



Memoria del proyecto para optar Grado de Magíster en Administración
y Gestión Portuaria y al Título de Ingeniera Civil Oceánica

Evaluación Técnico-Económica de la Implementación de Dispositivos para Mejorar la Eficiencia Energética en Pontones de Australis Mar

Tamara Arachelli Santis Silva

Enero, 2026

EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE DISPOSITIVOS PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN PONTONES DE AUSTRALIS MAR

Tamara Arachelli Santis Silva

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

Felipe Caselli Benavente

Profesor guía

Sergio Bidart Loyola

Revisor

Daniella De Luca Navarrete

Revisor

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

AGRADECIMIENTOS

Hoy, al cerrar este capítulo, mi corazón se llena de gratitud. Este logro no es solo mío; es el reflejo de cada mano que me sostuvo, de cada palabra que me impulsó y de cada abrazo que me recordó que nunca estuve sola.

A mi mamá y a mi papá, pilares de mi vida, gracias por enseñarme que los sueños se construyen con esfuerzo y amor. Sin ustedes, este camino habría sido imposible. A mis hermana/os, por mostrarme que el amor verdadero trasciende la distancia y las diferencias; por recordarme que la familia es eterna y que nunca dejaremos de ser niñas/os.

A mi Mamiri y a mi abuelita Norma, que con su sabiduría y ternura han sido faros en mi camino. A las mujeres de mi familia —tías, primas, cuñadas, sobrinas— ejemplos de amor, fuerza, lucha y empoderamiento. A mis sobrinos que siempre me han llenado de orgullo el corazón. A mi familia política, que me abrió sus brazos y me enseñó que el amor también se expande más allá de la sangre, gracias por siempre estar para nosotros.

A Gabriel, en especial, compañero incansable, por tu paciencia, tu apoyo y tu amor incondicional. Gracias por ser el mejor papá y el mejor pololo en esta travesía, nunca podré ser capaz de demostrar la tremenda inspiración y orgullo que vivo junto a ti. A mi pequeño Awka, razón de mi vida, y a mi Pelluquito, que desde donde esté sé que sonríe conmigo, los amo, gracias por ser mi amor eterno.

Este logro también es tuyo Patito, nos haces falta, pero te llevamos siempre en nuestro corazón y te recordamos con mucha alegría.

A mis amigas y amigos que hicieron más liviano este camino, en especial a Cami, Monse y Corbatita, sin ustedes no sería lo mismo: Maty, Pablito, Edu, Ale, Paula, Checho y tantos otros que saben que están aquí conmigo. A todos los que tomaron otro camino distinto al mío y a quienes he encontrado en este nuevo desafío, como mi tremendo equipo del magister y la Barbarita. Una mención especial a mi Karlita, que año tras año ha sido un gran amor y una gran amiga.

A quienes conocí en Australis, que claramente hicieron mi estadía mucho más linda ahí, gracias por su apoyo y compañía. A Ignacio y Gabriel, que también fueron parte de este proceso.

A los profesores y profesoras que me guiaron con paciencia y dedicación. En especial, al profesor Felipe Caselli, por no dejarme caer en mis locuras; a Lucas Correa, por confiar en mí como proyecto; y a Cristian, mi brazo derecho en esta evaluación, gracias por todo.

A toda la Escuela de Ingeniería Civil Oceánica, por enseñarme no solo conocimientos, sino valores que llevaré siempre conmigo; viví mis mejores años en la UV.

Este logro es un homenaje a cada una/o de ustedes. Gracias por sostenerme cuando sentí que caía, por impulsarme cuando dudé, y por celebrar conmigo cada pequeño avance. Hoy cierro esta etapa con el corazón lleno de amor y gratitud, mirando hacia adelante con la certeza de que todo lo vivido me ha hecho más fuerte.

Este triunfo es nuestro. Gracias por ser parte de mi historia.

TABLA DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN.....	X
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS	4
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
3 ALCANCES Y LIMITACIONES	5
4 MARCO TEÓRICO	6
4.1 LEY N°21.305 DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	6
4.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA	6
4.3 INTENSIDAD ENERGÉTICA.....	7
4.4 CENTROS DE CULTIVO	7
4.4.1 PONTONES	8
4.5 GENERADORES DE ENERGÍA.....	9
4.5.1 PÉRDIDA DE EFICIENCIA EN GENERADORES	13
4.6 OPTIMIZADORES DE EFICIENCIA PARA GENERADORES	14
4.6.1 DISPOSITIVOS APLICADOS INTERNACIONALMENTE	14
4.6.2 IONIZADORES DE COMBUSTIBLE.....	16
4.6.3 DESCARBONIZADORES DE GASES.....	17
4.7 TELEMETRÍA.....	18
4.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	18
4.8.1 ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS (AED).....	18

