

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



PROYECTO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
QUIMICO

**IMPLEMENTACIÓN DE DESTILADORES  
SOLARES PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA  
DESDE PISCINAS DE EVAPORACIÓN DE  
ENAEX PLANTA RÍO LOA**

**Constanza Pallante Rojas**

Profesor Guía:  
Jaime Morales Saavedra

**2015**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres Edith Rojas y Hugo Pallante con todo el amor del mundo. Gracias por su comprensión, apoyo incondicional y por cada vez que me incentivaron a continuar. Gracias por todos los valores enseñados y por todos los consejos otorgados.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios, gracias por todas las personas que pusiste en mi camino y por regalarme una familia maravillosa.

Agradecer de corazón a mis padres, Edith y Hugo, porque todas mis decisiones fueron valoradas y aceptadas por ustedes para finalizar esta etapa de la Universidad donde su apoyo y amor fue fundamental. A mi hermana Nataly, que me enseñó lo que es el sacrificio constante para lograr los objetivos que nos planteamos día a día. A mi abuelita Auristela, gracias por su preocupación y entrega de amor constante. A mi tata Victor Clemente, aunque no estés presente en vida, siempre te llevo en mi corazón, siete años bastaron para recordarte toda la vida. Gracias a mi abuelita Isabel, por siempre darme su cariño y alegría.

A mis amigas de la vida Valentina y Sol, por su apoyo incondicional y su cariño que a pesar de la distancia, esta nunca se notó. A mis amigos de la Universidad, Pancho y Alice, con los cuales estude y nos acompañamos en todo momento.

A María Jorquera y Javier Araya e hijos, que me recibieron en Calama y fueron mi familia por todo un año, sin ustedes no lo hubiese logrado de la misma manera. A la familia Bautista Torres, gracias por todas sus atenciones cuando estuve en su hogar y por su cariño.

A mi profesor tutor, el doctor Jaime Morales, con quien ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

A Enaex, Patricia Mejías, Ingeniero Ambientalista, y a todos los que me brindaron su ayuda en todo lo que necesite mientras estuve realizando el proyecto en la Planta. Daniel, Mauricio y Scarlett gracias por cada sonrisa que compartimos y por su apoyo profesional.

## RESUMEN

El presente proyecto de tesis tiene como objetivo la construcción de un prototipo de destilador solar de  $1 \text{ m}^2$ , para recuperar agua como agua de riego y/o agua para humedecimiento de piso y de limpieza de equipos e instalaciones, desde los RILes generados en Enaex, en la ciudad de Calama.

Se basa en diez capítulos donde la primera parte se hace referencia a conceptos básicos sobre energía solar, radiación, balance de energía, proceso de destilación y en los capítulos posteriores se analiza más específicamente el destilador solar en aspectos como materiales, características técnicas, la selección de la alternativa más factible, su construcción, costo y durabilidad. Una vez en funcionamiento el equipo se realizan mediciones de la cantidad de agua adicionada al equipo y la cantidad de agua producida por el sistema en un periodo de tiempo determinado, también se realizan respectivas mediciones, tales como la temperatura en cada uno de los puntos que son clave para producción de agua destilada, velocidad del viento, humedad, radiación solar, etc.

Se realiza un análisis de los parámetros de calidad del agua conforme a la Norma Chilena 1333 para los tres destilados de RILes, que son de las unidades de Neutralización, Hidrólisis Alcalina Termal y Emulsión. Adicionalmente se incluye un análisis económico financiero que respalda la fabricación de los prototipos de destiladores solares y su posterior uso dentro de la planta Enaex.

Las principales conclusiones, con respecto a los parámetros fisicoquímicos se pueden apreciar que en algunos casos no se llegó a los valores requeridos por la norma de calidad de agua de riego, sin embargo es de hacer notar la considerable reducción que sufrieron estos parámetros debido a la naturaleza del proceso.

La radiación recibida durante los días de validación del equipo es  $864,33 \text{ W/m}^2$  promedio mensual para el mes de Octubre, el cual nos muestra que ningún día es igual a otro, aunque se reciba la misma radiación todos los días de parte del sol, depende mucho este factor de las condiciones climáticas circundantes, tales como nubosidad la cual disminuye el rendimiento del equipo y la velocidad del viento, la cual durante el mes de Octubre es de  $3,89 \text{ m/s}$ .

El rendimiento de los equipos, para el RIL de la Unidad NAP es de 46,37%, para el RIL de la Unidad de Emulsión es de 49,16% y el rendimiento para el RIL de la Unidad de Hidrólisis es de 43,79%, los cuales son muy similares al resultado teórico el cual es de 44,78%. Estos resultados se encuentran dentro de los porcentajes de aprovechamiento útil de la radiación solar para destilar agua, los cuales rondan entre el 25 y 50% para este tipo de equipos.

Al evaporarse el agua queda un material en la bandeja, que debido a la reducción de los parámetros, puede tratarse de restos de PETN, lodos de color rojo y grasa, dependiendo del tipo de RIL. Estos serán detonados junto a la basura explosiva de la empresa.

En la tesis se realizó un estudio económico, que demostró que el proyecto es rentable, con un VAN de \$318.488 usando un TMAR de 10%. Su TIR es de 35%, donde  $TIR > TMAR$ , indicando que el proyecto es rentable. Sin embargo el proyecto tiene un IVAN de 0,83 el cual es inferior a 1, por lo que este proyecto podría ser descartado.

# ÍNDICE

<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>ÍNDICE</b> .....	vi
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	x
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	xii
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>1.1 Planteamiento del Problema</b> .....	1
<b>1.2 Objetivos</b> .....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos .....	2
<b>1.3 Antecedentes de la Empresa</b> .....	3
<b>1.4 Proceso Actual</b> .....	5
1.4.1 Procesos del Departamento de Nitraciones y Ácidos .....	5
1.4.2 Procesos del Departamento de Explosivos .....	14
<b>CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES GENERALES</b> .....	19
<b>2.1 Residuos Industriales Líquidos (RILes)</b> .....	19
<b>2.2 Piscinas de Evaporación</b> .....	19
<b>2.3 Energía Solar</b> .....	20
<b>2.4 Radiación Solar</b> .....	24
<b>2.5 Destiladores Solares</b> .....	32
<b>2.6 Tipos de Destiladores Solares</b> .....	33
2.6.1 Destilador Solar de una sola vertiente .....	33
2.6.2 Destilador Solar de dos vertientes .....	33
2.6.3 Destilador Solar tipo invernadero.....	34
2.6.4 Destilador Solar de cascada .....	34
2.6.5 Destilador Solar esférico de barredera .....	35
2.6.6 Destilador Solar Multi-etapa.....	36
<b>2.7 Balances de materia y energía involucrados en un destilador solar</b> ....	37
2.7.1 Calor Perdido por Conducción.....	37
2.7.2 Calor Perdido por Radiación de la cubierta .....	38

2.7.3	Calor Perdido por Convección de la cubierta.....	38
2.7.4	Calor perdido por radiación del agua.....	39
2.7.5	Calor Perdido por Convección natural .....	40
2.7.6	Calor Perdido por Convección del agua .....	41
2.7.7	Calor Perdido por Evaporación.....	41
2.7.8	Calor almacenado por la cubierta .....	41
2.7.9	Calor Absorbido por el agua .....	42
2.7.10	Calor Absorbido por el sistema.....	42
2.7.11	Calor necesario para calentar la cubierta .....	43
2.7.12	Calor necesario para calentar el agua .....	43
2.7.13	Calor necesario para evaporar $x$ porcentaje de agua.....	44
2.7.14	Energía Total almacenada por el sistema.....	44
2.7.15	Eficiencia del Destilador.....	45
<b>2.8</b>	<b>Rendimiento de los Destiladores Solares .....</b>	<b>45</b>
<b>2.9</b>	<b>Requisitos de Calidad del agua .....</b>	<b>46</b>
2.9.1	Norma Chilena NCh1333.Of78 .....	46
2.9.2	Requisitos Físico - Químico .....	46
2.9.3	Requisitos Bacteriológicos.....	50
2.9.4	Variables de Análisis Químico realizado en Laboratorio Enaex.....	51
2.9.5	Determinación de Nitroglicerina .....	52
<b>2.10</b>	<b>Toma de muestras .....</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DESTILADOR SOLAR .....</b>		<b>55</b>
<b>3.1</b>	<b>Alternativas de Selección .....</b>	<b>55</b>
3.1.1	Variables utilizadas para la selección .....	55
<b>3.2</b>	<b>Matriz de Selección .....</b>	<b>56</b>
<b>3.3</b>	<b>Diseño de prototipo de destilador solar .....</b>	<b>57</b>
<b>3.4</b>	<b>Estimación de la Radiación solar .....</b>	<b>61</b>
3.4.1	Declinación solar .....	62
3.4.2	Ángulo horario .....	62
3.4.3	Número de horas de sol teóricas (N) .....	62
3.4.4	Constante Solar .....	63
3.4.5	Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día .....	63
3.4.6	Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre .....	63
3.4.7	Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal .....	64

3.4.8	Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal I	64
3.4.9	Irradiación solar difusa horaria.....	65
3.4.10	Radiación solar directa horaria .....	66
3.4.11	Radiación solar en la superficie inclinada que capta el destilador solar	67
<b>3.5</b>	<b>Balance de Energía en el Sistema .....</b>	<b>69</b>
3.5.1	Calculo de calor perdido por conducción .....	70
3.5.2	Calculo del calor Perdido por Radiación de la cubierta .....	72
3.5.3	Calor perdido por convección por policarbonato.....	73
3.5.4	Calor perdido por radiación del agua.....	73
3.5.5	Calor perdido por convección del agua .....	74
3.5.6	Calculo del calor perdido por evaporación.....	76
3.5.7	Calculo de calor almacenado por la cubierta .....	77
3.5.8	Calculo del calor absorbido por el agua.....	78
3.5.9	Calculo de calor absorbido por el sistema .....	78
3.5.10	Cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar Q.....	80
3.5.11	Calor necesario para calentar el agua .....	82
3.5.12	Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua. ....	83
3.5.13	Cantidad Necesaria para calentar el Policarbonato.....	84
3.5.14	Energía total almacenada por el sistema.....	84
<b>3.6</b>	<b>Eficiencia del destilador .....</b>	<b>85</b>
<b>3.7</b>	<b>Descripción Destilador Solar a construir .....</b>	<b>85</b>
<b>3.8</b>	<b>Principios de funcionamiento .....</b>	<b>86</b>
<b>3.9</b>	<b>Esquema del Equipo .....</b>	<b>86</b>
3.9.1	Construcción Detallada.....	86
3.9.2	Funcionamiento del equipo.....	87
3.9.3	Ajustes.....	90
3.9.4	Reglas básicas de Operación .....	90
<b>CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....</b>		<b>93</b>
<b>4.1</b>	<b>Recopilación de Datos Experimentales .....</b>	<b>93</b>
<b>4.2</b>	<b>Validación de Resultados .....</b>	<b>94</b>
<b>4.3</b>	<b>Resultados Obtenidos .....</b>	<b>95</b>
<b>4.4</b>	<b>Balance de energía.....</b>	<b>95</b>
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>		<b>99</b>
<b>5.1</b>	<b>Análisis Calidad de agua .....</b>	<b>99</b>



<b>5.2</b>	<b>Resultados Obtenidos</b> .....	99
5.2.1	Clasificación Conductividad Específica (CE) .....	101
5.2.2	Clasificación Sólidos Disueltos Totales (SDT) .....	102
<b>5.3</b>	<b>Análisis explosivos para cada tipo de RIL</b> .....	102
5.3.1	Resultado de análisis de laboratorio de explosivos .....	103
<b>CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN ECONÓMICA</b> .....		107
<b>6.1</b>	<b>Flujo de Caja</b> .....	107
6.1.1	Vida útil del proyecto .....	107
6.1.2	Ingresos .....	107
6.1.3	Costos de Mantenimiento .....	109
6.1.4	Costos de Operación .....	109
6.1.5	Capital de Inversión .....	110
6.1.6	Depreciación.....	112
<b>6.2</b>	<b>Flujo de Caja Destiladores Solares</b> .....	113
<b>6.3</b>	<b>Análisis de Rentabilidad</b> .....	114
6.3.1	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	114
6.3.2	Valor actual Neto (VAN) .....	115
6.3.3	Índice Valor Actual Neto (IVAN).....	115
<b>6.4</b>	<b>Análisis de Sensibilidad</b> .....	116
<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES</b> .....		119
<b>CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES</b> .....		123
<b>CAPÍTULO 9. OBSERVACIONES</b> .....		124
<b>CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA</b> .....		125
<b>ANEXO A</b> .....		128
<b>ANEXO B</b> .....		132
<b>ANEXO C</b> .....		142
<b>ANEXO D</b> .....		144
<b>ANEXO E</b> .....		145
<b>ANEXO F</b> .....		146
<b>ANEXO G</b> .....		147
<b>ANEXO H</b> .....		149

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Localización de Enaex Servicios, Planta Río Loa. ....	4
Figura 1.2. Diagrama de Procesos de Nitrador 1. ....	6
Figura 1.3. Diagrama de Proceso de Nitrador 2. ....	7
Figura 1.4. Diagrama de procesos de Refinería. ....	8
Figura 1.5. Diagrama de Procesos de Nitrador Biazzi. ....	9
Figura 1.6. Diagrama de Procesos de Planta DENSAC. ....	11
Figura 1.7. Diagrama proceso Planta Hidrólisis Alcalina Termal. ....	12
Figura 1.8. Diagrama Proceso Planta Neutralizadora. ....	13
Figura 1.9. Diagrama de Proceso de Casa de Emulsión. ....	15
Figura 1.10. Diagrama de Procesos de Casa de Cartuchos. ....	15
Figura 1.11. Diagrama de proceso de Casa APD. ....	16
Figura 1.12. Infraestructura Planta ANFO. ....	18
Figura 2.1. Tipos de Membranas en Piscina de Evaporación. ....	20
Figura 2.2. Mapa energía solar ....	21
Figura 2.3. El Sol. ....	22
Figura 2.4. Espectro Visible. ....	23
Figura 2.5. Energía solar que incide sobre la superficie de nuestro planeta. ....	25
Figura 2.6. Radiación Difusa cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias. ....	25
Figura 2.7. Latitud y Longitud de un lugar. ....	27
Figura 2.8. Ángulo Horario. ....	29
Figura 2.9. Destilador de una sola vertiente. ....	33
Figura 2.10. Destilador con dos vertientes. ....	34
Figura 2.11. Destilador tipo Invernadero. ....	34
Figura 2.12. Destilador Solar de Cascada. ....	35
Figura 2.13. Destilador Solar Esférico de Barredera. ....	36
Figura 2.14. Balance de Calor en el Destilador Solar. ....	37
Figura 3.1. Diagrama de bandeja de Evaporación. ....	59
Figura 3.2. Canal Recolector. ....	59

Figura 3.3. Estructura Metálica. ....	61
Figura 3.4. Balance de Calor en el Destilador Solar. ....	70
Figura 3.5. Medidas Bandeja contenedora de RIL. ....	79
Figura 3.6. Vista de las longitudes de la cubierta.....	80
Figura 3.7. Imagen para determinar diagonal de la cubierta.....	80
Figura 3.8. Prototipo de Destilador Solar terminado. ....	87
Figura 3.9. Jarro transparente de 3 litros ocupado para llenar la bandeja. ....	88
Figura 3.10. Formación de gotas producto de la condensación del equipo. ....	89
Figura 3.11. Bidón que contendrá el agua destilada de cada prototipo. ....	89
Figura 3.12. Canaletas de recolección de destilado.....	90
Figura 4.1. Termómetro de punta, para medir temperatura del RIL. ....	93
Figura 4.2. Termómetro Infrarrojo, para medir temperatura de la cubierta .....	94
Figura 5.1. Muestras de RILes antes de destilar. ....	103
Figura 5.2. Muestras de RILes después de destilar. ....	103

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Determinación de la Radiación Difusa Horaria.....	31
Tabla 2.2. Clasificación del agua por medio de la conductividad específica y la concentración de sólidos disueltos totales. ....	47
Tabla 2.3. Parámetros de agua de riego NCh 1333.....	48
Tabla 2.4. Variación de la DBO con el tiempo y la temperatura.....	49
Tabla 2.5. Preservación de muestras de agua residual. ....	53
Tabla 3.1. Matriz de comparación de alternativas de selección.....	57
Tabla 3.2. Partes de la cubierta. ....	58
Tabla 3.3. Medidas de cada perfil necesitado en cada prototipo. ....	60
Tabla 3.4. Constantes. ....	61
Tabla 3.5. Declinación Solar. ....	62
Tabla 3.6. Angulo del ocaso en Calama. ....	62
Tabla 3.7. Número de Horas teóricas. ....	63
Tabla 3.8. Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día. ....	63
Tabla 3.9. Corrección de excentricidad.....	64
Tabla 3.10. Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal. ....	64
Tabla 3.11. Constantes de Angstrom para Chile.....	65
Tabla 3.12. Medias mensuales de horas de sol diarias extraídas del WRDC ruso (en hr/día).....	65
Tabla 3.13. Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal.....	65
Tabla 3.14. Índice de claridad horario. ....	66
Tabla 3.15. Radiación difusa horaria para un año en Calama. ....	66
Tabla 3.16. Radiación directa horaria. ....	67
Tabla 3.17. Radiación solar en la superficie inclinada. ....	67
Tabla 3.18. Resumen de valores de radiación solar en la ciudad de Calama durante el año. ....	68
Tabla 3.19. Datos necesarios para la obtención del balance de energía del sistema. ....	69
Tabla 4.1. Promedio de Temperaturas de cada unidad. ....	95
Tabla 4.2. Parámetros necesarios para realizar los cálculos de Balance de Energía. ....	96

Tabla 4.3. Resultado de Balances de energía de los prototipos. ....	97
Tabla 4.4. Comparación de resultados. ....	98
Tabla 5.1. Resultado de Análisis de aguas de los diferentes parámetros a analizar. .....	100
Tabla 5.2. Clasificación de resultados Conductividad Específica.....	101
Tabla 5.3. Clasificación de resultados de STD.....	102
Tabla 5.4. Parámetros a analizar de explosivos realizados en dependencias de Enaex.....	102
Tabla 5.5. Resultado de análisis de RIL proveniente de la Unidad de Hidrólisis Alcalina del Departamento de Ácido y Nitraciones.....	104
Tabla 5.6. Resultado de análisis de RIL proveniente de Unidad de Emulsión del Departamento de Explosivos. ....	104
Tabla 5.7. Resultados de RIL proveniente de la Unidad NAP del Departamento de Ácido y Nitraciones. ....	104
Tabla 5.8. Resultado de muestras. ....	106
Tabla 6.1. Costo Materia prima para tres prototipos. ....	111
Tabla 6.2. Costo mano de Obra directo. ....	112
Tabla 6.3. Total Capital Fijo directo.....	112
Tabla 6.4. Flujo de Caja. ....	113
Tabla 6.5. Flujo de Caja con precio de venta \$600. ....	117
Tabla 6.6. Flujo de Caja con precio de venta \$633. ....	117
Tabla 6.7. Análisis de Sensibilidad.....	118

# SIMBOLOGÍA

## A

$\rho_d$	Albedo o Coeficiente de reflexión del suelo	
$\delta$	Ángulo de declinación solar	°
$w_s$	Ángulo Horario	°
$\theta$	Ángulo de Inclinación de la Cubierta	°
$a$	Apotema	m
$A_{Piscina}$	Área Piscina	m <sup>2</sup>
$A_B$	Área base parte superior	m <sup>2</sup>
$A'_B$	Área base parte inferior	m <sup>2</sup>
$A_{PC}$	Área de Policarbonato	m <sup>2</sup>

## C

$q'_c$	Calor Almacenado por la cubierta	W/m <sup>2</sup>
$q'_a$	Calor Absorbido por el agua	W/m <sup>2</sup>
$q_t$	Calor Absorbido por el sistema	W/m <sup>2</sup>
$C_{paire}$	Calor Específico del aire	J/Kg · K
$C_{pPC}$	Calor Específico de Policarbonato	J/Kg · K
$C_{pw}$	Calor Específico del agua	J/Kg · K
$\lambda$	Calor Latente de evaporación	KJ/Kg
$Q_{PC}$	Calor necesario para calentar el Policarbonato	J
$Q_{ca}$	Calor necesario para calentar el agua	J
$Q_{ev}$	Calor necesario para evaporar el agua	J
$q_{rPC}$	Calor Perdido por radiación del Policarbonato	W/m <sup>2</sup>
$q_{cw}$	Calor Perdido por convección del agua	W/m <sup>2</sup>

