 6.000 Lbs.



Figura 3: Plataforma HSLT 6000X

Además de gastos administrativos para exportación, embalajes de madera (dyno y plataforma) y Capacitación.

El costo total del equipo con todos sus accesorios es USD\$63500 equivalente a \$41800000.

Grúa horquilla, dos opciones: compra de máquina usada o arriendo permanente.

Cada opción tiene ventajas y desventajas, la primera tiene un costo relativamente bajo pero con un mayor riesgo de fallas de las que la empresa será responsable al no tener ningún tipo de garantía además de los tiempos muertos producidos durante el diagnóstico de la falla y la obtención de los repuestos.

La segunda tiene un costo bajo y la opción de recambio de equipo en caso de falla, pero no hay capitalización al final del periodo.

A continuación se listan las opciones a comparar:

1. Compra de la grúa horquilla de segunda mano tiene un costo de \$7500000, esta es una Komatsu FD40T5 con motor 6D95L fabricada en 1994 en Japón con 8535 horas de funcionamiento.
2. Compra de la grúa horquilla reacondicionada marca Linde modelo H40D fabricada en 2010 en Alemania con 5070 horas de funcionamiento por \$15000000.
3. Arriendo de grúa horquilla nueva marca Linde modelo H50D fabricada en Alemania por \$1255000 mensuales.

Generador diésel, marca Coelmo modelo PDT406A3 de 800 [kVA] integrado en Italia con propulsor Perkins comprado nuevo, tiene un consumo de 90 a 130 litros de combustible por hora y un valor de USD\$120000 que corresponde a \$75000000.

Camionetas, especificación minera 2 unidades marca Mitsubishi modelo L200 4x4 compradas nuevas por \$15000000 cada una.

EQUIPO RECONDICIONADO	
MARCA LINDE	ORIGEN 100 % ALEMAN
MODELO	H400
CAPACIDAD	4.000 KILOS
AÑO	2010
SERIE EQUIPO	H2X394A02390
MOTOR ALEMÁN	Diesel
MASTIL	TRIPLE
HOROMETRO	5.070
ALTURA	4.000 mm
REPLEGADO	2.200 mm
TIPO	Diesel
HORQUILLAS	1.200 mm
NEUMATICOS NUEVOS SUPERELASTICOS.	SOLIDOS
DESPLAZADOR LATERAL	SI
VALOR CONTADO	\$ 15.000.000 Más IVA



La foto es solo referencial

Figura 4: Detalles Grúa

COELMO
GENERATORS



Model: **PDT406A3 - 800.00 kVA**
Pro Industrial PERKINS Series

50 Hz 50 Hz
T Three Phase
Cooling System: Water
Diesel



Foto Indicativa / Indicative Picture

Figura 5: Generador Coelmo PDT406A3

4.3 Herramientas

Las herramientas necesarias para una bahía de servicio incluyen un juego de llaves *punta-corona*, juegos de dados métrico e imperial con cuadro de 1/2z 3/4 con llaves de trinquete y extensiones, barrotos de fuerza con cuadro de 3/4", Llave de torque con cuadro de 3/4", inductor magnético, bomba hidráulica 40000 PSI y soldadora eléctrica por \$4500000, lo que implica un total de \$18000000 para las 4 bahías.

OPEX

4.4 Personal

Los mecánicos se dividen en dos categorías, los *mecánicos generales* tienen más de 10 años de experiencia y son los responsables de realizar los procesos de reparación acordados con el cliente cumpliendo con las normas de seguridad y los estándares de calidad con los que se cuenta en el taller. Se necesita 1 mecánico general en cada bahía de servicio.

Los *mecánicos asistentes* son técnicos mecánicos que ayudan a los mecánicos generales a realizar las tareas de los procesos de reparación. Se necesita 1 mecánico asistente en cada bahía de servicio para la reparación M1 y 2 en cada bahía de servicio para la reparación M2.

El *jefe de taller* debe ser un ingeniero mecánico con experiencia en mantenimiento y recuperación de equipos, además de conocimientos de RCM y motores eléctricos, y habilidades de administración y manejo de personal.

Sueldos: los mecánicos asistentes tienen un sueldo bruto de \$600000 mensuales, los mecánicos generales tienen un sueldo bruto de \$1200000 y el Jefe de taller tiene un sueldo bruto de \$1500000.

4.5 Energía

El taller debe tener una conexión trifásica con una potencia instalada de 300 [kVA] para el compresor, las instalaciones, oficinas, luces, etc.

El generador bifuncional debe tener una potencia de 800 [kVA] debido a que tiene que alimentar los motores de tracción en el dinamómetro durante 2 horas cada vez además de cubrir la potencia de la red en caso de falla. Tiene un consumo horario aproximado de 90 a 130 litros por hora.

4.6 Insumos y Repuestos

Los kits de repuestos para los motores de tracción que son sometidos a la reparación M1 se compran a **Wabtec** en México a un valor en el taller de \$850000 y los de reparación M2 tienen un valor de \$1150000.

