UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
Valparaíso- Chile

ELABORACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA NORMA SAE JA-1011 PARA ASEGURAR LA DISPONIBILIDAD DE ACTIVOS CRÍTICOS DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES

PABLO DARÍO CAMPOS MUÑOZ

MEMORIA DE TÍTULO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

Profesor Guia: Dipl. Ing. Udo Rheinschmidt
Profesor Correferente: Ing. Luis Guzmán Bonet

DICIEMBRE - 2019

Para Catalina, Graciela y Erik

Agradecimientos

A mis padres, Cecilia y Darío, por su inconmesurable amor. Nada resume mejor todas las cosas que ambos han hecho por mí, y ninguna palabra aquí escrita podrá siquiera parecerse remotamente a mi gratitud hacia ella y él.

A mi hermana, Ximena, por apoyarme, escucharme y aguantarme. Mi vida habría sido muy aburrida sin su compañía.

Y a través de nuestros lazos sanguíneos, a cada familiar que de verdad, y no necesariamente a causa de estos lazos, me tendieron una mano de apoyo, un abrazo o un afecto. En especial a mi Abuela Catalina y mi Abuelo Francisco.

A mi pareja, Rocío, por quererme, cuidarme, consentirme, alimentarme, consolarme, y por todas y cada una de las sonrisas, risas y carcajadas. No puedo sino sentirme afortunado por su deseo de acompañarme.

A mis amigos, Pablo y Sebastián, fuentes de amor y sabiduría, les agradezco infinitamente estos años juntos.

A mis amigas Valentina, Daniela, Camila, Laura, Melanie, Camila, y a mis amigos Pablo, Camilo, Sebastián, Héctor, Diego, Eduardo, Walter, Pablo, Andrey, Cristián, Daniel, Sebastián, Alex, Felipe, Marcelo, Pablo, Marcos, Francisco, José, Eliecer, Víctor, Luis, Alberto, Francisco, Daniel, y a quien quiera que se me haya olvidado (mis disculpas, son las 02:06 am). Todas y todos ustedes, de alguna manera, pequeña, grande, efímera o duradera, hicieron de mi experiencia de vivir algo valedero.

A Don Luis Guzmán, por su inmediata disposición para llevar a cabo esta memoria, su inigualable motivación y su no menor conocimento de la materia. Gracias por todo lo entregado a éste alumno, desde el día uno del ramo de Mantención, hasta el día de la titulación.

A Don Udo Rheinschmidt, por permitirme reencantarme con mi profesión, y por permitirme soñar con algún día ser un verdadero aporte a un mundo mas justo, equitativo y sostenible, a través de mi profesión y como persona. Y muchas gracias por enseñarme a creer en mis sueños como ingeniero, y a demostrarme que no estamos solos en esto.

Y a tí, desocupado/a lector/a, que por algún motivo estás leyendo esto. No te comas a los animales, considera bien si quieres tener hijos/as, se un aporte para este mundo, quiere y ama, se responsable y crítico/a. Y pásalo bien.

Abstract

The following document has the objective of developing a maintenance plan based on the SAE JA1011 standard, as well as refferences in the literature concerning Reliability Centered Maintenance, to be applied in the assets that will be implemented in the Research Center, “CERTES”, of the Valparaíso region of Chile, especifically located in Punta Curaumilla, Southwest of Laguna Verde.
For the making of this document, it was first necessary to asset the scoop of it. To that effect, the recopilation of relevant information was based around two fundamental concepts: State of the development of Renewable Energies on a global and local basis, and Reliability Centered Maintenance.
The first of this concepts helped to grasp the context in which this document would develop, the scope of renewable energies and their implementation and relevance in the world energy generation, and therefore, their importance in a sustainable world development.
The second axis delivers the necessary tools for the engineering of a maintenance plan, in order with the necessities of the CERTES in its current state of implementation.
First, the critical assets for CERTES were selected. Given the fact that only three of them are in their last stage of development, this three were selected to be part of this maintenance plan.
Having this critical assets selected, the plan was developed. In this stage, first the operational context was established, as well as their key performance indicators (KPI’s) and different enviromental and security standards. With all this data, the Primary and Secondary functions were identified and established. The Primary Function was made given the guidelines of the SAE JA1011 standard, and takes in account the function that the user/owner wishes to be fulfilled. The Secondary Function emanate from the Techincal Object Structure of the assets itselfs. With all this data, their can be a full AMFE analysis, for every asset, with their Fails, Failiure Mode and Failure Effects. With this, the plan itself it’s made
At last, an economic evaluation of the cost of implementing this maintenance plan was made, taking in account the supplies and the personel needed for this tasks.

Keywords *Maintenance, Reliability, Sustainable, Desalinization, Wave Powered Pump*

Resumen

El presente Trabajo de Título tiene por objetivo desarrollar un plan de mantenimiento basado en la norma SAE JA-1011 y asi como en la literatura referente a RCM, para los activos planeados para el Centro Educativo Regional de Tecnología y Energías Sustentables. Este centro se ubicará en la zona de Punta Curaumilla, en la Región de Valparaíso.

Para la realización de este Trabajo de Título, primero se recopiló información relevante para éste, centrandose en dos ejes principales: Desarrollo de Energías Renovables y Mantenimiento Basado en Confiabilidad.

El primero de estos ejes ayudó a entender el contexto del trabajo, los alcances de las energías renovables, su nivel de implementación y de relevancia en la matriz energética mundial y nacional, y su importancia en el contexto de un desarrollo mundial basado en la sostenibilidad.

Por otro lado, el segundo eje entrega las herramientas para desarrollar un plan de mantenimiento acorde a las necesidades del CERTES en su estado de desarrollo e implementación actual.

Primero se seleccionaron aquellos activos que hoy resultan críticos para el CERTES. Dado que existen solo tres actualmente en su última fase de diseño, se seleccionaron estos tres para el desarrollo de sus planes de mantenimiento.

Teniendolos, se desarrolló el plan, constatando primero el contexto operacional de cada uno de ellos, sus indicadores de rendimiento, y los distintos estándares que los activos deben cumplir, ambientales y de seguridad. Con todos estos datos se identificaron las funciones primarias y secundarias del activo. La función primaria fue realizada acorde a lo que señala la norma SAE JA1011, y considera la función que se desea que cumpla el activo. Las funciones secundarias emanan del diseño mismo de los activos, teniendo en cuenta la estructura técnica de estos. Con esto se puede desarrollar un análisis AMFE completo con cada falla, modo y efecto de falla detectado. Con esto se diseña el plan de mantenimiento

Por último, se lleva a cabo una evaluación económica del costo de la implementación del plan de mantenimiento, en cuanto a insumos necesarios para su realización, y el personal que llevará a cabo dichas tareas.

Palabras Clave *Mantenimiento, Confiabilidad, Sostenibilidad, Desalinización, Undimotriz*

Índice general

II

Agradecimientos III

Abstract IV

Resumen V

Índice de figuras XI

Índice de tablas XIII

Nomenclatura XIV

1. Introducción 1

2. Marco Teórico 6

2.1. Antecedentes Geográficos 6

2.1.1. Ubicación Geográfica Centro y Consideraciones Generales . 6

2.1.2. Uso de suelos 6

2.1.3. Accesos y Conectividad 6

2.1.4. Situación Suministro Eléctrico 7

2.2. Centro Educativo Regional de Técnología y Energía Sustentable . . 8

2.2.1. Origen de la iniciativa 8

2.2.2. Grado de implementación del centro 8

2.3. Procesos y activos presentes y proyectados del CERTES 10

2.3.1. Desalinización Solar 10

2.3.2. Método de Humidificación y Deshumidificación 10

2.3.3. Energía Undimotriz 11

2.3.4. Energía Eólica 13

2.4. Estudio de implementación de Energía Eólica en el centro 19

2.5. Activos del CERTES 21

2.5.1. Desalinizadora 1, Modelo de Circuito Cerrado de Aire y Abierto de Agua (CAOW) 21

2.5.2. Desalinizadora 2, Método por Vaporización 22

2.6. Historia del mantenimiento 23
2.7. Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento basado en Confiabilidad 26
2.7.1. Siete preguntas para realizar correctamente un proceso de mantención RCM 26
2.8. Como decidir un plan de mantenimiento RCM, Lógica y Jerarquización 30

3. Metodología y Alcances del Trabajo 34
3.1. Metodología 34
3.2. Consideraciones Generales y específicas de los Activos 35

4. Caracterización de los activos según norma SAE JA-1011 36
4.1. Desalinizadora por Vaporización 36
4.1.1. Contexto Operacional 36
4.1.2. Indicadores 36
4.1.3. Estándares de Seguridad Ambiental y de Seguridad Operativa 36
4.1.4. Entorno del Activo 37
4.2. Funciones Primaria y Secundarias del Activo 37
4.2.1. Función Primaria 37
4.2.2. Funciones Secundarias 37
4.3. Fallas Funcionales 37
4.4. Modos de Falla 38
4.5. Efectos de las Fallas 38
4.6. Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación, Configuración CAOW 39
4.6.1. Contexto Operacional 39
4.6.2. Indicadores 39
4.6.3. Estándares de Seguridad Ambiental y de Seguridad Operativa 39
4.6.4. Entorno del Activo 39
4.7. Funciones Primaria y Secundarias del Activo 40
4.7.1. Función Primaria 40
4.7.2. Funciones Secundarias 40
4.8. Fallas Funcionales 41
4.8.1. Falla Función Primaria 41
4.8.2. Fallas Funciones Secundarias 41
4.9. Modos de Falla 42
4.9.1. Modos de Falla Función Primaria 42

4.9.2. Modos de Falla Función Secundaria 42
4.10. Efectos de las Fallas 44
4.10.1. Efectos de las Fallas Función Primaria 44
4.10.2. Efectos de las Fallas Funcioón Secundaria 44
4.11. Bomba Undimotriz Wasserdrachen 46
4.11.1. Contexto Operacional 46
4.11.2. Indicadores 46
4.11.3. Estándares de Seguridad Ambiental y de Seguridad Operativa 46
4.11.4. Entorno del Activo 46
4.12. Funciones Primara y Secundarias del Activo 47
4.12.1. Función Primaria del Activo 47
4.12.2. Función Secundaria del Activo 47
4.13. Fallas Funcionales 47
4.13.1. Función Primaria 47
4.13.2. Falla Función Secundaria 48
4.14. Modos de Falla 49
4.14.1. Modos de Falla Función Primaria 49
4.14.2. Modos de Falla Función Secundaria 49
4.15. Efectos de las Fallas 51
4.15.1. Efectos de las Fallas Función Primaria 51
4.15.2. Efectos de las Fallas Función Secundaria 51

5. Plan de Mantenimiento 52
5.1. Desalinizadora por Vaporización 52
5.1.1. Canaletas de Alimentación 52
5.1.2. Tubos de Rebase 52
5.1.3. Aislantes 52
5.1.4. Tubos de Termofluído 52
5.1.5. Colector Solar 52
5.2. Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación 54
5.2.1. Humidificador 54
5.2.2. Deshumidificador 55
5.2.3. Colector Solar 56
5.3. Bomba Undimotriz Wasserdrachen 57
5.3.1. Cuerpo 57
5.3.2. Embudo 57
5.3.3. Flotador 57

5.3.4. Unidad de conexión Embudo/Mangueras y Válvula Antiretorno 57
5.3.5. Tubos de Agua 58
5.3.6. Anclajes y Cuerdas de Sujeción del Prototipo 58

6. Análisis Económico 59
6.1. Antecedentes 59
6.2. Costos Hora Hombre (HH) 61
6.3. Cotización Insumos 62
6.4. Costos Totales Asociados a la Aplicación del Plan 63

7. Aplicación del Plan 64
7.1. Desalinizadora por Vaporización ubicada en UTFSM, sede Viña del Mar 64
7.2. Aplicación del Plan 64

8. Conclusiones 68

A. Análisis AMFE 69
A.1. Desalinizadora por Vaporización 70
A.2. Desalinizadora por Humidificador-Deshumidificador 71
A.3. Bomba Undimotriz Wasserdrachen 73

B. Checklist para cada Plan de Mantenimiento 75
B.1. Desalinizadora por Vaporización 75
B.2. Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación 76
B.3. Bomba Undimotriz Wasserdrachen 77

C. Cotizaciones Insumos 78
C.1. Removedor de Sarro 78
C.2. Escobilla 78
C.3. Paños 79
C.4. Sellante Poliuretano 79
C.5. Limpiavidrios 79
C.6. Secavidrios 80
C.7. Extensión Telescópica 80
C.8. Goma de Repuesto 80
C.9. Salvavidas 81
C.10. Gafas de Seguridad 81

C.11. Guantes de Goma 82

D. Bibliografía **83**

Índice de figuras

1.1. Diagrama de instalación eólica y sus potencias de salida. Fuente: Wind in Europe 2017. 2
1.2. Instalación Anual de Energía Eólica en Europa, Marina y Terrestre. Fuente: Wind in Europe 2017. 3
1.3. Total de Energía Eólica instalada en Europa. Fuente: Wind in Europe 2018 3
1.4. Planta de Desalinización Solar en Ouarzazate, Marruecos. Fuente: https://www.dw.com/ 4
1.5. Principales Metas de la Iniciativa Energía 2050. Fuente: Ministerio de Energía. 5

2.1. Lineas de Alta Tension (naranja) y Media Tension (azul) en la zona de Laguna Verde. Fuente: IDE 7
2.2. Ciclo Natural del Agua. Fuente: https://www.metoffice.gov.uk/weather/ learn-about/weather/how-weather-works/water-cycle 10
2.3. Esquema básico de un equipo de Desalinización. Fuente: Thermodynamic analysis of humidification dehumidification desalination cycles, G. Prakash Narayan 11
2.4. Principio del Comeolas. Fuente: Bombeo de Agua de Mar con Energía Undimotriz, Eliecer Cabrera Fernández 12
2.5. Principio del Comeolas mas Ariete. Fuente: Bombeo de Agua de Mar con Energía Undimotriz, Eliecer Cabrera Fernández 13
2.6. Molino de Herón Fuente: http://historico.oepm.es/museovirtual . . . 14
2.7. Molino de Blyth 15
2.8. Turbina Horizontal 16
2.9. Ejemplos de Turbinas Verticales, Savonius (izquierda) y Darrieus (centro y derecha) 18
2.10. Esquema de funcionamiento de Desalinizadora. Fuente: Diseño y Construcción de Sistema de Desalinización por Método de Humidificación-Deshumidificación (HDH) Acoplado con Energía Solar, Mauricio Reyes Valenzuela 21

2.11. Esquema de funcionamiento de Desalinizadora por Vaporización. Fuente: Desalinizador Solar a Múltiples Efectos a Alta Temperatura, Eduardo Gálvez Soto 22
2.12. Generaciones del mantenimiento. Fuente: RCM II, John Moubray . 24
2.13. Diagrama de funcionamiento. Fuente: RCM II, John Moubray . . . 27

6.1. Seis grupos de revisión típica de RCM. Fuente: RCM II, John Moubray 59

7.1. Óxido en la estructura, producto de golpe 65
7.2. Óxido en la estructura, producto de soldadura 65
7.3. Tubo de rebase 66
7.4. Tubo de termofluído, con su aislante 66
7.5. Panel del Colector Solar 67

A.1. Análisis AMFE de Desalinizadora por Vaporización 70
A.2. Análisis AMFE de Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación, parte 1 71
A.3. Análisis AMFE de Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación, parte 2 72
A.4. Análisis AMFE de Bomba Undimotriz Wasserdrachen, parte 1 . . . 73
A.5. Análisis AMFE de Bomba Undimotriz Wasserdrachen, parte 2 . . . 74

B.1. Checklist Desalinizadora por Vaporización 75
B.2. Checklist Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación . . 76
B.3. Checklist Bomba Undimotriz Wasserdrachen 77

C.1. Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl 78
C.2. Cotizado en: https://www.masol.cl/ 78
C.3. Cotizado en: https://www.masol.cl/ 79
C.4. Cotizado en: https://www.sodimac.cl/ 79
C.5. Cotizado en:https://www.masol.cl/ 79
C.6. Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl/ 80
C.7. Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl/ 80
C.8. Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl/ 80
C.9. Cotizado en: https://www.dimarine.cl/ 81
C.10. Cotizado en: https://www.segurycel.cl/ 81
C.11. Cotizado en: https://www.segurycel.cl/ 82

Índice de tablas

2.1. Especificaciones Técnicas 20

6.1. Insumos 62
6.2. Costos Totales Insumos 63
6.3. Precio HH 63

Nomenclatura

Símbolo o Sigla	Descripción
m	metro
μm	micrometro
kV	Kilovolt
kW	Kilowatt
MW	Megawatt
GW	Gigawatt
MWh	Megawatt hora
°C	Grado Celsius
USD	Dollar
CLP	Chilean Peso
RCM	Reliability Centered Maintenance
AMFE	Matriz peso
HDH	Humidificación-Deshumidificación

Nomenclatura del Plan	**Descripción**
FP	Función Primaria
FS_n	Función Secundaria
FFP_p	Falla de Función Primaria Parcial
FFP_t	Falla de Función Primaria Total
FFS_{pn}	Falla de Función Secundaria Parcial
FFS_{tn}	Falla de Función Secundaria Total
$MFFP_p$	Modo de Falla de Función Primaria Parcial
$MFFP_t$	Modo de Falla de Función Primaria Total
$MFFS_{pn}$	Modo de Falla de Función Secundaria Parcial
$MFFS_{tn}$	Modo de Falla de Función Secundaria Total
$EFFP_p$	Efecto de Falla de Función Primaria Parcial
$EFFP_t$	Efecto de Falla de Función Primaria Total
$EFFS_{pn}$	Efecto de Falla de Función Secundaria Parcial
$EFFS_{tn}$	Efecto de Falla de Función Secundaria Total

Capítulo 1

Introducción

La motivación de este trabajo nace debido noción cada vez mas cierta de que el equilibrio ecológico del planeta es cada vez mas frágil. El continuo extractivismo y la generación de bienes materiales en medio de una economía lineal que, como su nombre lo indica, solo avanza en un sentido, sin reparar en el daño que se le hace al ambiente, requiere que todos los sectores del conocimiento humano se vuelquen hacia un pensamiento basado en el cuidado del planeta, de sus recursos, y mediante esto de nosotros mismos como especie, así como de las demás especies que poblan el planeta. Es por esto que, dadas las competencias entregadas por la universidad en estos años, el aporte que debe realizar el ingeniero mecánico tiene que ser acorde a este pensamiento, y es pieza fundamental de la motivación de este trabajo de título.

El Informe de Brundtland, de 1987, señala que Sostenibilidad es estar al tanto de la naturaleza finita de los recursos del planeta, promover un desarrollo social que garantice un nivel óptimo de calidad de vida para toda la humanidad, y promover un desarrollo económico equitativo, sin dañar el medio ambiente. Dado que la producción de bienes materiales a nivel mundial y local requiere fundamentalmente de energía para su funcionamiento, es imperativo buscar que esta energía sea generada de forma afín a lo señalado por este informe, es decir, que sea generado de forma limpia y ecológicamente neutra.

El esfuerzo por generar energías de manera limpia, asi como de generar recursos para el uso humano usando nuevas tecnologías, ha ido en incremento en los últimos treinta años. Según lo señalado por Wind Europe en el 2017, en su informe Wind in power 2017, sólo en ese año Europa instaló 15,638 [GW] de potencia eléctrica generada solo gracias a turbinas eólicas, siendo Alemania quien mas instaló, con un 42 por ciento de este total.