$q_{cPC}$	Calor Perdido por convección por Policarbonato	$W/m^2$
$q_{rw}$	Calor Perdido por radiación del RIL	$W/m^2$
$h_c$	Calor Perdido por convección natural	$W/m^2 \cdot K$
$q_e$	Calor Perdido por evaporación	$W/m^2$
$q_c$	Calor Perdido por conducción	$W/m^2$
$h_{ct}$	Coefficiente de Calor Convectivo	$W/m^2 \cdot K$
$h_e$	Coefficiente de Transferencia de calor de evaporación	$W/m^2 \cdot K$
$K_m$	Coefficiente de Conductividad Térmica para la madera	$W/m \cdot K$
$G_{sc}$	Constante Solar	$W/m^2$
$h_{cPC}$	Coefficiente de transferencia de calor convectivo del policarbonato	$W/m^2$
$h_r$	Coefficiente de radiación efectivo	$W/m^2 \cdot K$
$h_T$	Coefficiente total de transferencia de calor por convección del agua	$W/m^2 \cdot K$
$a$	Constante de Angstrom	
$b$	Constante de Angstrom	
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzman	$W/m^2 \cdot K^4$
$\epsilon_o$	Corrección de la excentricidad de la órbita terrestre	

## D

$\rho_w$	Densidad del agua	$Kg/m^3$
$\rho_{aire}$	Densidad del Aire	$Kg/m^3$
$\rho_{PC}$	Densidad del Policarbonato	$Kg/m^3$

## E

$Q$	Energía Total Almacenada por el Sistema	$W$
-----	---	-----

$Q_N$	Energía Necesaria para calentar el Policarbonato	$W$
$Q_T$	Energía Almacenada por el dispositivo	$W$
$\varepsilon_m$	Emitancia de la madera	
$\varepsilon_{PC}$	Emitancia del Policarbonato	
$\varepsilon_w$	Emitancia del agua	
$E_a$	Espesor de Aluminio	$m$
$x_m$	Espesor de la madera	$m$
$E_{PC}$	Espesor del Policarbonato	$m$

## **F**

$R_b$	Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día	
$x$	Fracción de agua evaporada en el sistema	

## **H**

$H$	Humedad relativa del ambiente	$\%$
-----	-------------------------------	------

## **I**

$K'_T$	Índice de Claridad	
--------	--------------------	--

## **L**

$\emptyset$	Latitud Calama	$^\circ$
-------------	----------------	----------



**M**

$m_s$	Masa de agua	$Kg$
$m_{PC}$	Masa de Policarbonato	$Kg$

**N**

$n$	Número de días del año	Días
$N$	Número de horas teóricas	$hr$
$n_r$	Número de horas Solar Real	$hr$

**P**

$P$	Perímetro parte superior	$m$
$P'$	Perímetro parte inferior	$m$
$P_{wPC}$	Presión de vapor del agua a la temperatura del Policarbonato	Pa
$P_w$	Presión de vapor de agua a la temperatura del agua	Pa
$P_T$	Presión Total	$KPa$

**R**

$R_{eq}$	Resistencia Equivalente del material	$m^2 \cdot K/W$
$I$	Radiación Global horaria	$W/m^2$
$I_T$	Radiación Solar en Superficie inclinada	$W/m^2$
$I_d$	Radiación Solar difusa horaria en superficie horizontal	$W/m^2$
$I_b$	Radiación Solar directa horaria en superficie horizontal	$W/m^2$

$I_o$	Radiación Solar Extraterrestre horaria en superficie horizontal	$W/m^2$
$K_b$	Resistencia Térmica equivalente del aislante	$W/m \cdot K$

## T

$T_a$	Temperatura Ambiente	$^{\circ}C$
$T_s$	Temperatura del cielo	$K$
$T_{dp}$	Temperatura de rocío	$K$
$T_w$	Temperatura Media del agua	$^{\circ}C$
$T_{PC}$	Temperatura Policarbonato	$^{\circ}C$
$T_{sc}$	Temperatura Superficie Colectora	$^{\circ}C$
$t_1$	Tiempo Inicial medido a partir de la media noche 09:00	$hr$
$t_2$	Tiempo Final medidos a partir de la media noche 16:00	$hr$

## V

$v$	Velocidad del viento promedio	$m/s$
$V$	Volumen del RIL a destilar	$L$

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1 Planteamiento del Problema

Actualmente empresa Enaex Planta Río Loa ha presentado un incremento en su producción debido a la alta demanda de servicios para el área industrial y minera; esta situación a la vez ha generado un aumento en los Residuos Industriales Líquidos (RILes) que ha generado un deterioro del agua utilizada en los diversos procesos de la planta.

Para disminuir la generación de estos RILes y mejorar la calidad del agua de proceso se plantea como una posible solución la incorporación de un destilador solar para las piscinas de evaporación y así reutilizar estas aguas dentro de la misma planta.

Las condiciones climáticas del norte de Chile y en especial la gran sequedad que existe en esta zona, con una humedad relativa cercana al 30% [1], favorecen la eliminación de RILes por medio de la evaporación solar. La implementación de las piscinas permite evaporar los RILes, los que al secarse disminuyen su volumen y pasan a ser Residuos Industriales Sólidos (RISes), que son considerados como basura explosiva. Para su eliminación, estos RISes son detonados según la ley N° 17.798 sobre control de armas y explosivos.

Sin embargo las piscinas de evaporación, algunas veces se ven sobrepasadas en su capacidad, debido principalmente al aumento de producción. En la generación de RILes se observó una gran variedad de fuentes cuyo origen se encuentra principalmente en aguas de proceso, de humedecimiento de piso y de limpieza de equipos e instalaciones.

La composición de estos RILes está claramente ligada al tipo de proceso donde se originan. Básicamente la recolección, tratamiento y disposición no es del todo selectiva sino más bien se opta por la combinación de corrientes de procesos similares.

Por ello la importancia de tratar estos RILes, los cuales provienen de tres diferentes Plantas, las cuales son, Planta de Hidrólisis Alcalina Termal (HAT), Planta Neutralizadora (NAP) y Planta de Emulsiones.

Los RILes de la Planta de Hidrólisis Alcalina Termal del Departamento de Ácido y Nitraciones están compuestos principalmente de colorantes, aceites y grasas,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , Nitroglicerina y sólidos disueltos totales.

Los RILes de la Planta de Neutralización del Departamento de Ácido y Nitraciones están compuestos por sólidos disueltos totales (STD), PETN y  $\text{HNO}_3$ .

Y por último los RILes que componen a la Planta de Emulsión del Departamento de Explosivos son Sólidos Disueltos Totales,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  y Aceites y Grasas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un destilador solar para mejorar la evaporación de las piscinas de aguas contaminadas generadas en Enaex Planta Río Loa, para que éstas sean reutilizadas como agua Industrial.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar diversas alternativas de diseño de un destilador solar y cuantificar el recurso solar existente en el área geográfica de interés.
- Diseñar un prototipo experimental para la destilación solar, que optimice el aprovechamiento de la energía solar.
- Realizar pruebas de funcionamiento y operación del prototipo para determinar los parámetros de operación.
- Realizar un análisis económico del uso del destilador solar, evaluando así su rentabilidad como proyecto innovador.

### **1.3 Antecedentes de la Empresa [2]**

Enaex, filial de Sigdo Koppers S.A. cuenta con más de 92 años de experiencia y trayectoria en el mercado de explosivos, siendo en la actualidad el tercer productor de nitrato de amonio a nivel mundial y a su vez el prestador de servicios integrales de fragmentación de roca más importante de Chile y Latinoamérica.

La compañía, conserva el complejo productivo de nitrato de amonio más grande del mundo, con una capacidad nominal de 800 mil toneladas anuales, obteniendo en el año 2012 el record histórico de producción de 811 mil toneladas de Nitrato de Amonio, en la ciudad de Mejillones.

A su vez Enaex S.A. cuenta con una significativa cartera de contratos en las principales minas subterráneas y de rajo abierto en Chile, Argentina y Perú, a través del suministro de sus productos vía terceros u operando en forma directa.

Todo ello gracias a un equipo de 1.600 colaboradores que juntos han logrado posicionar a la empresa en alrededor de 40 países, con una internacionalización que comenzó en 2009 y que ha sido reconocida por los diferentes clientes por la calidad del producto, precios competitivos, la excelencia del servicio en oportunidad de entrega y seguridad. En este continuo desarrollo, destaca en Sudamérica el crecimiento del mercado Argentino a través de la instalación de una filial en este país y la consolidación del proyecto de emulsiones encartuchadas en Colombia.

Además, en el segundo semestre del año 2012, Enaex adquiere dos tercios de la propiedad de IBQ Industrias Químicas (Britanite), la mayor empresa brasileña de fabricación y comercialización de explosivos civiles y sistemas de iniciación. De esta forma, la compañía continuó fortaleciendo la provisión de servicios de fragmentación de roca y su posición como líder regional en servicios a la minería.

Este desarrollo se encuentra alineado con las necesidades de las comunidades y el medio ambiente, respaldado por los diferentes proyectos que ha realizado Enaex en este ámbito, entre los que se pueden destacar, el proyecto de Bonos de Carbono bajo el protocolo de Kyoto y Naciones Unidas, el cual permite reducir anualmente cerca de 800.000 toneladas de CO<sub>2</sub>, siendo ésta la iniciativa más importante de Chile en su tipo. A su vez a fines de 2012 Enaex fue destacada como la segunda empresa

más sustentable de Chile en el Tercer Ranking de Líderes en Cambio Climático, realizado por Fundación Chile y Revista Capital.

Enaex Planta Río Loa, queda ubicada a 8 km al suroeste de Calama (Figura 1.1), lugar estratégico que le permite prestar distintos servicios de fragmentación de rocas y tronaduras, que hacen posible la extracción del mineral.

Desde 1920, la Planta produce en forma ininterrumpida pentolitas (150 ton/mes), dinamitas (120 ton/mes) y emulsiones (1000 ton/mes), además de otros subproductos de alto grado explosivo, necesarios en sus procesos.



Figura 1.1. Localización de Enaex Servicios, Planta Río Loa.

## 1.4 Proceso Actual [1]

### 1.4.1 Procesos del Departamento de Nitraciones y Ácidos

En este departamento se elaboran las principales materias primas para la fabricación de explosivos. Dentro de los procesos que se llevan a cabo se encuentran principalmente los de producción de PETN crudo, PETN refinado, Nitroglicerina y Ácidos concentrados.

- Nitradores 1 y 2

En estas instalaciones ocurre la Nitración del Pentaeritritol (PE) con ácido nítrico concentrado al 99%. Luego esta carga es lavada y neutralizada con soda al 2%, obteniéndose el PETN crudo para ser utilizado en la fabricación de Pentolita y PETN refinado.

Durante la nitración se genera ácido débil o diluido, el cual es tratado en los tubos de ebullición, donde se produce la descomposición del PETN. Posteriormente es concentrado en la Torre de Absorción y después en la Planta DENSAC. En cuanto a los residuos generados son principalmente, RILes de aguas ácidas con PETN y gases Nitrosos.

Del total de RILes generados la mayor parte corresponde a aguas de lavado de carga y limpieza de los pisos y equipos. Dado que el PETN es extremadamente sensible a los golpes y la fricción, toda superficie de trabajo debe mantenerse siempre mojada, especialmente los pisos. En consecuencia se debe lavar el piso cada vez que se derrama PETN, éste se depositará en los cajones trampas ubicados en la salida del efluente.









donde circula una solución de salmuera que controla la temperatura de la mezcla. Luego, esta mezcla es traspasada a un separador, donde la NG al ser menos densa sale por rebose al primer lavador y el ácido tiende a irse al fondo, desde ahí se descarga a estanques de almacenamiento, para posteriormente ser concentrado en la Planta DENSAC.

Una vez realizado el primer lavado de la NG, ésta es separada del agua ácida en el segundo separador, esta vez el agua sale por rebose y la NG es retirada desde el fondo para ser neutralizada con solución soda al 2% en el lavador de soda. Finalmente, al flujo de NG resultante se le introduce agua a una presión de 20 psi para transportarla hasta la Casa Neutralizadora por un tendido de tuberías sobre un canal aéreo de madera de 200 metros de largo, una vez ahí, la NG se deposita por densidad en el fondo de los estanques y puede ser retirada para el proceso de fabricación de explosivos.

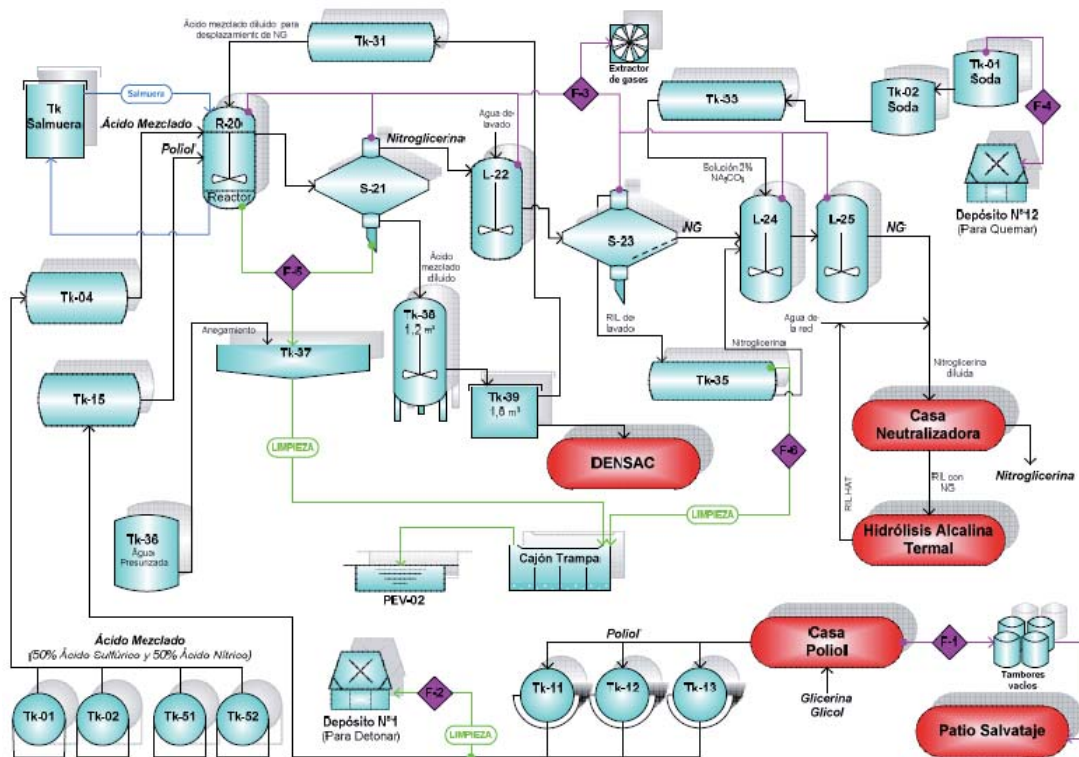


Figura 1.5. Diagrama de Procesos de Nitrador Biazzi.

Se observa que si bien se generan distintos tipos de residuos en la producción de NG, el que tiene mayor relevancia corresponde al agua residual que se origina producto del transporte de la NG, debido a que por su composición es más susceptible a explosiones. Esta emulsión que contiene NG en cantidades menores a 0,64% y colorante, posee un alto grado de peligrosidad, por lo cual precisa de un tratamiento de Hidrólisis Alcalina Termal para descomponer la NG, eliminando la reactividad del líquido.

Una parte considerable del RIL tratado es recirculado al Nitrador Biazzzi para ser utilizado en el transporte de la nitroglicerina hasta la Casa Neutralizadora. Lo cual contribuye enormemente a reducir la cantidad de RILes de esta naturaleza que se depositan en las piscinas de evaporación de la Planta de Hidrólisis Alcalina Termal.

- Planta DENSAC

Los procesos de concentración de ácido nítrico y sulfúrico se realizan en Planta DENSAC (Figura 1.6), en la cual se incrementa la capacidad de producción. Con esta Planta no sólo se satisface la alta demanda de ácido nítrico concentrado que tiene la fabricación de PETN y Nitroglicerina, principales materias primas para la elaboración de explosivos, sino que también se comercializa como producto.

La planta está construida principalmente de equipos de vidrio de borosilicato de alta resistencia, de Tantalum y aceros revestidos en vidrio, está diseñada para operar de manera ininterrumpida 8.200 horas al año.

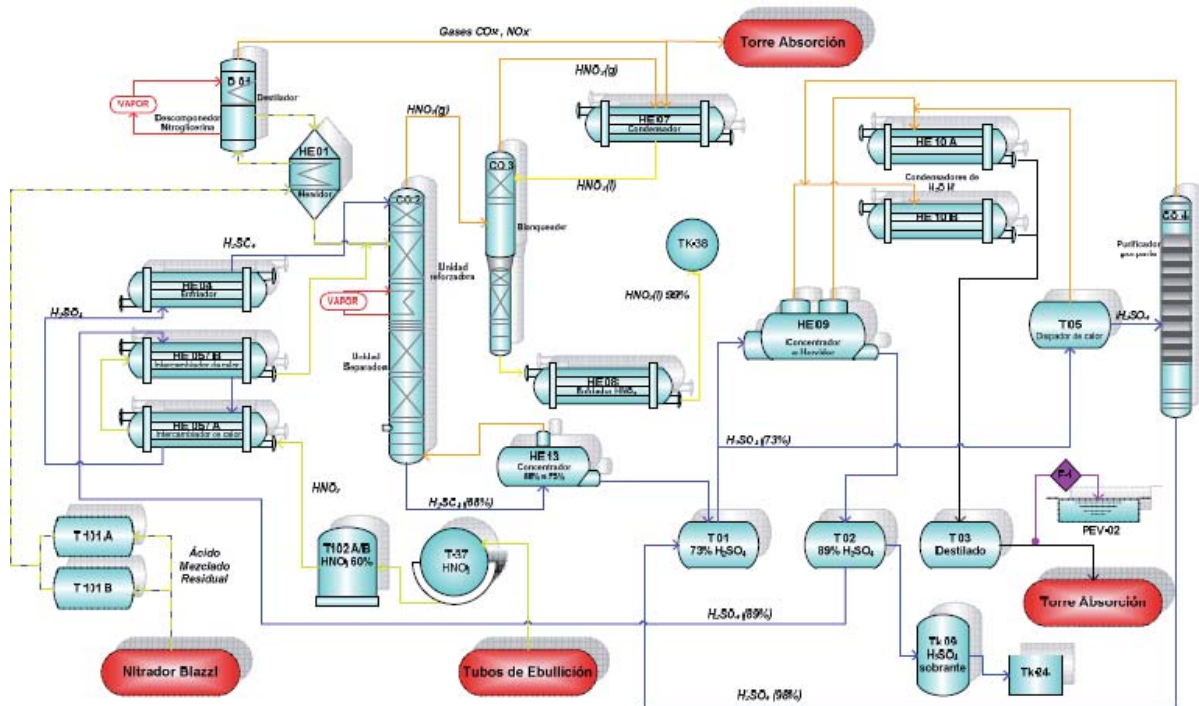


Figura 1.6. Diagrama de Procesos de Planta DENSAC.

- Planta de Hidrólisis Alcalina Termal

En las instalaciones se realiza el tratamiento de los RILes generados durante el desplazamiento de la nitroglicerina desde el Nitrador Biazzi hasta la Casa Neutralizadora. El residuo industrial líquido se extrae por rebase de los estanques de neutralización, la NG por densidad se deposita en el fondo.

El agua extraída de la NG, pasa por una serie de cajones trampa y finalmente se almacena en un estanque de 15 m<sup>3</sup>, desde aquí se envía al reactor con capacidad de 1 m<sup>3</sup>, donde se le agrega solución soda al 50% de NaOH, y se somete a una temperatura de 90°C y agitación constante por 2 horas. Este proceso se observa en la Figura 1.7 presentada a continuación:

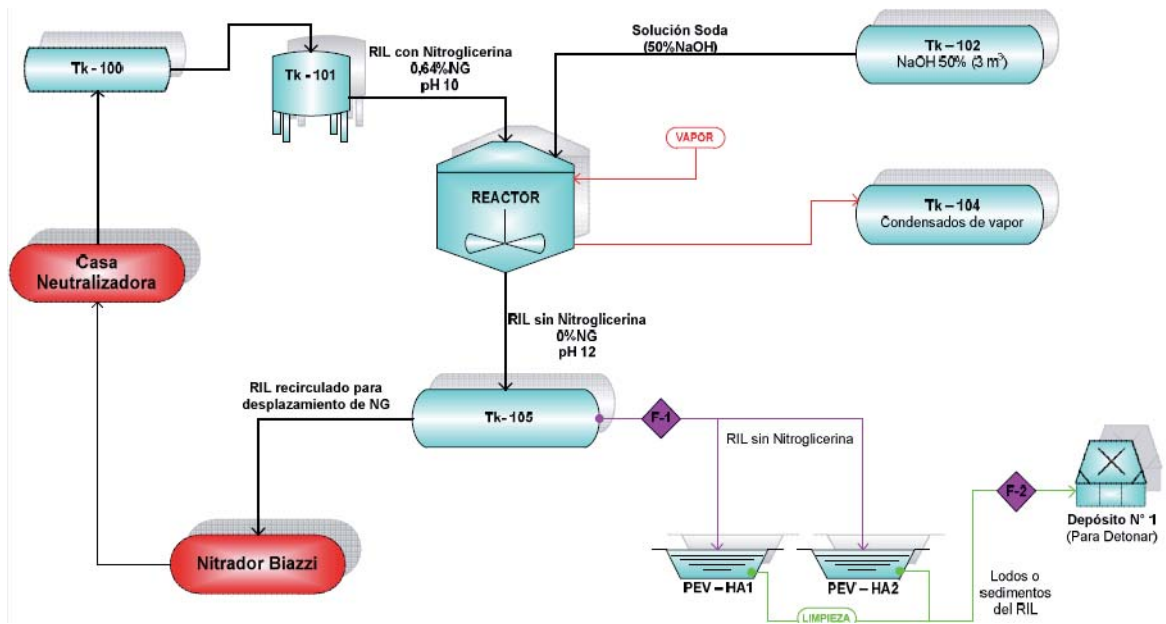


Figura 1.7. Diagrama proceso Planta Hidrólisis Alcalina Termal.