4.8.2	ANÁLISIS DESCRIPTIVO	18
4.8.3	PRUEBA DE HIPÓTESIS	19
4.8.4	REGRESIÓN LINEAL	19
4.9	MÉTODOS DE EVALUACIÓN ECONÓMICA	20
4.9.1	ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO (ACB)	20
4.9.2	COSTOS OPERATIVOS (OPEX)	20
4.9.3	COSTOS DE CAPITAL (CAPEX)	20
4.9.4	VALOR ACTUAL NETO (VAN)	21
4.9.5	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)	21
4.9.6	PERÍODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN (PRI)	22
4.10	GESTIÓN DE PROYECTOS Y REQUERIMIENTOS	22
5	METODOLOGÍA	23
5.1	ENFOQUE DEL PROYECTO	23
5.2	RECOLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE DATOS	23
5.3	TRATAMIENTO DE DATOS Y AJUSTES	24
5.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	24
5.5	ANÁLISIS ECONÓMICO	25
5.5.1	SUPUESTOS PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA	25
5.6	EVALUACIÓN DE FACTORES DE GESTIÓN Y REQUERIMIENTO	28
6	RESULTADOS	30
6.1	DATOS LINEA BASE	30
6.2	DATOS POST INSTALACIÓN	31
6.3	ANÁLISIS TÉCNICO	33
6.3.1	ANÁLISIS DESCRIPTIVOS GENERADOR 1, LÍNEA BASE	33
6.3.2	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL G1 CON IONIZADOR	36

6.3.3	ANÁLISIS DESCRIPTIVO COMPARATIVO PRE Y POST IONIZADOR.....	38
6.3.4	PRUEBA T PARA MUESTRAS RELACIONADAS.....	40
6.3.5	REGRESIÓN LINEAL.....	43
6.3.6	ANÁLISIS DESCRIPTIVOS GENERADOR 2, LÍNEA BASE	44
6.3.7	ANÁLISIS DESCRIPTIVO DEL G2 CON DESCARBONIZADOR	47
6.3.8	ANÁLISIS DESCRIPTIVO COMPARATIVO PRE Y POST IONIZADOR.....	49
6.3.9	PRUEBA T PARA MUESTRAS RELACIONADAS EN EL GENERADOR 2..	51
6.3.10	REGRESIÓN LINEAL.....	54
6.4	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	55
6.4.1	RESULTADOS IONIZADOR DE COMBUSTIBLE	56
6.4.2	RESULTADOS DESCARBONIZADOR DE GASES	59
6.4.3	PROPUESTA DE ESTANDARIZACIÓN DE REQUERIMIENTOS PARA EL SERVICIO DE TELEMETRÍA	62
7	DISCUSIONES.....	65
8	CONCLUSIONES.....	67
9	RECOMENDACIONES.....	69
10	REFERENCIAS	70
	ANEXOS.....	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1: Depreciación del SII para los optimizadores.....	26
Tabla 5.2: Horas de funcionamiento anual del generador.	27
Tabla 5.3: Consumo y costo del agua química anual.	28
Tabla 5.4: Métodos de evaluación para cada requerimiento.	29

Tabla 6.1: Resumen operación G1 en línea base.	30
Tabla 6.2: Resumen operación G2 en línea base.	31
Tabla 6.3: Resumen operación del G1 optimizado.....	32
Tabla 6.4: Resumen operación del G2 optimizado.....	32
Tabla 6.5: Análisis descriptivo línea base del Generador 1.....	33
Tabla 6.6: Análisis descriptivo de los datos optimizados del G1.	36
Tabla 6.7: Comparación mediante porcentajes de cambio.....	39
Tabla 6.8: Estadísticos básicos para la diferencia de la comparación.....	41
Tabla 6.9: Prueba t para muestras relacionadas en eficiencia energética [kWh/L] y en SFC [L/kWh].	41
Tabla 6.10: Intervalo de confianza del ionizador de combustible.	41
Tabla 6.11: Porcentaje de optimización con respecto al valor de línea base.....	42
Tabla 6.12: Análisis descriptivo línea base del Generador 2.	44
Tabla 6.13: Análisis descriptivo de los datos optimizados del G2.....	47
Tabla 6.14: Comparación mediante porcentajes de cambio para el G2.	50
Tabla 6.15: Estadísticos básicos para la diferencia de la comparación del G2.	52
Tabla 6.16: Prueba t para muestras relacionadas en eficiencia energética [kWh/L] y en SFC [L/kWh] del G2.....	52
Tabla 6.17: Intervalo de confianza del descarbonizador de gases.	52
Tabla 6.18: Porcentaje de optimización con respecto al valor de línea base de G2.	53
Tabla 6.19: Proyección de diésel en 8 años.....	55
Tabla 6.20: Flujo de caja de la implementación del ionizador de combustible.....	56
Tabla 6.21: Indicadores económicos del ionizador de combustible.....	56
Tabla 6.22: Flujo de caja de la implementación del Descarbonizador de gases.....	59
Tabla 6.23: Indicadores económicos del descarbonizador de gases.....	59
Tabla 6.24: Requerimientos funcionales.	63
Tabla 6.25: Requerimientos no funcionales.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación del pontón en estudio.	2
Figura 2: Estructura del centro de cultivo.	7
Figura 3: Pontón 41 de Australis Mar.	9
Figura 4: Generador Cummins tipo.	10
Figura 5: Tuberías de alimentación.	11
Figura 6: Iluminación fotoperiodo.	12
Figura 7: Habitabilidad en un pontón.	13
Figura 8: Dispositivos internacionales, a), b) y c) respectivamente.	15
Figura 9: Ionizador de Combustible.	16
Figura 10: Porcentajes de mejora de descarbonizadores de gases.	17
Figura 11: Distribución del consumo de combustible [L] en línea base del G1.	34
Figura 12: Distribución de la eficiencia energética [kWh/L] en la línea base.	35
Figura 13: Distribución del consumo específico del combustible [L/kWh] para la línea base.	35
Figura 14: Distribución del consumo de combustible [L] post ionizador.	37
Figura 15: Distribución de la eficiencia energética [kWh/L] post ionizador.	37
Figura 16: Distribución del consumo específico de combustible [L/kWh] post ionizador... ..	38
Figura 17: Comparación de la distribución de eficiencia energética pre y post instalación del ionizador.	39
Figura 18: Comparación en la distribución del SFC pre y post instalación del ionizador. .	40
Figura 19: Relación entre energía generada [kWh] y el consumo de combustible [L] en la línea base.	43
Figura 20: Relación entre energía generada [kWh] y consumo de combustible [L] optimizado.	43
Figura 21: Distribución del consumo de combustible [L] en línea base del G2.	45
Figura 22: Distribución de la eficiencia energética [kWh/L] en la línea base del G2.	45
Figura 23: Distribución del consumo específico del combustible [L/kWh] para la línea base del G2.	46
Figura 24: Distribución del consumo de combustible [L] post decarbonizador.	48