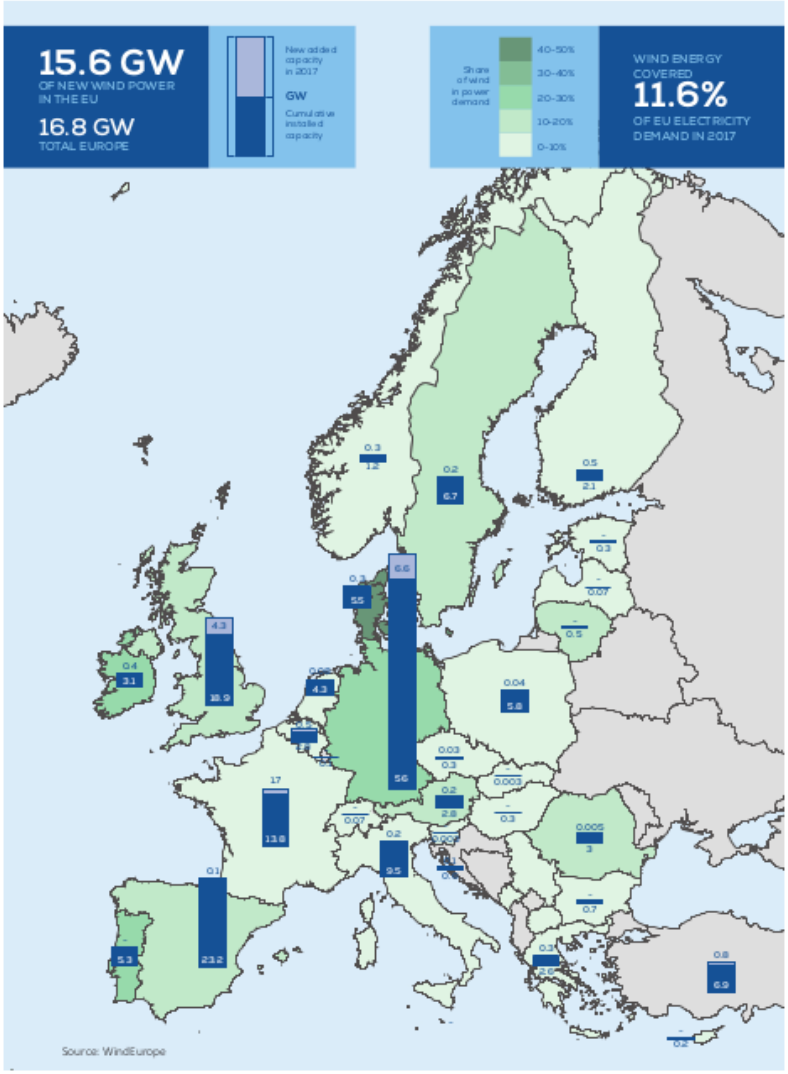

Figura 1.1: Diagrama de instalación eólica y sus potencias de salida. Fuente: Wind in Europe 2017.

Además, se constató que ese mismo año se alcanzó un record de instalaciones eólicas fuera de la costa (es decir, mar adentro, donde las condiciones del viento son altamente favorables para la instalación de turbinas eólicas), cuya potencia de salida alcanzó 3,1 [GW]. Esto se puede ver en la imagen 1.2.

Actualmente, sólo la energía eólica cubre el 14 por ciento de la demanda energética de Europa, con un total generado de 189 [GW]. Esto se puede apreciar con mayor claridad en la imagen 1.3.

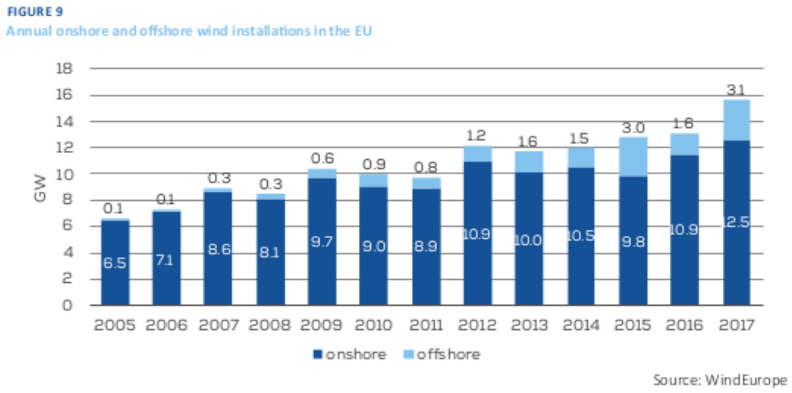

Figura 1.2: Instalación Anual de Energía Eólica en Europa, Marina y Terrestre. Fuente: Wind in Europe 2017.

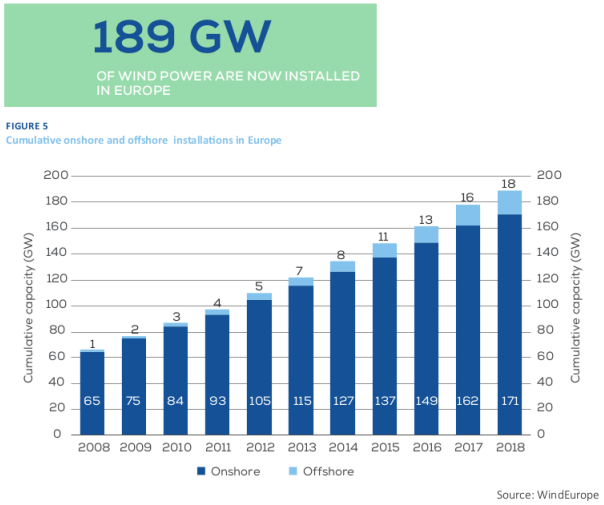

Figura 1.3: Total de Energía Eólica instalada en Europa. Fuente: Wind in Europe 2018

Por otro lado, técnicas de generación de agua potable para sectores que necesitan de este suministro han aumentado en su calidad y complejidad. Empresas mayoritariamente españolas, com Abengoa, han desarrollado proyectos en países

como Marruecos, que serían capaces de generar 275.000 [m3] de agua potable, de los cuales 150.000 [m3] de agua potable.

Figura 1.4: Planta de Desalinización Solar en Ouarzazate, Marruecos. Fuente: https://www.dw.com/

Dados los adelantos tecnológicos, y la necesidad de que las instalaciones generen recursos de forma continua y segura, el Mantenimiento como área de interés de la ingeniería mecánica también debe estar acorde al tiempo histórico. Ejemplo de esto son los cada vez mas sofisticados sistemas de manejo de datos estadísticos para el control, gestión y mantenimiento de activos, como por ejemplo en las turbinas eólicas. El monitoreo de condición y el diagnóstico de fallas a través de diferentes herramientas computacionales y de manejo de datos estadísticos, han sido recibidos como importantes medidas para el mantenimiento predictivo y preventivo, sirviendo de piedra angular en la gestión de este tipo de activos.

En el plano nacional, Chile ha intentado, a pesar de sus limitaciones industriales, alcanzar un nivel de desarrollo e implementación de energías renovables aceptable para los estándares sudamericanos. Entre los años 2016 y 2018 diferentes estamentos públicos, privados, académicos y sociales desarrollaron un plan conocido como Energía 2050. En este plan, se busca desarrollar una nueva matriz energética chilena basada en la sostenibilidad, confiabilidad de sus instalaciones y procesos, inclusividad de sus gestiones y gestores, y competitiva a la hora de generar recursos y ganancias económicas. Existen varias metas y compromisos, como el aseguramiento de una matriz confiable, o la creación de una “cultura enerética” en

todos los niveles de la población nacional. Sin embargo, la meta mas importante planteada por esta iniciativa es la que dice relación con la energía sustentable, y compromete que para el año 2050 en Chile al menos el 70 por ciento de la generación eléctrica provenga de energías renovables.

Figura 1.5: Principales Metas de la Iniciativa Energía 2050. Fuente: Ministerio de Energía.

Esta iniciativa transversal a todos los estamentos del país, alimenta aún mas la idea de que Chile y el mundo en general necesita profesionales comprometidos con el bienestar ecológico y social del planeta y todos sus habitantes.

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1. Antecedentes Geográficos

2.1.1. Ubicación Geográfica Centro y Consideraciones Generales

El centro se ubica en Chile, Región de Valparaíso, a aproximadamente 12 kilómetros al suroeste de la ciudad de Valparaíso, en una zona denominada Punta Curaumilla. Es una zona costera, la primera península al sur de Valparaíso, formada en su mayoría por acantilados de gran elevación, en promedio de 200 [m] sobre el nivel del mar. Es una zona cuyo potencial eólico se viene estudiando desde la década de los ochenta, todos ellos registrando las altas velocidades y su potencialidad para la conexión a la red. Se trata además de una zona de surgencia, es decir, una zona rica en biodiversidad dados los fuertes vientos que se registran en ella, y que arrastran todo tipo de nutrientes a la costa, que son aprovechados por la abundante fauna, en especial aves pelágicas y migratorias. Punta Curaumilla actualmente esta catalogada como zona rural, dada su baja densidad poblacional, que mayoritariamente se dedica a la actividad primaria.

2.1.2. Uso de suelos

Adentrandose hacia el territorio continental, se distingue una flora compuesta mayoritariamente por monoplantación de Pino Radiata y Eucaliptus, aunque también se encuentran, en menor medida, árboles, arbustos y plantas autóctonos como la quila, el quillay, el boldo, etc.

2.1.3. Accesos y Conectividad

El acceso a la zona se logra mediante la ruta F-98-G, que escinde desde el Camino la Pólvora en Valparaíso y llega a Laguna Verde. Luego, se continua a mano derecha, por la calle Camino al Faro, que llega hasta el recinto militar en el

cúal se ubica el faro de la zona. Esta calle en particular no está asfaltada, ni posee ningún tipo de tratamiento superficial.

2.1.4. Situación Suministro Eléctrico

La situación de suministro eléctrico de Punta Curaumilla es ciertamente complicada. Al sector colindante de Laguna Verde se le abastece mediante una línea de alta tensión, de 110 [kV], que viene de la subestación de Agua Santa. La subestación de Laguna Verde es de propiedad de AES Gener, y se trata de una central de generación eléctrica por medio de combustible diesel, pero solo se pone en funcionamiento en casos de emergencia: dada la baja demanda energética de la zona, producto a su vez de la baja densidad poblacional, hace que los costos operacionales de ésta sean muy elevados. Además, existe otra línea de doble circuito en tensión, de 66 [kV], que conecta la subestación ya mencionada con la subestación de la ciudad de San Antonio. De estas lineas de tensión, la energía que llega hasta la zona de Punta Curaumilla para el cliente final es a través de instalaciones de tensión media y baja (15 [kv] y 1[kV]), pero en su mayoría son deficientes, e incluso se puede inferir que algunas de estas no estén legalizadas (tendidos ilegales). Cabe destacar que la comunidad que reside en las parcelas y sitios habilitados para esto en la zona ha optado por abastecer sus viviendas mediante sistemas independientes, como paneles solares, generadores a combustible, y molinos eólicos residenciales.

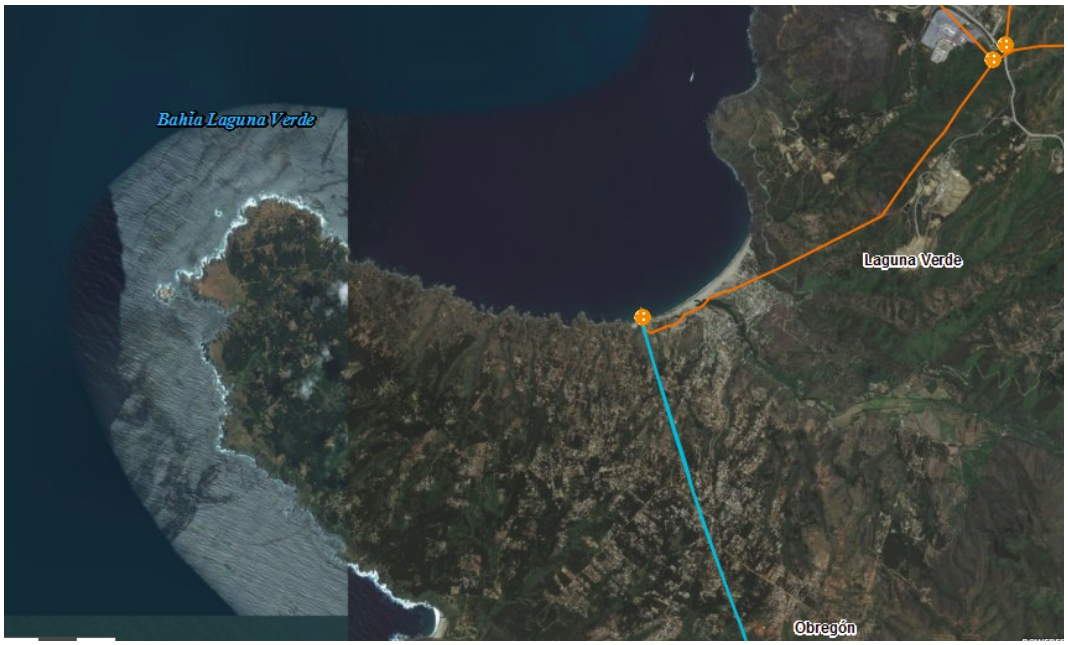

Figura 2.1: Lineas de Alta Tension (naranja) y Media Tension (azul) en la zona de Laguna Verde. Fuente: IDE

2.2. Centro Educativo Regional de Técnología y Energía Sustentable

2.2.1. Origen de la iniciativa

El centro educativo regional de tecnología y energía sustentable (CERTES) nace debido a la inquietud de varios profesionales de la zona de valparaíso de formar integralmente a los estudiantes de todos los niveles educativos acerca de la sustentabilidad energética, a través del acceso inclusivo y oportuno a la información acerca de tecnologías sustentables, dado que una participacion activa de toda la ciudadania posibilita un manejo mas equitativo de los recursos naturales.

El objetivo general del proyecto es contribuir al fortalecimiento del desarrollo y la educación integral de las comunidades y empresas regionales en torno a la sustentabilidad, a través de la implementacion de un observatorio pedagógico virtual sobre tecnologías sustentables y energía renovable (cuyos datos serán recogidos desde la ubicación física del centro), basado en una metodología desarrollada entre entidades escolares, universitarias, empresas y organizaciones de la región de Valparaíso.

Los objetivos específicos del proyecto son los siguientes:

Implementar un centro demostrativo y pedagógico que incorpora diversas tecnologías sustentables (ERNC, medidas de eficiencia energética y gestión de recursos hídricos). Virtualizar y transferir los datos obtenidos por la CERTES. Co-diseñar, fabricar y probar bancos didácticos relacionados con las distintas tecnologías sustentables para transferir a la comunidad regional los recursos educativos generados.

2.2.2. Grado de implementación del centro

Actualmente el centro no se encuentra en un estado de operatividad total. Se han probado varios prototipos de bombas undimotrices, pero ninguna se ha instalado de forma permanente. Respecto a las Desalinizadoras, solo la de tipo Vaporización fue instalada, aunque su operación ha sido intermitente, y al momento de la realización de esta memoria, se encontraba fuera de servicio. La desalinizadora de tipo HDH no ha sido instalada en el centro, siendo solo probada en laboratorios de la universidad. Al momento de realizarse esta memoria, tampoco se encontraba en operación. En cuanto a la energía eólica, Gustavo Arriaga realizó en su memoria, “Evaluación Técnica Económica de la Implementación de un Centro de Tecnología Eólica en

Punta Curaumilla, Sector de Laguna Verde, V Región“, un análisis de factibilidad de la instalación de turbinas eólicas en la zona, dando resultados prometedores en cuanto a la factibilidad técnica de su instalación en la zona, pero siendo el valor de inicio del proyecto demasiado alto en la actualidad para considerarlo una alternativa en el futuro próximo.

2.3. Procesos y activos presentes y proyectados del CERTES

2.3.1. Desalinización Solar

La desalinización solar es un proceso mediante el cual se separa el cloruro de sodio (NaCl) del agua de mar, ocupando para ello la energía recolectada del sol. Existen varios tipos de procesos, que se clasifican primariamente como Solares Fotovoltáicos y Solares Térmicos. Del segundo tipo de proceso se desprenden los métodos Directos e Indirectos, y de este último, el proceso utilizado por una de las Desalinizadoras con las que cuenta el centro: Método de Húmidificación y Deshumidificación.

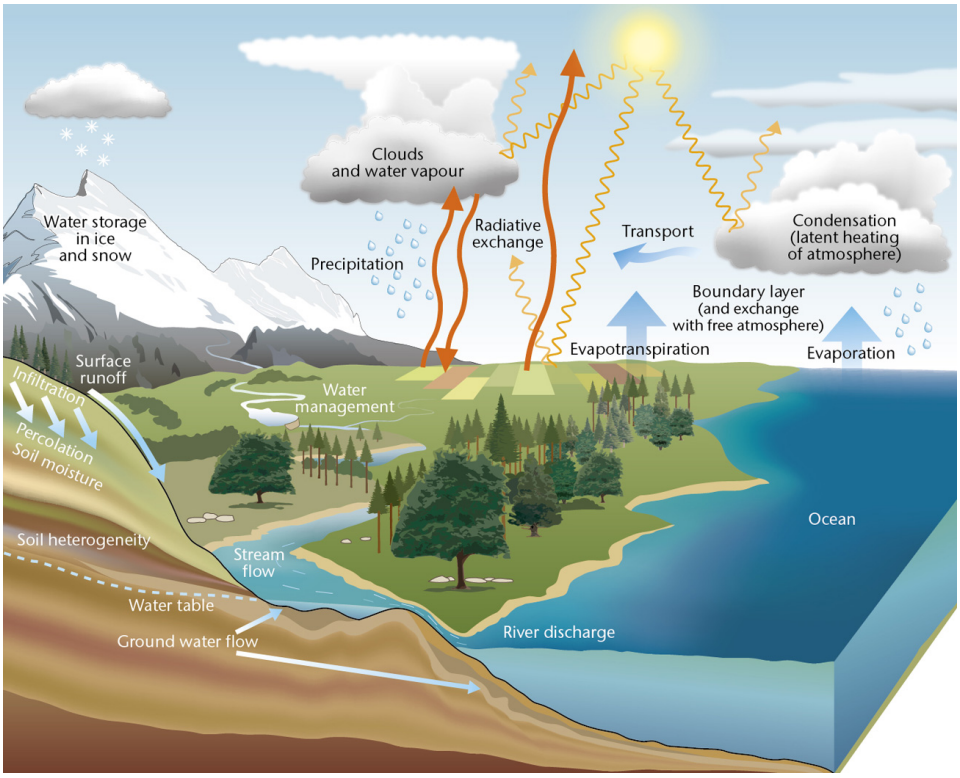

Figura 2.2: Ciclo Natural del Agua. Fuente: https://www.metoffice.gov.uk/weather/learn-about/weather/how-weather-works/water-cycle

2.3.2. Método de Humidificación y Deshumidificación

El Método HDH es una versión a escala humana del ciclo del agua. En este, el agua del mar se calienta mediante radiación solar, se evapora y es transportada por el aire hacia arriba, formando nubes. Nuevamente es transportada por el aire

hacia el territorio continental, donde pierde calor, se condensa y vuelve a su estado líquido en forma de lluvia. El Desalinizador HDH consta de tres subequipos: Humidificador, Deshumidificador (Condensador) y Colectores Solares.

Específicamente, su funcionamiento es el siguiente: El agua salada entra al deshumidificador. En esta estación es precalentado por aire caliente húmedo, y luego es transportada para calentarla nuevamente, en un colector solar (forma directa) o por medio de intercambiadores de calor (forma indirecta) Luego de esto, es llevada hacia el humidificador, donde se mezcla con aire a temperatura ambiente. El aíre extrae calor mediante el calor latente de evaporación, y es llevado nuevamente al deshumidificador. El fluido vuelve a condensarse, y se obtiene así el destilado final.