El afluente que ingresa a la Hidrólisis Alcalina Termal tiene un 0,64% de NG, pH igual a 10 y presenta un color rojo, debido al colorante utilizado para diferenciarlo de la NG. Con este tratamiento se logra la descomposición de la NG eliminando la reactividad del RIL, éste al salir no contiene NG, pero tiene pH básico de 12, colorante y grasas. La mayor parte del efluente de este tratamiento se recircula al proceso para un nuevo desplazamiento de la NG, mientras que el remanente se dispone en las piscinas de evaporación que forman parte de este sistema.

Las dos piscinas de evaporación destinadas para estos RILes tienen una capacidad de 38 m<sup>3</sup>. Al realizar la mantención de estas piscinas se extraen los sedimentos que quedan de los RILes al evaporarse, estos son detonados conforme la Ley 17.798 sobre control de armas y explosivos.

- Planta Neutralizadora de Aguas Ácidas (NAP)

En esta instalación se realiza la neutralización de los RILes ácidos provenientes de los Nitradores 1 y 2, que se mezclan con el efluente de la Refinería que se caracteriza por ser básico. Estos flujos no son constantes en cantidad ni en el porcentaje de acidez o alcalinidad que presentan, ya que dependen de la producción y de las condiciones de operación de cada instalación.

El proceso comienza al mezclarse las corrientes de las tres instalaciones, luego el RIL pasa por un decantador de partículas sólidas principalmente PETN y Dipenta. La neutralización se realiza en un sistema continuo, compuesto por dos estanques en línea donde ocurren las reacciones, el primer estanque cuenta con agitación constante, sensor de pH y adición automática de solución soda preparada con Hidróxido de Sodio al 50%. Mientras que el segundo estanque fue diseñado sólo como receptor. En la Figura 1.8 se puede apreciar el funcionamiento de la Planta Neutralizadora.

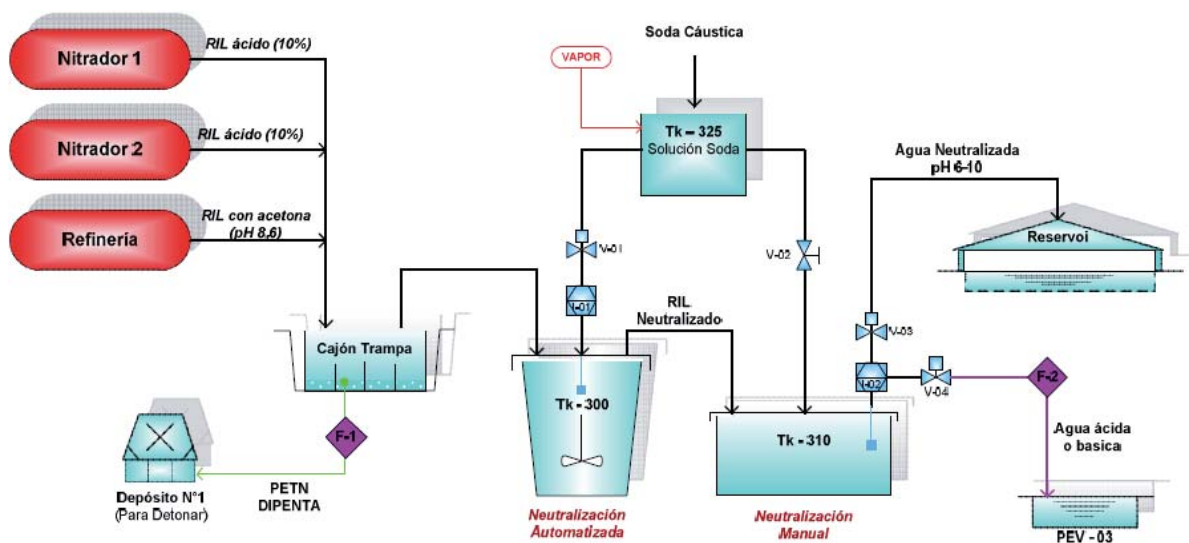


Figura 1.8. Diagrama Proceso Planta Neutralizadora.

No obstante, efectuar la neutralización con solución soda en forma continua resulta muy complejo, ya que es muy difícil controlar la reacción cuando ciertos parámetros (flujo y concentración) no son constantes y el pH varía rápidamente en breves lapsos de tiempo. Por lo tanto, como no siempre se alcanza la neutralización esperada, se adaptó una válvula para agregar solución soda en forma manual al RIL que llega al segundo estanque, en caso de ser necesario, esta medida da resultados pero requiere de un operador permanente en el proceso.

Como la neutralización no ocurre en todos los casos, se estima mediante la observación de los flujos de descarga registrados en el panel de control, que esta Planta funciona aproximadamente con un 60% de eficiencia. El segundo estanque

posee un sensor de pH que acciona automáticamente las válvulas de descarga. A la salida del segundo estanque, cuando el pH se encuentra dentro del rango entre 6 y 10 el agua se considera neutralizada y se bombea hasta el reservoi, donde se almacena como agua salada para los procesos. En cambio, si el pH es menor que 6 el RIL se considera ácido y mayor que 10 se considera alcalino, en ambos casos se descargan a la piscina de evaporación PEV-03.

#### **1.4.2 Procesos del Departamento de Explosivos**

Se fabrican principalmente dinamitas, pentolitas y emulsiones, además de algunos insumos necesarios para envasar los distintos tipos de productos. Se compone de las siguientes instalaciones productivas:

- Planta de Emulsiones

Las emulsiones para voladura de Enaex son del tipo agua en aceite, en que la fase interna está compuesta por una solución de sales oxidantes que se dispersan como gotas microscópicas en la fase externa (líquido combustible). La emulsión así formada se estabiliza mediante un compuesto emulsificante, para sensibilizar el producto se utilizan microesferas de vidrio o resinas, además de la adición de nitrato de alta porosidad. A su vez, el agente para controlar la densidad puede ser burbujas de aire ultra finas, generadas por reacciones de gasificación química o arrastre mecánico. En la Figura 1.9 se muestra el diagrama de proceso de la Planta de Emulsiones.



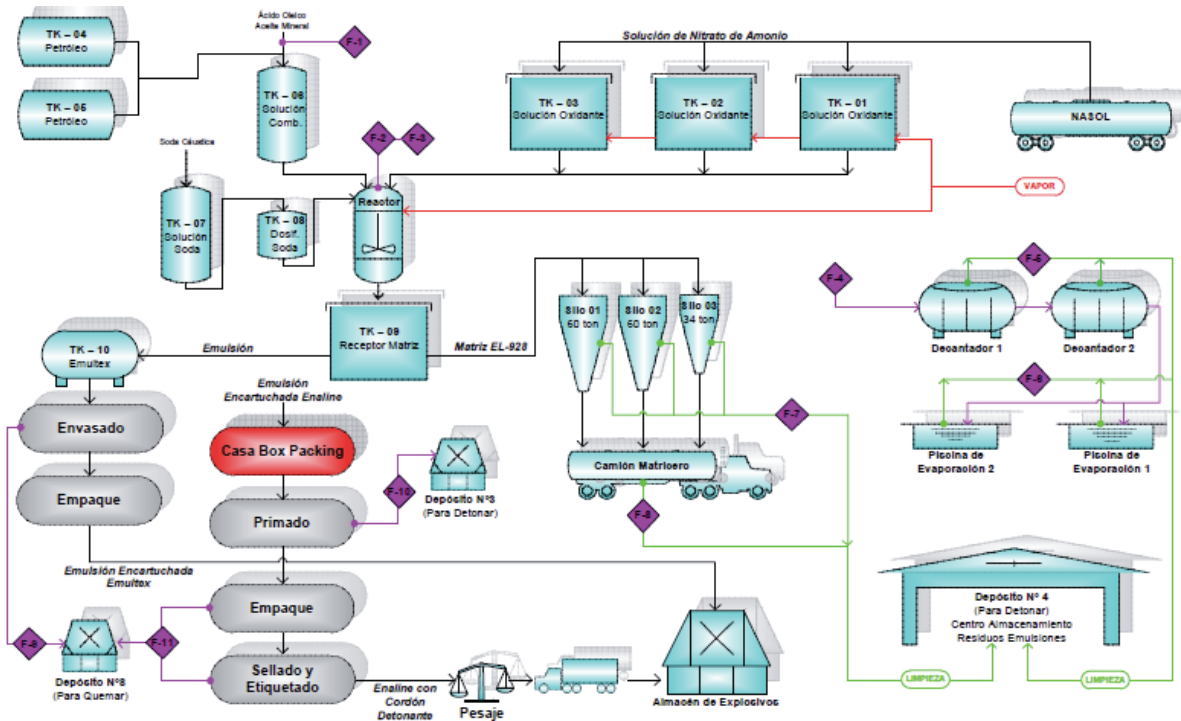


Figura 1.9. Diagrama de Proceso de Casa de Emulsión.

- Casa Cartucho

En esta casa, como se aprecia en la Figura 1.10 se confeccionan los distintos tipos de cartuchos, que serán utilizados para envasar, según sus especificaciones, las variedades de dinamitas y pentolitas que se producen en Planta Río Loa.

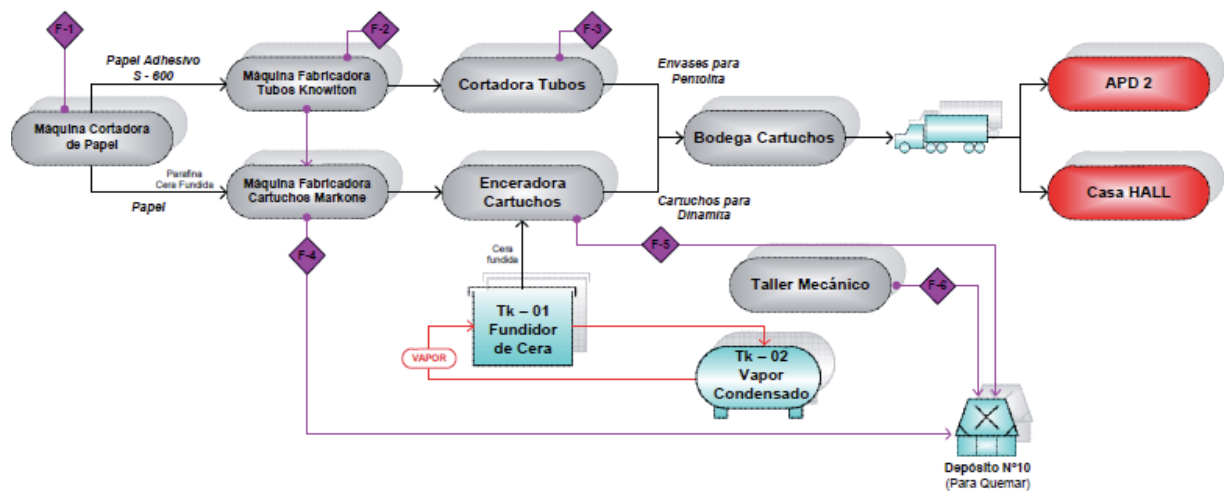


Figura 1.10. Diagrama de Procesos de Casa de Cartuchos.

- Casa APD 2

En esta casa se fabrica la Pentolita, que es un explosivo de Alto Poder Detonante. Primero se prepara la mezcla, la que luego es vertida en los envases de forma manual para moldearla en cuatro fases, de acuerdo a las especificaciones del producto.

La preparación de la mezcla consiste en fundir el TNT en las ollas de mezcla a una temperatura de 90°C y agitación constante, luego se incorpora el resto de los materiales, principalmente PETN, Tiza y Petro-P, de acuerdo a las cantidades establecidas para cada tipo de producto. Su proceso se encuentra en la Figura 1.11.

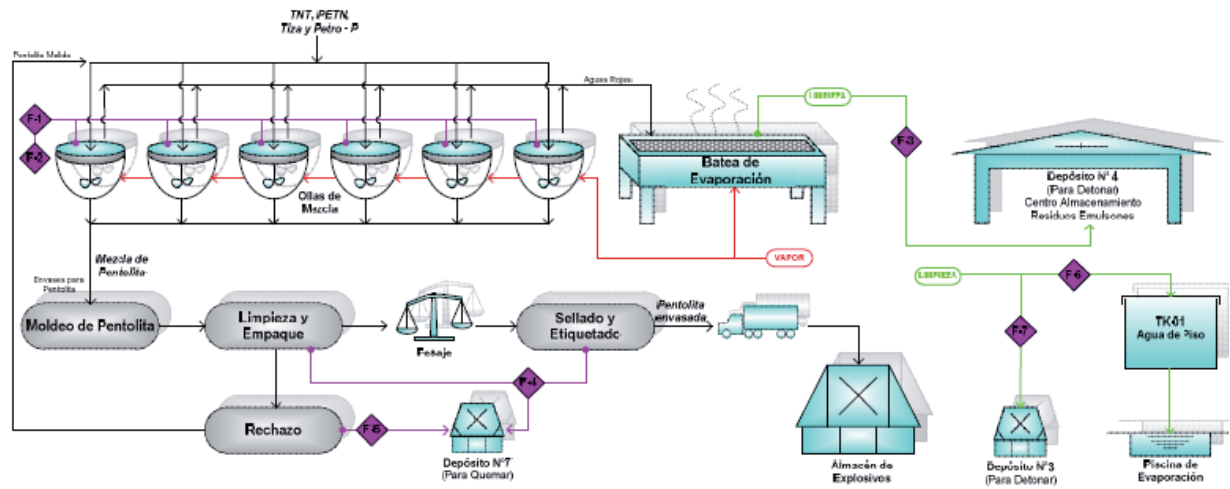


Figura 1.11. Diagrama de proceso de Casa APD.

Los RILes presentados en esta casa son las aguas de piso (limpieza de equipos) que se encuentran con Pentolita, este último es atrapado y recirculado a las ollas de mezcla.

Los otros riles presentes es el agua roja producto de TNT, el cual es retirado antes de ingresar los otros aditivos, el cual es dirigido a la Batea de Evaporación.

- Producción de Dinamita

La línea que comprende la producción de Dinamita tipo Tronex plus y Softrón, involucra distintas casas de este departamento, donde cada una cumple una función específica dentro del proceso total.

La producción parte en la Casa Fórmula, donde se mezclan los ingredientes en cantidades específicas para fabricar los distintos tipos de dinamitas. Cada mezcla es pesada y harneada antes de salir de la casa.

La fórmula una vez preparada con los ingredientes adecuados para un determinado producto, es trasladada a la Casa Talley donde se harnea nuevamente antes de mezclarla con la nitroglicerina, obteniéndose la mezcla de dinamita. La mezcla de dinamita, dependiendo del tipo de producto es destinada a dos casas distintas para su envasado.

En el caso de la dinamita Tronex Plus, la mezcla es enviada a la Casa Hall, donde es envasada utilizando distintos diámetros de cartuchos de acuerdo a la especificación que posea el producto. Luego, los cartuchos son enviados a la Casa Numeradora donde se enumeran, se revisa la calidad del producto y se rotulan, para finalmente, empacarlos en cajas, las que son pesadas, selladas, etiquetadas y trasladadas a un Almacén de Explosivos.

Aquellos productos que no cumplen con las especificaciones o los estándares de calidad se rechazan y son enviados a la Casa Peladora, donde se recupera la mezcla contenida en los cartuchos rechazados, ésta es harneada y devuelta a la Casa Hall para su encartuchamiento. En tanto, los cartuchos vacíos son eliminados como residuos peligrosos por medio de la quema.

El otro tipo de dinamita corresponde al Softrón, la mezcla de este producto es enviada a la Casa Starret 2 y 3 para ser envasada en tubos largos de plástico. Si bien, en Starret 3 se puede encartuchar otros tipos de dinamita como Tronex, Dinatron, Permcarb y Samsonita, éstos son de baja producción.

- Planta ANFO [4]

El ANFO (Figura 1.12) es un producto de la familia de los explosivos pulverulentos, que se forma a partir de la mezcla de nitrato de amonio con petróleo diesel. Tienen

forma granular (prill o perla), porosos y rellenos de aire lo cual le proporciona una mayor velocidad para la liberación de la energía.

El nitrato de amonio, materia prima del ANFO, es un producto cuyas características principales son las de poseer una estructura microporosa y microcristalina especial, que permiten la distribución homogénea de los elementos energizantes y del combustible. Debido a este tipo de estructura, presenta un mayor número de poros contenidos en sus prills lo cual favorece una alta capacidad de retención del petróleo y las dimensiones controladas de su fabricación incrementan la tensión superficial sólido / líquido y lo dirige hacia el centro de estos prills, provocando su rápida absorción; con lo cual se obtiene un producto estable, de manera que el combustible no emigra después de un prolongado tiempo de fabricación.

El ANFO en sí es un producto muy sensible a la humedad por lo que se le usa mayormente en las voladuras a cielo abierto. Cuando se le mezcla con aluminio se denomina ANFO aluminizado (1-15% aluminio) y toma un color gris. Cuando el nitrato de amonio se mezcla con aceite mineral y algún colorante se le denomina ANFO liviano y toma un color rosado.

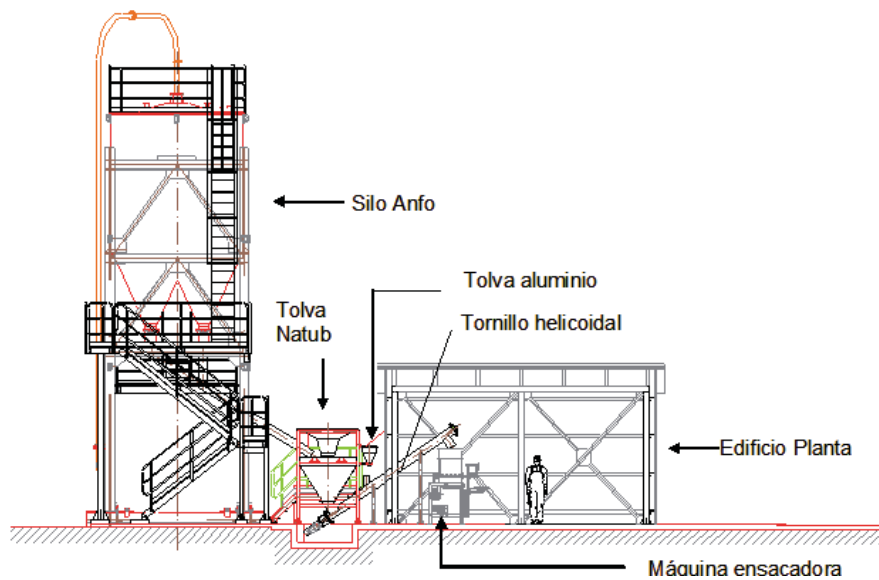


Figura 1.12. Infraestructura Planta ANFO.

## **CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES GENERALES**

### **2.1 Residuos Industriales Líquidos (RILes)**

Corresponde a todas las corrientes líquidas del proceso industrial que son descargadas fuera de la industria, ya sea al alcantarillado o cuerpos de aguas superficiales.

Es decir, son todos los líquidos y sólidos (en suspensión o disueltos), que se originan de la actividad humana e industrial, cuyo principal componente es el agua y que generalmente, son vertidos a cursos de agua, masas de aguas continentales y/o marinas [5].

### **2.2 Piscinas de Evaporación**

Planta Río Loa cuenta con cinco piscinas de evaporación para la disposición y reducción del volumen de RILes que genera en sus procesos. Dos de ellas son de uso del departamento de explosivos, mientras que las otras tres son de uso exclusivo del departamento de ácidos y nitraciones. La forma geométrica de las piscinas es similar a un trapecio invertido, tienen una profundidad de 0,95 metros y una altura efectiva de 0,5 m, en su cara superior es de 20 x 20 metros y su cara inferior es de 15 x 15 metros. Cada piscina tiene capacidad para 293 m<sup>3</sup>, y una capacidad efectiva de 200 m<sup>3</sup>, si se considera los periodos de mantenimiento.