En caso que los componentes que pueden ser reutilizados se encuentren en condiciones de volver al motor, se le dará al cliente la oportunidad de instalar las piezas originales o piezas nuevas y dejar las piezas en el taller a cambio de un descuento en el servicio o enviarlas de vuelta al cliente, esta última es la opción preferida por los clientes más grandes de la empresa, **FCAB** y **FEPASA**.

4.7 Mantenimiento Interna

Existen 4 activos que requieren manejo para asegurar disponibilidad y entregar a nuestros clientes los tiempos de reparación prometidos, el más importante es el dinamómetro que cuenta con un completo sistema de monitoreo de condiciones que incluyen temperatura del agua en distintas ubicaciones, sensores de vibraciones, flujómetros y salidas de potencia y torque, todas estas mediciones son almacenadas en una bitácora física y digital que permite su visualización posterior y comparación para detectar cambios y poder realizar las correcciones antes de la falla de algún componente que ponga en riesgo la conclusión de una orden o la seguridad de los técnicos que operan el equipo.

Otro activo de interés es el generador de doble propósito, producir energía cuando falla la red externa y alimentar los motores de tracción que se están probando en el dinamómetro, esto debido a las elevadas potencias que estos requieren. El generador trae un plan de mantenimiento provisto por el fabricante y aplicado por su representante oficial en el país, por parte de la empresa, lo más importante es seguir estas instrucciones al pie de la letra.

Otro activo de interés es el compresor de aire, para alimentar las múltiples herramientas neumáticas usadas en las bahías de servicio. El generador trae un plan de mantenimiento provisto por el fabricante y aplicado por su representante oficial en el país, por parte de la empresa, lo más importante es seguir estas instrucciones al pie de la letra.

Finalmente, la grúa horquilla, en caso de ser comprada y no rentada, debe ser mantenida con una combinación de mantenimiento correctivo para pequeñas fallas que no afectan el funcionamiento del equipo como las luces, mantenimiento preventivo consistente de los cambios de aceite, fluido hidráulico, neumáticos y componentes de frenos periódicos según las instrucciones del fabricante, mantenimiento predictivo con sistemas de monitoreo de condición a bordo y pro activos con inspecciones visuales diarias antes de comenzar el trabajo y profundas una vez al mes con el fin de detectar anticipadamente cualquier cambio en el equipo que pueda indicar la falla de algún componente en el futuro.

5 Dimensionamiento de Planta

5.1 Diseño y Crecimiento

Parte importante del diseño de toda nueva instalación industrial es la capacidad de crecer disponible, en este caso, la planta se equipa para la reparación de los motores de las locomotoras que se reparan en la actualidad, sin embargo, se espera que este número aumente con el tiempo, además, no existe una razón por la que la capacidad para reparar locomotoras y la de reparar los motores de tracción estén acopladas. De hecho, la capacidad del taller de motores debería exceder la del equipo de overhaul de locomotoras porque así se pueden aceptar trabajos provenientes de otras fuentes, por ejemplo, los servicios de transporte de pasajeros tienen equipos que no poseen motores Diésel ni generadores principales, solo motores de tracción.

En latinoamérica existe un número indeterminado de ferrocarriles grandes y pequeños, muchos de los cuales no poseen instalaciones para la recuperación efectiva de los motores de tracción de sus locomotoras. La ubicación geográfica privilegiada de nuestro país y su estado político y económico relativamente estable nos coloca en una posición muy ventajosa para competir con los talleres de reparación de motores eléctricos que no se especializan en la aplicación ferroviaria presentes en Argentina y Brasil.

Como conclusión se decide tener una instalación con la mayor área posible para la instalación de más bahías de servicio en un futuro, además de la mantención de un plan actualizado para la implementación modular de una mayor capacidad instalada y también la adherencia a toda norma internacional de calidad, seguridad y responsabilidad medioambiental que pueda ser solicitada por clientes futuros tanto dentro como fuera del país.

5.2 Punto de Equilibrio

Al calcular los costos de operación se puede determinar que el punto de equilibrio económico del proyecto está entre 71 y 72 motores recuperados al año, por lo tanto, se considera empezar el funcionamiento del taller con 75 motores y tener un crecimiento para el segundo año hasta 100 unidades y lineal de 50 unidades al año hasta alcanzar la capacidad final de 500 motores al año el décimo, coincidiendo con la extensión de esta evaluación.

5.3 Capacidad instalada inicial

En la actualidad hay 1100 motores de tracción sin un taller interno para realizar reparaciones, este es el mercado total al que se está apuntando con este proyecto, cada uno de ellos necesita el recibir mantenimiento (M1) cada 10000

horas o 18 meses y un overhaul (M2) a las 20000 horas o 36 meses -M2 reemplaza el segundo M1-.

El proceso M1 tarda 5 días o 1 semana hábil en completarse mientras que el proceso M2 tarda 15 días o 3 semanas hábiles, ambos con un mecánico general y dos asistentes.

Cada bahía de servicio puede operar 50 semanas al año, por lo tanto se propone un diseño de planta modular donde cada módulo consiste de 1 bahía M1 y 3 bahías M2, esto permite realizar cada proceso a 50 motores *per annum*. Además de facilitar la ampliación de la capacidad del taller de manera predecible. Cada módulo cuenta con 12 mecánicos: 4 mecánicos generales y 8 asistentes.