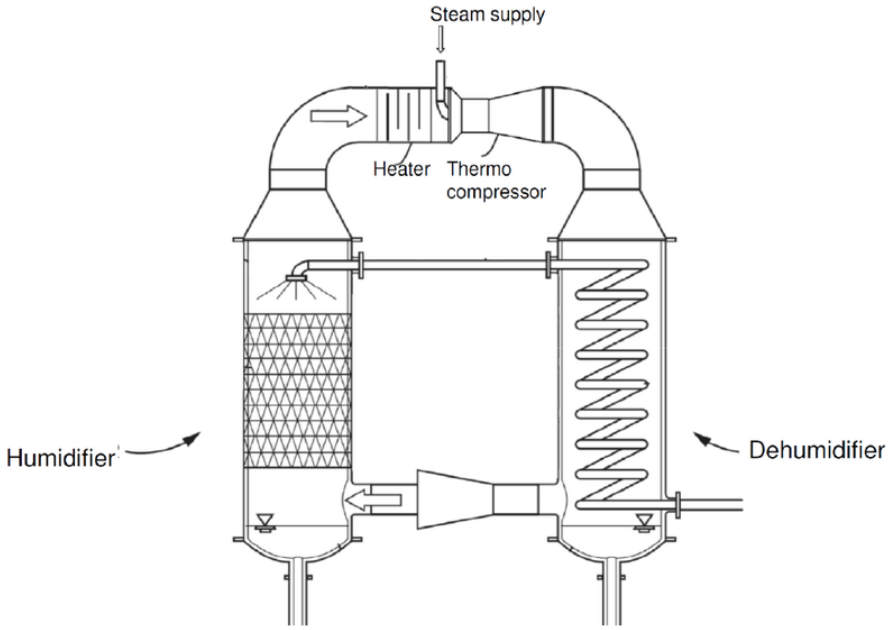

Figura 2.3: Esquema básico de un equipo de Desalinización. Fuente: Thermodynamic analysis of humidification dehumidification desalination cycles, G. Prakash Narayan

2.3.3. Energía Undimotriz

La energía undimotriz se obtiene capturando la energía generada por el oleaje marino en el borde costero. Consta de un sistema de captación del movimiento de las olas, y una bomba que utiliza esta energía para enviar el agua hacia donde se necesite. Actualmente este sistema esta en desarrollo, existiendo varios prototipos

que ya han sido probados en el borde costero. De ellos, el desarrollado en las memorias de Eliecer Cabrera Fernández y Phillipp Englisch parece ser el que será implementado de forma definitiva. Este sistema consta de una combinación de dos formas de captura de energía undimotriz: Un sistema comeolas y una bomba de ariete. Dicho diseño fu propuesto por Eliecer Cabrera Fernández en su memoria de título, junto con todos los cálculos y evaluaciones pertinentes a su diseño. Para mayor detalle, referirse a los trabajos de dichos estudiantes.

El trabajo de ambos consistió en crear y perfeccionar un fenómeno llamado Golpe de Ariete. En este, las olas entran a un tubo cónico, el cual canaliza el agua a través de una valvula anti retorno. Según la teoría de mecánica de fluídos, la energía cinética y potencial que transporta la ola hará que el fluido alcance cierta altura determinada por el equilibrio de energía. El principio se grafica en la imagen adjunta.

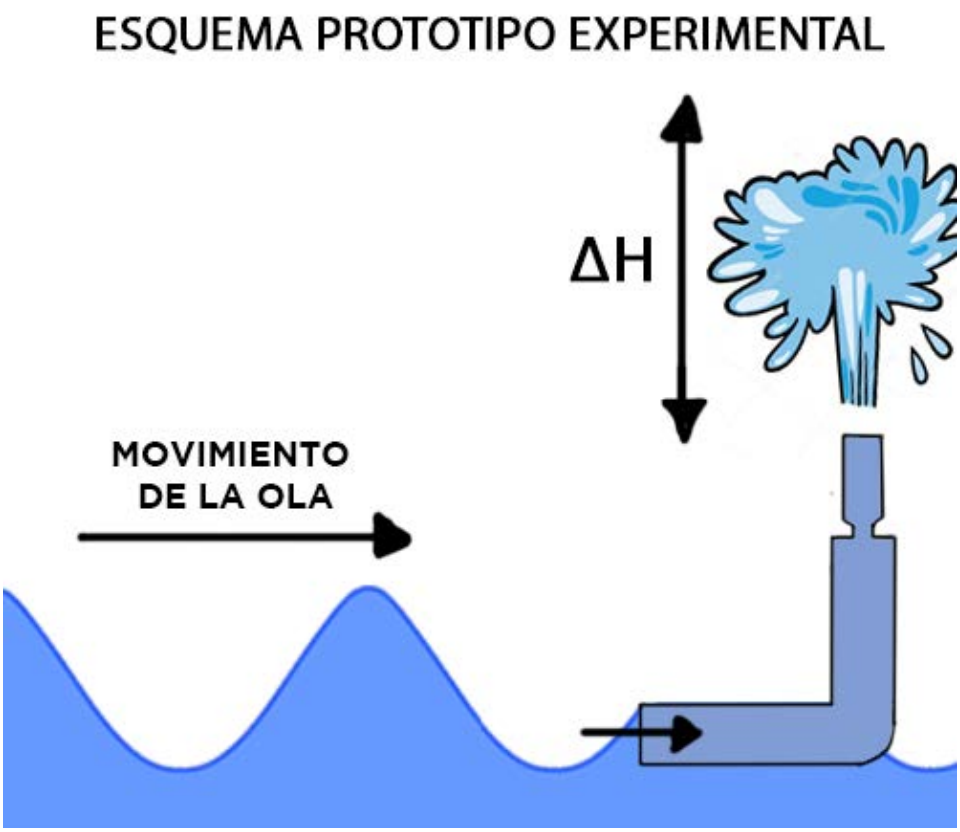

Figura 2.4: Principio del Comeolas. Fuente: Bombeo de Agua de Mar con Energía Undimotriz, Eliecer Cabrera Fernández

Este fenómeno puede resumirse en dos etapas. Primero, el fluido es capturado por el embudo del comeolas, y llevado hacia la valvula anti retorno. La columna de agua se eleva hasta que el equilibro entre energía cinética y energía potencial

es alcanzado. En la segunda etapa, el fluído es canalizado hacia arriba debido a la sobrepresión generada por la energía cinética, lo que impulsa la columna de agua.

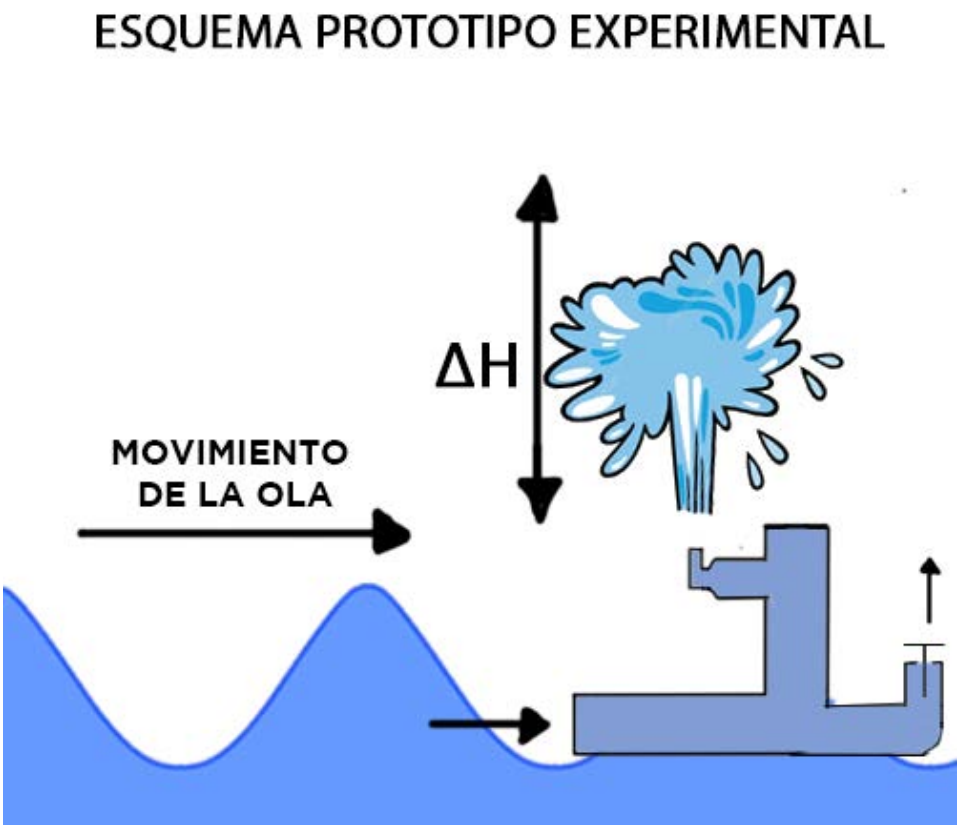

Figura 2.5: Principio del Comeolas mas Ariete. Fuente: Bombeo de Agua de Mar con Energía Undimotriz, Eliecer Cabrera Fernández

El sistema creado por Eliecer consta de una variación: consiste en agregar, en vez de la valvula anti-retorno, un sistema de válvulas que permita generar el fenomeno de golpe de ariete.

2.3.4. Energía Eólica

Es la energía que se obtiene de cualquier flujo de aire en movimiento, que acarrea en sus moléculas energía cinética, para convertirla en algún otro tipo de energía para provecho del humano, principalmente electricidad. Es uno de los recursos energéticos mas antiguos, se tiene registro de barcas que utilizaban velas para su propulsión en el agua que datan del año 5500 AC. Los griegos, específicamente el ingeniero Herón de Alejandría, diseño un molino que, mediante su giro accionado por el viento, hacia funcionar una especie de bomba neumática que a su vez hacía sonar un órgano.

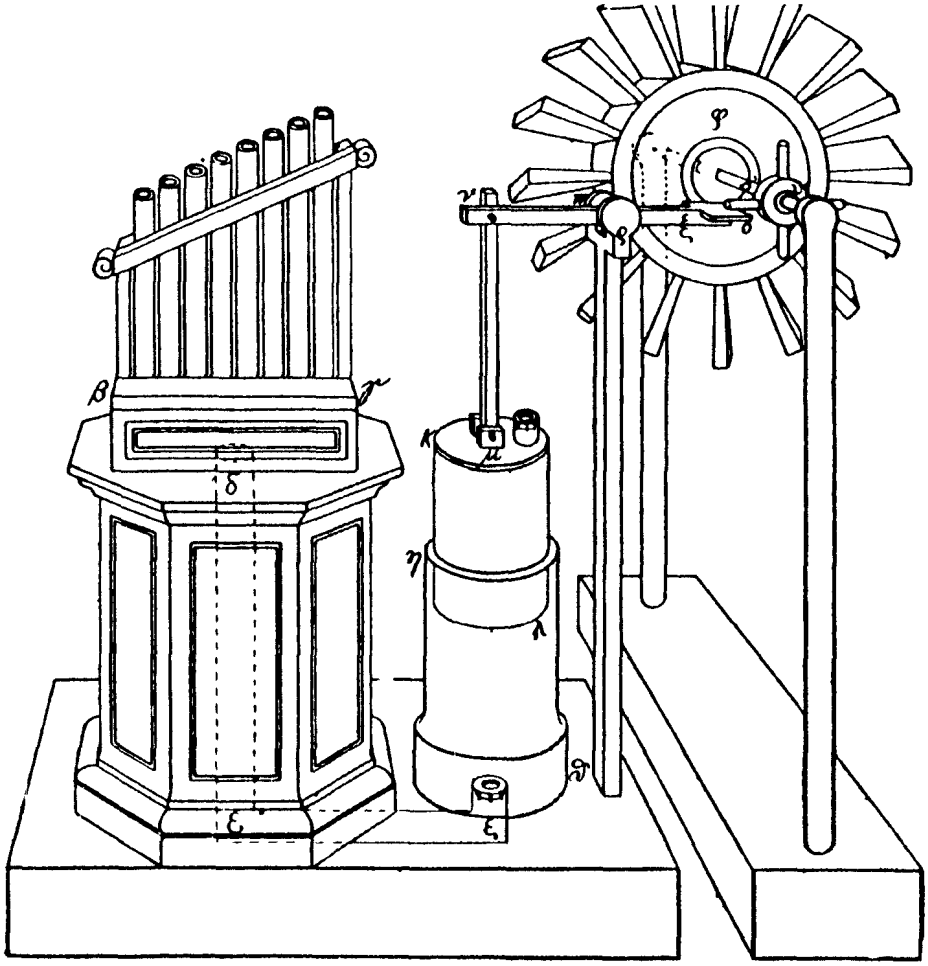

Figura 2.6: Molino de Herón Fuente: http://historico.oepm.es/museovirtual

Los primeros molinos de uso práctico de los cuales se tenga registro datan del siglo IX, y corresponden a la región de Pérsia del Este. Utilizaban velas montadas sobre ejes verticales para su funcionamiento, y eran utilizados principalmente para la molienda de granos y el bombeo de agua. No es hasta el siglo XII en que empiezan a aparecer los primeros molinos de eje horizontal. Es en ese mismo momento en que se empiezan a desarrollar sistemas para que el molino rote en la dirección prevalente del viento.

Gracias al descubrimiento del electromagnetismo en 1832 por Michael Faraday, y de su desarrollo de los generadores eléctricos, fue posible comenzar a generar electricidad mediante la energía del viento. A finales del siglo XIX, James Blyth, ingeniero eléctrico y profesor de la hoy llamada Universidad de Strathclyde, en Glasgow, Escocia, construyo el primer modelo funcional de un generador eólico. Constaba de un mástil de 10 metros de alto, y un eje con aspas de tela, que entregaban energía eléctria a su cabaña de verano.

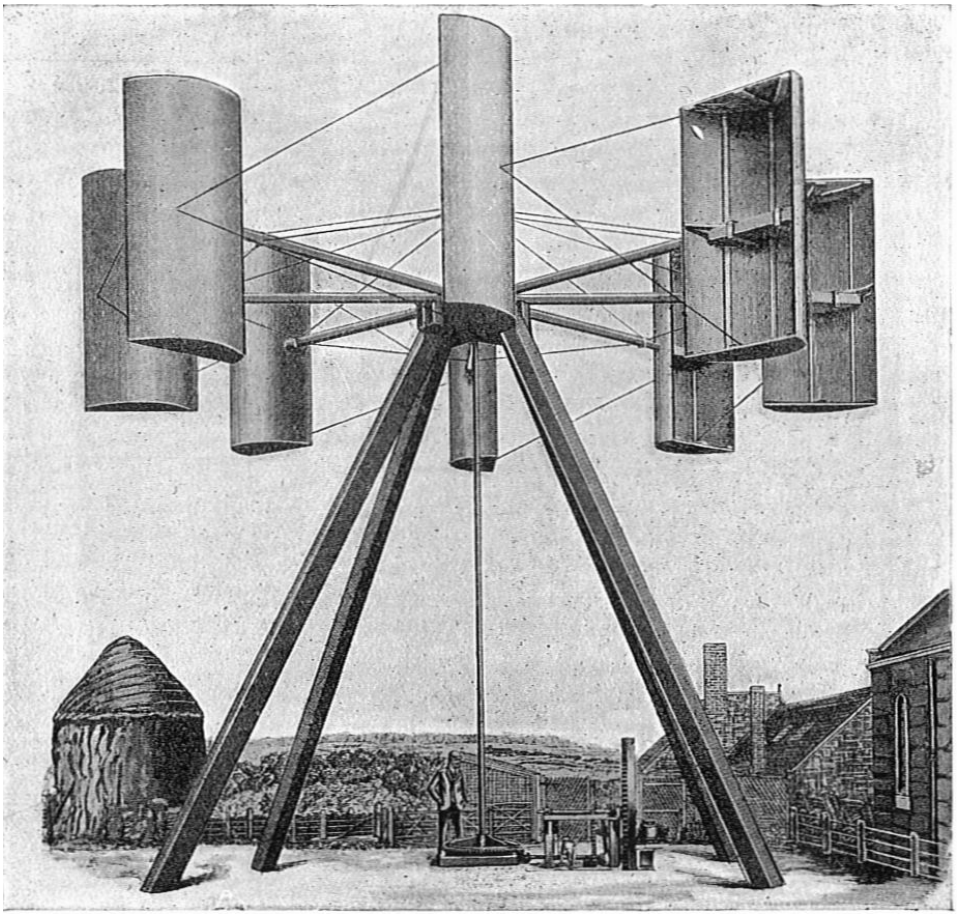

Figura 2.7: Molino de Blyth

Gracias a la inventiva de Blyth, el comienzo del siglo XX trajo consigo un creciente interés por investigar esta alternativa para la generación de energía, orientada a un consumo masivo. La organización gubernamental estado unidense NASA fue la principal investigadora a nivel mundial, sin embargo, en términos de implementación, Dinamarca fue el país que mas aportó al cambio de paradigma de las energías limpias. Fue así que en 1978 estrenaron la primera turbina en alcanzar 2 [MW] de potencia. Su principal adelanto tecnológico: alabes de diseño aeridinámico, que contaban con un control de ángulo de ataque, para aprovechar de mejor manera las corrientes incidentes. Hoy, estas turbinas son consideradas las precursoras de las instaladas en la actualidad.

Hoy, la energía eólica la energía renovable no convencional mas desarrollada a nivel mundial. Actualmente, en Europa el 14 de la demanda energética es cubierta por la generación de energía eólica. Alemania es la principal generadora de esta energía, con mas de 59 [GW] instalados. Actualmente, Europa cuenta con una capacidad instalada de 189 [GW].

Actualmente existen dos tipos principales de aerogeneradores.

HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine)

Es el tipo de turbina mas utilizado en la actualidad. Consta principalmente de un mástil, que lleva montado en su extremo una turbina de eje horizontal, y que transmite el torque generado por las aspas hacia el generador. El diseño mas desarrollado corresponde al que utiliza un rotor de tres aspas, que por motivos de diseño, entrega un mejor equilibrio entre el torque generado y las fuerzas dinámicas resultantes. Aquellas turbinas de menos de 3 aspas tienende a generar cargas dinámicas sobre el eje, producto del desbalance de rotación de las mismas. Por otro lado, aquellas con mas de 3 aspas generan una mayor fuerza de arrastre resultante, lo cual eleva la carga sobre la torre, haciendola mas costosa en su implementación y mantención.

Figura 2.8: Turbina Horizontal

El diseño horizontal genera altas eficiencias para un rango elevado de velocidades de viento. Esto se debe principalmente a la incorporación antes señalada de sistemas con controlan el ángulo de ataque de las aspas, lo que genera el mejor nivel de sustentación posible. A su vez, este sistema permite controlar la velocidad frente a condiciones extremas de viento, evitando asi que el eje u otros componentes sufran daños considerables.

Las desventajas que este tipo de diseño acarrea son variadas. Primero, se requiere que el rotor, para alcanzar la maxima eficiencia posible, este siempre perpendicular a la dirección del viento. Dado que la dirección del viento es claramente variable, este tipo de turbina requirió el diseño de de mecanismos de

orientación, que consisten en motores que hagan girar el cabezal, en situaciones donde se detecten cambios sustanciales en la dirección del viento. A pesar de que esta solución es efectiva, eleva mucho los costos asociados, lo que dificulta la inversión en el diseño completo y los hace menos competitivos.

La otra desventaja claramente apreciable es lo difícil y costoso que resulta su mantención, dado principalmente a que todos los componentes relevantes de la turbina se encuentran a alturas que dificultan su facil acceso.

VAWT (Vertical Axis Wind Turbine)

Es el segundo tipo de aerogenerador mas común en la actualidad. Poseen un eje que se ubica de forma vertical, con dos o mas aspas perpendiculares al suelo.

Algunas son diseñadas para utilizar el principio de sustentación, al igual que las turbinas de eje horizontal, mientras que otras solo obtienen la energía mediante la fuerza de arrastre, de forma similar al funcionamiento de un anemómetro. Existen dos tipos de diseños de aerogeneradores verticales principales: El modelo Savonius, y el modelo Darrieus.

El modelo Savonius, desarrollado por Sigurd Johannes Savonius en 1922, consiste en 2 o mas alabes en forma de cuchara, dispuestos de tal manera que al menos uno de ellos siempre se encuentra enfrentando la direccion del viento. Es conocido y apreciado por su bajo costo relativo a otras opciones de aerogeneradores, sin embargo, su nivel de eficiencia respecto a las otras alternativas es menor.