Las Piscinas cuentan con cuatro tipos de membranas (Figura 2.1): primero se encuentra la Membrana Geo-Textil cuya función es aislar el HPDE del terreno compactado, luego está la Membrana de HPDE de 1 mm, sobre ésta se encuentra la Membrana Geo-Net que es una rejilla de 5 mm de espesor esencial en la detección de filtraciones y finalmente se halla la Membrana de HPDE de 2 mm. [3]

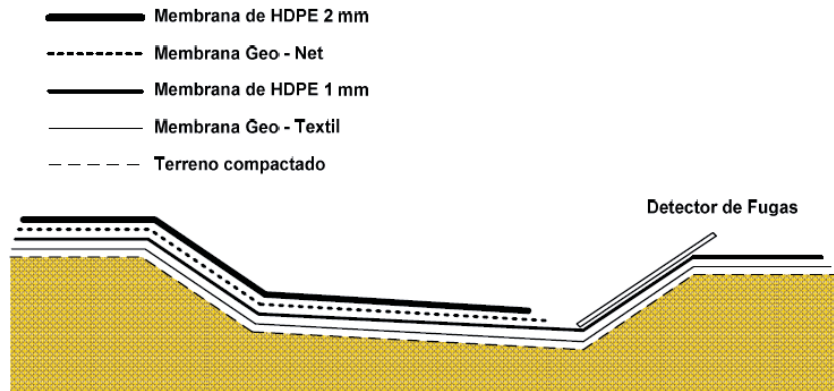


Figura 2.1. Tipos de Membranas en Piscina de Evaporación.

### 2.3 Energía Solar

Un recurso natural que la naturaleza nos entrega y que el ser humano convierte en energía útil es la energía solar, la cual es intermitente, debido a que reduce su potencia los días nublados.

La energía solar es la energía que se obtiene mediante la captura de la luz y el calor que emite el sol, por medio de una variedad de sistemas receptores, convirtiéndola en energía útil. La intensidad de esta energía disponible (Figura 2.2) en un punto determinado del planeta tierra dependerá del día del año, la hora y la latitud, aunque también incidirá en la cantidad de energía que pueda acumularse y la orientación que disponga el dispositivo receptor. [6]

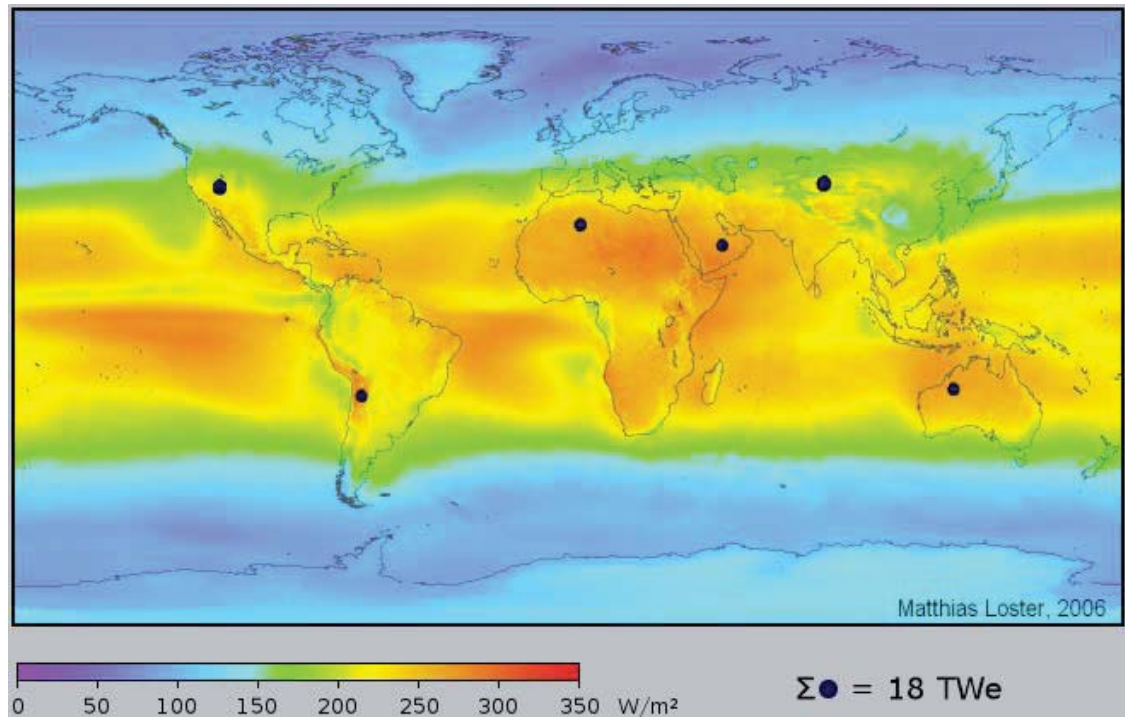


Figura 2.2. Mapa energía solar. [6]

### El sol

Es una estrella que se encuentra a una distancia de unos 150.000.000 km de la Tierra (Figura 2.3). De naturaleza gaseosa, tiene un diámetro aproximado de 1.400.000 km y una masa de  $1,99 \cdot 10^{30}$  Kg, y se genera energía debido a las reacciones nucleares de fusión que tienen lugar en su núcleo, que está a una temperatura media de uno 15.000.000 ° C. Saliendo del núcleo nos encontramos con una zona intermedia, y por encima suyo hallamos la zona convectiva, donde el calor se transmite por convección hacia la superficie. La superficie solar, denominada fotosfera, es el disco que podemos ver desde la Tierra. Más allá se encuentra la atmósfera solar, denominada cromosfera, una capa gaseosa que se extiende unos 10.000 km. La parte más exterior de la cromosfera se denomina corona, visible únicamente durante un eclipse total de Sol.

El Sol está constituido principalmente por hidrogeno (78% de su masa) y helio (20% de su masa). El Sol es un inmenso reactor nuclear de fusión que transforma cada segundo 600.000.000 de toneladas de hidrógeno en 596.000.000 de toneladas de helio. Se pierden, por tanto, 4.000.000 toneladas de materia cada segundo, que se

transforman en energía, unos  $3,7 \cdot 10^{23}$  kW. Esta energía es irradiada al espacio siguiendo un patrón esférico. De esta energía llegan a nuestro planeta unos  $1,74 \cdot 10^{14}$  kW. Aunque ésta es sólo una pequeña parte de la energía generada por el Sol, equivale a unas 5.000 veces el consumo energético de toda la población de la Tierra. [6]

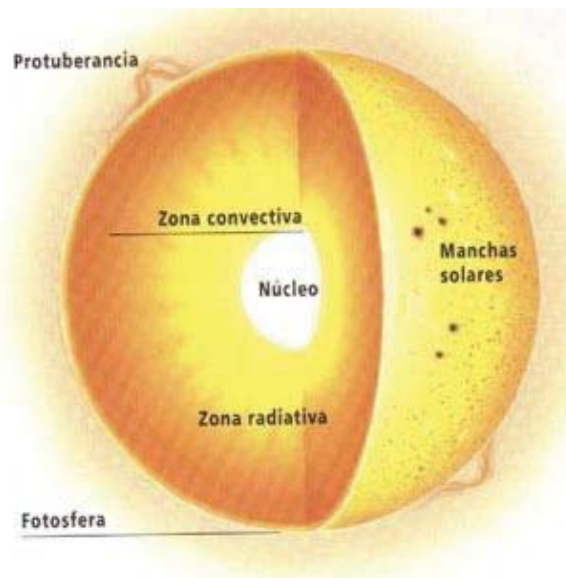


Figura 2.3. El Sol. [6]

### **Espectro Solar**

La energía que emite el Sol llega a la Tierra en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio en todas las direcciones. Este efecto se llama radiación y hace referencia a un fenómeno físico vibratorio que se representa en forma de ondas. La cantidad de energía transportada por las ondas es proporcional a su frecuencia, que es el número de veces que la onda se repite completamente por unidad de tiempo. Cuanto mayor es la frecuencia, mayor es la energía que transporta la onda. Las radiaciones electromagnéticas se propagan todas a una misma velocidad, 300.000 km/s en el vacío, distinguiéndose por su longitud de onda. La longitud de onda es la distancia entre dos puntos iguales de una onda, por ejemplo las crestas.



La radiación solar no llega únicamente en forma de luz visible: recibimos también radiación no visible para el ojo humano. La gama de radiaciones (Figura 2.4) visibles para el ojo humano abarca longitudes de onda comprendidas aproximadamente entre 0,38 y 078  $\mu\text{m}$ . Es decir, dentro del espectro visible, las longitudes de onda menor y mayor corresponden a los colores violeta y rojo, respectivamente. Por lo tanto, la luz blanca del Sol que nosotros percibimos es, en realidad, la superposición de todos los colores. Con longitudes de onda de radio. Con longitudes de onda menores que la del violeta, están los ultravioleta, los rayos X y los rayos gamma.

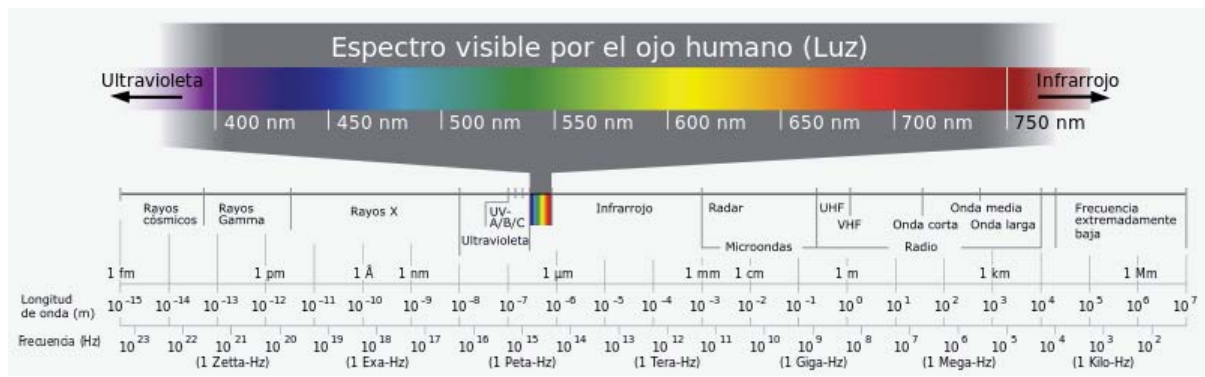


Figura 2.4. Espectro Visible. [7]

### Constante Solar $G_{sc}$

Es el flujo medio de energía incidente sobre una superficie normal a la dirección Tierra-Sol sin atmósfera y ubicada a la distancia media Tierra-Sol.

Esa cantidad es difícil de medir en la superficie de la Tierra debido a los errores que existen para corregir el flujo observado originado por los efectos de la atmósfera.

Se acepta el valor de  $G_{sc} = 1353 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$  ( $1940 \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{min}^{-1}$ ) por la NASA (Administración Aeronáutica y Espacial Nacional de Estados Unidos de América) y por la ASTM por sus siglas en inglés (Sociedad Americana para el Ensayo de Materiales). [7]

### **Distancia Media Tierra-Sol**

Distancia media Tierra-Sol  $r_o$ , se denomina unidad astronómica, donde  $1\text{AU}=1,469 \times 10^8$  km. La distancia mínima es  $0,983\text{AU}$  y la máxima  $1,017\text{AU}$ . [8]

## **2.4 Radiación Solar**

Es la radiación electromagnética emitida por el Sol. Su comportamiento se aproxima al de un cuerpo negro a  $6.000$  K, así el 99% de la radiación emitida está entre  $0,15$  y  $4$  micras de longitud de onda.

El flujo de Radiación Solar sobre una superficie horizontal terrestre depende de varios factores, los más relevantes son: latitud, época del año, momento del día y estado de la atmósfera.

Debido a la presencia de la atmosfera distinguimos de la Radiación Global (G) incidente en cualquier superficie la fracción directa y difusa. [9]

La mayor radiación solar del mundo se produce en El Loa. [10]

### **Radiación Directa**

Se refiere al flujo solar que llega al colector sin haber sufrido ninguna dispersión al atravesar la atmosfera. La radiación extraterrestre es, por tanto, radiación directa. Generalmente se usa el subíndice "B" para indicar radiación directa, por el término que se utiliza en inglés: beam (haz, rayo). [7]

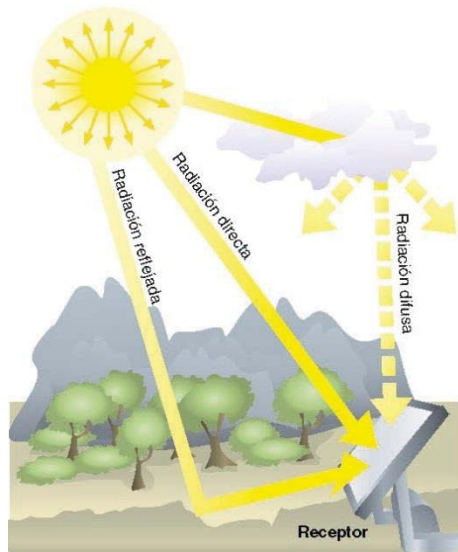


Figura 2.5. Energía solar que incide sobre la superficie de nuestro planeta.

### Radiación Difusa

Es la que se recibe del sol, después de ser desviada por dispersión atmosférica. Es radiación difusa (Figura 2.6) la que se recibe a través de las nubes, así como la que proviene del cielo azul. De no haber radiación difusa, el cielo se vería negro, aun de día, como sucede por ejemplo en la Luna. Suele utilizarse el subíndice “D” para la radiación difusa. [7]

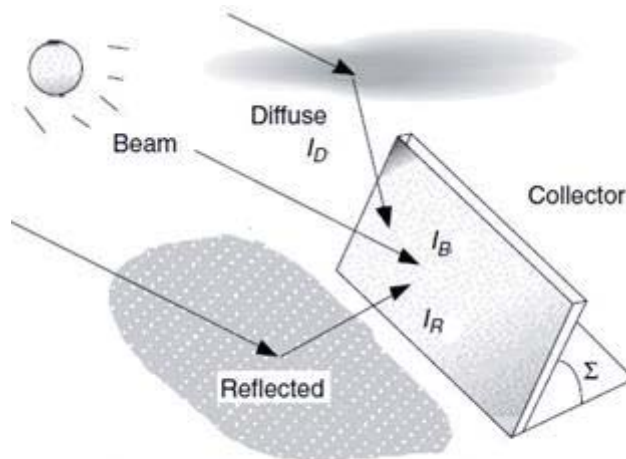


Figura 2.6. Radiación Difusa cuya dirección ha sido modificada por diversas circunstancias.

### **Radiación Terrestre**

Es la que proviene de objetos terrestres, por ejemplo, la que refleja una pared blanca, un charco o un lago, etc. [8]

### **Radiación Total**

Es la suma de las radiaciones directa, difusa y terrestre que se reciben sobre una superficie. Por ejemplo, sobre una pared o una ventana, incide la radiación directa del sol, la difundida por las nubes y por el cielo y, además, puede entrar la luz reflejada por algún otro objeto frente a la pared o ventana. [8]

### **Ángulos Básicos [6]**

Los parámetros básicos que intervienen cuando se estudia la posición relativa del Sol y de la Tierra. Es necesario conocer estos parámetros si se desea calcular la radiación solar que incide sobre una superficie con una determinada inclinación y orientación.

- Latitud  $\phi$

Es la distancia angular (Figura 2.7), medida sobre el meridiano, entre una locación terrestre y el plano del Ecuador. Varía de 0 a 90°, siendo positiva en el hemisferio norte y negativa en el hemisferio sur.

- Longitud  $\lambda$

Es la distancia angular, medida sobre el plano del Ecuador, entre el meridiano correspondiente y el meridiano origen. Dicho meridiano origen es el de Greenwich (meridiano 0). Los puntos situados al Este del meridiano de Greenwich tienen valor positivo, mientras que los situados al Oeste tienen valor negativo.

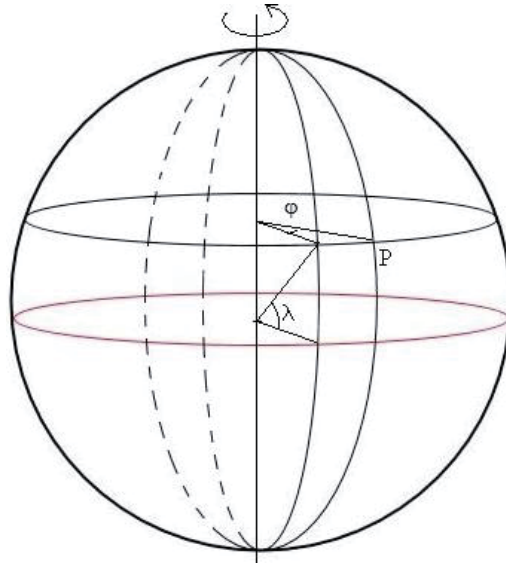


Figura 2.7. Latitud y Longitud de un lugar. [6]

- Altura solar  $\alpha_s$

Es el ángulo formado por la recta que une el Sol con el punto considerado (rayo incidente) y el plano tangente a la superficie terrestre que pasa por dicho ángulo punto. En el ocaso y al alba,  $\alpha=0^\circ$ ; al mediodía,  $\alpha=90^\circ$ . El ángulo complementario de  $\alpha_s$  se representa por  $\xi_s$  y se denomina Cenit solar.

- Azimut solar  $\gamma_s$

Es el ángulo que forma la proyección del rayo solar incidente sobre el plano tangente a la superficie terrestre, con la dirección Norte-Sur. Al mediodía,  $=0$ ; por la mañana el valor es positivo, y por la tarde, negativo.

- Declinación solar  $\delta$

Permite mediante coordenadas geocéntricas, localizar la posición angular del sol, y es el ángulo formado por la línea Sol Tierra y el plano del ecuador terrestre (norte positivo).

La declinación solar es cero en las fechas de los equinoccios, (21 de marzo y 22 de septiembre variando cíclicamente de  $+23,45^\circ$  que corresponde al solsticio de verano a  $-23,45^\circ$  que corresponde al solsticio de invierno y viene dada por la ecuación 1:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360 \cdot (284+n)}{365} \right] [^\circ]$$

Ec. 1

Donde:

$n$ : Numero de día del año, desde el 1 de enero,  $1 < n < 365$

- Pendiente del plano  $\beta$

Pendiente sobre el cual incide la radiación, esto es, sin inclinación respecto de la horizontal. Para los valores en los que  $0^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$  se diría en cambio que la superficie se encuentre mirando hacia abajo.

- Ángulo de Incidencia  $\theta$

Esto es, el ángulo de la radiación directa sobre la superficie y la normal a la superficie.

- Ángulo de Cenit  $\theta_z$

Ángulo entre la radiación directa sobre la superficie horizontal y la normal de la superficie o cenit. Se calcula  $\beta=0^\circ$  en la ecuación del ángulo de incidencia.

- Ángulo horario  $\omega_s$

Es el ángulo formado por las proyecciones, sobre el plano del Ecuador, del meridiano del punto considerado y la recta que une los centros de la Tierra y el Sol en aquel momento (Figura 2.8). Cada hora equivale a  $15^\circ$  de longitud. Al mediodía solar,  $\omega=0^\circ$ ; por la mañana el ángulo horario es negativo, por la tarde es positivo. Por ejemplo, para las 09:00 horas (hora solar),  $\omega=-45^\circ$ , y para las 17:00 horas (hora solar),  $\omega=75^\circ$ . Se puede calcular mediante la ecuación 2:

$$\omega_s = \text{acos}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\phi)] [^\circ]$$

Ec. 2

Donde:

$\phi$ : Latitud  $[^\circ]$ .

$\delta$ : Ángulo de declinación solar [°].

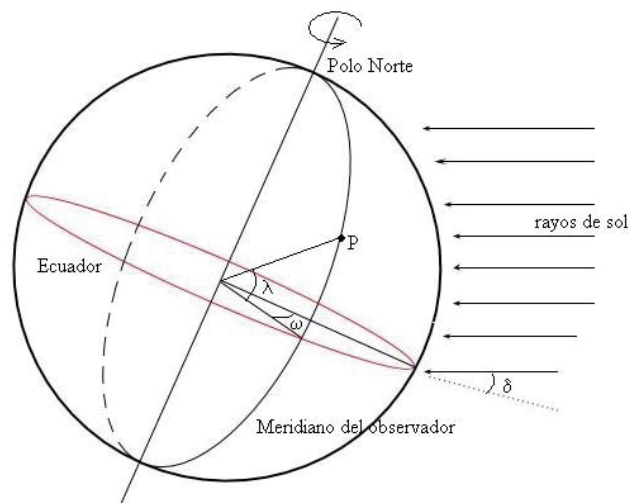


Figura 2.8. Ángulo Horario. [6]

### Número de horas de sol teóricas (N)

Se puede calcular por medio de la ecuación 3:

$$N = \frac{2}{15} \cdot ws \text{ [hr]} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

ws: Ángulo del ocaso [°].

### Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

Se puede calcular con la ecuación 4:

$$R_b = \frac{\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi - \theta) \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \text{cos}(\delta) \cdot \text{cos}(\phi - \theta) \cdot (\text{sen}(15 \cdot t_1) - \text{sen}(15 \cdot t_2))}{\text{sen}(\delta) \cdot \text{sen}(\phi) \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \text{cos}(\delta) \cdot \text{cos}(\phi) \cdot (\text{sen}(15 \cdot t_1) - \text{sen}(15 \cdot t_2))} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

$\theta$ : Ángulo de inclinación de la cubierta [°].

$t_1$ : Tiempo Inicial medido a partir de la media noche, 09:00 hr, horario militar.

$t_2$ : Tiempo Final medido a partir de la media noche, 16:00 hr, horario militar.

### Índice de Claridad Horario

Se calcula el índice de claridad horario por la ecuación 5:

$$K'_T = \frac{I}{I_0} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde:

$I_0$ : Radiación Solar Extraterrestre horaria en superficie horizontal.

$I$ : Radiación Global horaria.

### Factor de Corrección de la Excentricidad de la órbita terrestre ( $\epsilon_0$ )

Se utilizará la ecuación 6:

$$\epsilon_0 = \left(\frac{r_0}{r}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{d_n}{365}\right) \quad \text{Ec. 6}$$

### Radiación Solar Extraterrestre horaria en superficie horizontal

Se calcula con la ecuación 7 en  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ :

$$I_0 = G_{SC} \cdot \epsilon_0 \cdot \left[ \sin \delta \cdot \sin \phi \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot (\sin 15 \cdot t_1 - \sin 15 \cdot t_2) \right] \quad \text{Ec. 7}$$

Donde:

$\epsilon_0$ : Corrección por excentricidad.

$\delta$ : Angulo de declinación solar [°].



## Irradiación Diaria Solar promedio terrestre sobre superficie horizontal

Se obtiene con la ecuación 8:

$$I = I_0 \cdot \left[ a + b \cdot \left( \frac{nr}{N} \right) \right] \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

$nr$ : Numero de horas solar real [hr].

$a$ : Constante de Angstrom.

$b$ : Constante de Angstrom.

## Irradiación Solar Difusa horaria

Para determinar  $I_d$  se utiliza el Índice de claridad horario (Ecuación 5), y así se debe verificar en la Tabla 2.1 y elegir su relación a utilizar de acuerdo al valor de  $K'_T$ .

Tabla 2.1. Determinación de la Radiación Difusa Horaria.

Relación a utilizar	Criterio
$\frac{I_d}{I} = 1,0 - 0,249 \cdot K'_T$	$0 \leq K'_T \leq 0,35$
$\frac{I_d}{I} = 1,577 - 1,84 \cdot K'_T$	$0,35 \leq K'_T \leq 0,75$
$\frac{I_d}{I} = 0,177$	$K'_T > 0,75$

## Radiación Solar Directa Horaria $I_b$

Se obtiene a partir de la ecuación 9:

$$I_b = I - I_d \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

$I_d$ : Radiación Solar Difusa Horaria  $\left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$ .

$I$ : Radiación Global horaria  $\left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$ .

## Radiación Solar en la superficie inclinada que capta el Destilador Solar

Una vez determinada las variables anteriores se puede obtener la radiación solar total mediante la ecuación 10:

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot \left(\frac{1 + \cos \theta}{2}\right) + I \cdot \left(\frac{1 - \cos \theta}{2}\right) \cdot \rho_d \left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right] \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$I_b$ : Radiación Solar Directa Horaria  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$I_d$ : Radiación Solar Difusa Horaria  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$R_b$ : Factor de medición de pérdida por el cambio de ángulo de incidencia de radiación solar en el transcurso del día.

$\rho_d$ : Albedo o Coeficiente de Reflexión del suelo.

$I$ : Radiación Global horaria  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

## 2.5 Destiladores Solares

La energía de evaporación proviene de la radiación solar que incide sobre el agua, después de atravesar unas láminas transparentes de plástico o vidrio, produciendo la evaporación de la misma. El vapor de agua se condensa en pequeñas gotitas al entrar en contacto con las paredes de la cubierta, debido que están más frías que el ambiente interior del destilador. Las gotas se resbalan por la cubierta inclinada del destilador, hasta llegar a las canaletas recolectoras de agua destilada.

Los destiladores solares pueden ser contruidos de muchas formas y con diferentes materiales, así como destinados a diferentes usos, estos pueden construirse fijos o portátiles, así como instalarse permanentemente o de forma transitoria.

## 2.6 Tipos de Destiladores Solares [11]

### 2.6.1 Destilador Solar de una sola vertiente

El Destilador Solar de una sola vertiente es el más sencillo de estructura (Figura 2.9). Es una caja cubierta por una cubierta transparente inclinado. La caja está dividida en dos compartimentos, uno con el fondo de color negro donde se coloca el agua a evaporar y el otro el colector donde se recoge el agua destilada y que se encuentra en el lado de menor altura. Estos sistemas tienen la posibilidad de interconectarse entre sí para ampliar la instalación de manera modular.

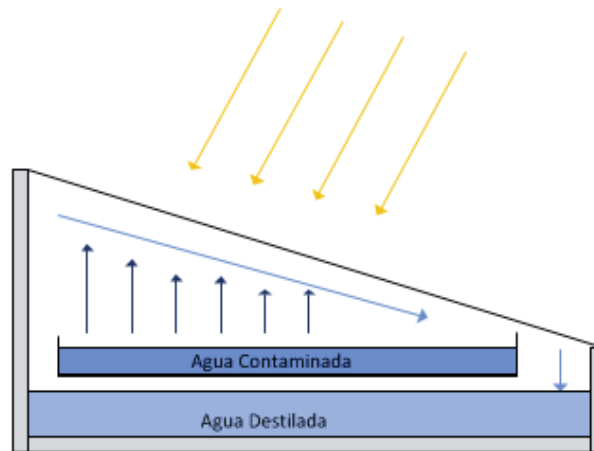


Figura 2.9. Destilador de una sola vertiente.

### 2.6.2 Destilador Solar de dos vertientes

Este destilador posee una estructura compleja. Este modelo consta de una cubierta transparente de dos vertientes (Figura 2.10). Las gotas de agua que se han condensado en el panel transparente se deslizan por los lados y precipitan a un depósito situado bajo la bandeja donde se dispone el agua para destilar. Desde el depósito de almacenamiento se extrae el agua por medio de un grifo.

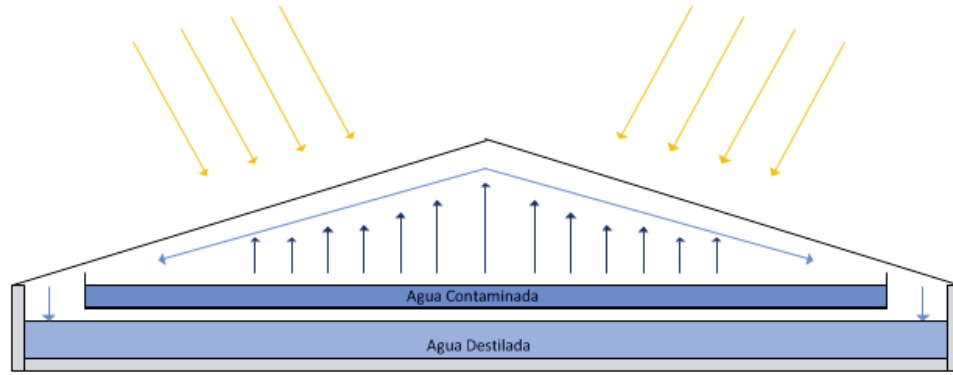


Figura 2.10. Destilador con dos vertientes.

### 2.6.3 Destilador Solar tipo invernadero

Este destilador solar posee gran tamaño (Figura 2.11). Se trata de estructuras de invernaderos que en su interior albergan un estanque de agua de poca profundidad y con el fondo de color negro, para captar la radiación solar. El agua evaporada se condensa en las paredes del invernadero y se desliza hacia las canaletas situadas en la base de las paredes.

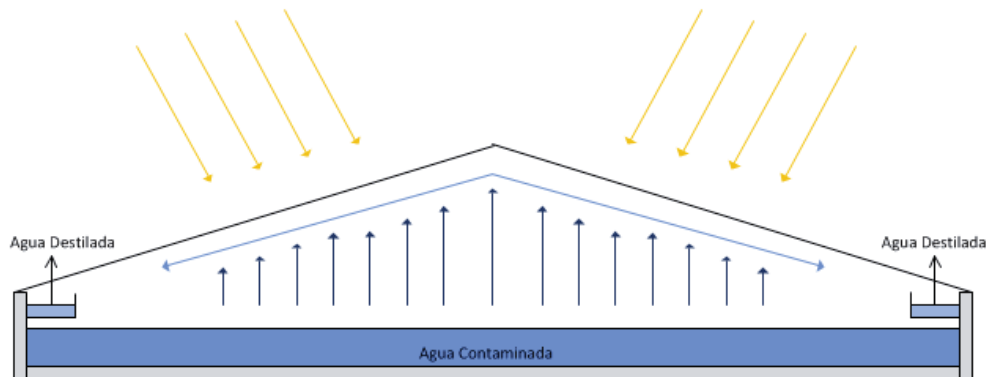


Figura 2.11. Destilador tipo Invernadero.

### 2.6.4 Destilador Solar de cascada

Modelo de destilador en forma de terrazas (Figura 2.12). En la parte superior de cada una de las terrazas se disponen los estanques con fondo de color negro llenos de agua para destilar. Cuando la radiación solar incide en el destilador comienza la

evaporación. El agua en estado gaseoso se condensa en una superficie transparente dispuesta de forma inclinada sobre las terrazas y se desliza hacia el recuperador situado en la parte baja del destilador. El nombre de cascada le viene dado por los momentos en los que se repone agua para destilar o en los que se efectúan labores de limpieza.

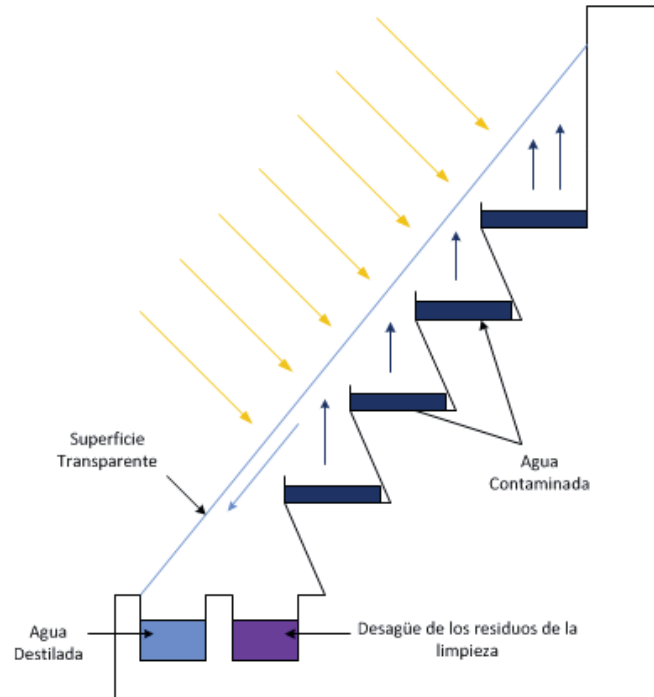


Figura 2.12. Destilador Solar de Cascada.

### 2.6.5 Destilador Solar esférico de barredera

La particularidad de este modelo se basa en la forma esférica del material transparente (Figura 2.13), para favorecer la captación solar evitando las sombras que alguna parte del destilador pueda provocar en otra, también logra mantener la inercia térmica facilitando mayor aprovechamiento del calor producido por la energía solar. En una bandeja con fondo de color negro situada en la parte central de la esfera se coloca el agua a destilar.

Por su parte la barredera arrastra las pequeñas gotas que se van formando en el interior de la esfera juntándolas y provocando que se precipiten por gravedad a la

parte baja donde se acumulan. Con el sistema de barredera se evita que las gotas reflejen la radiación solar y se permite que el agua en estado gaseoso se condense con mayor facilidad en las paredes. Estos factores aumentan el rendimiento del equipo si bien como contrapartida se tiene que es necesario suministrarle energía eléctrica para hacer posible el movimiento de la barredera.

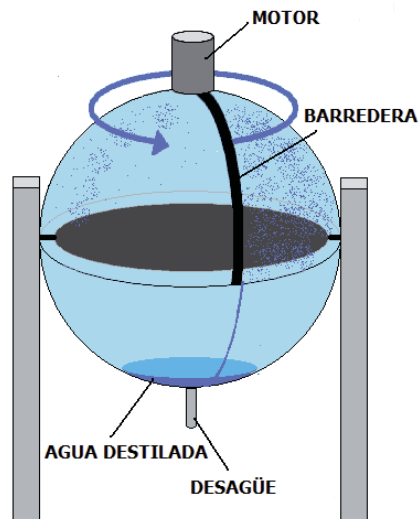


Figura 2.13. Destilador Solar Esférico de Barredera.

### 2.6.6 Destilador Solar Multi-etapa

Este es un modelo más complejo y eficiente que emplea sistemas de colectores solares complejos (concentradores parabólicos, tubos de vacío, e incluso sistemas de placa plana de alta eficiencia) para alcanzar altas temperaturas y llevar al punto de ebullición al agua. El vapor de agua se condensa con ayuda de un refrigerante y el calor se recupera y se almacena en depósitos. Este sistema requiere ya de inversiones importantes.

## 2.7 Balances de materia y energía involucrados en un destilador solar

Este tipo de dispositivos de diseños simples y de ciclos sencillos de funcionamiento, se toman en cuenta los términos más relevantes que intervienen en el proceso de transferencia de calor y masa (Figura 2.14) y se detallaran a continuación:

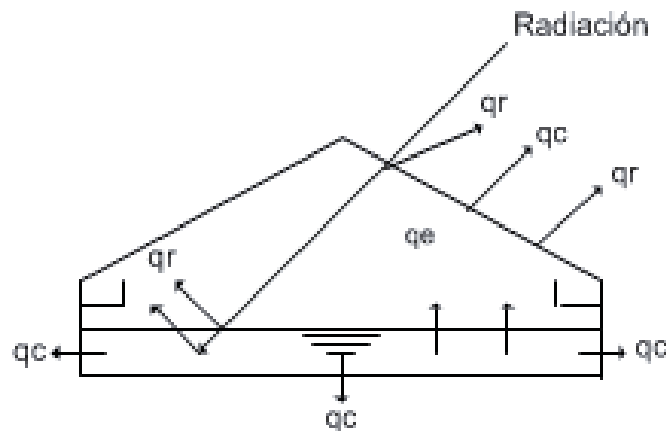


Figura 2.14. Balance de Calor en el Destilador Solar.

### 2.7.1 Calor Perdido por Conducción

Se establecerá que el modelo experimental se encuentra sobre una estructura, por lo cual sufrirá pérdidas de calor por conducción a través de la base y de las paredes del destilador. Considerando el área de transferencia de calor de las paredes con respecto a la base se asume que la cantidad de calor que el sistema perderá a través de las paredes es relativamente despreciable con respecto a aquel calor que pierde a través de la base.

Se determina mediante la ecuación 11:

$$q_c = Kb \cdot (T_w - T_a) \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

$K_b$ : Resistencia térmica equivalente del aislante.

$T_w$ : Temperatura media del agua [K].

$T_a$ : Temperatura ambiente [K].

### 2.7.2 Calor Perdido por Radiación de la cubierta

De la cubierta del destilador se pierde calor por radiación y esta se puede calcular mediante la siguiente formula cuya ecuación está dada por la Ley de Stefan Boltzman:

$$q_{rcubierta} = \varepsilon_{cubierta} \cdot \sigma \cdot (T_{cubierta}^4 - T_s^4) \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

$\varepsilon_{cubierta}$ : Emitancia de la cubierta.

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzman  $5,6697 \cdot 10^{-8}$  [W/m<sup>2</sup>·K<sup>4</sup>].

$T_s$ : Temperatura del Cielo [°K].

$T_{cubierta}$ : Temperatura de la cubierta [°K].

### 2.7.3 Calor Perdido por Convección de la cubierta

Si existe una diferencia de temperatura en el interior del líquido o un gas, es casi seguro que se producirá un movimiento en el fluido. Este movimiento transfiere calor de una parte del fluido a otra por un proceso llamado convección. El movimiento del fluido puede ser natural o forzado. Si se calienta un líquido o un gas, su densidad (masa por unidad de volumen) suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en el campo gravitatorio, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento, debido exclusivamente a la no uniformidad de la temperatura del fluido, se denomina convección natural. La convección forzada se logra sometiendo el fluido a un gradiente de presiones, con lo que se fuerza su movimiento de acuerdo a las leyes



de la mecánica de fluidos. Debido a la velocidad del viento y a la diferencia de temperatura de la cubierta y el aire existe pérdida de calor por el efecto combinado de la conducción y la convección que viene a estar dado por la ecuación 13.

$$q_{ccubierta} = h_{ccubierta} \cdot (T_{cubierta} - T_a) \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

$h_{ccubierta}$ : Coeficiente de Transferencia de Calor Convectivo de la cubierta  $\left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$ .

$T_{PMMA}$ : Temperatura de la cubierta [ $^{\circ}K$ ].

$T_a$ : Temperatura Ambiente [ $^{\circ}K$ ].

#### 2.7.4 Calor perdido por radiación del agua

Es un tipo de energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones), como resultado de los cambios en las 57 configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. En lo que respecta a la transferencia de calor es de interés la radiación térmica o forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. La radiación térmica suele corresponder a la banda de frecuencias del infrarrojo. Todos los cuerpos a una temperatura por encima del cero (0) absoluto emiten radiación térmica. La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o reflejan radiación en diversos grados. Sin embargo la radiación térmica suele considerarse como un fenómeno superficial para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que la radiación emitida por las regiones interiores de un material de este tipo nunca puede llegar a la superficie y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia dentro en dichos sólidos.

A diferencia de la conducción y la convección, la radiación no necesita un medio de transmisión y puede ocurrir en el vacío. La transferencia de calor por radiación es la más rápida, a la velocidad de la luz. No sufre atenuación en el vacío.

El agua radia calor hacia la cubierta y la expresión para evaluar esta transferencia se obtiene de la Ley de Stefan-Boltzman, considerando que las placas entre las que hay

radiación (superficie del agua y placa) son planas y paralelas, se considera la siguiente ecuación para determinar el calor perdido por radiación del agua:

$$qr_w = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_{cubierta}} - 1} \cdot (T_w^4 - T_{cubierta}^4) \quad \text{Ec. 14}$$

Donde:

$\varepsilon_w$ : Emitancia de agua.

$\varepsilon_{cubierta}$ : Emitancia de la cubierta.

$T_w$ : Temperatura de agua [°K].

$T_{cubierta}$ : Temperatura de la cubierta [°K].

$\sigma$ : Constante de Stefan Boltzman  $5,6697 \times 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)]$ .

### 2.7.5 Calor Perdido por Convección natural

Entre el agua y la cubierta hay un espacio ocupado por aire, y conforme el agua se va calentando y la cubierta también, pero en menor grado debido al efecto refrigerante del aire, empieza a haber corrientes de aire caliente de la superficie del agua hacia la cubierta, que provoca la pérdida de calor por convección natural. El coeficiente de transferencia de calor por convección natural puede calcularse de la siguiente manera:

$$h_c = 0,884 \cdot \left( T_w - T_{cubierta} + \frac{P_w - P_{wcubierta}}{268,9 \cdot 10^3 - P_w} \cdot (T_w + 273) \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 15}$$

Donde:

$T_w$ : Temperatura del agua [°K].

$T_{cubierta}$ : Temperatura de la cubierta [°K].

$P_w$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua [Pa].

$P_{wcubierta}$ : Presión de vapor del agua a la temperatura de la cubierta [Pa].

### 2.7.6 Calor Perdido por Convección del agua

$$q_{cw} = h_T \cdot (T_w - T_{cubierta}) \quad \text{Ec. 16}$$

Donde:

$h_T$ : Coeficiente Total de Transferencia de Calor por Convección del agua  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ .

$T_w$ : Temperatura del agua [ $^{\circ}K$ ].

$T_{cubierta}$ : Temperatura de la cubierta [ $^{\circ}K$ ].