Figura 25: Distribución de la eficiencia energética [kWh/L] post descarbonizador.....	48
Figura 26: Distribución del consumo específico de combustible [L/kWh] post descarbonizador.	49
Figura 27: Comparación de la distribución de eficiencia energética pre y post instalación del descarbonizador.	50
Figura 28: Comparación en la distribución del SFC pre y post instalación del descarbonizador.	51
Figura 29: Relación entre energía generada [kWh] y el consumo de combustible [L] en la línea base del G2.....	54
Figura 30: Relación entre energía generada [kWh] y consumo de combustible [L] optimizado.	54
Figura 32: Comparación del consumo de combustible anual con ionizador de combustible.	57
Figura 33: Ahorro anual estimado del ionizador (en millones de pesos).....	58
Figura 34: Ahorro acumulado (verde) e inversión del proyecto (rojo).	58
Figura 35: Comparación del consumo anual del combustible con la implementación del descarbonizador.	60
Figura 36: Ahorro anual estimado en millones de pesos del descarbonizador de gases..	61
Figura 37: Ahorro acumulado vs la inversión del dispositivo.	61

RESUMEN

Este estudio evalúa la viabilidad técnica y económica de implementar dispositivos para mejorar la eficiencia energética en los generadores de los pontones de Australis Mar, en el contexto de la Ley N°21.305 de Eficiencia Energética. Se analizaron dos tecnologías: un ionizador de combustible y un descarbonizador de gases.

La metodología incluyó la instalación de sistemas de telemetría para medir consumo de combustible y energía generada, estableciendo una línea base y comparando los resultados tras la implementación de los dispositivos. El análisis técnico se realizó mediante estadística exploratoria y descriptiva, prueba t para muestras relacionadas y regresión lineal. El análisis económico consideró indicadores como VAN, TIR y PRI, incorporando supuestos financieros y ajustes por incertidumbre.

Los resultados muestran que el ionizador incrementó la eficiencia energética en un 4,78% y redujo el consumo específico de combustible en 6,82%, con significancia estadística al 95% (p-valor de 0,037 y 0.028 respectivamente). Económicamente, presenta un VAN positivo de \$9.181039, TIR del 74% y un periodo de recuperación de 1,5 años, lo que lo convierte en una alternativa rentable a corto plazo. En contraste, el descarbonizador mejoró la eficiencia energética en un 12,10% y disminuyó en un 18,92% el consumo específico de combustible, con significancia al 95% (ambos con p-valor de 0.002). Económicamente, presenta un VAN positivo de \$13.392.206, TIR del 49% y un PRI de 2,03 años, convirtiéndolo en una excelente alternativa técnica y económica a mediano plazo por su alta inversión inicial y su mayor periodo de recuperación.

Se identificaron limitaciones asociadas a la falta de datos completos por problemas en la telemetría y retrasos en la implementación, lo que afectó en los tiempos de entrega del proyecto final. Además, se evidenció la necesidad de estandarizar requerimientos y fortalecer la gestión de proyectos para evitar desviaciones en cronograma y alcance.