El segundo modelo, desarrollado por George Jean Marie Darrieus, utiliza el principio de sustentación, ya que utiliza aspas con perfil aerodinámico. Su principal desventaja es que necesita un motor de partida para iniciar su utilización, lo que hace su implementación un poco mas costosa. Sin embargo, genera mejores niveles de eficiencia que su contraparte, el rotor Savonius.

En general, las ventajas que poseen los modelos de eje vertical son relativas a su bajo costo de implementacion y diseño considerablemente mas simple que los modelos de eje horizontal. Esto es debido a que, generalmente, sus aspas tienen un perfil único en toda su dimensión. Además, no requieren de mecanismos de orientación, debido a su construcción vertical. La última ventaja importante es el hecho de que sus componentes eléctricos y mecánicos mas relevantes están a nivel del suelo, lo que facilita enormemente las tareas de mantención, relativo a los diseños horizontales.

La desventaja mas apreciable de este tipo de turbinas es la baja eficiencia respecto a los aerogeneradores de eje horizontal, es su menor eficiencia (aproximadamente un 10 por ciento menos). Además, su diseño esta expuesto

a esfuerzos provocados por momentos flectores mayores a los generados en las turbinas horizontales, y al hecho de que, las turbinas mas avanzadas de este tipo (en especial los modelos Darrieus) deben contar con motores de partida, lo que disminuye aún mas su eficiencia.

Figura 2.9: Ejemplos de Turbinas Verticales, Savonius (izquierda) y Darrieus (centro y derecha)

2.4. Estudio de implementación de Energía Eólica en el centro

Durante los años 2017-2018, se llevo a cabo una evaluacion técnica-económica para la implementación de un modelo/prototipo de generación de energía eólica para el CERTES, a cargo de Gustavo Arriagada. En éste, se explicita que Chile se encuentra bien encaminado hacua el recambio de su matriz energética, por una mas limpia. Diferentes herramientas de prospección, como el Explorador Eólico (creado en la Universidad de Chile en el 2008, y actualizado el 2012) han facilitado a instituciones públicas y privadas el desarrollo de planes y proyectos orientados hacia esta renovación, que se hace cada vez mas necesaria, dado el estado energético mundial (y a nivel país) actual.

Gustavo realizó simulaciones a través del Explorador Eólico, localizando tres puntos distintos de Punta Curaumilla. Concluye que el viento procede mayoritariamente desde el Sur, con velocidades de viento que oscilan entre los 5 y los 9 [m/s], dependiendo de la altura de la medición. Las mayores de estas velocidades son obtenidas en la cota de los 100 [m] de altura con respecto al nivel del mar. Además, se concluye de esta simulación que los cambios estacionales afectan profundamente las características del viento, dándose máximos de velocidad en diciembre/enero, y mínimos en junio/julio.

Luego, calculó, basado en supuestos de consumo local de la granja marina Marine Farms, ubicada en la zona, una potencia máxima requerida de aproximadamente 18 [kW]. Para que esa energía pueda ser proveída por el Centro Tecnológico, al menos al inicio del proyecto, se cotizaron aerogeneradores de 5 [kW], con la idea de instalar al menos 4, de la marca Aeolos. De esta manera, se completan 20 [kW] de potencia instalada.

Nuevos datos, generados por el software de modelación eólica Openwind, estalecen un modelo de flujo de viento, que permite la optimización de la estimación de la producción energética del Centro Tecnológico. Dichas estimaciones arrojan que el potencial de generación de 90,1 [MWh] anuales, y un factor de planta (coeficiente entre energía real generada versus energía a plena carga, ambas en un tiempo determinado) de 51,4 por ciento, para una altura de buje de 25 [m].

Luego, llevó a cabo una evaluación económica, tomando en cuenta todo lo necesario para la instalación y el correcto funcionamiento del prototipo eólico. El nivel de inversión inicial requerido se tradujo en un CAPEX de 238,9 kUSD. Luego, considerando un OPEX de 2000 USD anuales, depreciación a 10 años, y una tasa de descuento de 4 por ciento, calculó el VAN (valor actual neto) del centro, con un

plazo de operación de 30 años. Suponiendo un VAN igual a 0, calculó además el costo nivelado de energía del centro, que resultó en 0,19 [USD/kWh].

La turbina seleccionada por Gustavo Arriagada cumple con las proyecciones realizadas por él en los aspectos de generación energética, tanto como en los indicadores económicos y de rentabilidad. Dicha turbina es de la marca danesa Aeolos, y corresponde a una turbina horizontal, de tres aspas, con una capacidad de generación de 5 [kW]. A contiuación se presentarán las características entregadas por el fabricante. La característica mas importante para efectos de este trabajo es el hecho de que la turbina cuenta con un mástil telescópico, lo cual facilita los trabajos de mantención.

Tabla 2.1: Especificaciones Técnicas

Aeolos Wind Turbine 5 [kWh]	Specification
Rated Power	5 [kWh]
Maximum Power Output	6 [kWh]
Output Voltage	216 [V]
Blade Quantity	3 Glass Fiber Blades
Rotor Blade Diameter	6.4 [m]
Start-up Wind Speed	3.0 [m/s]
Rated Wind Speed	10 [m/s]
Survival Wind Speed	45 [m/s]
Generator	Three Phase Permanent Magnetic Generator
Generator Efficiency	> 0.96 [-]
Turbine Weight	380 [kg]
Noise	45 [db(A)], 5[m/s]
Temperature Range	-20 [°C] to +50 [°C]
Design Lifetime	20 Years
Warranty	Standard 5 Years

2.5. Activos del CERTES

Actualmente el centro cuenta con dos desalinizadoras, en diferentes estados de funcionamiento.

2.5.1. Desalinizadora 1, Modelo de Circuito Cerrado de Aire y Abierto de Agua (CAOW)

Es una Desalinizadora de tipo Humidificación-Deshumidificación, y que cuenta con Intercambiadores de calor. Es considerablemente mas nueva, de diseño mas actual, y ampliamente mas compleja en su construcción que la desalinizadora por vaporización. En ella, el agua no tratada entra al Deshumidificador, siendo precalentada. Luego, entra a un intercambiador para aumentar drásticamente su temperatura. Luego precipitada en el humidificador. En esta etapa se pone en contacto con aire frío, el cual se humidifica y calienta. Este aire fluye al deshumidificador, enfriandose y condensandose, siendo esta condensación el producto final del proceso. Cabe destacar que el calor aportado por el aire humidificado ayuda a aumentar la eficiencia del colector, ya que requiere menos energía para calentar el agua sin tratar.

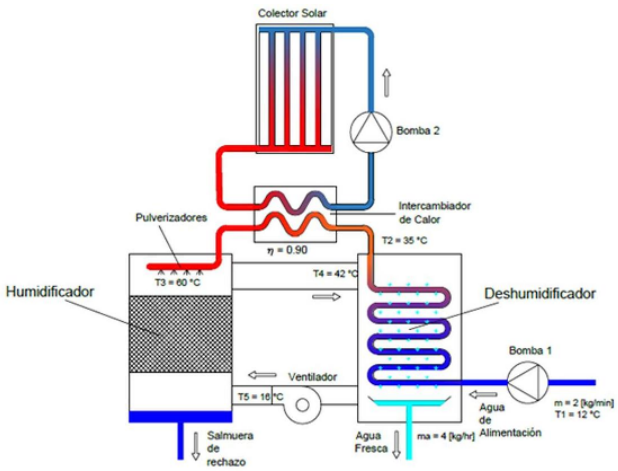

Figura 2.10: Esquema de funcionamiento de Desalinizadora. Fuente: Diseño y Construcción de Sistema de Desalinización por Método de Humidificación-Deshumidificación (HDH) Acoplado con Energía Solar, Mauricio Reyes Valenzuela

2.5.2. Desalinizadora 2, Método por Vaporización

. Es un tipo de Desalinización que utiliza una serie de bandejas para condensar agua de mar, humidificarla y luego precipitarla, para ser colectada. Al utilizar varias bandejas y servirse del efecto de la gravedad para su precipitación, solo puede aprovechar el máximo del calor aportado por el intercambiador en la parte superior de su estructura. Su principales ventajas son la simpleza de su diseño y operación, y el hecho de que utiliza circulación natural, por lo que no necesita bombeo por medio de bombas centrífugas o de otro tipo.

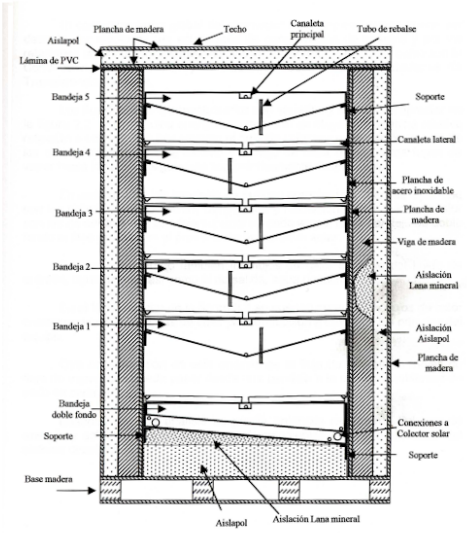

Figura 2.11: Esquema de funcionamiento de Desalinizadora por Vaporización. Fuente: Desalinizador Solar a Múltiples Efectos a Alta Temperatura, Eduardo Gálvez Soto

2.6. Historia del mantenimiento

El progreso científico e industrial ha sido siempre un proceso dinámico y extensivo. El mantenimiento no ha sido la excepción, y ha experimentado considerables cambios desde la primera vez que el humano se vio en la necesidad de aplicarlo.

El nivel de industrialización del mundo antes de la segunda guerra mundial era considerablemente escazo. La maquinaria utilizada en ese entonces era tosca, pero altamente confiable, y esta misma característica hacía que la mantención fuera solo necesaria en cuanto a lubricación y limpieza de las máquinas. Si alguna pieza fallaba, era reemplazada, sin reparar demasiado en el tiempo de paralización de la actividad que esta llevaba a cabo. A este tipo de mantenimiento se le denominó posteriormente Mantenimiento Correctivo, o también llamada la "Primera Generación de Mantenimiento". (Moubray, 2004)

La Segunda Generación nace gracias a los acontecimientos de la segunda guerra mundial. El aumento de la demanda de todo tipo de bienes, pero especialmente de aquellos producidos por la industria metalmecánica (Todo tipo de vehículos, armas, y la fabricación de repuestos para las mismas), y la abrumadora falta de trabajadores producto de la guerra, hizo posible y a la vez necesario el aumento de la mecanización de las tareas, para que un menor numero de personas pudiese llevar a cabo la misma cantidad de trabajo. Esto generó que la atención se concentrase cada vez mas en los tiempos de parada de las máquinas por fallas, y por ende en maneras de evitar o prevenir estas fallas, dandose así la generación del concepto de Mantenimiento Preventivo. En la mayor parte de la década del sesenta el mantenimiento se basó en el desarrollo de planeamientos y control de mantenimiento, y de reparaciones a intervalos de tiempo fijos. Además, el requerimiento de que las máquinas fuesen cada vez mas confiables devino en un mayor interes por la vida útil de estas, y de cuánto se pudiese extender esta vida útil en el tiempo.

La Tercera Generación se vio marcada por un aumento exponencial de la atención de la industria hacia el mantenimiento y su vital papel para la producción. Los cambios que esta atención trajeron fueron clasificados como "nuevas expectativas, nuevas investigaciones y nuevas técnicas" (Moubray, 2004). Desde la decada del setenta y en adelante, la industria ha impulsado incesantes cambios en la manera en que se concibe el trabajo, la producción y la manufactura, debido principalmente a las nuevas expectativas que se abren al descubrir el aumento en la producción que significó la mecanización (y posteriormente la

automatización). Los tiempos de parada de las máquinas jugaron y aún juegan un rol sumamente importante a la hora de medir la productividad de un proceso productivo, ya que son un factor sumamente relevante en la producción, la eficiencia y la calidad del servicio que es entregado al consumidor final o al cliente. Al mismo tiempo, conceptos como la responsabilidad social, con los trabajadores y con el medio ambiente son hoy imposibles de evitar y deben ser una preocupación principal de cada empresa.

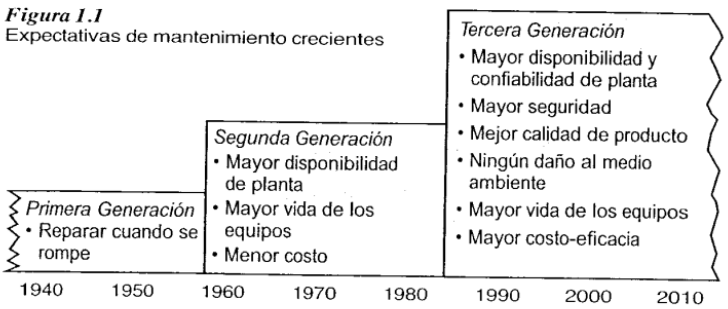

Figura 2.12: Generaciones del mantenimiento. Fuente: RCM II, John Moubray

El constante deseo de mejorar aquellos procesos, y por ende nuevas máquinas que llevasen a cabo estos procesos de forma mas eficiente, generó un importante desarrollo investigativo para mejorar dichos aspectos de la producción. Esto devino en activos cada vez mas complejos y que hacían el proceso productivo mas eficiente, pero mas frágil.

Así, la dependencia de los activos físicos fue incrementando incesantemente durante el paso del tiempo, así como el costo de mantenerlos operativos, por lo que un funcionamiento constante y eficiente se hizo fundamental para la industria.

Una vez que el nivel de sofisticación de los activos y los procesos aumentó, ya no bastó con solo mantenerlos de forma correctiva o preventiva, sino que hizo falta desarrollar estrategias que se adecuaran a cada máquina o proceso, teniendo en cuenta sus tiempos de utilización, su jerarquía e importancia dentro de los procesos en los cuales se ven envueltos, y su complejidad estructural o de funcionamiento. Es por esto que se han desarrollado nuevas técnicas y conceptos de mantención. Se han desarrollado cientos de ellos en los ultimos treinta años, y “emergen mas cada semana” según señala John Moubray, siendo algunos de ellos las herramientas de

soporte para la toma de decisiones, tales como los estudios de riesgo y el análisis AMFE, los nuevos métodos mantenimiento, como el monitoreo de condición, el diseño de equipos, que se enfoca cada vez mas en la confiabilidad y en un diseño amigable con la actividad de mantención, entre otros.

Pero, aún mas importante ha sido que el personal de mantenimiento, y en general cualquier profesional o trabajador que desarrolle sus actividades en este rubro, sepa discernir cuales técnicas aplicar, y en que momentos o situaciones vale la pena aplicarlas, ya que siempre una toma de decisiones concienzuda y a tiempo será un beneficio para el proceso productivo.

2.7. Reliability Centered Maintenance, Mantenimiento basado en Confiabilidad

El Mantenimiento basado en Confiabilidad basa su estrategia y filosofía sobre una base simple: ¿Cúal es la función del activo que se quiere mantener en el tiempo? Cada activo cumple una función distinta, independiente de si este activo es igual o similar a otro presente en un mismo proceso productivo, y por esto mismo el mantenimiento basado en confiabilidad busca que la función del activo se mantenga durante todo el proceso productivo, sufriendo la menor cantidad de fallas y paras por mantención posibles. De esta forma se garantiza que el proceso productivo se realizatrá de la manera mas confiable posible. Dicho de otra manera, es "un proceso utilizado para determinar qué se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga en su contexto operacional actual" (Moubray, 2004). Para realizar un planeamiento de mantención basado en confiabilidad, primero deben establecerse parámetros y reglas que se deben considerar. Estas reglas y consideraciones se establecen mediante las 7 preguntas de RCM.

2.7.1. Siete preguntas para realizar correctamente un proceso de mantención RCM

Las siete preguntas que se deben responder, según Moubray, son:

1 ¿Cuál es la función y los estándares operativos del activo en su contexto operacional?

Se debe definir claramente cual es o son la o las funciones que se desea que el activo cumpla. La definición debe constar de un verbo (la acción a realizar), un objeto (el cual el activo procese, o el cual el activo maneje o se vea involucrado con él), y un estándar de operación (es decir, parámetros medibles entre los cuales el activo operará). Las funciones se dividen en Primarias y Secundarias, siendo las primarias aquellas funciones para las cuales el activo fue efectivamente adquirido, y las secundarias aquellas que el activo debe cumplir alrededor del activo mismo, y que pueden desglosarse del funcionamiento interno del activo mismo (desglose de subconjuntos mediante la estructura técnica del activo, para el cumplimiento de la función primaria), y también para cumplir con normativas de seguridad, ambientales, de confort, económicas, etc.

Figura 2.13: Diagrama de funcionamiento. Fuente: RCM II, John Moubray

Igualmente importante a la definición de la función primaria es la definición del contexto operacional en el cuál el activo desempeñará su uso. El contexto operacional determina las condiciones de trabajo, los parámetros y distintas medidas de seguridad, ambientales y de los trabajadores, que deben ser tomadas en cuenta a la hora de implementar un activo y su posterior operación.

2 ¿De que maneras el activo no cumple con su objetivo/s?

Se debe explicar, de forma simple, como el activo no cumple con las funciones ya mencionadas. Para esto se debe negar la función del activo (negando el verbo de la función). De esta forma se obtiene de forma no ambigua la falla de la función.

3 ¿Que causa cada falla funcional?

Una vez obtenida la función y la falla, se debe describir las causas de cada falla funcional. A estas causas se las conoce como Modos de Falla. Esto quiere decir los motivos por los cuales o debido a los cuales el activo dejaría de cumplir la función deseada. No se debe confundir con los efectos de cada falla Esto es un error común a la hora de realizar un plan de mantenimiento por confiabilidad. Esta descripción debe ser clara, concisa, y debe permitir seleccionar, mediante la lectura de esta, una estrategia de mantenimiento a priori lo suficientemente acorde a las situación planteada.

4 ¿Que pasa cuando cada falla ocurre?

Describir que ocurre cada vez que una falla funcional ocurre es fundamental, ya que deja explícito y antes que ocurran, cada uno de los efectos de las fallas, permitiendo así tener conocimiento de antemano de las consecuencias de cada falla. Se debe aportar información tal como:

- Qué evidencia existe, si la hay, de que la falla ha ocurrido
- De qué manera o no, la falla representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera o no, la falla afecta a la producción o a las operaciones.
- Qué daños físicos, si los hay, han sido causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla (Moubray, 2004).

5 ¿Que tan relevante es cada falla?

Deben incluirse en el análisis las consecuencias que tenga cada falla en el aspecto productivo que cumple el activo, pero además las consecuencias que tendrúa la falla en los aspetos de la normativa sanitaria, medioambiental y de seguridad laboral. Esto permite jerarquizar cada falla según su importancia, ya que habrá fallas que se deben evitar a toda costa, y otras que pueden ser manejadas dada una estrategia correcta.

El proceso de RCM detalla cuatro categorías para caracterízar la relevancia de las fallas.

- Consecuencias de fallas ocultas: las fallas ocultas no tienen consecuencias directas, pero exponen a la organización a fallas múltiples con consecuencias serias y hasta catastróficas. La gran mayoría se encuentran asociadas a sistemas de protección.
- Consecuencias ambientales y para la seguridad: las fallas con consecuencias ambientales son aquellas cuyas consecuencias es infringir alguna normativa o reglamento de carácter ambiental, tanto regional, nacional o internacional. Las fallas con consecuencias para la seguridad son aquellas que pueden provocar daño o la muerte a una persona.
- Consecuencias operacionales: son aquellas fallas cuyas consecuencias afectan la producción (calidad, cantidad, servicio al cliente, etc.)
- Consecuencias no operacionales: estas fallas no afectan ni la producción ni la seguridad, sólo traen como consecuencia el costo directo de ser reparadas (Moubray, 2004).

6 ¿Que se puede hacer para predecir o prevenir cada falla?