### 2.7.7 Calor Perdido por Evaporación

$$q_e = h_e \cdot (P_w - P_{cubierta}) \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

$h_e$ : Coeficiente de Transferencia de calor de evaporación  $\left[\frac{W}{m^2 \cdot K}\right]$ .

$P_w$ : Presión de vapor del agua a la temperatura del agua [Pa].

$P_{cubierta}$ : Presión de vapor del agua a la temperatura de la cubierta [Pa].

### 2.7.8 Calor almacenado por la cubierta

$$q'_c = q_{rw} + q_{cw} + q_e + \alpha \cdot g \cdot I_T - (q_{rcubierta} + q_{ccubierta}) \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

$q_{rw}$ : Calor Perdido por radiación del agua  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$q_{cw}$ : Calor Perdido por convección del agua  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$q_e$ : Calor Perdido por evaporación  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$q_{rcubierta}$ : Calor Perdido por radiación de la cubierta  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$q_{ccubierta}$ : Calor Perdido por convección de la cubierta  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

$I_T$ : Radiación Solar en Superficie inclinada  $\left[\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}\right]$ .

### 2.7.9 Calor Absorbido por el agua

$$q'_a = I_T \cdot (1 - \alpha \cdot g) \cdot (1 - \alpha \cdot a) - (q_{rw} + q_{cw} + q_e + q_c) \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

$I_T$ : Radiación Solar en Superficie inclinada  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

$q_{rw}$ : Calor Perdido por radiación del agua  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

$q_{cw}$ : Calor Perdido por convección del agua  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

$q_e$ : Calor Perdido por evaporación  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

$q_c$ : Calor Perdido por conducción  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

### 2.7.10 Calor Absorbido por el sistema

$$q_t = q'_c + q'_a \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

$q'_c$ : Calor Almacenado por la cubierta  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

$q'_a$ : Calor Absorbido por el agua  $\left[\frac{W}{m^2}\right]$ .

Con el resultado de la ecuación 20 se puede calcular la capacidad del calor almacenada por el dispositivo utilizando el área de captación de la energía solar.

$$Q_T = q_t \cdot A \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

$A$ : Área de Captación de la Energía Solar [ $m^2$ ].

$q_t$ : Calor Absorbido por el sistema [ $\frac{W}{m^2}$ ].

### 2.7.11 Calor necesario para calentar la cubierta

El calor necesario para calentar la cubierta se obtiene a partir de la ecuación 22:

$$Q_{cubierta} = m_{cubierta} \cdot C_{pcubierta} \cdot (T_{cubierta} - T_a) \quad \text{Ec. 22}$$

Donde:

$C_{pcubierta}$ : Capacidad Calorífica de la cubierta [ $\frac{J}{Kg \cdot K}$ ].

$T_a$ : Temperatura Ambiente [ $K$ ].

$m_{cubierta}$ : Masa de la cubierta [ $Kg$ ].

### 2.7.12 Calor necesario para calentar el agua

$$Q_{ca} = m_s \cdot C_p \cdot (T_w - T_a) \quad \text{Ec. 23}$$

Donde:

$m_s$ : Masa de agua [ $Kg$ ].

$C_p$ : Calor Específico del agua [ $\frac{J}{Kg \cdot K}$ ].

$T_w$ : Temperatura del agua [ $K$ ].

$T_a$ : Temperatura Ambiente [ $K$ ].

### 2.7.13 Calor necesario para evaporar $x$ porcentaje de agua

Calculo de Calor Necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa de agua.

$$Q_{ev} = x \cdot m_s \cdot \lambda \quad \text{Ec. 24}$$

Donde:

$x$ : Fracción de agua a evaporar.

$\lambda$ : Calor Latente de evaporación del agua  $\left[\frac{J}{Kg}\right]$ .

La cantidad necesaria para calentar la cubierta, el agua de la piscina de evaporación y evaporar la misma, viene dada por la ecuación siguiente:

$$Q_N = Q_{ccubierta} + Q_{ca} + Q_{ev} \quad \text{Ec. 25}$$

Donde:

$Q_{ccubierta}$ : Calor Perdido por convección por la cubierta  $[W]$ .

$Q_{ca}$ : Calor necesario para calentar el agua  $[W]$ .

$Q_{ev}$ : Calor necesario para evaporar el agua  $[W]$ .

### 2.7.14 Energía Total almacenada por el sistema

$$Q = Q_T + Q_N \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

$Q_T$ : Calor Absorbido por el sistema  $[W]$ .

$Q_N$ : Calor necesario para calentar y evaporar  $[W]$ .

### 2.7.15 Eficiencia del Destilador

La Eficiencia del Destilador Solar es la cantidad de energía utilizada en la vaporización de agua en el destilador sobre la cantidad de incidencia de energía solar en el destilador.

Lo que puede expresarse de la siguiente manera:

$$Eficiencia_{Teórica} = \frac{Q}{I_T \cdot A_{Bandeja}} \cdot 100 \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

$A_{Bandeja}$  = Área de la bandeja contenedora del agua a destilar [ $m^2$ ].

$Q$  = Energía Total almacenada por el sistema [ $W$ ].

$I_T$  = Radiación Solar en la superficie inclinada que capta el Destilador Solar [ $\frac{W}{m^2}$ ].

## 2.8 Rendimiento de los Destiladores Solares [12]

El Rendimiento de los Destiladores Solares está en función de la potencia de la Radiación Solar, de la temperatura ambiente así como en la forma y las características del destilador. Es por ello, que en regiones soleadas y cálidas ofrecerán mejores condiciones para la destilación solar que las regiones frías y húmedas. Los lugares donde se hará más necesario recurrir a la destilación solar por ser más secos serán también los que dispondrán de más luz solar.

En líneas generales se estiman que los porcentajes de aprovechamiento útil de la energía solar para destilar agua rondan entre el 25 y el 50% para los modelos descritos. (A excepción de los destiladores multietapas donde se presupone que el rendimiento podrá ser superior).

## 2.9 Requisitos de Calidad del agua [13]

### 2.9.1 Norma Chilena NCh1333.Of78

Esta norma fija un criterio de calidad del agua de riego de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos, según el uso determinado.

Estos criterios tienen como objetivo preservar la calidad de las aguas que se destinen a usos específicos, de la degradación producida por la contaminación con residuos de cualquier tipo u origen.

### 2.9.2 Requisitos Físico - Químico

#### a. Razón de adsorción de sodio (RAS)

Medida del efecto del sodio dada por la relación entre las concentraciones de iones sodio, calcio y magnesio, expresadas en miliequivalentes por litro, de acuerdo con la expresión siguiente:

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

Ec. 28

#### b. Sodio Porcentual

Relación entre la concentración del ion sodio y la suma de las concentraciones de los iones sodio, calcio, magnesio y potasio, expresadas en miliequivalentes por litro, de acuerdo con la expresión siguiente:

$$Na\% = \frac{Na}{Na + Ca + Mg + K} \cdot 100$$

Ec. 29



c. Conductividad específica y sólidos disueltos totales

En la Tabla 2.2 se da una clasificación de agua para riego de acuerdo a sus condiciones de salinidad, en base a las características de conductividad específica y concentración de sólidos disueltos totales.

Tabla 2.2. Clasificación del agua por medio de la conductividad específica y la concentración de sólidos disueltos totales.

Clasificación	Conductividad específica, $c$ , $\mu$ mhos/cm a 25°C	Sólidos disueltos totales, $s$ , mg/L a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

d. pH

El valor del pH es un parámetro de gran importancia para determinar la calidad del agua residual. El agua para riego debe tener un pH comprendido entre 5,5 y 9,0.

e. Elementos químicos

En la Tabla 2.3 se dan los valores máximos permisibles de algunos elementos químicos en agua de riego.

Tabla 2.3. Parámetros de agua de riego NCh 1333.

Elemento	Límite Máximo	Unidad
Aluminio	≤5.00	mg/L
Arsénico	≤ 0.10	mg/L
Bario	≤4.00	mg/L
Berilio	≤0.10	mg/L
Boro	≤0.75	mg/L
Cadmio	≤0.010	mg/L
Cianuro	≤0.20	mg/L
Cloruro	≤200	mg/L
Cobalto	≤0.050	mg/L
Cobre	≤0.20	mg/L
Cromo	≤0.10	mg/L
Fluoruro	≤1.00	mg/L
Hierro	≤5.00	mg/L
Litio	≤2.50	mg/L
Litio (cítricos)	≤0.075	mg/L
Manganeso	≤0.20	mg/L
Mercurio	≤0.001	mg/L
Molibdeno	≤0.010	mg/L
Níquel	≤0.20	mg/L
Plata	≤0.20	mg/L
Plomo	≤5.00	mg/L
Selenio	≤0.020	mg/L
Sodio Porcentual	≤35.00	%
Sulfato	≤250.00	mg/L
Vanadio	≤0.10	mg/L
Zinc	≤2.00	mg/L

f. Grasas y aceites [14]

Dentro de este grupo se encuentran aquellos compuestos que estén en estado libre, no sean solubles en el agua y tengan menos densidad que ésta, independientemente de su composición química y de su origen animal, vegetal o mineral. De estos últimos, destacan por su importancia el petróleo y sus derivados.

La presencia de derivados del petróleo en los colectores, pueden dar lugar a atmósferas explosivas y / o tóxicas, por vaporización.

Su determinación puede ser realizada gravimétricamente mediante extracción con disolventes o bien de forma instrumental mediante infrarrojos.

g. Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) [14]

La demanda bioquímica de oxígeno de un agua residual, se puede definir como la cantidad de oxígeno que precisan los microorganismos, para la eliminación de la materia orgánica biodegradable existente en el agua residual, a través de procesos bioquímicos, en las siguientes condiciones de reacción:

- Temperatura: 20 °C.
- Tiempo de incubación: 5 días. La utilización de cinco días no genera la oxidación del nitrógeno amoniacal presente en las aguas urbanas producido por la descomposición de la urea y material proteínico, que comienza en las condiciones del ensayo aproximadamente el séptimo día.

En la Tabla 2.4 se recoge como es la variación de la DBO para diferentes temperaturas y tiempo de incubación, dando a la DBO<sub>5</sub> el valor 1,0.

Tabla 2.4. Variación de la DBO con el tiempo y la temperatura.

Tiempo Días	Temperatura °C			
	5	10	15	20
2	0,21	0,30	0,40	0,54
4	0,38	0,52	0,68	0,88
5	0,45	0,60	0,79	1,00
6	0,51	0,68	0,88	1,10
8	0,62	0,80	1,01	1,23
10	0,70	0,90	1,10	1,32
12	0,77	0,97	1,17	1,37
14	0,82	1,02	1,21	1,40
16	0,85	1,06	1,24	1,43
18	0,90	1,08	1,27	1,44
20	0,92	1,10	1,28	1,45

- Oscuridad: para evitar que la presencia de algas microscópicas produzcan oxígeno por fotosíntesis y adulteren el resultados.
- Dilución de la muestra a la concentración adecuada.  
La solubilidad del oxígeno a 20°C es de 9,17 ppm.
- Valor de pH entre 7 y 7,5.
- Presencia de nutrientes y oligoelementos.

La DBO<sub>5</sub> de un agua residual urbana está comprendida como valor medio entre 300 y 400 ppm, mientras que en los cauces no contaminados suele encontrarse entre 5 y 10 ppm.

### **2.9.3 Requisitos Bacteriológicos**

#### **h. Coliformes Fecales**

El contenido de coliformes fecales en agua de riego destinadas al cultivo de verduras y frutas que se desarrollen a ras de suelo y que habitualmente se consume en estado crudo, debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales / 100 ml.

#### 2.9.4 Variables de Análisis Químico realizado en Laboratorio Enaex

- Pentrita (PETN) [15]

Definición Química, Tetranitrato de pentaeritrita de fórmula  $C(CH_2ONO_2)_4$ . Es un explosivo del tipo rompedor. Tiene aspecto de cristales blancos ligeramente amarillentos.

- Ácido Nítrico [15]

El ácido nítrico es un líquido cuyo color varía de incoloro a amarillo pálido, de olor sofocante. Se utiliza en la síntesis de otros productos químicos como colorantes, fertilizantes, fibras, plásticos y explosivos, entre otros. Es soluble en agua, generándose calor. No es combustible, pero puede acelerar el quemado de materiales combustibles y causar ignición. Es corrosivo de metales y tejidos. Si además, contiene  $NO_2$  disuelto, entonces se conoce como ácido nítrico fumante y su color es café-rojizo.

Actualmente, se obtiene por oxidación catalítica de amoníaco.

- Ácido Sulfúrico [15]

Es un líquido incoloro a amarillento, denso y oleoso. Posee un olor picante y penetrante. Con un  $pH < 1$ . Con una densidad de 1,84 g/ml a 20 °C. Es completamente soluble en agua. Soluble en Alcohol Etílico. Es altamente corrosivo. No es inflamable, ni combustible, pero diluido y al contacto con metales produce hidrógeno el cual es altamente inflamable y explosivo. Puede encender materias combustibles finamente divididas.

- Nitrato de Amonio ( $NH_4NO_3$ ) [15]

Sólido blanco con apariencia de pequeños perdigones (prills), con un  $pH$  de 4,5 a 6 (en solución acuosa). Posee una elevada solubilidad en agua, también soluble en metanol y acetona. Puede explosionar sobre 260 °C si está altamente confinado.

### 2.9.5 Determinación de Nitroglicerina [16]

La nitroglicerina es un líquido oleoso e incoloro y pesado que es altamente explosivo y es tan inestable que la menor sacudida, impacto o fricción puede provocar la combustión espontánea. La nitroglicerina puede provocar una explosión tres veces más potente que el de la misma cantidad de pólvora. La fórmula molecular de la nitroglicerina es  $C_3H_5N_3O_9$  y su nombre IUPAC es [1, 2, 3 – trinitroxypropano]. La nitroglicerina se utiliza como un ingrediente activo en la fabricación de explosivos. Para determinar si hay o no hay nitroglicerina en las aguas obtenidas se realiza un tipo de análisis por medio de Espectro IR.

#### Espectrometría Infrarroja

Designa normalmente el estudio de la absorción de la radiación de longitudes de onda comprendidas entre 1 y 1000 micras. Este intervalo se acostumbra a dividir en tres regiones: el “infrarrojo próximo”, que es la región comprendida entre 0,8 y 2,5  $\mu$  ( $12500$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$ ); el “infrarrojo medio”, que está entre 2,5 y 50  $\mu$  ( $4000$  a  $200\text{ cm}^{-1}$ ); y el “infrarrojo lejano”, que corresponde a la región del espectro de 50 a 1000  $\mu$  ( $200$  a  $10\text{ cm}^{-1}$ ).

Los espectros de absorción en el infrarrojo se originan en las transiciones entre los niveles vibracionales y rotacionales de moléculas que se encuentran en su estado electrónico fundamental.

## 2.10 Toma de muestras [14]

Para la realización de la analítica de un agua destilada, previamente debe tomarse la muestra correspondiente, que debe cumplir con las siguientes características básicas:

- Ser representativa.
- No modificar las características del agua.
- Realizar la preservación adecuada al parámetro a analizar, sobre todo de aquello que pueda variar su composición o estado con el paso del tiempo.

En la tabla 2.5 se recogen los métodos de preservación de las muestras para una serie de contaminantes.

Tabla 2.5. Preservación de muestras de agua residual.

Parámetro	Medio
Acidez / Alcalinidad	Refrigeración a 4°C
DBO <sub>5</sub>	Refrigeración a 4°C
DQO	Acidulación con sulfúrico
Color	Refrigeración a 4 °C
Cianuro	Sosa a pH > 10
Metales pesados	Acidulación con nítrico
Hg	Refrigeración a 4 °C
Aceites y grasas	Acidulación con sulfúrico y refrigeración a 4 °C
COT	Acidulación con sulfúrico
Sulfuros	Acetato de Cinc
Sólidos	No se precisa

- Mínimo tiempo entre el muestreo, su recepción y análisis en el laboratorio.

De la buena práctica en la toma de la muestra, va a depender la representabilidad del análisis posterior.

En número de muestras a realizar será variable en cada caso, pero siempre en número suficiente que garantice la composición del agua a tratar.



## **CAPÍTULO 3. DISEÑO DESTILADOR SOLAR**

### **3.1 Alternativas de Selección**

Se realiza una descripción de las variables utilizadas para la selección del tipo de prototipo a diseñar y posteriormente a construir.

#### **3.1.1 Variables utilizadas para la selección**

a. **Facilidad de Trabajo y Operación**

Esta variable evalúa en función de la complejidad de operación que tendrá el prototipo al momento de utilizarlo.

b. **Mantenimiento**

Esta variable se refiere al costo que esto demanda sobre el prototipo, lo que repercute tanto en el tiempo de vida, como en el costo del equipo y eficiencia del mismo, un equipo que requiere mantenimiento mínimo en etapas y en costos, proveerá una mayor comodidad al operador a cargo y menos gastos al realizar dicha mantención.

c. **Disponibilidad de Materiales**

Se refiere a la facilidad de encontrar los materiales necesarios para la construcción de los prototipos.

d. **Funcionalidad**

Es el nivel de complejidad que presenta el modelo experimental al momento del montaje además se toma en cuenta la precisión que presenta dicho equipo.

e. Costo de Fabricación

Se refiere el valor monetario de la construcción de los destiladores solares.

f. Costo de Operación

Se refiere al costo que conlleva realizar la operación del equipo.

g. Transporte

Se refiere a la complejidad de transporte de los prototipos una vez realizados además de su valor económico.

h. Complejidad

Dificultad en la construcción de los prototipos planteados.

i. Seguridad de uso

Al instante de utilizar los prototipos para su destilación, ver posibles dificultades en su seguridad.

### **3.2 Matriz de Selección**

Una vez analizadas cada una de las variables descritas y tomando en cuenta los diferentes tipos de modelos de Destilador Solar se generará una matriz de selección (Tabla 3.1) que permitirá poder seleccionar la mejor alternativa de equipo a diseñar.

Tabla 3.1. Matriz de comparación de alternativas de selección.

Aspectos	Calificación	DS1	DS2	DS3	DS4	DS5
<b>Técnicas</b>						
Facilidad de Trabajo	<b>10</b>	8	5	8	5	5
Facilidad de Operación	<b>15</b>	14	10	13	10	9
Mantenimiento	<b>5</b>	4	4	4	4	3
Disponibilidad de los materiales	<b>12</b>	11	8	11	8	7
Funcionalidad	<b>8</b>	5	5	6	5	5
<b>Económicas</b>						
Costo de Operación	<b>8</b>	5	5	7	9	6
Costo de Fabricación	<b>12</b>	10	9	11	7	5
Transporte	<b>10</b>	9	8	9	4	6
<b>Complementarias</b>						
Complejidad	<b>10</b>	6	8	7	5	8
Seguridad de uso	<b>10</b>	9	8	10	7	7
<b>Total</b>	<b>100</b>	81	70	<b>86</b>	64	61

Donde:

DS1: Destilador Solar de una sola vertiente.

DS2: Destilador Solar de dos vertientes.

DS3: Destilador Solar tipo invernadero.

DS4: Destilador Solar de cascada.

DS5: Destilador Solar esférico de barredera.

Al realizar la matriz para seleccionar el tipo de Destilador Solar que se va a utilizar, se hace un análisis de las alternativas de selección determinando que la opción que tiene mayor puntuación total según los criterios establecidos es el Destilador Solar tipo Invernadero.

### 3.3 Diseño de prototipo de destilador solar

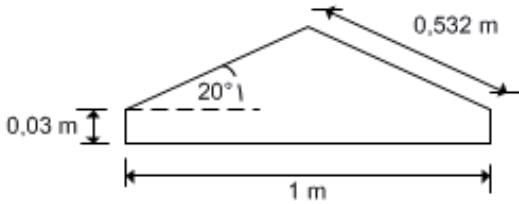
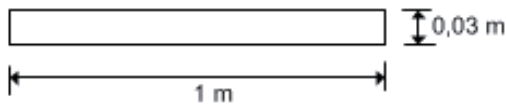
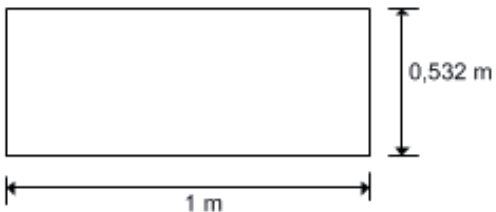
A continuación se realiza una breve descripción de las partes que constituirán el prototipo a diseñar, además de los posibles materiales para ello.

a. Cubierta

El material utilizado es Policarbonato compacto transparente con un espesor de 3 mm.

Las partes de la cubierta tienen las siguientes medidas (Tabla 3.2):

Tabla 3.2. Partes de la cubierta.