5.4 *Layout* de Planta

Se toma como referencia para el diseño de la planta la propiedad marcada como *Compra en Santiago* esto debido a su proximidad a la oficina central de la compañía en la comuna de Buin y a la disponibilidad de planos del terreno y edificaciones con dimensiones detalladas.

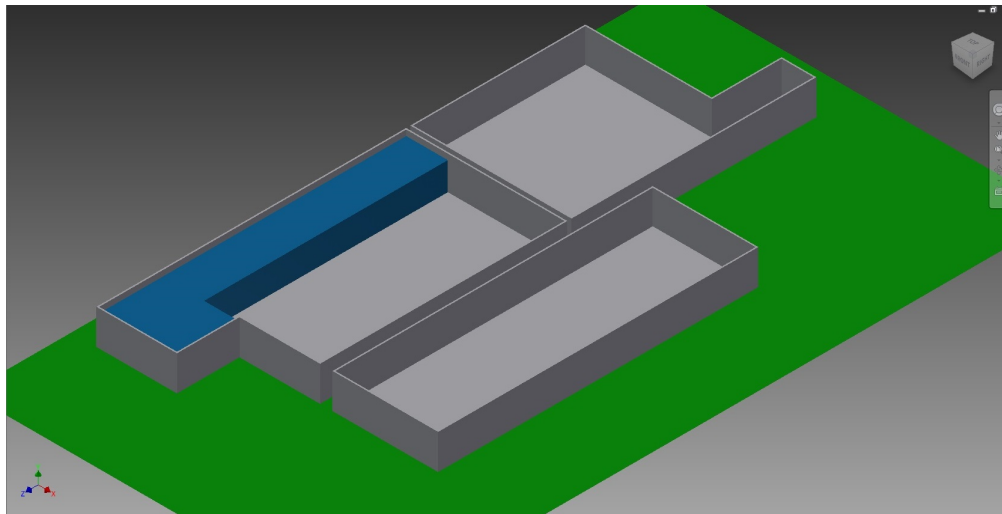


Figura 6: Vista tres cuartos terreno y galpones

El terreno tiene un ancho de 58.75 [m] y un largo de 101.45 [m] y cuenta con tres galpones que incluyen espacios para oficinas, baños con zona de camarines, cocina y casino; estas áreas no han de ser alteradas dado que los espacios destinados a talleres tienen superficie suficiente para la instalación de nuestro proyecto y de sus futuras expansiones.

Como concepto se dividirán las secciones según proceso juntando Mediciones y control de calidad en el edificio 1 con un espacio de bodega, las bahías de servicio y el dinamómetro en el edificio 2, y las cabinas de limpieza y pintura con el horno de secado en el edificio 3.