Para predecir cada falla se debe tener un sistema de recolección de información que permita anticipar fallas a futuro, además de realizar tareas proactivas de mantenimiento para las fallas que ya se sabe que ocurrirán, y en que intervalos ocurrirán. Además, se debe tener en cuenta el rediseño de estructuras, procedimientos y planeamientos para evitar fallas ciclicas, entre otros. En el proceso de RCM, existen varuadas tareas ya descritas, entre ellas la Sustitución cíclica de piezas o partes que se sabe que fallarán, Reacondicionamiento cícliclo de piezas, partes y subconjuntos del activo, y Mantenimiento a condición, que es el mantenimiento basado en el monitoreo mediante distintos métodos de la condición en tiempo real del activo.

7 ¿Que se debe hacer en caso de no poder actuar de forma proactiva?

Lamentablemente, no se puede prevenir todo, ya que siempre habrán cosas que se escapen del alcance de un proceso de mantenimiento. Para este tipo de fallas solo se puede operar en ellas una vez ocurran. Tener claro cuales son estas fallas y que medidas se deben tomar, antes que estas sucedan, es fundamental ya que permitiría disminuir los tiempos de para del activo.

2.8. Como decidir un plan de mantenimiento RCM, Lógica y Jerarquización

Para proceso de mantenimiento RCM, cualquier política de mantenimiento toma por directriz principal las Consecuencias que cada falla o sus efectos . Una vez consideradas las consecuencias, el diagrama de decisión, que es un diagrama de flujo, permite tomar las decisiones adecuadas para cada consecuencia, y así determinar el orden en el cual deben ser tomadas dichas decisiones. [VER SAEJA1012] Para jerarquizar de la mejor manera posible las políticas que se deseen llevar a cabo, es necesario revisar lo que propone la norma SAE JA1012:

- Para modos de falla evidentes que puedan afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, combinación de tareas (usualmente basadas en condición y desincorporación programada), cambio de especificaciones.
- Para modos de falla evidentes que no puedan afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas basadas en condición, tareas de desincorporación/restauración programadas, mantenimiento no programado, cambio de especificaciones.
- Para modos de falla ocultos en los que la falla múltiple pueda afectar la seguridad o el ambiente, las políticas de manejo de fallas se consideran en el siguiente orden: tareas desincorporación/restauración basadas en programada, condición, tareas detección de fallas, mantenimiento no programado, cambio de especificaciones

De la misma forma, las tareas a realizar enlistadas por la norma SAE JA1012 son las siguientes:

1 Tareas Basadas en Condición: las tareas basadas en condición se consideran en primer lugar en el proceso de selección de tareas, por las siguientes razones:

   a Se pueden desarrollar casi siempre sin mover el activo desde su posición de instalación y normalmente mientras está en operación, así ellas pocas veces interfieren con las operaciones.

   b Normalmente son más fáciles de organizar.

c Ellas identifican las condiciones de las fallas potenciales específicas para que las acciones correctivas estén claramente definidas antes de que comience el trabajo. Esto reduce la cantidad de trabajos de reparación a efectuar, y permite que sean realizadas más rápidamente.

d Por la identificación del equipo en el punto de falla potencial, permiten comprender casi toda su vida útil.

2 Tareas de Desincorporación Programada y Restauración Programada: si no se puede encontrar una tarea basada en condición conveniente para una falla en particular, la próxima opción es una tarea de desincorporación y restauración programada. Las desventajas de la restauración programada y de la desincorporación programada son las siguientes:

a En casi todos los casos, sólo se pueden hacer cuando los elementos están detenidos o fuera de servicio y (normalmente) se envían al taller, así las tareas casi siempre afectan las operaciones.

b La longevidad límite aplica a todos los elementos, así muchos elementos o componentes que puedan haber sobrevivido a longevidades mayores serán removidos.

c Las tareas de restauración involucran talleres de reparación, así ellas generan un trabajo mucho mayor que las tareas basadas en condición. La restauración programada y la desincorporación programada normalmente se consideran juntas porque tienen mucho en común. En la práctica, comúnmente es obvio que el componente involucrado deba manejarse por una desincorporación programada o una restauración programada. Sin embargo, en el caso de algunos modos de falla, ambas categorías de tareas pueden satisfacer el criterio para la factibilidad técnica. En esos casos, se debe seleccionar la más costo-efectiva de las dos.

3 Detección de Fallas: el mantenimiento proactivo exitoso previene las fallas de los elementos, por cuanto la detección de fallas acepta que se invertirá algún tiempo –aunque no demasiado- en un estado de falla. Esto significa que el mantenimiento proactivo es inherentemente más conservador que la detección de fallas, así esta última sólo se debe especificar si no se encuentra una tarea proactiva más efectiva. Por esta razón, los diagramas de decisión deben anteponer siempre las tres categorías de tareas proactivas ante la detección de fallas en el proceso de selección de tareas.

4 Combinación de Tareas: hasta este punto, los diagramas de decisión tratan de encontrar una sola tarea que se relacione apropiadamente con las consecuencias del modo de falla en consideración. Sin embargo, algunas veces ocurre que no se puede encontrar una sola tarea que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo tolerable. En este punto, podría ser apropiado buscar una combinación de tareas, la mayor desventaja de la combinación de tareas es que es inevitablemente más costosa que una sola tarea.

5 Operar hasta Fallar: cuando se evalúa la efectividad de las tareas proactivas concebidas para tratar con los modos de falla que tienen consecuencias económicas, la comparación siempre se hace entre el costo de la tarea y los 28costos asociados con el modo de falla no anticipado. En estos casos, sólo se seleccionan las tareas que reducen los costos totales de la falla. Si no se puede encontrar tal tarea, permitir que el modo de falla ocurra sería menos costoso que el mantenimiento proactivo, y de ahora en adelante se debe seleccionar el permitir que ocurra el modo de falla (operar hasta fallar) como una política de manejo de fallas apropiada. Como se explicó anteriormente, operar hasta fallar no es una opción para modos de falla solos o para fallas múltiples que tengan consecuencias en la seguridad o el ambiente.

6 Cambio de Especificaciones: la confiabilidad, el diseño, y el mantenimiento están relacionados intrínsecamente. Esto puede llevar a la tentación de realizar cambios de especificaciones de los equipos existentes, antes de considerar sus requerimientos de mantenimiento. De hecho, todos los diagramas de decisión consideran el mantenimiento antes que los cambios de especificaciones de los equipos por cuatro razones, que se explican a continuación:

    1 La mayoría de las modificaciones toman de seis meses a tres años desde su concepción hasta su cometido, dependiendo del costo y de la complejidad del nuevo diseño. Por otro lado, la persona de mantenimiento debe mantener el equipo tal como existe hoy, no como lo que debería estar allí o lo que podría estar allí algún tiempo en el futuro. Así que las realidades de hoy deben tratarse con anterioridad a los cambios de diseño de mañana.

    2 La mayoría de las organizaciones encaran muchos más las oportunidades de mejora de diseño deseables que son física y económicamente factibles. Por enfocarse en las consecuencias de la falla, el RCM es de gran ayuda en el desarrollo de un conjunto

racional de prioridades para estos proyectos, especialmente porque separa los que son esenciales de aquellos que son meramente deseables. Claramente, tales prioridades sólo se pueden establecer después que se ha completado la revisión.

3 Los cambios de especificaciones son costosos. Estos incluyen el costo de desarrollar la nueva idea, el diseño de una nueva máquina, la incorporación de un nuevo procedimiento operacional y el costo de llevar la idea a la realidad, la fabricación de una parte nueva, la compra de una nueva máquina, la compilación de un nuevo programa de entrenamiento. Adicionalmente, se incurre en costos indirectos si el equipo o las personas tienen que estar fuera de servicio mientas se está implementando el cambio.

4 Existe un riesgo de que el cambio fallará en la eliminación o incluso en el alivio del problema que está supuesto a resolver. En algunos casos, puede incluso crear más problemas.

Con todos estos antecedentes y datos recabados del proceso, se puede ingresar al diagrama de decisión y así darle un orden comprensivo y eficiente al mantenimiento que se quiera aplicar. Cabe destacar que este diagrama explicita los pasos a seguir para cada falla, sin embargo no ayudan a discernir que tipo de falla debe ser abordada con prioridad.

Capítulo 3

Metodología y Alcances del Trabajo

3.1. Metodología

La metodología de esta memoria consiste en la aplicación de los fundamentos dictados por las normas SAE JA1011 y SAE JA1012, así como lo presentado por John R. Moubray en su libro "Reliability Centered Maintenance II", a las desalinizadoras y la bomba undimotriz del centro de investigación de Energías Renovables de Punta Curaumilla.

Para la realización de este plan de mantención, se recopiló primero información pertinente al uso de activos de desalinización y de bombeo de agua marina. A su vez se constató el estado actual de los activos con los que cuenta el centro, además de las condiciones del lugar geográfico en el cual se instalarán. Con todo esto se pudo armar un contexto operacional completo, que permite señalar claramente cuales son las condiciones en las cuales los activos operarán una vez sean instalados, además de tener conocimiento de los puntos mas críticos en los cuales se debe tener atención en cuanto a la mantención de activos en condiciones de alta salinidad y alto movimiendo de masas de aire, así como de acción de agentes biológicos externos.

A continuación, se desarrollo un plan AMFE para cada activo, definiendo las funciones primarias de cada activo en primer lugar. Luego, al desarrollar las funciones secundarias, se decidió a definirlas como las funciones de cada subconjunto, teniendo en cuenta qué debían cumplir para la realización de su actividad, pero además teniendo en cuenta si debían cumplir funciones de resguardo de la seguridad de operarios, o del medio ambiente, además de investigar si debían cumplir con normas o leyes ambientales a la hora de operar.

Se definen proximamente las fallas que cada función principal y secundarias, poniendo énfasis en como éstas impieden el desarrollo de las funciones. Para cada función puede haber mas de una falla, tal como detalla la norma SAE JA1011, por lo que se detallaron todas aquelas posibilidades que signifiquen una falla funcional. Además, se detallan sus correspondientes modos de falla y consecuencias de las mismas. Detallando los modos de falla se consigue conocer el cómo ocurren las fallas funcionales, entendiendo estos modos de falla se pueden tomar mejores

decisiones, en cuanto al diseño del activo y al mantenimiento preventivo. Con esto se busca la mejor manera de abordar estas fallas, y de evitar sus consecuencias, una vez que estas ocurran.

Luego, se construyen tablas que ordenen toda la información recabada y generada, y junto con esto, se generan recomendaciones acorde a la literatura señalada, a la experiencia entregada por el profesor Udo Rheinschmidt, y a memorias anteriores de diseño de los activos, antes de su construcción y pruebas. En estas se encuentra toda la información necesaria del AMFE de cada activo, además de los tipos de tareas necesarios para cada equipo.

3.2. Consideraciones Generales y específicas de los Activos

El gran desafío que conllevó la realización de este plan fue la falta absoluta de datos de la operación de los activos, ya que ninguno de estos se encontraba operando al momento de la realización de esta memoria. De cualquier manera, se decidió proseguir con este plan, investigando en literatura externa y en datos recolectados de otros activos con especificaciones similares, asi como operación de activos en general en contextos operacionales similares a los del centro (borde costero, alta presencia de avifauna marina, etc).

Debido a la naturaleza innovativa de estos activos, también fue especialmente difícil encontrar normas medioambientales que les rigeran específicamente. De cualquier manera, se consultaron las normas medioambientales chilenas del Decreto 144 (Calidad Primaria de Marinas y Estuarias Superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo), que son estándares para cualquier instalación en bordes costeros y playas de Chile. Se constató con esto que ninguna de las máquinas infringe de ninguna manera los apartados que en ella se explicitan.

Además, al ser el centro una actividad que no tiene por fin generar ingresos en una primera etapa, sino que solo generar una plataforma de educación y conocimiento, este no tiene contemplado una proyección de ingresos, con lo cuál el generar una evaluación económica que coteje tasas de retorno y otros indicadores como el VAN no fue posible. De cualquier manera se presentan los costos asociados a la primera etapa de implementaciońń, con la esperanza de ser una buena aproximación a la hora de optar a fondos concursables estatales o de otra índole para la realización del proyecto.

Capítulo 4

Caracterización de los activos según norma SAE JA-1011

4.1. Desalinizadora por Vaporización

4.1.1. Contexto Operacional

El activo opera de 8 a 18 hrs en el horario de invierno, y de 9 a 19 hrs en horario de verano. El horario de funcionamiento se basa en la cantidad de horas con luz solar que pueda aprovechar el activo.

4.1.2. Indicadores

Existen dos indicadores (kpi) que indican el rendimiento esperado del activo:

1. COP: coeficiente de rendimiento energético que indica la eficiencia del colector solar en la producción de agua por día. Dicho indicador alcanza un valor de 2 [-].

2. GOR: Gained Output Ratio, coeficiente que indica la proporción de calor latente necesario para la evaporación del agua, respecto del calor total entregado por los colectores solares. Dicho indicador arroja 3.96 [-].

4.1.3. Estándares de Seguridad Ambiental y de Seguridad Operativa

No existen estándares de seguridad ambiental aplicables al activo. Sin embargo, existen medidas (dada su naturaleza de manejo de fludios a alta temperatura) que deben ser consideradas. La mantención y la inspección periódica de todas las cañerías y conductos que manejen fluídos a altas temperaturas deben ser monitoreados.

Existen medidas de seguridad que el activo debe cumplir, esto se debe principalmente al uso de termofluídos, que alcanzan temperaturas cercanas a 100

[°C]. Se debe asegurar entonces que las cañerías por las que circula este termofluido se encuentren siempre en buen estado, para impedir fugas que puedan generar daños al ambiente (incendios u otros).

4.1.4. Entorno del Activo

El activo se encuentra localizado en Punta Curaumilla, una localidad rural ubicada a aproximadamente 15 km al suroeste de Valparaíso. Se trata de una zona costera, de una elevación de entre 100 y 300 metros sobre el nivel del mar.

4.2. Funciones Primaria y Secundarias del Activo

4.2.1. Función Primaria

FP Desalinizar agua de mar, a una razón de 15 [L] por día.

4.2.2. Funciones Secundarias

FS_1 Canaletas de alimentación: Proveer de agua al nivel siguiente del desalinizador

FS_2 Tubos de rebase: Prevenir la acumulación de agua en solo un nivel del desalinizador

FS_3 Aislantes: Impedir el intercambio de calor entre el ambiente y el interior del desalinizador

FS_4 Tubos de termofluído: Hacer circular el termofluído hacia la parte inferior del desalinizador

FS_5 Colector Solar: Calentar el termofluído a una temperatura $>$ a 100 [°C]

4.3. Fallas Funcionales

FFP_p El activo desaliniza menos de 15 [L] por día.

FFP_t El activo no desaliniza.

FFS_{p1} Canaletas no proveen agua al sector siguiente.

FFS_{p2} Agua se acumula en un solo nivel del desalinizador.

FFS_{p3} El desalinizador pierde calor por las paredes.

FFS_{p4} El termofluído no circula hacia el desalinizador.

FFS_{p5} El termofluído no alcanza la temperatura requerida

FFS_{t5} : El Colector no transfiere calor al termofluído.

4.4. Modos de Falla

$MFFP_p$ No llega suficiente agua de mar a la canaleta principal.

$MFFP_t$ No llega agua en lo absoluto al desalinizador.

$MFFS_1$ Canaletas sucias, bloqueadas parcial o totalmente.

$MFFS_2$ Tubos sucios, bloqueados parcial o totalmente.

$MFFS_3$ Aislante defectuoso o deteriorado.

$MFFS_4$ Cañerías defectuosas, rotas u obstruídas.

$MFFS_{p5}$: Paneles del Colector sucios.

$MFFS_{t5}$ Paneles o Colector defectuoso: Destruido parcial o totalmente.

4.5. Efectos de las Fallas

$EFFP_p$ El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFP_t$ El activo no desaliniza el agua.

$EFFS_1$ Los niveles siguientes del desalinizador no son alimentados correctamente.

$EFFS_2$ Los niveles siguientes del desalinizador no son alimentados correctamente.

$EFFS_3$ El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_4$ El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{p5}$ El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{t5}$ El activo no desaliniza el agua.

4.6. Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación, Configuración CAOW

4.6.1. Contexto Operacional

El activo opera de 8 a 18 hrs en el horario de invierno, y de 9 a 19 hrs en horario de verano. El horario de funcionamiento se basa en la cantidad de horas con luz solar que pueda aprovechar el activo.

4.6.2. Indicadores

Existen dos indicadores (kpi) que indican el rendimiento esperado del activo:

1) Efectividad del Intercambiador de Calor: Mide la razón de transferencia de calor real, respecto de la razón máxima posible de transferencia de calor. Para este caso, la efectividad es de 0,74 [-].

2) Cantidad de agua procesada por día: El activo debe procesar 15 [L] de agua por día.

4.6.3. Estándares de Seguridad Ambiental y de Seguridad Operativa

No existen estándares de seguridad ambiental aplicables al activo. Sin embargo, existen medidas (dada su naturaleza de manejo de fludios a alta temperatura) que deben ser consideradas.

Existen medidas de seguridad que el activo debe cumplir, esto se debe principalmente al uso de termofluídos, que alcanzan temperaturas cercanas a 100 [°C]. Se debe asegurar entonces que las cañerías por las que circula este termofluido se encuentren siempre en buen estado, para impedir fugas que puedan generar daños al ambiente (incendios u otros).

4.6.4. Entorno del Activo

1.5 Entorno del activo: El activo se encuentra localizado en Punta Curaumilla, una localidad rural ubicada a aproximadamente 15 km al suroeste de Valparaíso. Se trata de una zona costera, de una elevación de entre 100 y 300 metros sobre el nivel del mar.

4.7. Funciones Primaria y Secundarias del Activo

4.7.1. Función Primaria

FP Desalinizar agua de mar, a una razón de 15 [L] por día.

4.7.2. Funciones Secundarias

Funciones Humidificador

FS_1 Función Pulverizadores: Entregar un cono de agua pulverizada de un tamaño de gota menor a 50 [MICROm].

FS_2 Función Relleno Evaporativo: Recibir el precipitado de los pulverizadores para su mezcla con el aire.

FS_3 Función Estanque de aculumación: Contener el proceso de humidificación de forma hermética.

Funciones Deshumidificador

FS_4 Función Tubos intercambiadores: Transferir el calor del aire saturado de agua a los tubos de agua marina, manteniendo una efectividad superior a 0,74 [-].

FS_5 Función Carcasa y campanas (estructura): Proveer de una estructura hermética para permitir el intercambio de calor.

FS_6 Función Bomba: Bombear agua de mar al intercambiador.

FS_7 Función Filtros para Sedimentos Livianos: Eliminar lodo, arena y óxidos presentes en el agua marina, antes de su entrada al humidificador.

Funciones Colector Solar

FS_8 Función Colector: Absorber la radiación del sol, a una razón de 700 [W/m2].

FS_9 Función Tubos: Recibir el agua del Deshumidificador, y hacerla circular para su intercambio de calor con el Colector.

FS_{10} Función Cubiertas de Vidrio: Mejorar la eficiencia del Colector.

FS_{11} Función Bomba: Hacer circular el agua por el Colector.

4.8. Fallas Funcionales

4.8.1. Falla Función Primaria

FFP_p El activo desaliniza menos de 15 [L] por día.

FFP_t El activo no desaliniza en absoluto.

4.8.2. Fallas Funciones Secundarias

Humidificador

FFS_{p1} Pulverizador: Pulverizador entrega un cono de agua con tamaño de gota mayor a 50 [MICROm].

$FSS_{t1,1}$ Pulverizador: Pulverizador no entrega un cono de agua en absoluto.

$FSS_{t1,2}$ Pulverizador: Pulverizador no entrega agua en absoluto.

FFS_{p2} Relleno Evaporativo: El relleno no recibe adecuadamente el precipitado, escurre a una velocidad superior a la adecuada.

FFS_{p3} Estanque de Acumulación: El proceso de humidificación se lleva a cabo de forma no hermética.

Deshumidificador

FFS_{p4} Tubos Intercambiadores: La efectividad de los tubos es menor a 0,74 (No se transfiere calor suficiente del aire saturado a los tubos).