Partes y Medidas	Cantidad
	2 partes
	2 partes
	2 partes

Se utilizará Policarbonato, debido a que sus propiedades son significativas para el proyecto que se va a realizar, las cuales son: Alto Índice de Refracción, Alta resistencia a la intemperie, posee una difusión casi nula y índice de transmisión lumínica está comprendida en un 90% +-1%, por lo que deja atravesar casi todos los rayos UV.

b. Bandeja

Las bandejas tendrán la forma geométrica cuadrangular (Figura 3.1), cuyas medidas son de 1 m por lado, con una profundidad de 0,05 m. Con una área de calentamiento de 2,2 m<sup>2</sup>.

Para la construcción de las bandejas se realizará con aluminio liso de 1 mm de espesor.

La bandeja contenedora del RIL a destilar tendrá las siguientes medidas.

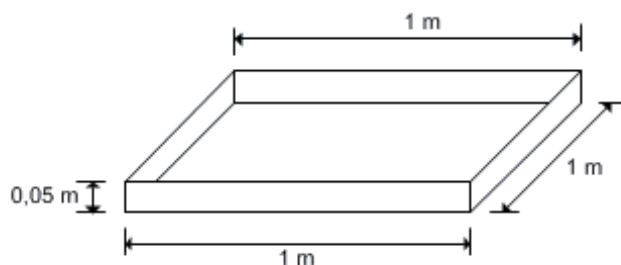


Figura 3.1. Diagrama de bandeja de Evaporación.

c. Canal Recolector

Los canales recolectores de agua destilada son construidos con Perfil Canal Galvanizado (Metalcon), son 4 canales de 1 metro de largo cada uno, ancho: 39 mm, lateral: 20 mm y con un espesor de 0,5 mm (Figura 3.2). Esta pieza tendrá un orificio en uno de los extremos para conectarles una manguera y así depositar el agua destilada en unos recipientes destinados a almacenar el agua destilada obtenida en el día.

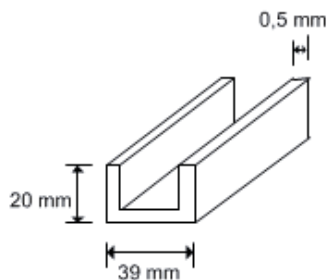


Figura 3.2. Canal Recolector.

d. Silicona Universal

Pegamento utilizado para la unión del policarbonato con la estructura metálica. Cantidad utilizada de 3 unidades de 300 ml.

e. Manguera Reforzada

Es de 1/4", con un largo de 1 metro para cada prototipo, con la finalidad de transportar el agua destilada a los Botellones PET. Cantidad total utilizada de 3 metros.

f. Electrodo

Utilizado para la unión de la estructura metálica y de la bandeja.

g. Estructura Metálica

Se utilizará Perfil tubular cuadrado (15x15x1mm), se necesitan alrededor de 10 metros (Tabla 3.3). Usada como base para la cubierta del destilador solar.

Tabla 3.3. Medidas de cada perfil necesitado en cada prototipo.

Cantidad de Perfil	Medida (m)
2	1,19
4	0,045
4	0,647
4	1,16
<b>Total</b>	<b>9,788 m</b>

En la Figura 3.3 se muestra un diagrama de la estructura metálica.

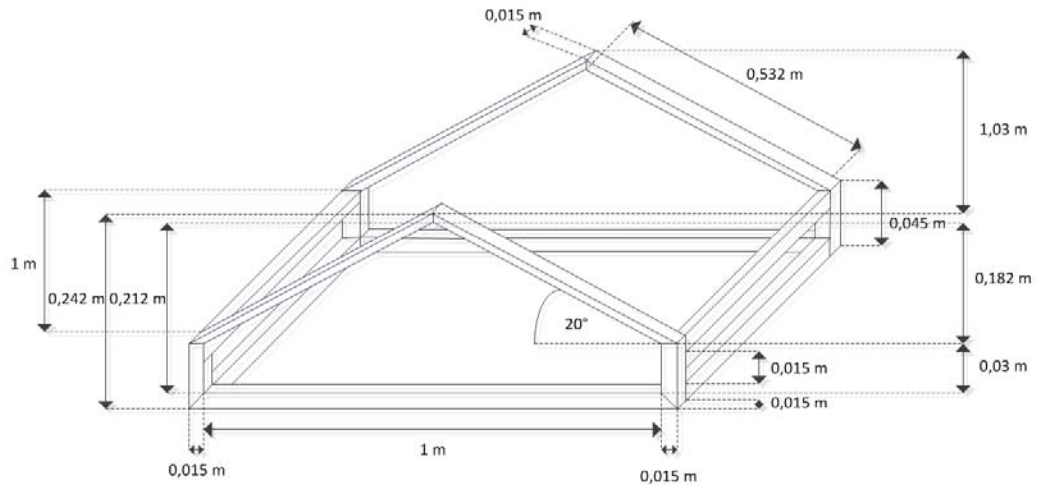


Figura 3.3. Estructura Metálica.

Para el dimensionamiento físico del modelo experimental se deben establecer parámetros importantes como la estimación de la radiación solar y desarrollar un análisis térmico que comprende el cálculo de las pérdidas de calor tanto por conducción, radiación y convección, así como el cálculo del calor ganado por el dispositivo.

### 3.4 Estimación de la Radiación solar

Se utilizará el modelo de Duffie, J.A., Beckman W.A [17]. Para el cálculo de la Radiación Solar que incide en la ciudad de Calama.

Las constantes (Tabla 3.4) utilizadas para la estimación de la intensidad de la radiación solar son las siguientes:

Tabla 3.4. Constantes.

Constante	Valor
Base de calculo	7 horas en 1 día
Latitud de Calama [18]	22,5
Ángulo de inclinación de la cubierta [19]	20°

### 3.4.1 Declinación solar

Para el cálculo de la Declinación solar  $\delta$  se utiliza la Ecuación 1, Capítulo 2:

$$\delta = 23,45 \cdot \text{sen} \left[ \frac{360 \cdot (284 + n)}{365} \right]$$

Para el valor de  $n$  se tomará el día promedio de cada mes, como se encuentra considerado en la Tabla 3.5:

Tabla 3.5. Declinación Solar.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día	16	14	16	15	16	15	16	16	15	16	15	16
$n$	16	45	75	105	136	166	197	228	258	289	319	350
$\delta$	-21,02	-13,47	-2,22	9,61	19,17	23,34	21,24	13,22	1,92	-10,25	-19,34	-23,40

### 3.4.2 Ángulo horario

Se calcula por medio de la Ecuación 2, Capítulo 2:

$$ws = \text{acos}[-\tan(\delta) \cdot \tan(\emptyset)]$$

Tabla 3.6. Angulo del ocaso en Calama.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$\delta$	-21,02	-13,47	-2,22	9,61	19,17	23,34	21,24	13,22	1,92	-10,25	-19,34	-23,40
$ws$	80,70	84,17	88,96	93,91	98,17	100,19	99,16	95,47	90,67	85,57	81,50	79,53

### 3.4.3 Número de horas de sol teóricas (N)

Se puede calcular a través de la Ecuación 3, Capítulo 2.

$$N = \frac{2}{15} \cdot ws$$



Tabla 3.7. Número de Horas teóricas.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>ws</i>	80,70	84,17	88,96	93,91	98,17	100,19	99,16	95,47	90,67	85,57	81,50	79,53
<i>N (h)</i>	10,76	11,22	11,86	12,52	13,09	13,36	13,22	12,73	12,09	11,41	10,87	10,60

### 3.4.4 Constante Solar [7]

Los valores impuestos por la NASA (1971) y por la ASTM, es:

$$G_{SC} = 1353 \frac{W}{m^2}$$

### 3.4.5 Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día

Se puede calcular con la Ecuación 4, Capítulo 2:

$$R_b = \frac{\sin(\delta) \cdot \sin(\phi - \theta) \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\phi - \theta) \cdot (\sin(15 \cdot t_1) - \sin(15 \cdot t_2))}{\sin(\delta) \cdot \sin(\phi) \cdot (t_2 - t_1) + \frac{12}{\pi} \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\phi) \cdot (\sin(15 \cdot t_1) - \sin(15 \cdot t_2))}$$

Tabla 3.8. Factor de cambio de ángulo de incidencia en el transcurso del día.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$\phi$	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5	22,5
$\theta$	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°	20°
$\delta$	-21,02	-13,47	-2,22	9,61	19,17	23,34	21,24	13,22	1,92	-10,25	-19,34	-23,40
$t_1$	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
$t_2$	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
$R_b$	1,30	1,21	1,10	1,01	0,94	0,91	0,93	0,98	1,07	1,17	1,28	1,34

### 3.4.6 Factor de corrección de la excentricidad de la órbita terrestre ( $\epsilon_0$ )

Se utilizará la Ecuación 6, Capítulo 2.

$$\epsilon_0 = \left(\frac{r_o}{r}\right)^2 = 1 + 0,033 \cdot \cos\left(2 \cdot \pi \cdot \frac{d_n}{365}\right)$$

Tabla 3.9. Corrección de excentricidad.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$n$	16	45	75	105	136	166	197	228	258	289	319	350
$\epsilon_0$	1,033	1,033	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032

### 3.4.7 Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal

Para obtener la radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal se requiere de la Ecuación 7, Capítulo 2:

$$I_0 = 1353 \cdot \epsilon_0 \cdot \left[ \sin \delta \cdot \sin 22,5 \cdot (16 - 9) + \frac{12}{\pi} \cdot \cos \delta \cdot \cos 22,5 \cdot (\sin 15 \cdot 9 - \sin 15 \cdot 16) \right]$$

Tabla 3.10. Radiación solar extraterrestre horaria en superficie horizontal.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$\epsilon_0$	1,033	1,033	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032
$\delta$	-21,02	-13,47	-2,22	9,61	19,17	23,34	21,24	13,22	1,92	-10,25	-19,34	-23,40
$I_0$	5885,6	6661,2	7598,2	8267,1	8551,0	8600,5	8581,1	8401,5	7870,1	6956,5	6067,1	5618,9

### 3.4.8 Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal (I)

Se obtiene de la Ecuación 8, Capítulo 2, utilizando las constantes de Angstrom (Tabla 3.11) y las Medias mensuales de horas de sol diarias (Tabla 3.12).

Tabla 3.11. Constantes de Angstrom para Chile. [20]

Ciudad	<i>a</i>	<i>b</i>
Arica	0,271	0,436
Calama	0,236	0,520
Antofagasta	0,333	0,307
Isla de Pascua	0,289	0,409
Copiapó	0,070	0,774
Vallenar	0,160	0,562
Pudahuel	0,168	0,597
Curicó	0,192	0,489
Concepción	0,119	0,614
Temuco	0,166	0,614
Pto. Montt	0,174	0,586
Coyhaique	0,221	0,517
Pta. Arenas	0,102	0,786

Por lo tanto las constantes de Angstrom para Calama son:

$$a = 0,236$$

$$b = 0,520$$

Tabla 3.12. Medias mensuales de horas de sol diarias extraídas del WRDC ruso (en hr/día). [20]

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>nr</i>	11,4	10,8	10,3	10,4	9,9	9,9	10,0	10,2	10,7	11,5	12,1	11,8

$$I = I_0 \cdot \left[ 0,236 + 0,520 \cdot \left( \frac{nr}{N} \right) \right]$$

Tabla 3.13. Irradiación diaria solar promedio terrestre sobre superficie horizontal.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>I</i> <sub>0</sub>	5885,6	6661,2	7598,2	8267,1	8551,0	8600,5	8581,1	8401,5	7870,1	6956,5	6067,1	5618,9
<i>nr</i>	11,4	10,8	10,3	10,4	9,9	9,9	10,0	10,2	10,7	11,5	12,1	11,8
<i>I</i>	4631,5	4905,3	5224,3	5521,8	5381,2	5344,1	5400,2	5483,4	5479,3	5287,7	4944,6	4577,3

### 3.4.9 Irradiación solar difusa horaria

Para determinar *I<sub>d</sub>* se utiliza el Índice de claridad horario *K<sub>T</sub>'* (Ecuación 5, Capítulo 2):

Tabla 3.14. Índice de claridad horario.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$I_0$	5885,6	6661,2	7598,2	8267,1	8551,0	8600,5	8581,1	8401,5	7870,1	6956,5	6067,1	5618,9
$I$	4631,5	4905,3	5224,3	5521,8	5381,2	5344,1	5400,2	5483,4	5479,3	5287,7	4944,6	4577,3
$K'_T$	0,79	0,74	0,69	0,67	0,63	0,62	0,63	0,65	0,70	0,76	0,81	0,81

Para determinar la radiación difusa horaria, se debe ver la Tabla 2.1 (Capítulo 2).

Si  $K'_T$  se encuentra en el intervalo de  $0,35 \leq K'_T \leq 0,75$ , se ocupa la siguiente ecuación:

$$\frac{I_d}{I} = 1,577 - 1,84 \cdot K'_T$$

$$I_d = 1,577 \cdot I - 1,84 \cdot K'_T \cdot I$$

Si  $K'_T$  se encuentra en el intervalo de  $K'_T > 0,75$ , se ocupa la siguiente ecuación.

$$\frac{I_d}{I} = 0,177$$

$$I_d = 0,177 \cdot I$$

Tabla 3.15. Radiación difusa horaria para un año en Calama.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
$I$	4631,5	4905,3	5224,3	5521,8	5381,2	5344,1	5400,2	5483,4	5479,3	5287,7	4944,6	4577,3
$K'_T$	0,79	0,74	0,69	0,67	0,63	0,62	0,63	0,65	0,70	0,76	0,81	0,81
$I_d$	819,8	1089,1	1629,3	1921,7	2255,1	2317,6	2263,0	2062,2	1621,6	935,9	875,2	810,2

### 3.4.10 Radiación solar directa horaria $I_b$

Se obtiene a partir de la Ecuación 9, Capítulo 2:

$$I_b = I - I_d$$

Tabla 3.16. Radiación directa horaria.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>I</i>	4631,5	4905,3	5224,3	5521,8	5381,2	5344,1	5400,2	5483,4	5479,3	5287,7	4944,6	4577,3
<i>I<sub>d</sub></i>	819,8	1089,1	1629,3	1921,7	2255,1	2317,6	2263,0	2062,2	1621,6	935,9	875,2	810,2
<i>I<sub>b</sub></i>	3811,7	3816,2	3595,1	3600,1	3126,1	3026,4	3137,1	3421,2	3857,8	4351,8	4069,4	3767,1

### 3.4.11 Radiación solar en la superficie inclinada que capta el destilador solar

Puede calcularse mediante la Ecuación 10, Capítulo 2, donde el Albedo o coeficiente de reflexión del suelo es 0,2 [7].

$$I_T = I_b \cdot R_b + I_d \cdot \left( \frac{1 + \cos 20^\circ}{2} \right) + I \cdot \left( \frac{1 - \cos 20^\circ}{2} \right) \cdot 0,2$$

Tabla 3.17. Radiación solar en la superficie inclinada.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>I</i>	4631,5	4905,3	5224,3	5521,8	5381,2	5344,1	5400,2	5483,4	5479,3	5287,7	4944,6	4577,3
<i>I<sub>d</sub></i>	819,8	1089,1	1629,3	1921,7	2255,1	2317,6	2263,0	2062,2	1621,6	935,9	875,2	810,2
<i>I<sub>b</sub></i>	3811,7	3816,2	3595,1	3600,1	3126,1	3026,4	3137,1	3421,2	3857,8	4351,8	4069,4	3767,1
<i>R<sub>b</sub></i>	1,30	1,21	1,10	1,01	0,94	0,91	0,93	0,98	1,07	1,17	1,28	1,34
<i>I<sub>T</sub></i>	5788,3	5697,4	5566,5	5527,1	5165,2	5047,5	5139,9	5395,6	5718,7	6050,3	6085,5	5853,0

Resumen de valores de radiación solar en superficie inclinada que capta el destilador solar para el día medio  $n$  de cada mes de un año.

Tabla 3.18. Resumen de valores de radiación solar en la ciudad de Calama durante el año.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
<b>Día</b>	16	14	16	15	16	15	16	16	15	16	15	16
<b><math>n</math></b>	16	45	75	105	136	166	197	228	258	289	319	350
<b><math>\delta_n</math></b>	-21,02	-13,47	-2,22	9,61	19,17	23,34	21,24	13,22	1,92	-10,25	-19,34	-23,40
<b><math>ws_n</math></b>	80,70	84,17	88,96	93,91	98,17	100,19	99,16	95,47	90,67	85,57	81,50	79,53
<b><math>N_n</math></b>	10,76	11,22	11,86	12,52	13,09	13,36	13,22	12,73	12,09	11,41	10,87	10,60
<b><math>R_{bn}</math></b>	1,30	1,21	1,10	1,01	0,94	0,91	0,93	0,98	1,07	1,17	1,28	1,34
<b><math>\epsilon_0</math></b>	1,033	1,033	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032	1,032
<b><math>I_{0n}</math></b>	5885,6	6661,2	7598,2	8267,1	8551,0	8600,5	8581,1	8401,5	7870,1	6956,5	6067,1	5618,9
<b><math>n_r</math></b>	11,4	10,8	10,3	10,4	9,9	9,9	10,0	10,2	10,7	11,5	12,1	11,8
<b><math>I_n</math></b>	4631,5	4905,3	5224,3	5521,8	5381,2	5344,1	5400,2	5483,4	5479,3	5287,7	4944,6	4577,3
<b><math>K_{Tn}</math></b>	0,79	0,74	0,69	0,67	0,63	0,62	0,63	0,65	0,70	0,76	0,81	0,81
<b><math>I_{dn}</math></b>	819,8	1089,1	1629,3	1921,7	2255,1	2317,6	2263,0	2062,2	1621,6	935,9	875,2	810,2
<b><math>I_{bn}</math></b>	3811,7	3816,2	3595,1	3600,1	3126,1	3026,4	3137,1	3421,2	3857,8	4351,8	4069,4	3767,1
<b><math>I_{Tn}</math></b>	5788,3	5697,4	5566,5	5527,1	5165,2	5047,5	5139,9	5395,6	5718,7	6050,3	6085,5	5853,0

El valor de radiación solar en la superficie inclinada que se utilizará para los siguientes cálculos será el menor valor del año. Por lo que en la tabla anterior las variables calculadas para cada día medio de cada mes se encuentra el menor valor de radiación solar, el cual es  $5047,5 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$ .

### 3.5 Balance de Energía en el Sistema

Para realizar los cálculos de Balance de Energía (Figura 3.4) se debe tener en cuenta los datos de la Tabla 3.19:

Tabla 3.19. Datos necesarios para la obtención del balance de energía del sistema.

Constante	Descripción	Valor	Unidad
$T_w$	Temperatura media del agua	55	°C
$T_a$	Temperatura Ambiente	22	°C
$x_a$	Espesor del aluminio	0,001	M
$k_a$	Coef. de Conductividad Térmica para el aluminio [21]	209,3	W/m <sup>°K</sup>
$v$	Velocidad del viento promedio [22]	3,89	m/s
$\varepsilon_{PC}$	Emitancia del Policarbonato [23]	0,92	
$\varepsilon_T$	Emitancia del aluminio [24]	0,03	
$\sigma$	Constante de Stefan Boltzmann [25]	5,6697x10 <sup>-8</sup>	W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup>
$T_{PC}$	Temperatura del Policarbonato	35,5	°C
$T_{SC}$	Temperatura de Superficie Colectora	27	°C
$\varepsilon_w$	Emitancia del agua [26]	0,9	
$x_m$	Espesor madera	0,045	M
$k_m$	Coef. de Conductividad Térmica para la madera [21]	0,13	W/m <sup>°K</sup>
$\lambda$	Calor Latente de Evaporación a 55°C [27]	2370,8	KJ/Kg
$P_T$	Presión Total	101,325	Kpa
$E_{PC}$	Espesor del Policarbonato	0,003	M
$\rho_{PC}$	Densidad del Policarbonato [28]	1200	kg/m <sup>3</sup>
$V$	Volumen del RIL a destilar	20	L
$Cp_{PC}$	Calor Especifico de Policarbonato [29]	1200	J/kg·°K
$Cp_w$	Calor Especifico del agua [30]	4186	J/Kg·K
$\rho_w$	Densidad del agua [31]	985,65	Kg/m <sup>3</sup>

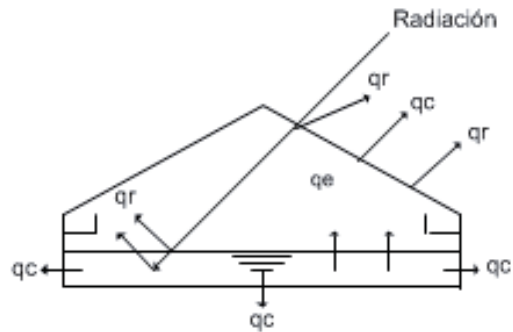


Figura 3.4. Balance de Calor en el Destilador Solar.