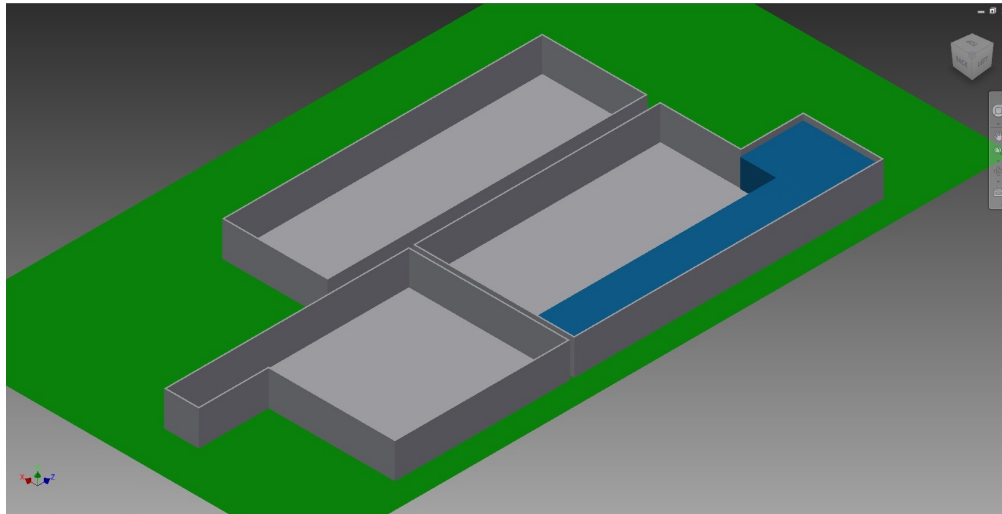


Figura 7: Vista tres cuartos terreno y galpones posterior

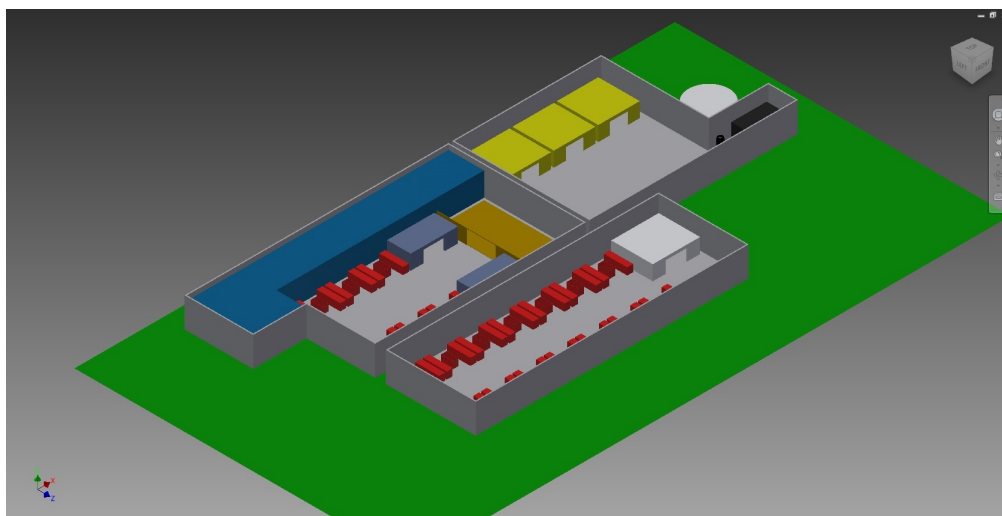


Figura 8: Vista tres cuartos layout

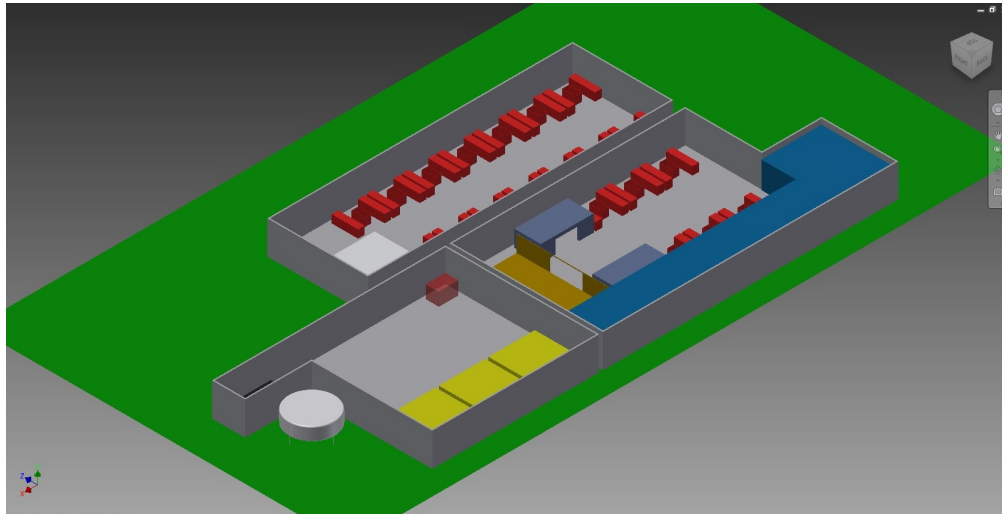


Figura 9: Vista tres cuartos layout posterior

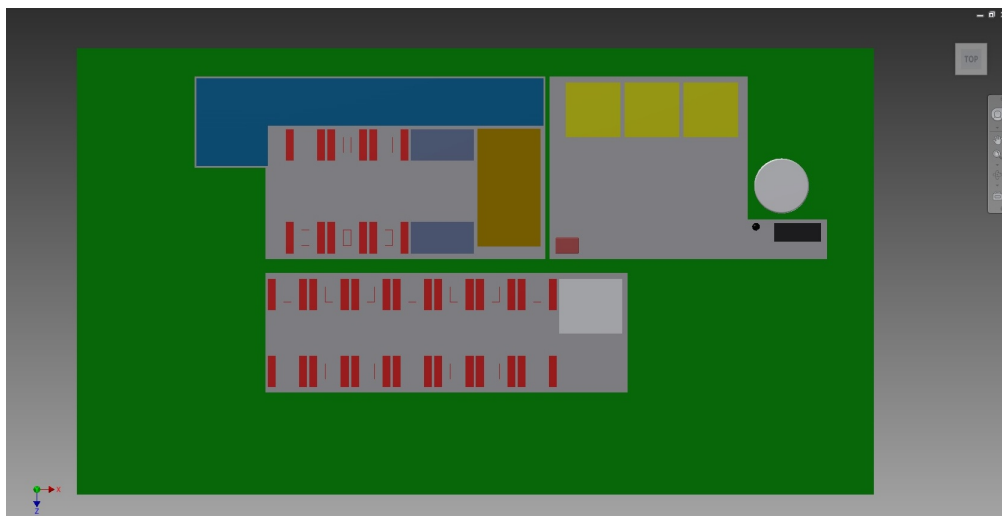


Figura 10: Vista de planta layout

5.4.1. Edificio 1

Como se puede ver en la figura 11 coloreado en azul se tienen 3 oficinas con sus propios servicios sanitarios, climatización por un sistema de aire acondicionado y preparación para conexiones telefónicas y de Internet. El casino cuenta con espacios para 8 mesas para atender 56 personas y la cocina tiene esa misma capacidad. Los servicios sanitarios generales cuentan con 2 lavamanos, 4 inodoros y 8 duchas con acceso a agua caliente mediante paneles termosolares y una caldera a gas natural. Todas estas instalaciones serán conservadas por lo que no se consideran en este estudio.