FFS_{t4} Tubos Intercambiadores: No se transifere calor en absoluto.

FFS_{p5} Carcasa y Campanas: La estructura no provee un ambiente hermético para el intercambio de calor.

$FFS_{p6,1}$ Bomba: La bomba no lleva la cantidad de agua deseada al intercambiador.

$FFS_{p6,2}$ Bomba: La bomba no acarrea agua en absoluto.

$FFS_{p7,1}$ Filtros: Filtro no elimina la totalidad de lodo, óxidos y/o arena presentes en el agua marina.

$FFS_{p7,2}$ Filtros: Filtro no elimina en absoluto el lodo, óxidos y/o arena presentes en el agua marina.

Colector Solar

FFS_{p8} Colector: El colector absorbe menos de 700 [W/m2].

FFS_{t8} Colector: El colector no absorbe radiación solar en absoluto.

FFS_{p9} Tubos: Tubos no reciben agua del deshumidificador.

FFS_{t9} Tubos: Agua no circula correctamente por el circuito.

FFS_{p10} Cubierta: La cubierta no mantiene la eficiencia del Colector.

FFS_{p11} Bomba: La bomba no lleva la cantidad de agua deseada al intercambiador.

FFS_{t11} Bomba: La bomba no acarrea agua en absoluto.

4.9. Modos de Falla

4.9.1. Modos de Falla Función Primaria

$MFFP_{p1}$ No llega suficiente agua al desalinizador.

$MFFP_{p2}$ El agua es desalinizada parcialmente.

$MFFP_{t}$ No llega agua en absoluto al desalinizador.

4.9.2. Modos de Falla Función Secundaria

Humidificador

$MFFS_{p1,1}$ Pulverizador: Pulverizador obstruido parcialmente por sal/objetos extraños.

$MFFS_{p1,2}$ Pulverizador: Clavija del pulverizador torcida o rota.

$MFFS_{t1}$ Pulverizador: Pulverizador obstruido totalmente por sal/objetos extraños.

$MFFS_{p2}$ Relleno: Relleno mal instalado o en posición incorrecta.

$MFFS_{p3,1}$ Estanque: Estanque presenta fugas por grietas o imperfecciones.

$MFFS_{p3,2}$ Estanque: Estanque presenta sellos de valvulas vencidos/rotos/con fugas.

Deshumidificador

$\text{MFFS}_{p4,1}$ Tubos: Tubos con demasiada presencia de sarro en las paredes interiores.

$\text{MFFS}_{p4,2}$ Tubos: Tubos parcialmente obstruidos (No permiten la libre circulación del termofluído).

MFFS_{t4} Tubos: Tubos totalmente obstruídos.

$\text{MFFS}_{p5,1}$ Carcasa y Campanas: Estructura presenta grietas en sus caras.

$\text{MFFS}_{p5,2}$ Carcasa y Campanas: Estructura presenta fallas estructurales o de construcción en sus bordes.

$\text{MFFS}_{p6,1}$ Bomba: Falla de los rodamientos del impeller.

$\text{MFFS}_{p6,2}$ Bomba: Falla de los sellos de la bomba.

$\text{MFFS}_{p6,3}$ Bomba: Falla por falta de lubricación en los engranes o rodamientos.

$\text{MFFS}_{p6,4}$ Bomba: Exceso de vibraciones en el eje de la bomba.

MFFS_{t6} Bomba: Falla por rotura por fatiga en el eje.

$\text{MFFS}_{p7,1}$ Filtro: Filtro parcialmente saturado con lodo, óxidos y/o arena.

$\text{MFFS}_{p7,2}$ Filtro: Filtro totalmente saturado con lodo, óxidos y/o arena.

Colector Solar

MFFS_{p8} Colector: Colector sucio (tierra, polvo) o con manchas (huano, salinidad, etc).

$\text{MFFS}_{t8,1}$ Colector: Colector obstruido parcial o totalmente.

$\text{MFFS}_{t8,2}$ Colector: Colector destruido.

$\text{MFFS}_{p9,1}$ Tubos: Conexiones entre tubos sucias u obstruídas.

$\text{MFFS}_{p9,2}$ Tubos: Tubería obstruída.

$\text{MFFS}_{p9,3}$ Tubos: Tubería con pérdidas por grietas o fallas en las junturas (sellos, etc.).

MFFS_{p10} Cubiertas: Cubiertas trizadas/rotas.

MFFS_{t10} Cubiertas: Cubiertas obstruídas parcial o totalmente.

$\text{MFFS}_{p10,1}$ Bomba: Falla de los rodamientos del impeller.

$MFFS_{p10,2}$ Bomba: Falla de los sellos de la bomba.

$MFFS_{p10,3}$ Bomba: Falla por falta de lubricación en los engranes o rodamientos.

$MFFS_{p10,4}$ Bomba: Exceso de vibraciones en el eje de la bomba.

$MFFS_{t10}$ Bomba: Falla por rotura por fatiga en el eje.

4.10. Efectos de las Fallas

4.10.1. Efectos de las Fallas Función Primaria

$EFFP_{p1}$ El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFP_{p2}$ El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFP_{t}$ El activo no desaliniza en absoluto.

4.10.2. Efectos de las Fallas Funcioón Secundaria

Humidificador

$EFFS_{p1}$ Pulverizador: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{t1}$ Pulverizador: El activo no desaliniza en absoluto.

$EFFS_{p2}$ Relleno: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{p3}$ Estanque: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

Deshumidificador

$EFFS_{p4}$ Tubos: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{t4}$ Tubos: El activo no desaliniza en absoluto.

$EFFS_{p5}$ Carcasa y Campanas: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{p6}$ Bomba: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{t6}$ Bomba: El activo no desaliniza en absoluto

$EFFS_{p7}$ Filtro: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

$EFFS_{t7}$ Filtro: El activo no desaliniza en absoluto.

Colector Solar

EFFS_{p8} Colector: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

EFFS_{t8} Colector: El activo no desaliniza en absoluto.

EFFS_{p9} Tubos: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

EFFS_{p10} Cubierta: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

EFFS_{p11} Bomba: El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.

EFFS_{t11} Bomba: El activo no desaliniza en absoluto.

4.11. Bomba Undimotriz Wasserdrachen

4.11.1. Contexto Operacional

El activo operaría de 8 a 18 hrs, con especial énfasis en el horario de 10 a 14 hrs.

4.11.2. Indicadores

Existen algunos indicadores que permiten monitorear el funcionamiento del prototipo. Sin embargo, estos indicadores dependen mucho mas del oleaje que de la construcción del mismo, por lo que serán obviados en este análisis. Para mayores detalles consultar las memorias referenciadas en este trabajo.

4.11.3. Estándares de Seguridad Ambiental y de Seguridad Operativa

No existen estándares de seguridad ambiental que apliquen para el prototipo en cuestión. Se debe asegurar, no obstante, que la integridad del prototipo se mantenga en el tiempo, para no contaminar el mar o la zona costera con residuos de polímeros o metales, ni ningún otro tipo de material que componga al protipo.

No existen medidas de seguridad que el activo deba cumplir, ya que en sí su funcionamiento no requiere operación humana. Si se debe tener resguardo al momento de desmontar el prototipo para su mantención/gestión, dada su localización, es imperativo que estas sean llevadas a cabo por un equipo de al menos dos personas, que ambas sepan nadar, y que cuenten con salvavidas.

4.11.4. Entorno del Activo

El activo se encuentra localizado en Punta Curaumilla, una localidad rural ubicada a aproximadamente 15 km al suroeste de Valparaíso. El prototipo se localizará en el mar, a aproximadamente 15 [m] de la costa. Específicamente, el protipo se instalará al frente de la granja marina Marine Farms S.A., empresa que cría animales marinos (molúscos y crustáceos) para su comercialización.

4.12. Funciones Primara y Secundarias del Activo

4.12.1. Función Primaria del Activo

FP Bombear agua de mar, desde el borde costero hasta la granja marina, con un caudalmínimo de 6 [m3/ola].

4.12.2. Función Secundaria del Activo

Cuerpo

FS_1 Proteger al embudo y mecanismo de flote de golpes, manteniendo su estructura y peso

Embudo

FS_2 Canalizar el agua para su bombeo.

Flotador

FS_3 Mantener el prototipo flotando a ras de la superficie marina.

Unidad de conexión Embudo/Mangueras y Válvula Antiretorno

FS_4 Unidad de Conexión: Conducir el agua desde el fin del embudo hacia las mangueras.

FS_5 Válvula: Impedir que el agua se devuelva de las mangueras al embudo.

Tubos de Agua

FS_6 Conducir el agua de mar desde la salida de la válvula hacia la granja marina.

Anclajes y Cuerdas de Sujeción del Prototipo

FS_7 Mantener al prototipo en su lugar de operación

4.13. Fallas Funcionales

4.13.1. Función Primaria

FFP_p El prototipo bombea menos de 6 [m3/ola].

FFP_t El prototipo no bombea agua en absoluto.

4.13.2. Falla Función Secundaria

Cuerpo

$\text{FFS}_{p1,1}$ Cuerpo no mantiene su estructura.

$\text{FFS}_{p1,2}$ Cuerpo no mantiene su peso.

FFS_{t1} Cuerpo no protege al embudo y mecanismo de flote.

Embudo

FFS_{p2} Embudo no bombea cantidad de agua requerida.

FFS_{t2} Embudo no bombea agua en absoluto.

Flotador

FFS_{p3} Mecanismo no flota a ras de la superficie marina.

Unidad y Válvula

FFS_{p4} La unidad no conduce la totalidad del agua hacia las mangueras.

FFS_{t4} La unidad no conduce el agua en absoluto.

Tubos de Agua

FFS_{p5} Tubos no conducen la totalidad del agua hacia la granja marina.

FFS_{t5} Tubos no conducen agua en absoluto.

Anclajes y Cuerdas

FFS_{p6} El prototipo no se mantiene en su lugar preciso de operación, pero se mantiene anclado.

FFS_{t6} El prototipo no se mantiene en su lugar de operación, se suelta completamente de uno o mas anclajes.

4.14. Modos de Falla

4.14.1. Modos de Falla Función Primaria

$\text{MFFP}_{p1,1}$ El cuerpo del prototipo presenta fallas (trizaduras/agujeros).

$\text{MFFP}_{p1,2}$ El prototipo flota bajo el nivel del mar.

$\text{MFFP}_{p1,3}$ El prototipo se encuentra obstruído/tapado parcialmente.

MFFP_{t} El prototipo se encuentra obstruído/tapado totalmente.

4.14.2. Modos de Falla Función Secundaria

Cuerpo

MFFS_{t1} Cuerpo se desprende de la estructura principal por corte de cinchas de sujeción.

$\text{MFFS}_{p1,1}$ Cuerpo presenta hoyos o roturas en su superficie.

$\text{MFFS}_{p1,2}$ Cuerpo presenta aboyaduras o imperfecciones en su superficie.

$\text{MFFS}_{p1,3}$ Cuerpo presenta exceso de biomasa en su superficie.

Embudo

$\text{MFFS}_{p2,1}$ Embudo se encuentra obstruído parcialmente (exceso de salinidad o biomasa).

$\text{MFFS}_{p2,2}$ Embudo presenta roturas o fugas.

$\text{MFFS}_{p2,3}$ Embudo se encuentra totalmente obstruído.

MFFS_{t2} Embudo se encuentra destruido parcial o totalmente.

Flotador

MFFS_{p3} Mecanismo presenta exceso de peso (por salinidad o biomasa).

Unidad y Válvula

$\text{MFFS}_{p4,1}$ Existen fugas en los sellos de la conexión.

$\text{MFFS}_{p4,2}$ Pernos de la conexión mal ajustados.

$\text{MFFS}_{p4,3}$ Pvc de la estructura con grietas.

$\text{MFFS}_{p4,4}$ Válvula antiretorno parcialmente averiada.

$\text{MFFS}_{t4,1}$ Pvc de la estructura roto.

$\text{MFFS}_{t4,2}$ Válvula antiretorno totalmente averiada.

Tubos de Agua

$\text{MFFS}_{p5,1}$ Tubos se encuentran averiados/con grietas.

$\text{MFFS}_{p5,2}$ Tubos se encuentran obstruidos por salinidad/biomasa.

$\text{MFFS}_{p5,3}$ Tubos se encuentran rotos/con fugas masivas.

MFFS_{t5} Tubos se encuentran totalmente obstruidos por salinidad/biomasa.

Anclajes y Cuerdas

$\text{MFFS}_{p6,1}$ Engranes o poleas de los anclajes mal engrasados.

$\text{MFFS}_{p6,2}$ Engranes o poleas defectuosos/averiados parcialmente.

$\text{MFFS}_{p6,3}$ Pernos de sujecion de los anclajes mal instalados/rotos.

$\text{MFFS}_{p6,4}$ Estructura del anclaje averiada.

$\text{MFFS}_{t6,1}$ Cuerdas averiadas/rotas.

$\text{MFFS}_{t6,2}$ Engranes o poleas de los anclajes sin engrasar

$\text{MFFS}_{t6,3}$ Engranes o poleas defectuosos/averiados totalmente.

$\text{MFFS}_{t6,4}$ Totalidad de Pernos de sujecion de los anclajes mal instalados/rotos.

4.15. Efectos de las Fallas

4.15.1. Efectos de las Fallas Función Primaria

EFFP_p Prototipo bombea menos agua que la requerida.

EFFP_t Prototipo no bombea agua en absoluto.

4.15.2. Efectos de las Fallas Función Secundaria

Cuerpo

$\text{EFFS}_{p1,1}$ Prototipo bombea menos agua que la requerida.

$\text{EFFS}_{p1,2}$ Prototipo bombea menos agua que la requerida.

$\text{EFFS}_{p1,3}$ Prototipo bombea menos agua que la requerida.

Embudo

EFFS_{p2} Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.

EFFS_{t2} Prototipo no bombea agua en absoluto.

Flotador

EFFS_{p3} Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.

Unidad y Válvula

EFFS_{p4} Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.

EFFS_{t4} Prototipo no bombea agua en absoluto.

Tubos de Agua

EFFS_{p5} Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.

EFFS_{t5} Prototipo no bombea agua en absoluto.

Anclajes y Cuerdas

EFFS_{p6} Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.

EFFS_{t6} Prototipo no bombea agua en absoluto.

Capítulo 5

Plan de Mantenimiento

5.1. Desalinizadora por Vaporización

5.1.1. Canaletas de Alimentación

Inspección diaria/semanal (dependiendo del grado de implementación del centro).
Limpieza con escobillas y paños, para remover eventual suciedad/sarro o salinidad excesiva debido a salmuera.

5.1.2. Tubos de Rebase

Inspección semanal Manual de los tubos.
Limpieza de los mismos en caso de encontrar residuos en ellos.

5.1.3. Aislantes

Operar Hasta Fallar $\Rightarrow$ En caso de eliminar otros modos de falla como posibles culpables de una baja de rendimiento, se puede revisar el estado del aislante y en caso de estar deteriorado, reemplazar. Esta falla tiene un muy bajo nivel de ocurrencia, pero a la vez se hace bastante dificil de detectar.

5.1.4. Tubos de Termofluído

Control semanal del estado de los tubos, cañerías y codos/junturas. En caso de presentarse fallas, sellar con sellantes de poliuretano en el corto plazo, y reemplazar estos codos en el siguiente overhaul.

5.1.5. Colector Solar

Se debe inspeccionar el panel, buscando grietas, imperfecciones u otros en la superficie del panel.

Limpieza diaria: Todos los días, antes de iniciar su operación, la superficie de los paneles debe ser limpiada con limpiavidrios para remover suciedad, polvo y cualquier otro tipo de impureza que se encuentre en ella.

5.2. Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación

5.2.1. Humidificador

Pulverizadores

Inspección Visual diaria: Antes de cada puesta en marcha, revisar que los pulverizadores se encuentren sin rastros de suciedad/salinización de la punta del pulverizador. Remover suciedad existente existente con paños o esponjas. Se debe tener especial atencion con la clavija del pulverizador, ya que las maniobras de mantención pueden generar una falla parcial o total de la misma. Revisar las cañerías que transportan el agua hacia los pulverizadores, especialmente en los codos y junturas, buscando filtraciones.
Overhaul: Se deben desarmar y revisar por completo los componentes del pulverizador, remplazando aquellas piezas que deban ser cambiadas por deterioro o por condición.

Relleno Evaporativo

Inspección Visual mensual: El relleno evaporativo debe revisarse después de la eventualidad de un movimiento sísmico, para ver si se ha movido de su posición. Es muy poco probable que el relleno evaporativo se corra de su posición, salvo por una mala maniobra al momento de la mantención. De ser así, se debe desarmar el conjunto del Humidificador, para corregir la posición.
Overhaul: Se debe limpiar el Relleno, removiendo suciedad e impurezas con agua y paños.

Estanque de Acumulación

Inspección Visual diaria: Se debe revisar el exterior del tanque del Humidificador para verificar que no tenga grietas ni trizaduras por las cuales pueda escapar el fluído.
Inspección Visual semanal: Los sellos deben ser inspeccionados al menos una vez a la semana, por el exterior, para asegurar que el proceso se lleve a cabo de forma hermética. De encontrar fugas, se deben sustituir apenas sea posible (entre ciclos de funcionamiento) De cualquier forma, los sellos deben reemplazarse según recomendación de los fabricantes. Cada fabricante especifíca una vida útil distinta, por lo que debe consultarse según esto.

5.2.2. Deshumidificador

Tubos Intercambiadores

Inspección Visual diaria: Se deben inspeccionar los tubos, buscando fisuras que puedan generar fugas de líquido. En caso de hallarse alguna, se debe sellar provisoriamente.
Overhaul: Se deben cambiar las secciones que presenten fallas. **Operar hasta fallar**: ⇒ Aunque es poco probable, ante la eventualidad de una obstrucción parcial o total de los tubos, se deben reemplazar.

Carcasa y Campanas

Inspección Visual diaria: Se debe revisar la superficie de la campana y la carcasa para asegurar que no hayan grietas/imperfecciones y/o agujeros en ella. Se deben limpiar estas, para evitar que esa suciedad contamine otros subconjuntos.

Bomba

Inspección Visual diaria: Inspeccionar que los sellos no tengan fugas, que se encuentren en buen estado. Inspeccionar que los componentes que requieran algún tipo de lubricación se encuentren debidamente lubricados.
Inspección Mensual: Monitoreo del nivel de ruido y vibraciones en la bomba, para buscar potenciales fallas de rodamientos u otros componentes de las bombas. Cambiar sellos según indique el fabricante de la bomba.
Operar hasta fallar: ⇒La falla por fatiga del eje es, en efecto, muy dificil de predecir sin equipos sofisticados de medición/inspección. Dado que la implementación de estos no se justificarían en contraste con el valor de operar hasta fallar, se decide adoptar la medida de operar hasta la falla.

Filtros para Sedimentos Livianos

Limpieza diaria/semanal: Es necesario limpiar el filtro de malla lavable, semanalmente al menos, para asegurar que no se saturen de suciedad. Es importante además cambiar los filtros. Normalmente esto sería de forma mensual, pero dependerá de la recomendación del fabricante.

5.2.3. Colector Solar

Colector

Inspección Visual diaria: Se debe inspeccionar el panel, buscando grietas, imperfecciones u otros en la superficie del panel.
Limpieza diaria: Todos los días, antes de iniciar su operación, la superficie de los paneles debe ser limpiada con limpiavidrios para remover suciedad, polvo y cualquier otro tipo de impureza que se encuentre en ella.

Tubos

Inspección visual diaria: Revisar conexiones de los tubos, y los tubos mismos, en busca de fugas o grietas.

Cubiertas de Vidrio

Limpieza diaria: Antes de cada puesta en marcha del activo, es necesario inspeccionar la superficie de vidrio que protege al conjunto, y limpiarla para eliminar guano, tierra u otro tipo de suciedades que puedan estar presentes en ella.