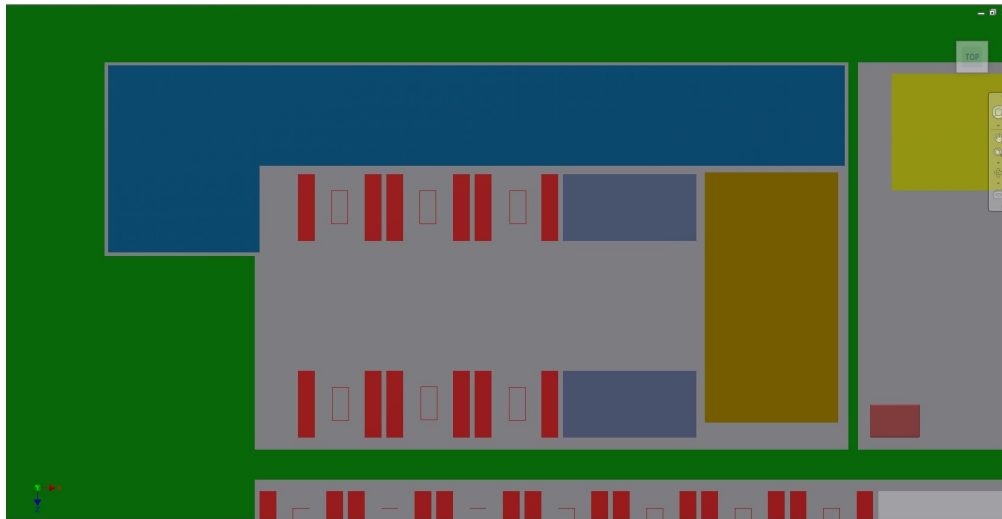


Figura 11: Detalle layout Edificio 1

Como también se puede ver en la figura 11, la superficie del edificio 1 destinada al taller de recuperación tiene espacio para instalar las 6 Bahías de control de inspección -coloreadas en rojo, 2 inicialmente- tanto de ingreso como de despacho, dónde se realizarán las revisiones de los motores al ingresar al proceso de recuperación, antes de ingresar al dinamómetro. Una vez alcanzada la capacidad final del taller, todas estas serán bahías de servicio, compartiendo entre esta función y la de inspección.

También se encuentran en este edificio los Talleres de mediciones -coloreados en celeste-, donde se realizarán las pruebas metrológicas y las pruebas eléctricas a los componentes de los motores que las requieran, esta sala contará con ambiente controlado a condiciones normales de temperatura y humedad ($20[^\circ\text{C}]$ y $50 [\% \text{HR}]$) y puertas dobles.

Finalmente, se encontrará un área de almacenamiento de los kits -coloreado en amarillo- de repuestos que serán llevados a las bahías de servicio junto con los motores una vez realizada la inspección inicial.

5.4.2. Edificio 2

A un lado del Edificio 1, el Edificio 2 se encuentra vacío y se utilizará para 14 bahías de servicio -coloreadas en rojo, 4 inicialmente- cada una de estas mide 5 [m] de ancho y 4 [m] de profundidad, con los estantes de herramientas la fondo, mesones a cada lado y un espacio con goma antigolpes en el centro con un caballete para montar los motores de tracción a una altura de trabajo ergonómica. Al fondo del Edificio 2 en un recinto cerrado para contener las emisiones de ruido y posibles fugas de agua se encuentra la sala dinamométrica, coloreado en blanco, con su torre de enfriamiento de agua en la parte posterior del Edificio 3.

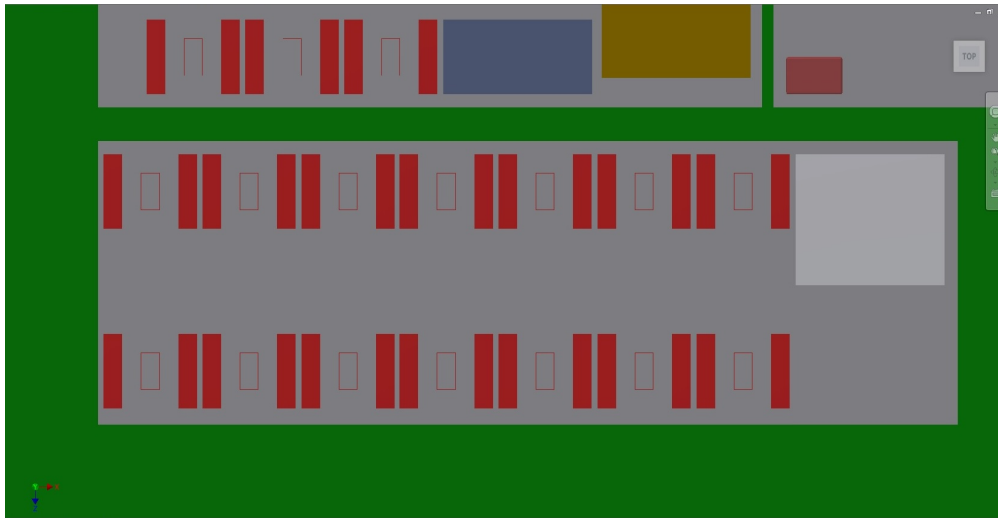


Figura 12: Detalle layout Edificio 2

5.4.3. Edificio 3

Posterior al Edificio 1 se encuentra el Edificio 3, con un área principal dedicada a la instalación de 3 cabinas de pintura y limpieza -coloreadas en amarillo- para el recubrimiento de los bobinados en el barniz aislante necesario para su protección, otra para la pintura final de los motores antes de ser despachados de vuelta al cliente y una cabina para el lavado de las piezas al ingresar al sistema. Las cabinas tienen dimensiones de 7 x 7 [m] y sistemas de extracción y filtrado de emisiones gaseosas y recuperación de residuos sólidos y líquidos.

También se encuentran en el Edificio 3 el horno de secado de componentes eléctricos. Con un volumen interno de 2 [m³] y una potencia de 3000 [W], coloreado en rojo.

En una extensión en la parte trasera del Edificio 3 se encuentra la sala de máquinas donde se encuentran el generador diésel bifuncional del taller -factor de forma contenedor marino de 20 pies, respaldo en caso de corte del suministro

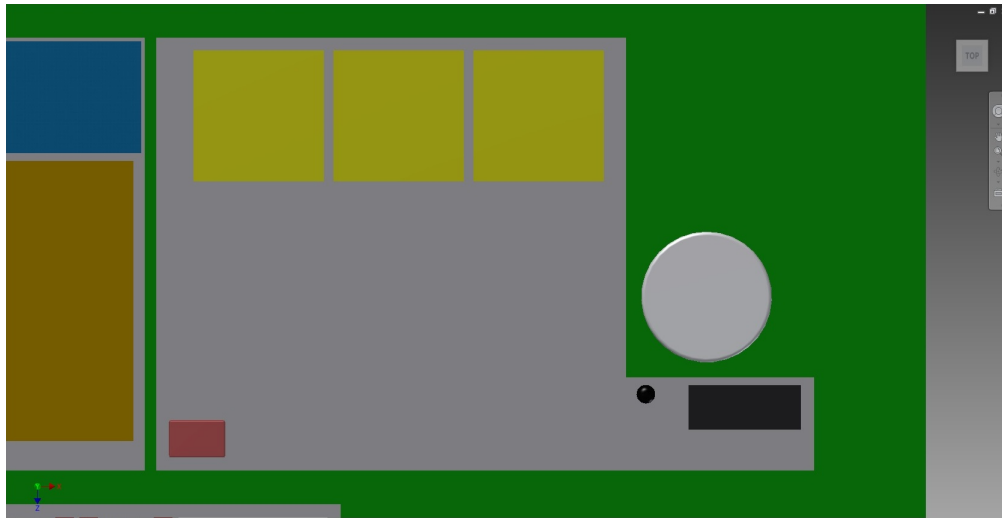


Figura 13: Detalle layout Edificio 3

de energía eléctrica y como fuente de poder para los motores de tracción durante las pruebas en el dinamómetro- y el compresor necesario para suministrar aire comprimido para las herramientas neumáticas usadas en las bahías de servicio -coloreadas en negro- .

Finalmente, a un costado de la extensión de la sala de máquinas se encuentra la torre de enfriamiento del dinamómetro, protegida por un cerco que evita una colisión accidental de un vehículo maniobrando.

6 Análisis Económico y Financiero

No se realizará la evaluación del caso con compra de terreno y financiamiento debido al elevado costo de los terrenos industriales considerados, la dificultad en encontrar otros de menor valor y la elevada tasa de interés y plazos que implica un crédito de más de mil millones de pesos.

6.1 Flujo de Caja

Se realizará un Flujo de Caja en pesos presentes y unidades de fomento UF, primero puro y luego con financiamiento mediante créditos bancarios.

Además se realizarán comparaciones entre las diferentes opciones de adquisición del terreno en el que se montará el taller y las opciones en la compra de la grúa horquilla, aunque en este punto el servicio y las horas de funcionamiento también serán consideradas.

Todo lo anterior en valores brutos, es decir, sin IVA.

6.1.1. Entradas

1. Inversión en activo tangible

Incluye la compra del dinamómetro, las herramientas, camionetas, el estacionario de oficina, etcétera. También incluye la compra del terreno y la grúa horquilla en los casos que correspondan.

2. Inversión en activo intangible

Incluye el derecho de llaves, la instalación de líneas telefónicas e internet y la señalética del terreno, además, de los impuestos por instalación. Por un total de \$10000000.

3. Capital de trabajo

3 meses de sueldos y 3 meses de costos operacionales para cubrir el tiempo que tardan los clientes en pagar los trabajos facturados. Por un total de \$42700000.

4. Ingresos

Corresponden a la reparación de 75 motores el primer año con un aumento a 100 motores el segundo año y un aumento de 50 motores anuales a partir del tercero, la mitad con reparaciones M1 por un precio de \$2500000 y la otra con reparaciones M2 por un precio de \$3500000, hasta el décimo año cuando se alcanza la capacidad completa del taller.