Bomba

Inspección Visual diaria: Inspeccionar que los sellos no tengan fugas, que se encuentren en buen estado. Inspeccionar que los componentes que requieran algún tipo de lubricación se encuentren debidamente lubricados.
Inspección Mensual: Monitoreo del nivel de ruido y vibraciones en la bomba, para buscar potenciales fallas de rodamientos u otros componentes de las bombas.
Operar hasta fallar: ⇒La falla por fatiga del eje es, en efecto, muy dificil de predecir sin equipos sofisticados de medición/inspección. Dado que la implementación de estos no se justificarían en contraste con el valor de operar hasta fallar, se decide adoptar esta medida.

5.3. Bomba Undimotriz Wasserdrachen

5.3.1. Cuerpo

Inspeccion visual Mensual: Una vez al mes debe revisarse la superficie de la bomba, buscando aboyaduras, roturas u otros que puedan impedir al activo cumplir su función.
Limpieza Mensual: Se deben retirar, de existir, todo tipo de algas o animales marinos presentes en el cuerpo de la bomba.

5.3.2. Embudo

Inspeccion visual Mensual: Una vez al mes debe revisarse el interior del embudo, revisando si se encuentra obstruido por biomasa o salinidad. Además se debe inspeccionar que el embudo no presente en su superficie roturas ni imperfecciones que no le permitan cumplir con su función.
Limpieza Mensual: En caso de encontrarse suciedad u obstrucciones en el embudo, estas deben retirarse.

5.3.3. Flotador

Inspeccion visual Mensual: Una vez al mes debe revisarse que el mecanismo de flote se encuentre en buen estado, sin exceso de biomasa adherida a su superficie.
Limpieza Mensual: En caso de encontrarse excesiva suciedad o biomasa en el mecanismo de flote, esta debe ser retirada, teniendo cuidado de no dañar la superficie. Utilizar paño con alguicida.

5.3.4. Unidad de conexión Embudo/Mangueras y Válvula Antiretorno

Inspección Visual Mensual: Se deben inspeccionar el extremo inicial de la manguera, junto con la unidad de conección y la válvula antirretorno, buscando fugas o imperfecciones. De encontrarse imperfecciones, se deben reemplazar aquellas piezas que ya no estén en condiciones aceptables (Que puedan convertirse en una falla potencial).

5.3.5. Tubos de Agua

Inspección Visual Semanal: Se debe inspeccionar la manguera al menos semanalmente, buscando imperfecciones o o roturas que puedan producir fugas. Se deben sellar estas fugas de ser encontradas. Se recomienda cambiar los tubos según indiquen los estudios pertinentes o los manuales del proveedor, respecto al desgaste del material de los mismos bajo las condiciones de su contexto operacional.

5.3.6. Anclajes y Cuerdas de Sujeción del Prototipo

Inspección visual Semanal: Se debe inspeccionar el anclaje, para asegurarse de que esté bien engrasado/lubricado.
Limpieza Semanal Anclaje y Cuerdas: Se deben limpiar el anclaje y la parte de las cuerdas de sujeción que hagan mayor contacto con los anclajes, retirando cualquier tipo de suciedad existente.
Lubricación/Engrase Anclaje Mensual: Debe asegurarse que el anclaje y las poleas se encuentren siempre en una condición de lubricación óptima.

Capítulo 6

Análisis Económico

6.1. Antecedentes

En la siguiente sección se realizará una evaluación del costo de implementación [mensual y annual] que tendría el plan de mantención, para determinar su factibilidad. A priori, dado que las tareas que se deben llevar a cabo no requieren un gran equipo técnico, es de esperar que el costo de la aplicación del plan de mantención para esta primera etapa de implementación del centro de investigación no sea elevado.

De acuerdo a lo señalado por John Moubray, se necesitan 6 grupos de profesionales, de al menos un profesional por grupo, para revisión de un plan RCM: Facilitador, Supervisor de Ingeniería, Técnico en Mantenimiento, Supervisión de Operaciones, Operador, y de ser necesario, un Especialista. Sin embargo, dada la limitada infraestructura y orgánica con la que cuenta el centro, en una primera etapa bastará con un ingeniero o técnico que supervise, y un operador o técnico que lleve a cabo aquellas tareas que se necesiten realizar.

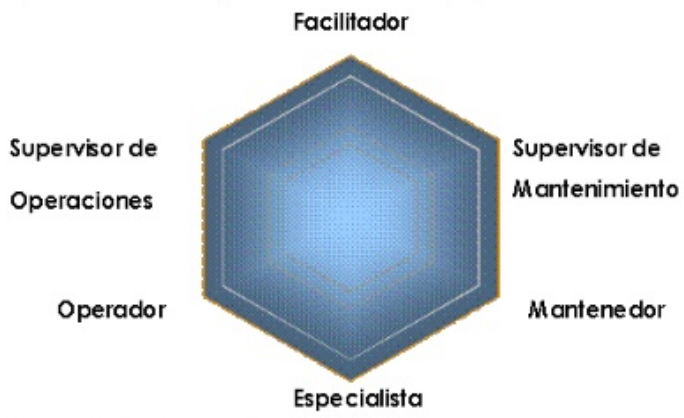

Figura 6.1: Seis grupos de revisión típica de RCM. Fuente: RCM II, John Moubray

Respecto a los insumos, será necesario contar con suficiente capital para

establecer un stock inicial de implementos. Luego de esto, la reposición de insumos y materiales rara vez será la misma que el inicial, por lo que el periódo mas crítico desde un punto de vista financiero será el establecimiento de este stock inicial.

6.2. Costos Hora Hombre (HH)

Costos HH

El salario promedio de un mantenedor, mensual, es de $500000 [clp], y el de un ingeniero mecánico es de $900000 [clp]. Por lo tanto, se obtienen los precios por hora

- Mantenedor: $3077 [$/h]
- Ingeniero Mecánico: $5538[$/h]

Los datos fueron obtenidos de diferentes portales de empleos y sueldos de chile.

Se estima que la aplicación del plan exigiría un total de 4 horas diarias. Mensualmente entonces, se tendría que el total Mensual a pagar sería

- Mantenedor: $246160
- Ingeniero Mecánico: $443040
- Total: $689200

Por otro lado, si se desease en una primera instancia implementar el plan de forma semanal, el costo cambiaría

- Mantenedor: $49323
- Ingeniero Mecánico: $88608
- Total: $137931

6.3. Cotización Insumos

La cotización de insumos para la realización del plan de mantenimiento se llevo a cabo entre noviembre y diciembre del 2019. Los resultados se indican en la siguiente tabla.

Tabla 6.1: Insumos

Item	$	Cantidad
Removedor de Sarro	8092 clp	5[L]
Escobillas	1700 clp	c/u
Paños	2750 clp	c/u
Sellante Poliuretano	4250 clp	c/u
Limpiavidrios	6600 clp	5[L]
Secavidrios	8925 clp	c/u
Ext. Telescópica	10115 clp	c/u
Goma Respuesto	3570 clp	c/u
Salvavidas	29900 clp	c/u
Gafas de Seguridad	2499 clp	c/u
Guantes de Goma	1700 clp	c/u

6.4. Costos Totales Asociados a la Aplicación del Plan

Los costos totales serán calculados para la cantidad de insumos necesaria para poner en marcha la aplicación del plan, considerando además para las HH una cantidad neta de trabajo de 4 horas a la semana.

Tabla 6.2: Costos Totales Insumos

Item	$ unitario	Cantidad unitaria	Precio Total
Removedor de Sarro	8092 clp	2	16184 clp
Escobillas	1700 clp	5	8500 clp
Paños	2750 clp	10	27500 clp
Sellante Poliuretano	4250 clp	2	8500 clp
Limpiavidrios	6600 clp	2	13200 clp
Secavidrios	8925 clp	2	17850 clp
Extensión Telescópica	10115 clp	2	20230 clp
Goma Repuesto	3570 clp	2	7140 clp
Salvavidas	20990 clp	2	41980 clp
Gafas de Seguridad	2499 clp	2	4998 clp
Guantes de Goma	1700 clp	6	10200 clp
		Total	176282

Los costos de HH son señalados a continuación.

Tabla 6.3: Precio HH

Trabajador	$ /h	horas al mes	$ /mes
Mantenedor	3077 clp	16	49323 clp
Ingeniero Mecánico	5538 clp	16	88608clp
		Total	137931 clp

Con esto se puede concluir que el costo total de aplicación del plan el primer mes en que este sea aplicado será de

- Total Primer Mes: 314213 clp

Capítulo 7

Aplicación del Plan

7.1. Desalinizadora por Vaporización ubicada en UTFSM, sede Viña del Mar

La aplicación del plan de mantenimiento fue llevada a cabo en el activo ubicado en el LER (Laboratorio de Energías Renovables) de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede de Viña del Mar. Los motivos por los cuales se aplicó en este activo y no en el correspondiente activo en cuál se basó el plan, son dos:

1 La similitud entre ambos activos fue considerara suficiente, pues su estructura solo dista en la composición de sus paredes externas. En el activo en el cuál se diseño este plan, las paredes externas y puera son de metal (Específicamente Acero Galvanizado), mientras que el activo de la Sede de Viña del Mar, son de Vidrio. Esto no tuvo mayor impacto en la aplicación del plan.

2 La cercanía y accesibilidad de ambos activos fue puesta en cosideración. Dado el carácter remoto y de difícil acceso de Punta Curaumilla (A no ser que se cuente con movilización propia, y no fue ese el caso), y por el contrario, el fácil acceso al activo de Viña, se optó por realizarlo en esta localidad.

7.2. Aplicación del Plan

Se realizó una simulación de aplicación del plan de mantención, tomando el tiempo estimado para cada tarea. La realización fue bastante sencilla, pues el activo en sí es de construcción simple y de fácil acceso. Para llevar a cabo esta tarea, se ocupó el Checklist que se encuentra en B.1.

Se inspeccionaron las canaletas de alimentación, retirando algunas impurezas existentes con escobillas y paños. En las bandejas donde se alojan estas canaletas, fue observado por el encargado del Laboratorio, existen pequeñas manchas de

óxido. Esto se dió producto de algún golpe que pudo haber recibido la estructura en su transporte o instalación, o también producto de la soldadura al fijar estas piezas. La única forma de reparar esto sería en el siguiente overhaul, retirando totalmente el óxido y repintando la superficie con algún componente anti-óxido.

Figura 7.1: Óxido en la estructura, producto de golpe

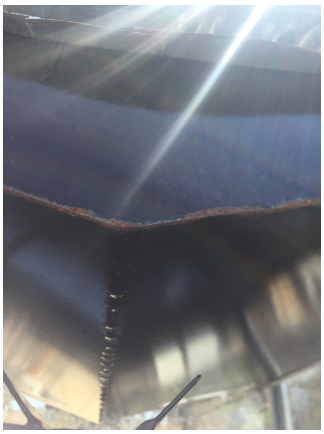

Figura 7.2: Óxido en la estructura, producto de soldadura

Luego, se inspeccionaron los tubos de rebase. Dada la construcción de la desalinizadora, se constató que no es posible la inspección visual de estos, así que se modificó post-aplicación el apartado de este subconjunto, cambiando de inspección visual a inspección manual. En ninguno de estos se apreciaron impurezas u obstrucciones.

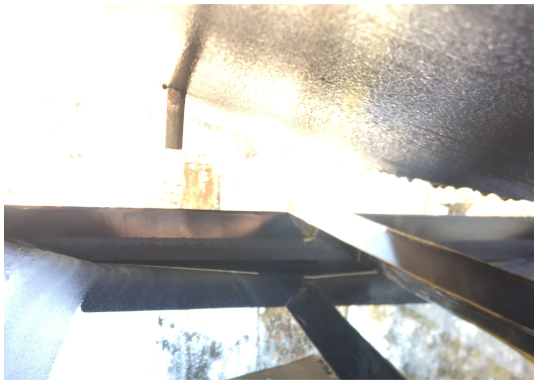

Figura 7.3: Tubo de rebase

Se obvió el apartado de Aislante dado que en este activo el mencionado subconjunto solo se encuentra en la parte inferior, y no en las paredes como el original. De cualquier manera no tuvo efecto en la simulación, dado que el plan solo contempla reemplazar el aislante una vez este ya no sirva, cosa que es muy difícil que pase (o tomará mucho tiempo para que suceda).

Se inspeccionó visualmente los tubos de termofluído, no encontrandose fugas o grietas en estos. Los tubos y conexiones no se notaron visiblemente afectados por la acción del Sol y los elementos, lo cuál indica que las consideraciones tomadas en cuanto al tiempo necesario para reemplazar estos componentes son bastante acertadas.

Figura 7.4: Tubo de termofluído, con su aislante

Finalmente, se inspeccionó el Colector Solar. En este se encontró una cantidad considerable de suciedad, pero ningún tipo de grieta, golpe o abolladura en su superficie. No se pudo llevar a cabo la limpieza de este, por motivos de horario del laboratorio. Sin embargo, se constató, dado su tamañño, que la limpieza no debería

llevar mas de media hora.

Figura 7.5: Panel del Colector Solar

Se concluyó, con todo esto, que la aplicación del plan en este activo en particular no debiese superar una hora, lo cuál esta dentro de las consideraciones de tiempo de aplicación diarias hechas en el capítulo 6.

Capítulo 8

Conclusiones

- Es necesario en Chile formar profesionales del área científico-tecnológica y en general con una mentalidad pro sostenibilidad. Actualmente, al menos en lo que el estudiante pudo apreciar en su formación profesional, es casi nulo el enfoque en esta área, centrándose mucho mas en la producción y la eficiencia de ésta, con fines meramente económicos. Es necesario darle la vuelta a este pensamiento, pues el equilibrio ecológico del planeta lo precisa urgentemente.

- Es necesario también fomentar, financiar y apoyar iniciativas creativas y de contenido educativo y social, tales como el CERTES. Este tipo de iniciativas van totalmente acorde a lo deseado y señalado por el informe Energía 2050, ya que como misión se proponen educar a la población, desde temprana edad, en temas como la energía sustentable y el cuidado del medio ambiente.

- Este trabajo debe ser revisado y complementado una vez sea terminado e implementado el CERTES, ya que el mantenimiento basado en confiabilidad requiere mutar y evolucionar a medida que los activos son utilizados.

- Los resultados de este tipo de trabajos, asi como de planes de mantenimiento de plantas, industrias y cualquier otro tipo de instalación de tipo sostenible, o que tenga que ver con energía renovable, deben ser publicados siempre que se pueda, y en general se debe buscar el aunar conocimientos y enseñarlos, una vez mas teniendo en cuenta que el bien común debe ser lo que prime, en vez de la visión secretista que impone la competencia entre empresas actual. Encontrar datos precisos de planes de mantenimiento para esta memoria fue una de las tareas mas difíciles, lo cuál fundamenta aún mas esta conclusión.

Apéndice A

Análisis AMFE

A.1. Desalinizadora por Vaporización

Id	Codigo	Paso del proceso/Funcion	Perdida de funcionalidad	Efecto potencial de la falla	SEV	Modo de Falla	OCU	Controles Actuales	DET	NPR
1.1	FP1	Desalinizar agua de mar, a una razón de 15 [L] por día	Parcial: El activo desaliniza menos de 15 [L] por día.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	No llega suficiente agua de mar a la canaleta principal.	5	Inspección Visual	3	120
			Total: El activo no desaliniza.	El activo no desaliniza el agua.	10	No llega agua en lo absoluto al desalinizador.	3	Inspección Visual	1	30
2.1	FS1	Canaletas de alimentación: Proveer de agua al nivel siguiente del desalinizador	Canaletas no proveen agua al sector siguiente.	Los niveles siguientes del desalinizador no son alimentados correctamente.	6	Canaletas sucias, bloqueadas parcial o totalmente.	6	Inspección Visual	6	216
2.2	FS2	Tubos de rebase: Prevenir la acumulación de agua en solo un nivel del desalinizador	Agua se acumula en un solo nivel del desalinizador.	Los niveles siguientes del desalinizador no son alimentados correctamente.	5	Tubos sucios, bloqueados parcial o totalmente.	6	Inspección Visual/Manual	6	180
2.3	FS3	Aislantes: Impedir el intercambio de calor entre el ambiente y el interior del desalinizador	El desalinizador pierde calor por las paredes.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	6	Aislante defectuoso o deteriorado.	2	Inspección Visual/Overhaul	9	108
2.4	FS4	Tubos de termofluído: Hacer circular el termofluído hacia la parte inferior del desalinizador	El termofluído no circula hacia el desalinizador.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	6	Cañerías defectuosas, rotas u obstruídas.	5	Inspección Visual	5	150
2.5	FS5	Colector Solar: Calentar el termofluído a una temperatura > a 100 [°C]	Parcial: El termofluído no alcanza la temperatura requerida	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Paneles del Colector sucios.	5	Inspección Visual/Medición Output energía	1	40
			Total: El Colector no transfiere calor al termofluído.	El activo no desaliniza el agua.	10	Paneles o Colector defectuoso: Destruido parcial o totalmente.	6	Inspección Visual/Medición Output energía	1	60

Figura A.1: Análisis AMFE de Desalinizadora por Vaporización

A.2. Desalinizadora por Humidificador-Deshumidificador

Id	Codigo	Paso del proceso/Funcion				Perdida de funcionalidad		Efecto potencial de la falla	SEV	Modo de Falla	OCU	Controles Actuales	DET	NPR
1	FP	Desalinizar agua de mar, a una razón de 15 [L] por día				1. Parcial	El activo desaliniza menos de 15 [L] por día	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	No llega suficiente agua al desalinizador.	5	Inspección Visual	3	120
										El agua es desalinizada parcialmente.	6	Inspección Visual	5	240
						2. Total	El activo no desaliniza en absoluto	El activo no desaliniza en absoluto.	10	No llega agua en absoluto al desalinizador.	2	Inspección Visual	1	20
2	FS	Humidificador	1	Pulverizadores	Entregar un cono de agua pulverizada de un tamaño de gota menor a 50 [μm].	1. Parcial	Pulverizador entrega un cono de agua con tamaño de gota mayor a 50 [μm].	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Pulverizador obstruido parcialmente por sal/objetos extraños.	6	Inspección Visual/Overhaul	3	144
										Clavija del pulverizador torcida o rota.	2	Inspección Visual/Overhaul	3	48
						2. Total	Pulverizador no entrega un cono de agua en absoluto.	El activo no desaliniza en absoluto.	10	Clavija del pulverizador torcida o rota.	4	Inspección Visual/Overhaul	3	120
						3. Total	Pulverizador no entrega agua en absoluto	El activo no desaliniza en absoluto.	10	Pulverizador obstruido totalmente por sal/objetos extraños	6	Inspección Visual/Overhaul	3	180
			2	Relleno Evaporativo	Recibir el precipitado de los pulverizadores para su mezcla con el aire.	1. Parcial	El relleno no recibe adecuadamente el precipitado, escurre a una velocidad superior a la adecuada.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Relleno mal instalado o en posición incorrecta.	2	Overhaul	4	64
			3	Estanque de acumulación	Contener el proceso de humidificación de forma hermética.	1. Parcial	El proceso de humidificación se lleva a cabo de forma no hermética.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Estanque presenta fugas por grietas o imperfecciones.	3	Inspección Visual	2	48
										Estanque presenta sellos de valvulas vencidos/rotos/con fugas.	7	Inspección Visual	2	112
3	FS	Deshumidificador	1	Tubos Intercambiadores	Transferir el calor del aire saturado de agua a los tubos de agua marina, manteniendo una efectividad superior a 0,74.	1. Parcial	La efectividad de los tubos es menor a 0,74 (No se transfiere calor suficiente del aire saturado a los tubos).	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Tubos con demasiada presencia de sarro en las paredes interiores.	3	Operar hasta falla	6	144
										Tubos parcialmente obstruidos (No permiten la libre circulación del termofluído).	3	Operar hasta falla	7	168
						2. Total	No se transifere calor en absoluto.	El activo no desaliniza en absoluto.	10	Tubos totalmente obstruídos.	2	Operar hasta falla	4	80
			2	Carcasa y campanas	Proveer de una estructura hermética para permitir el intercambio de calor.	1. Parcial	La estructura no provee un ambiente hermético para el intercambio de calor.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Estructura presenta grietas en sus caras.	5	Inspección Visual	2	80
										Estructura presenta fallas estructurales o de construcción en sus bordes.	3	Inspección Visual	2	48
			3	Bomba	Bombear agua de mar al intercambiador.	1. Parcial	La bomba no lleva la cantidad de agua deseada al intercambiador.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Falla de los rodamientos del impeller.	3	Inspección Auditiva	3	72
										Falla de los sellos de la bomba.	5	Inspección Visual	2	80
										Falla por falta de lubricación en los engranes o rodamientos.	5	Inspección Visual/Manual	5	200
										Exceso de vibraciones en el eje de la bomba.	3	Inspección Auditiva/Medición Vibraciones	2	48
						2. Total	La bomba no acarrea agua en absoluto.	El activo no desaliniza en absoluto.	10	Falla por fatiga en el eje.	2	Operar hasta falla	1	20
			4	Filtros para Sedimentos	Eliminar lodo, arena y óxidos presentes en el agua marina, antes de su entrada al humidificador.	1. Parcial	Filtro no elimina la totalidad de lodo, óxidos y/o arena presentes en el agua marina.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Filtro parcialmente saturado con lodo, óxidos y/o arena.	8	Inspección Visual	4	256
						2. Total	Filtro no elimina en absoluto el lodo, óxidos y/o arena presentes en el agua marina.			Filtro totalmente saturado con lodo, óxidos y/o arena.	6	Inspección Visual	3	144