5. Costos

Incluye los kits de repuestos necesarios para las reparaciones, los gastos en energía eléctrica y en combustible diésel -para el generador y la grúa

horquilla- el costo de los servicios externos de alimentación y aseo, y los gastos de la línea telefónica e internet. Se considera un aumento de estos en 5% al año.

También incluye el arriendo del terreno y/o la grúa horquilla en los casos que correspondan.

6. Sueldos

Incluye a los mecánicos generales -\$1200000 cada uno-, los mecánicos asistentes -\$600000 cada uno-, el jefe del taller por \$1500000, y un(a) secretario(a) por \$800000. Todos reajustables en 5% al año.

7. Depreciación y Amortización

La depreciación incluye los activos tangibles divididos durante un plazo de 5 años y la amortización incluye los activos intangibles divididos durante un plazo de 5 años, y la compra del terreno en los casos que corresponda.

6.2 Indicadores

La evaluación económica del proyecto se realizará calculando el valor actual neto VAN y la tasa interna de retorno TIR en base a los flujos de caja anteriores.

6.3 Alternativas

La competencia más relevante del proyecto es la mantención del *status quo* en la industria, que consiste en la importación de motores completos reacondicionados en la fábrica en Estados Unidos y enviar el motor con falla de vuelta para ser reparado, la principal característica a notar en este proceso es la posibilidad de crédito que los grandes ferrocarriles tienen con los proveedores de equipos debido a su antigüedad y el interés de los fabricantes en atender las necesidades de estas empresas de la mejor manera posible.

Por otro lado, la empresa STS spa, con menos de un año de existencia y con una cantidad pequeña de piezas compradas, tiene problemas para conseguir precios competitivos en los repuestos que permitan hacer la reparación por un costo menor a traer el componente de Estados Unidos. En modo de ejemplo, se pretendía reparar un supercargador para motor diésel y el costo de los repuestos comprados por STS spa CIF Miami, es decir, antes de transportarlos e internarlos en Chile superaba considerablemente el recio del supercargador comprado por el ferrocarril CIF Antofagasta.

Lo anterior implica la obligación de la empresa STS spa de construir relaciones con los proveedores de repuestos en Estados Unidos y buscar nuevos en otras locaciones para ofrecer a sus clientes precios competitivos con la compra directa de equipos reparados al fabricante.

Parte importante de la evaluación de cualquier proyecto es la presentación de una alternativa para comparar, especialmente el retorno en inversión y el valor actual neto. En este caso, existe la idea de configurar un vehículo como un taller móvil que permite a los mecánicos realizar los servicios directamente en el sitio de nuestros clientes contando, al mismo tiempo, con todos los recursos de un taller sin utilizar las instalaciones del cliente.

Estos vehículos consistirán en una van o camión 3/4 con una carrocería hecha a pedido que contenga todas las herramientas y equipos necesarios para una o ambas mantenciones ofrecidas, además de la posibilidad de transportar a los mecánicos de un cliente a otro más rápido y a un menor costo para el cliente que llevar los motores de tracción a un taller central.

Una ventaja de esta alternativa es la flexibilidad en los costos de inversión y la disposición del sistema al aumento de escala por su característica modular, comprar otro camión y carrocería; a diferencia del taller tradicional, el que debe ser dimensionado desde un comienzo con espacio para crecer en el futuro, con características como espacio disponible para implementar nuevas bahías de trabajo, mayor espacio de bodega y otras no operacionales como baños con más capacidad de la necesaria en un comienzo, todo esto implica un costo de implementación mayor que si estos aspectos no fueran necesarios. Entre las desventajas se encuentra la imposibilidad de instalar el dinamómetro debido a la necesidad de un sistema de refrigeración de agua en la forma de un intercambiador de calor aire-agua o una torre de enfriamiento.

6.4 Análisis FODA

Fortalezas La experiencia de los técnicos que ya pertenecen a la empresa STS, que incluye mecánicos que han reparado motores de tracción.

Las especialidades incluyen mecánica diésel, sistemas eléctricos, rodados, estructuras y cabinas.

Oportunidades La falta de talleres que realizan reparación de motores de tracción en latinoamérica y especialmente en Chile.

Los clientes de la empresa STS incluyen grandes ferrocarriles como FCAB, Fepasa, Ferronor y Transap.

Debilidades La cantidad de mecánicos contratados en la actualidad que no cubren las necesidades iniciales del taller del proyecto.

La falta de un equipo de ingeniería experimentado en la elaboración de planes de mantenimiento.

Amenazas Se considera un riesgo para la implementación y crecimiento del proyecto la falta de técnicos capacitados y con experiencia en la recuperación de motores eléctricos de gran tamaño.

Otro riesgo es el precio que los fabricantes de repuestos ofrecen a los ferrocarriles por los componentes mayores de las locomotoras si las adquieren reacondicionadas por ellos, que son menores a los ofrecidos al taller por los conjuntos de repuestos para realizar la reparación en el taller nacional.

7 Análisis final y resultados

A continuación se realiza una comparación cuantitativa económica con los indicadores señalados en la subsección *indicadores* entre los distintos escenarios de adquisición de terrenos y activos, además, de una comparación cualitativa basado en la calidad objetiva del producto y la calidad subjetiva del servicio proporcionado por el representante de las distintas opciones.

Cuadro 7: Resumen indicadores en miles de pesos actuales

Caso	Capital	VAN	TIR
Compra financiada	1338500	3126300	8.85 %
Arriendo financiada	246000	2601470	26.65 %
Arriendo interno	245925	2611250	26.60 %

Se descarta la opción de comprar cualquier terreno debido a la enorme inversión inicial requerida y, como consecuencia de esto, los pagos del crédito que no son producidos hasta el quinto año del proyecto.

Cuadro 8: Resumen indicadores en UF

Caso	Capital	VAN	TIR
Compra financiada	50319.5	117530.1	8.85 %
Arriendo financiada	9248.1	97799.6	26.65 %
Arriendo interno	9245.3	97167.3	26.60 %

Se concluye que la mejor opción entre las evaluadas es el arriendo del terreno en Antofagasta y la compra de todos los activos fijos, dado que esta configuración del proyecto genera las mayores utilidades con una inversión relativamente baja.

El financiamiento se vuelve una diferencia menor debido al tamaño relativamente pequeño de la inversión. La decisión final debe ser tomada de acuerdo a si es posible conseguir el financiamiento con la tasa y plazo asumidos en este estudio y la posibilidad de financiar parte o toda la inversión requerida con fondos de la empresa generados por otros servicios prestados. La solución debería ser una alguna combinación de ambos casos.

7.1 Recomendaciones

Se descarta la opción de comprar una grúa horquilla nueva debido a su elevado costo al compararlo con la unidad reacondicionada. También se descarta la opción de comprar la grúa usada debido a la falta de respaldo provisto por el representante de la fábrica, en caso de falla, el tiempo muerto entre la detección de una falla, y la vuelta al trabajo, todo el trabajo del taller debe detenerse por la necesidad de mover grandes piezas de equipamiento entre las estaciones debido a la decisión de segregar las áreas según tipo en lugar de orden de procesos.

El diseño modular del taller permite realizar, no solo ampliaciones con niveles de inversión predeterminados, sino que repetir el proyecto, con el objetivo de continuar el aumento de capacidad, esto le da la capacidad de acomodar aumentos de demanda provenientes del resto del continente con poco tiempo de proceso y espera.

El principal problema del proyecto es encontrar mecánicos con experiencia en la reparación de motores de tracción, una vez que se tenga una planta de mecánicos expertos, ellos podrán pasar sus conocimientos a los ayudantes de manera que tener un plan de avance para los mecánicos aprendices a mecánicos generales al realizar una ampliación debido a que la contratación de mecánicos aprendices puede ser más simple.

Se vuelve necesario tener un programa predeterminado para la importación de repuestos debido a los elevados aranceles que se incurren al internar repuestos, es imperativo aprovechar las franquicias derivadas del Tratado de libre comercio firmado entre Chile y Estados Unidos el 2003 para lo cual se requiere la mediación de una Agencia de Aduanas, lo que implica un costo que no pudo ser determinado para este estudio debido a la falta de información por parte de estas empresas.

Al considerar la gran cantidad de repuestos a utilizar a lo largo de la vida del taller y la necesidad de comprar estos en el extranjero, se concluye que es conveniente la adquisición de franquicias para ser el representante oficial, sino en latinoamérica, en Chile de marcas como *ePowerRail*, *Wabtec*, *NRE* y *AIECO*; fabricantes de repuestos y proveedores de locomotoras reacondicionadas. De estas, solo NRE a través de su filial *Chena ISF* tiene un distribuidor oficial en Chile.

Esto presenta una oportunidad de entrar a los mercados del resto de países del continente porque los compradores de repuestos serían derivados a nosotros por el fabricante y se puede ofrecer menores costos de envío para países que no tengan tratados comerciales con Estados Unidos.

7.2 Conclusiones

- La demanda existe en Chile y el resto del continente, pero el servicio no se presta de manera abierta.
- La implementación del taller es posible, pero tiene riesgos provenientes de la novedad del servicio a prestar.
- El trabajo se exporta a EEUU y se traen motores reacondicionados a costos que afectan negativamente los resultados de las empresas.
- Procesos de mantención M1 y M2 derivados de los modos de falla más comunes en los motores eléctricos de gran tamaño.
- 3 tipos de trabajo implican 3 áreas en 3 galpones para evitar la intromisión de una parte del proceso con las demás, especialmente la metrología y las inspecciones.
- Costos menores al precio proyectado del servicio sobre 72 motores.
- Flujos de caja positivos para opciones planteadas.

8 Referencias

- [1] Handbook of Electric Motors 2nd ed., Gerald B. Kliman and Hamid A. Toliyat, Taylor & Francis Group, 2004
- [2] RCM—Gateway to World Class Maintenance, Anthony M. Smith and Glenn R. Hinchcliffe, Elsevier, 2004
- [3] Motor Eléctrico de Tracao de Corriente Contínua, Fernando A. Cavazzoni, Manser, 2008

9 Anexos

A Flujo de Caja compra de terreno

B Flujo de Caja arriendo de terreno

C Flujo de Caja arriendo de terreno con financiamiento