Figura A.2: Análisis AMFE de Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación, parte 1

Id	Codigo	Paso del proceso/Funcion				Perdida de funcionalidad		Efecto potencial de la falla	SEV	Modo de Falla	OCU	Controles Actuales	DET	NPR
4	FS	Colector Solar	1	Colector	Absorber la radiación del sol a una razón de 700 [W/m2].	1. Parcial	El colector absorbe menos de 700 [W/m2].	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Colector sucio (tierra, polvo) o con manchas (huano, salinidad, etc).	8	Inspección Visual/Medición Output energía	1	64
										Colector obstruido parcial o totalmente.	7	Inspección Visual/Medición Output energía	1	56
						2. Total	El colector no absorbe radiación solar en absoluto.	El activo no desaliniza en absoluto.	10	Colector destruido.	2	Inspección Visual/Medición Output energía	1	20
			2	Tubos	Recibir el agua del Deshumidificador, y hacerla circular para su intercambio de calor con el Colector.	1. Parcial	Tubos no reciben agua del deshumidificador.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Conexiones entre tubos sucias u obstruidas.	3	Operar hasta falla	6	144
										Tubería obstruida.	3	Operar hasta falla	4	96
						2. Parcial	Agua no circula correctamente por el circuito.			Tubería con pérdidas por grietas o fallas en las junturas (sellos, etc.).	6	Inspección Visual	2	96
			3	Cubierta de Vidrio	Mejorar la eficiencia del Colector.	1. Parcial	La cubierta no mejora la eficiencia del Colector.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Cubiertas trizadas/rotas.	2	Inspección Visual	1	16
										Cubiertas obstruídas parcial o totalmente.	4	Inspección Visual	1	32
			4	Bomba	Hacer circular el agua por el Colector.	1. Parcial	La bomba no lleva la cantidad de agua deseada al intercambiador.	El activo no desaliniza la cantidad de agua requerida por día.	8	Falla de los rodamientos del impeller.	3	Inspección Auditiva	3	72
										Falla de los sellos de la bomba.	5	Inspección Visual	2	80
										Falla por falta de lubricación en los engranes o rodamientos.	5	Inspección Visual/Manual	5	200
										Exceso de vibraciones en el eje de la bomba.	3	Inspección Auditiva/Medición Vibraciones	2	48
						2. Total	La bomba no acarrea agua en absoluto.	El activo no desaliniza en absoluto.	10	Falla por fatiga en el eje.	2	Operar hasta falla	1	20

Figura A.3: Análisis AMFE de Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación, parte 2

A.3. Bomba Undimotriz Wasserdrachen

Id	Codigo	Paso del proceso/Funcion	Perdida de funcionalidad		Efecto potencial de la falla	SEV	Modo de Falla	OCU	Controles Actuales	DET	NPR
1	FP	Bombear agua de mar, desde el borde costero hasta la granja marina, con un caudal minimo de 6 [m3/ola].	Parcial	El prototipo bombea menos de 6 [m3/ola].	Prototipo bombea menos agua que la requerida.	8	El cuerpo del prototipo presenta fallas (trizaduras/agujeros).	6	Inspección Visual/Overhaul	5	240
							El prototipo flota bajo el nivel del mar.	6	Inspección Visual	2	96
							El prototipo se encuentra obstruído/tapado parcialmente.	5	Overhaul	5	200
			Total	El prototipo no bombea agua en absoluto.	Prototipo no bombea agua en absoluto.	10	El prototipo se encuentra obstruído/tapado totalmente.	3	Overhaul	7	210
2	Cuerpo	Proteger al embudo y mecanismo de flote de golpes, manteniendo su estructura y peso	Parcial	Cuerpo no mantiene su estructura.	Prototipo bombea menos agua que la requerida.	7	Cuerpo presenta aboyaduras o imperfecciones en su superficie.	7	Inspección Visual/Overhaul	5	245
							Cuerpo presenta hoyos o roturas en su superficie.	6	Inspección Visual/Overhaul	5	210
				Cuerpo no mantiene su peso.	Prototipo bombea menos agua que la requerida.	7	Cuerpo presenta exceso de biomasa en su superficie.	5	Inspección Visual/Overhaul	3	105
			Total	Cuerpo no protege al embudo y mecanismo de flote.	Prototipo bombea menos agua que la requerida.	5	Cuerpo se desprende de la estructura principal por corte de cinchas de sujeción.	3	Inspección Visual	2	42
3	Embudo	Canalizar el agua para su bombeo.	Parcial	Embudo no bombea cantidad de agua requerida.	Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.	8	Embudo se encuentra obstruído parcialmente (exceso de salinidad o biomasa).	6	Overhaul	5	240
							Embudo presenta roturas o fugas.	3	Overhaul	4	96
			Total	Embudo no bombea agua en absoluto.	Prototipo no bombea agua en absoluto.	10	Embudo se encuentra totalmente obstruído.	4	Overhaul	7	280
							Embudo se encuentra destruido parcial o totalmente.	2	Overhaul	7	140
4	Mecanismo de flote	Mantener el prototipo flotando a ras de la superficie marina.	Parcial	Mecanismo no flota a ras de la superficie marina.	Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.	6	Mecanismo presenta exceso de peso (por salinidad o biomasa).	4	Overhaul	8	192

Figura A.4: Análisis AMFE de Bomba Undimotriz Wasserdrachen, parte 1

Id	Codigo	Paso del proceso/Funcion	Perdida de funcionalidad		Efecto potencial de la falla	SEV	Modo de Falla	OCU	Controles Actuales	DET	NPR
5	Unidad de conexión Embudo/Mangueras y Válvula Antiretorno	Conducir el agua desde el fin del embudo hacia las mangueras.	Parcial	La unidad no conduce la totalidad del agua hacia las mangueras.	Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.	8	Existen fugas en los sellos de la conexión.	3	Overhaul	7	168
							Pernos de la conexión mal ajustados.	3	Inspección Manual/Overhaul	5	120
							Pvc de la estructura con grietas.	4	Inspección Visual/Overhaul	6	192
		Impedir que el agua se devuelva de las mangueras al embudo.					Válvula antiretorno parcialmente averiada.	2	Overhaul	7	112
			Total	La unidad no conduce el agua en absoluto.	Prototipo no bombea agua en absoluto.	10	Pvc de la estructura roto.	3	Overhaul	7	210
							Válvula antiretorno totalmente averiada.	2	Overhaul/Control Agua Procesada	9	180
6	Tubos de agua	Conducir el agua de mar desde la salida de la válvula hacia la granja marina.	Parcial	Tubos no conducen la totalidad del agua hacia la granja marina.	Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.	7	Tubos se encuentran averiados/con grietas.	6	Inspección Visual	3	126
							Tubos se encuentran obstruidos por salinidad/biomasa.	6	Operar hasta falla	6	252
			Total	Tubos no conducen agua en absoluto.	Prototipo no bombea agua en absoluto.	10	Tubos se encuentran rotos/con fugas masivas.	4	Inspección Visual	3	120
							Tubos se encuentran totalmente obstruidos por salinidad/biomasa.	4	Operar hasta falla	4	160
7	Anclajes y cuerdas de sujeción del prototipo	Mantener al prototipo en su lugar de operación	Parcial	El prototipo no se mantiene en su lugar preciso de operación, pero se mantiene anclado.	Prototipo no bombea la cantidad de agua requerida.	6	Engranes o poleas de los anclajes mal engrasados.	6	Inspección Visual/Manual	2	72
							Engranes o poleas defectuosos/averiados parcialmente.	4	Inspección Visual/Manual	2	48
							Pernos de sujecion de los anclajes mal instalados/rotos	2	Inspección Visual/Manual	3	36
							Estructura del anclaje averiada.	4	Inspección Visual/Manual	3	72
			Total	El prototipo no se mantiene en su lugar de operación, se suelta completamente de uno o mas anclajes.	Prototipo no bombea agua en absoluto.	10	Cuerdas averiadas/rotas.	3	Inspección Visual	4	120
							Engranes o poleas de los anclajes sin engrasar	2	Inspección Visual/Manual	1	20
							Engranes o poleas defectuosos/averiados totalmente.	2	Inspección Visual/Manual	1	20
							Totalidad de Pernos de sujecion de los anclajes mal instalados/rotos	1	Inspección Visual/Manual	1	10

Figura A.5: Análisis AMFE de Bomba Undimotriz Wasserdrachen, parte 2

Apéndice B

Checklist para cada Plan de Mantenimiento

De manera adicional al trabajo realizado, se confeccionó una serie de checklist para hacer mas expedita y ordenada la realización de los planes de mantenimiento.

B.1. Desalinizadora por Vaporización

Para mayor información, referirse al instructivo de mantenimiento									
DESALINIZADORA VAPORIZACIÓN									
N°	Componente	Como se debe mantener y como se realiza.							
		Instructivo de inspección y limpieza	Método	Elemento	Seguridad	Equipo	Frecuencia (días)	RESPONSABLE	Observaciones
1	Canaletas de alimentación	Inspección Visual	Limpieza con paños y escobillón		EPP (Lentes – Guantes)	Inactivo	Diario	Operador	
2	Tubos de rebase	Inspección Visual	Limpieza en caso de encontrar evidencia de suciedad			Inactivo	Semanal	Operador	
3	Aislante	Operar hasta falla	-			Inactivo	Overhaul	Operador	
4	Tubos de termofluido	Inspección Visual	Estado de los elementos. En caso de hallarse fuga, sellar y reemplazar en sgte. Overhaul.			Inactivo	Semanal	Operador	
5	Colector Solar	Inspección Visual	Limpieza con paño y squeaky. Secar humedad restante			Inactivo	Diario	Operador	

Figura B.1: Checklist Desalinizadora por Vaporización

B.2. Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación

Para mayor información, referirse al instructivo de mantenimiento										
DESALINIZADORA HDH										
SUBSISTEMA	N°	Componente	Como se debe mantener y como se realiza.							
			Instructivo de inspección y limpieza	Método	Elemento	Seguridad	Equipo	Frecuencia (días)	RESPONSABLE	Observaciones
HUMIDIFICADOR	1	Pulverizador	Inspección Visual	Limpieza de pulverizadores, revisión de tubos alimentadores. Overhaul: Reemplazar componentes de ser necesario		EPP (Lentes – Guantes)	Inactivo	Diario / Overhaul	Operador	
	2	Relleno Evaporativo	Inspección Visual	Limpieza del Relleno Evaporativo			Inactivo	Overhaul	Operador	
	3	Estanque de Acumulación	Inspección Visual	Sustitución de sellos, de ser necesario			Inactivo	Semanal	Operador	
DESHUMIDIFICADOR	4	Tubos Intercambiadores	Inspección Visual	Estado de los elementos. En caso de hallarse fuga, sellar y reemplazar en sgte. Overhaul.			Inactivo	Semanal	Operador	
	5	Carcasa y campanas	Inspección Visual	Limpieza de la superficie			Inactivo	Diario	Operador	
	6	Bomba	Inspección Visual Monitoreo de Vibraciones	Inspección de sellos, reemplazar de ser necesario. Lubricación componentes			Inactivo	Diario Semanal	Operador	
	7	Filtros para Sedimentos	Inspección Visual	Limpieza de filtro de malla lavable. Reemplazar cuando sea necesario			Inactivo	Semanal	Operador	
COLECTOR SOLAR	8	Colector	Inspección Visual	Limpieza con paño y aquaky. Secar humedad restante			Inactivo	Diario	Operador	
	9	Tubos	Inspección Visual	Estado de los elementos. En caso de hallarse fuga, sellar y reemplazar en sgte. Overhaul.			Inactivo	Semanal	Operador	
	10	Cubierta de Vidrio	Inspección Visual	Limpieza con paño y aquaky. Secar humedad restante			Inactivo	Diario	Operador	
	11	Bomba	Inspección Visual Monitoreo de Vibraciones	Inspección de sellos, reemplazar de ser necesario. Lubricación componentes			Inactivo	Diario Semanal	Operador	

Figura B.2: Checklist Desalinizadora por Humidificación-Deshumidificación

B.3. Bomba Undimotriz Wasserdrachen

Para mayor información, referirse al instructivo de mantenimiento									
BOMBA UNDIMOTRIZ									
		Como se debe mantener y como se realiza.							
N°	Componente	Instructivo de inspección y limpieza	Método	Elemento	Seguridad	Equipo	Frecuencia (días)	RESPONSABLE	Observaciones
1	Cuerpo	Inspección Visual	Retirar algas y cualquier tipo de suciedad pegada a la superficie		EPP (Lentes – Guantes – Salvavidas)	Inactivo	Mensual	Operador	
2	Embudo	Inspección Visual	Inspeccionar buscando grietas o averías Retirar y limpiar suciedad			Inactivo	Mensual	Operador	
3	Mecanismo de Flote	Inspección Visual	Retirar Biomasa de la superficie			Inactivo	Mensual	Operador	
4	Unidad de conexión embudo / manguera y Válvula antiretorno	Inspección Visual	Inspeccionar fugas o imperfecciones Reemplazar piezas que lo requieran			Inactivo	Mensual	Operador	
5	Tubos de Agua	Inspección Visual	Inspeccionar fugas o imperfecciones. Sellar fugas Reemplazar tubos de ser necesario			Inactivo	Semanal	Operador	
6	Anclaje y cuerdas de sujeción del prototipo	Inspección Visual	Limpieza, engrasado y lubricación	-		Inactivo	Semanal Mensual	Operador	

Figura B.3: Checklist Bomba Undimotriz Wasserdrachen

Apéndice C

Cotizaciones Insumos

En el siguiente apartado se presentan imagenes de las distintas cotizaciones realizadas para los insumos necesarios.

C.1. Removedor de Sarro

Figura C.1: Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl

C.2. Escobilla

Figura C.2: Cotizado en: https://www.masol.cl/

C.3. Paños

Figura C.3: Cotizado en: https://www.masol.cl/

C.4. Sellante Poliuretano

Figura C.4: Cotizado en: https://www.sodimac.cl/

C.5. Limpiavidrios

Figura C.5: Cotizado en:https://www.masol.cl/

C.6. Secavidrios

Figura C.6: Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl/

C.7. Extensión Telescópica

Figura C.7: Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl/

C.8. Goma de Repuesto

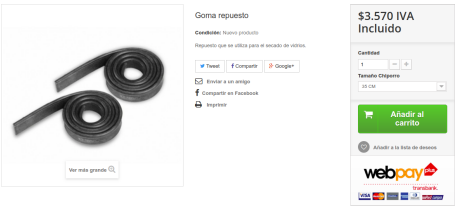

Figura C.8: Cotizado en: https://distribuidoratorres.cl/

C.9. Salvavidas

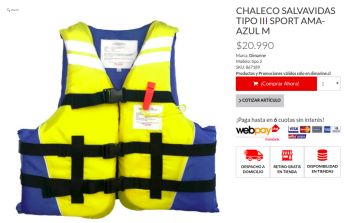

Figura C.9: Cotizado en: https://www.dimarine.cl/

C.10. Gafas de Seguridad

Figura C.10: Cotizado en: https://www.segurycel.cl/

C.11. Guantes de Goma

Figura C.11: Cotizado en: https://www.segurycel.cl/

Apéndice D

Bibliografía

1 MOUBRAY, John. Reliability Centered Maintenance II, 2a Edición Reino Unido, Aladon Ltd., 1997.

2 PASCUAL, Rodrigo. El Arte de Mantener. Versión 2.85, Chile, 2005

3 SOCIETY of Automotive Engineers. EEUU. SAE JA1011: 2009 Evaluation Criteria for Reliability- Centered Maintenance (RCM) Processes. Pennsilvanya, 2009

4 SOCIETY of Automotive Engineers. EEUU. SAE JA1012: 2009 A Guide to Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. Pennsilvanya, 2009

5 ENERGÍA 2050, Energía 2050 Política Energética de Chile, [en línea], <http://www.energia2050.cl/wp-content/uploads/2016/07/Politica-Energetica-Nacional.pdf>

6 BRUNDTL CONGRESS, Our Common Future

7 CONSERVACIÓN y biodiversidad, Curaumilla, la biodiversidad desconocida en la bahía de valparaíso, [en línea] <https://www.conservacionybiodiversidad.cl/2013/07/curaumilla-la-biodiversidad-desconocida-en-la-bahia-de-valparaiso/>

8 MINISTERIO de bienes nacionales, Punta Curaumilla, Laguna Verde. [en línea[<http://licitaciones.bienes.cl/licitacion/punta-curaumilla-laguna-verde/>

9 REVISTA electroindustria, Mantención de Paneles Fotovoltáicos, [en línea] <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2276&edi=117&xit=mantencion-de-paneles-fotovoltaicos>

10 LU, Bin y LI Yaoyu, WU Xin, YANG Zhongzhou, A Review of Recent Advances in Wind Turbine Condition Monitoring and Fault Diagnosis,

11 McKGEE, Kristoffer et al., A Review of Major Centrifugal Pump Failure Modes with Application to the Water Supply and Sewerage Industries, ...

12 REMOUIT, Flore et al., Deployment and Maintenance of Wave Energy Converters at the Lysekil Research Site: A Comparative Study of the Use of Divers and Remotely – Operated Vehicles,...

13 WIND Europe, Wind in Power 2017: Annual combined onshore and offshore wind energy statistics.

14 WIND Europe, Wind in Power 2018: Annual combined onshore and offshore wind energy statistics.

15 MOLINA VALDOVINO, Denis., 2018, Análisis Técnico de Correas Transportadoras en Planta de Procesos de Salmónidos., Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

16 BERNAL NÚÑEZ, Cristian., 2017, Diseño y Evaluación Económica de Plan de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad para Sistema de Puertas en Tren NS93, Universidad Técnica Federico Santa María, Santiago.

17 CABRERA FERNÁNDEZ, Eliecer., 2017, Bombeo de Agua de Mar con Energía Undimotriz., Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

18 ARRIAGADA PINOCHET, Gustavo., 2018, Evaluación Técnica – Económica de la Implementación de un Centro de Tecnología Eólica en Punta Curaumilla, Sector Laguna Verde, V Región., Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

19 ENGLISCH, Phillip., 2018, Design and Implementation of a Wave – Powered Sea Water Pump on the Shore – Line of Chile., Universidad Técnica

20 GÁLVEZ SOTO, Eduardo., 2001, Desalinizador Solar de Múltiples Efectos a Alta Altura., Univerisdad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

21 ABURTO VALENZUELA, José., Rediseño de Prototipo de Desalinización Solar con Sistema HDH, Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso.

22 REYES VALENZUELA, Mauricio., Diseño y Construcción de Sistema de Desalinización por Método de Humidificación-Deshumidificación(HDH) Acoplado con Energía Solar.