### 3.5.1 Cálculo de calor perdido por conducción

Para el cálculo del calor perdido por conducción a través de las paredes del equipo por unidad de área se determina mediante la Ecuación 11, Capítulo 2:

$$q_c = Kb \cdot (T_w - T_a) = \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Para realizar este cálculo es necesario determinar la resistencia térmica equivalente de las paredes aislantes con la siguiente ecuación:

$$R_{eq} = \frac{x_a}{K_a} + \frac{x_m}{K_m}$$

Donde:

$R_{eq}$ : Resistencia equivalente de los materiales.

$x_a$ : Espesor de aluminio.

$K_a$ : Coeficientes de conductividad calorífica del aluminio.

$x_m$ : Espesor de madera.

$K_m$ : Coeficientes de conductividad calorífica de la madera.

$$R_{eq} = \frac{0,001}{209,3} + \frac{0,045}{0,13}$$



$$R_{eq} = 0,35 \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right]$$

Calculando el Coeficiente de Calor Convectivo a partir de la ecuación:

$$hct = 2,8 + 3 \cdot v$$

Donde:

$hct$ : Coeficiente de calor convectivo  $W/m^2 \cdot K$

$v$ : Velocidad del viento  $14 \text{ km/h}$  ( $3,89 \text{ m/s}$ ).

$$hct = 2,8 + 3 \cdot 3,89 \frac{m}{s}$$

$$hct = 14,47 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Con ayuda del coeficiente de transferencia de calor convectivo se determina la resistencia térmica equivalente del aislante  $K_b$ :

$$K_b = \frac{1}{0,35 \left[ \frac{m^2 \cdot K}{W} \right] + \frac{1}{14,47 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]}}$$

$$K_b = 2,41 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Sustituyendo valores para calcular el calor perdido por conducción (Ecuación 11, Capítulo 2) se tiene:

$$q_c = 2,41 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \cdot ((55 + 273,15)K - (22 + 273,15)K)$$

$$q_c = 79,5 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.5.2 Cálculo del calor Perdido por Radiación de la cubierta

La temperatura de rocío  $T_{dp}$  se calcula de la siguiente manera:

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot (110 + T_a) - 110$$

Donde:

$H$ : Humedad relativa del ambiente 21,4%. [32]

$T_a$ : Temperatura Ambiente [°C].

Sustituyendo valores en la ecuación anterior:

$$T_{dp} = \sqrt[8]{\frac{21,4}{100}} \cdot (110 + 22^\circ\text{C}) - 110$$

$$T_{dp} = -1,14^\circ\text{C} + 273,15$$

$$T_{dp} = 272 \text{ [K]}$$

Para la temperatura del cielo se la calcula mediante la siguiente ecuación definida dentro de los parámetros de cálculo a utilizar:

$$T_s = T_a \cdot \left[ 0,8 + \frac{T_{dp} - 273}{250} \right]^{0,25}$$

Donde:

$T_{dp}$ : Temperatura de rocío [°K].

$T_a$ : Temperatura ambiente 22°C.

$$T_s = 295,15 \text{ [K]} \cdot \left[ 0,8 + \frac{272 \text{ [K]} - 273}{250} \right]^{0,25}$$

$$T_s = 278,8 \text{ [K]}$$

El calor que la cubierta radia hacia el ambiente, se calcula por medio de la Ecuación 12, Capítulo 2:

$$q_{rPC} = 0,92 \cdot 5,6697 \times 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \cdot (308,65 [K]^4 - 278,79 [K]^4)$$

$$q_{rPC} = 158,3 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

### 3.5.3 Calor perdido por convección por policarbonato

Se utiliza la Ecuación 13, Capítulo 2:

$$q_{cPC} = h_{cPC} \cdot (T_{PC} - T_a)$$

Teniendo en cuenta esta igualdad:

$$h_{cPC} = h_{ct} = 14,47 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$q_{cPC} = 14,47 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \cdot (308,65[K] - 295,15[K])$$

$$q_{cPC} = 195,35 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.5.4 Calor perdido por radiación del agua

Utilizando la Ecuación 14, Capítulo 2:

$$q_{rw} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_{PC}} - 1} \cdot (T_w^4 - T_{PC}^4)$$

$$q_{rw} = \frac{5,6697 \cdot 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right]}{\frac{1}{0,9} + \frac{1}{0,92} - 1} \cdot (328,15[K]^4 - 308,65[K]^4)$$

$$q_{rw} = 119,3 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.5.5 Calor perdido por convección del agua

Para calcular  $h_T$  se calcularán los siguientes parámetros de la Ecuación 15, Capítulo 2:

$$h_c = 0,884 \cdot \left( T_w - T_{PC} + \frac{P_w - P_{wPC}}{268,9 \cdot 10^3 - P_w} \cdot (T_w + 273) \right)^{\frac{1}{3}}$$

Para el cálculo del calor perdido por convección natural debemos tomar en cuenta la tabla de presiones y temperaturas [27] para determinar el coeficiente de transferencia de calor por convección natural.

De la tabla Presión de Vapor de agua Líquida: [27]

Presión de vapor de agua a temperatura del agua (55°C).

55°C → 118,23 mmHg

$$P_w = 118,23 \text{ mmHg} \cdot \frac{1 \text{ Pa}}{0,0075 \text{ mmHg}} = 15764 \text{ Pa}$$

Presión de vapor de agua a temperatura de Policarbonato (35,5°C).

35 °C	42,221 mmHg
35,5°C	$P_{wPC}$
36 °C	44,613 mmHg

$$\frac{36 - 35}{36 - 35,5} = \frac{44,613 - 42,221}{44,613 - P_{wPC}}$$

$$P_{wPC} = 43,417 \text{ mmHg}$$

$$P_{wPC} = 43,417 \text{ mmHg} \cdot \frac{1 \text{ Pa}}{0,0075 \text{ mmHg}} = 5788,93 \text{ Pa}$$

Sustituyendo la Ecuación 15, Capítulo 2 con los valores:

$$h_c = 0,884 \cdot \left( 55 - 35,5 + \frac{15764 - 5788,93}{268,9 \cdot 10^3 - 15764} \cdot (55 + 273) \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$h_c = 2,82 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Luego se calcula el coeficiente de radiación efectivo.

$$hr = \frac{\varepsilon_t \cdot \sigma \cdot (T_{sc}^4 - T_w^4)}{T_{sc} - T_w}$$

Donde:

$hr$ : Coeficiente de radiación efectivo.

$\varepsilon_t$ : Emisividad del aluminio.

$T_{sc}$ : Temperatura de superficie del colector.

$T_w$ : Temperatura del agua.

$\sigma$ : Constante de Boltzmann.

$$hr = \frac{0,03 \cdot 5,6697 \times 10^{-8} \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K^4} \right] \cdot (300,15[K]^4 - 328,15[K]^4)}{300,15 [K] - 328,15 [K]}$$

$$hr = 0,21 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

Luego se puede calcular el Coeficiente Total de Transferencia de Calor por Convección del agua.

Si  $h_r < h_c$ , se puede considerar la siguiente forma de cálculo:

$$h_T = h_c + \frac{3}{4} \cdot h_r$$

$$h_T = 2,82 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] + \frac{3}{4} \cdot 0,21 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

$$h_T = 2,98 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right]$$

La cantidad de calor perdido por convección del agua según la Ecuación 16, Capítulo 2:

$$q_{cw} = h_T \cdot (T_w - T_{PC})$$

$$q_{cw} = 2,98 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \cdot (328,15[K] - 308,15[K])$$

$$q_{cw} = 58,06 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

### 3.5.6 Cálculo del calor perdido por evaporación

A través de la Ecuación 17, Capítulo 2.

$$q_e = h_e \cdot (P_w - P_{PC})$$

El Coeficiente de transferencia de calor de evaporación se puede relacionar con el coeficiente total de transferencia de calor por convección del agua con la siguiente ecuación:

$$h_e = 0,013 \cdot h_T$$

Sustituyendo:

$$q_e = 0,013 \cdot 2,98 \left[ \frac{W}{m^2 \cdot K} \right] \cdot (15764 Pa - 5688,9 Pa)$$

$$q_e = 386,1 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

### 3.5.7 Calculo de calor almacenado por la cubierta

Tomando el valor de la energía solar total calculada anteriormente:

$$I_T = 5.047,5 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

Esta radiación es la que llega al policarbonato (PC), la cual sufre reflexión, absorción y transmitancia con el factor  $\alpha g$ , se tiene: [34]

$$\alpha \cdot g \cdot I_T = 0,02 \cdot 5.047,5 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] = 100,95 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

Luego se reemplaza en la Ecuación 18, Capítulo 2:

$$q'_c = 119,3 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] + 58,06 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] + 386,1 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] + 100,95 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

$$- \left( 158,3 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] + 195,35 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \right)$$

$$q'_c = 310,76 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right]$$

$$q'_c = 310,76 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \cdot \left[ \frac{1 día}{7h} \right]$$

$$q'_c = 44,4 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.5.8 Cálculo del calor absorbido por el agua

Se calcula mediante la Ecuación 19, Capítulo 2, tomando el factor de 7 horas al día para hacer las unidades consistentes se tiene:

$$q_{rw}: 119,3 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \cdot \left[ \frac{1día}{7h} \right] = 17,04 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$q_{cw}: 58,06 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \cdot \left[ \frac{1día}{7h} \right] = 8,29 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$q_e: 386,1 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \cdot \left[ \frac{1día}{7h} \right] = 55,16 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$I_T: 5047,5 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \cdot \left[ \frac{1día}{7h} \right] = 721,07 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$q'_a = 721,07 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \cdot (1 - 0,02) \cdot (1 - 0,3) \\ - \left( 17,04 \left[ \frac{W}{m^2} \right] + 8,29 \left[ \frac{W}{m^2} \right] + 55,16 \left[ \frac{W}{m^2} \right] + 79,5 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \right)$$

$$q'_a = 334,7 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

### 3.5.9 Cálculo de calor absorbido por el sistema

Se calcula a través de la Ecuación 20, Capítulo 2:

$$q_t = q'_c + q'_a$$

$$q_t = 44,4 \left[ \frac{W}{m^2} \right] + 334,7 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$

$$q_t = 379,1 \left[ \frac{W}{m^2} \right]$$



Área de bandeja (Figura 3.5):

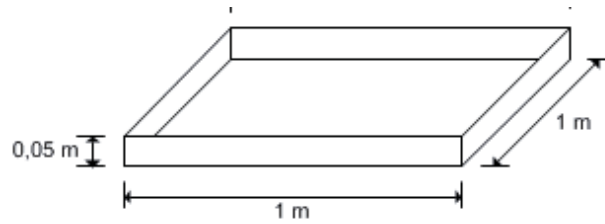


Figura 3.5. Medidas Bandeja contenedora de RIL.

$$A_{bandeja} = 2 \cdot a \cdot b + 2 \cdot a \cdot c + 2 \cdot b \cdot c$$

Donde:

$P$  y  $P'$ : Perímetro (suma de todos sus lados).

$a$ : Apotema.

$A_B$ : Área Base parte superior.

$A'_B$ : Área Base parte inferior.

$$a = 1 \text{ m}$$

$$b = 1 \text{ m}$$

$$c = 0,05 \text{ m}$$

$$A_{bandeja} = 2 \cdot 1 \cdot 1 + 2 \cdot 1 \cdot 0,05 + 2 \cdot 1 \cdot 0,05$$

$$A_{bandeja} = 2,2 \text{ m}^2$$

Calculando la capacidad del calor almacenada por el dispositivo (Ecuación 21, Capítulo 2) utilizando el área de captación de la energía solar, la cual es de  $1 \text{ m}^2$ .

$$Q_T = q_t \cdot A_{captación}$$

$$Q_T = 379,1 \text{ [W]}$$

### 3.5.10 Cantidad de calor necesaria para calentar y evaporar Q.

$$m_{PC} = \rho_{PC} \cdot A_{PC} \cdot E_{PC}$$

Donde:

$\rho_{PC}$ : Densidad del Policarbonato.

$A_{PC}$ : Área de Policarbonato.

$E_{PC}$ : Espesor del Policarbonato.

$m_{PC}$ : Masa del Policarbonato.

Área de cubierta (Figura 3.6):

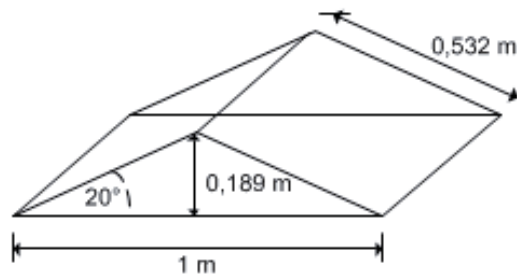


Figura 3.6. Vista de las longitudes de la cubierta.

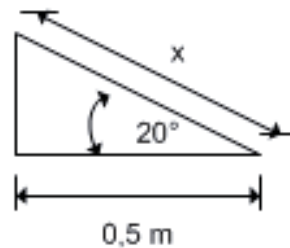


Figura 3.7. Imagen para determinar diagonal de la cubierta.

A partir de las Funciones Trigonómicas, se podrá calcular la diagonal  $x$  (Figura 3.7), con la siguiente ecuación:

$$\cos \theta = \frac{\text{Adyacente}}{\text{Hipotenusa}}$$

$$\cos 20^\circ = \frac{0,5}{x}$$

$$x = 0,532 \text{ [m]}$$

$$A_{PC} = 2 \cdot \frac{b \cdot h}{2} + 2 \cdot b \cdot \text{Lateral}$$

$$A_{PC} = 2 \cdot \frac{1 \cdot 0,182}{2} + 2 \cdot 1 \cdot 0,532$$

$$A_{PC} = 1,25 \text{ [m}^2\text{]}$$

Sustituyendo para encontrar la masa del Policarbonato:

$$m_{PC} = \rho_{PC} \cdot A_{PC} \cdot E_{PC}$$

$$m_{PC} = 1200 \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot (1,25) \text{ [m}^2\text{]} \cdot 0,003 \text{ [m]}$$

$$m_{PC} = 4,5 \text{ [Kg]}$$

Con ayuda de este dato, el Calor necesario para calentar el policarbonato se obtiene mediante la Ecuación 22, Capítulo 2:

$$Q_{PC} = m_{PC} \cdot C_{pPC} \cdot (T_{PC} - T_a)$$

$$Q_{PC} = 4,5 [Kg] \cdot 1200 \left[ \frac{J}{Kg \cdot K} \right] \cdot (308,65[K] - 295,15[K])$$

$$Q_{PC} = 72900 [J]$$

$$Q_{PC} = 20,25 \left[ \frac{W \cdot h}{día} \right]$$

$$Q_{PC} = 2,89 [W]$$

### 3.5.11 Calor necesario para calentar el agua

Masa de agua:

$$m_s = V \cdot \rho$$

Donde:

$V$ : Volumen de RIL dispuesto en la bandeja de evaporación.

$\rho$ : Densidad del agua.

$$m_s = 20 [L] \cdot 0,9856 \left[ \frac{Kg}{L} \right]$$

$$m_s = 19,71 [Kg]$$

Por medio de la Ecuación 23, Capítulo 2, se calcula el calor necesario para calentar el agua:

$$Q_{ca} = m_s \cdot C_p \cdot (T_w - T_a)$$

$$Q_{ca} = 19,71 [Kg] \cdot 4186 \left[ \frac{J}{Kg \cdot K} \right] \cdot (328,15 [K] - 295,15 [K])$$

$$Q_{ca} = 2722699,98 [J]$$

$$Q_{ca} = 756,31 \left[ \frac{W \cdot h}{día} \right]$$

$$Q_{ca} = 756,31 \left[ \frac{W \cdot h}{día} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ día}}{7 \text{ h}} \right]$$

$$Q_{ca} = 108,1 [W]$$

### 3.5.12 Calor necesario para evaporar x porcentaje de agua.

Calculo de calor necesario para evaporar un porcentaje del total de la masa de agua, por medio de la Ecuación 24, Capítulo 2:

$$Q_{ev} = x \cdot m_s \cdot \lambda$$

Debido a que no toda el agua retenida en la bandeja es evaporada, se calcula el porcentaje de agua aproximado, dividiendo la cantidad de agua promedio obtenida del sistema por la cantidad de agua adicionada al sistema:

$$x = \frac{V_{colectado \text{ en sistema}}}{V_{adicionado \text{ al sistema}}}$$

x: Fracción de agua evaporada en el sistema.

Como aún no se realiza la experiencia, se estimará un  $x=0,1$ ; debido a que en información bibliográfica [36] utilizan este valor.

$$Q_{ev} = 0,1 \cdot 19,71 [Kg] \cdot 2370,8 \times 10^3 \left[ \frac{J}{Kg} \right]$$

$$Q_{ev} = 4672846,8 [J]$$

$$Q_{ev} = 1298,01 \left[ \frac{W \cdot h}{día} \right]$$

$$Q_{ev} = 1298,01 \left[ \frac{W \cdot h}{día} \right] \cdot \frac{1}{7} \left[ \frac{día}{h} \right]$$

$$Q_{ev} = 185,5 [W]$$

### 3.5.13 Cantidad Necesaria para calentar el Policarbonato

El agua de la piscina de evaporación y evaporar la misma, viene dada por la Ecuación 25, Capítulo 2:

$$Q_N = Q_{cPC} + Q_{ca} + Q_{ev}$$

$$Q_{cPC} = q_{cPC} \cdot A_{PC} + Q_{PC}$$

Sustituyendo la segunda ecuación en la primera:

$$Q_N = 195,35 \left[ \frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ día}}{7 \text{ h}} \right] \cdot 1,25 [m^2] + 20,25 \left[ \frac{W \cdot h}{día} \right] \cdot \left[ \frac{1 \text{ día}}{7 \text{ h}} \right]$$
$$+ 108,1 [W] + 185,5 [W]$$
$$Q_N = 331,3 [W]$$

### 3.5.14 Energía total almacenada por el sistema.

Se calcula por medio de la Ecuación 26, Capítulo 2:

$$Q = Q_T + Q_N$$

Donde:

Calor absorbido por el sistema:

$$Q_T = 379,1 [W]$$

Calor necesario para calentar y evaporar:

$$Q_N = 331,3 [W]$$

Por lo que la energía total almacenada por el equipo es:

$$Q = 710,4 [W]$$

### 3.6 Eficiencia del destilador

La eficiencia del destilador solar es la cantidad de energía utilizada en la vaporización de agua en el destilador sobre la cantidad de incidencia de energía solar en el destilador. Lo que puede expresarse con la Ecuación 27, Capítulo 2:

$$Eficiencia_{Teórica} = \frac{Q}{I_T \cdot A_{bandeja}} \cdot 100$$

$$Eficiencia_{Teórica} = \frac{710,4 [W]}{721,07 \left[\frac{W}{m^2}\right] \cdot 2,2 [m^2]} \cdot 100$$

$$Eficiencia_{Teórica} = 44,78\%$$

Por lo tanto la eficiencia teórica es de 44,78% el cual se encuentra dentro del rango para destiladores solares convencionales, el cual se encuentra entre 25 y 50%. [11]

### 3.7 Descripción Destilador Solar a construir

Por razones de factibilidad, economía y movilidad, se utilizará un modelo de destilador solar fabricado con materiales livianos, como el policarbonato para su cubierta, económicos y de fácil utilización.

El dispositivo consta de dos partes separables, por un lado la piscina de evaporación propiamente tal (bandeja), y por otro la cubierta que contiene el condensador, los canales colectores de agua destilada y laterales de apoyo.

### **3.8 Principios de funcionamiento**

El principio de funcionamiento de los equipos de destilación solar está basado en el efecto invernadero, el cual es aplicable para todos los tipos, y la capacidad para aprovechar la energía solar dependerá del diseño del mismo, es decir ángulo de inclinación de la cubierta, radiación solar diaria, tamaño del equipo, aislamiento del sistema.

Una de las bondades del equipo diseñado consiste en que se aprovecha el sol durante todo el día, ya que la ubicación del mismo dentro del terreno destinado para este, permite que la radiación solar sea captada de manera eficiente, esto es, durante la mañana y parte de la tarde en un horario de 09:00 am a 16:00 pm, logrando con esto que el evaporador se mantenga a altas temperaturas (35 a 40°C) durante el período de validación y el resto del día, incluso durante horas de la noche y madrugada.

### **3.9 Esquema del Equipo**

#### **3.9.1 Construcción Detallada**

Los pasos para la construcción del sistema (Figura 3.8) se detallan a continuación:

- a. Corte y soldadura de estructura metálica, la cual fue supervisada por el autor cada una de sus etapas, desde el corte hasta la instalación tomando en cuenta medidas y ángulos requeridos.
- b. Instalación de cubierta en el sistema. Instalado al interior de la carcasa superior de la estructura de hierro y adherido a dicha superficie por medio de la aplicación de silicón en el contorno de la estructura, y de forma simultánea funciona como aislante del calor evitando que el agua evaporada se fugue en dichas hendiduras.



- c. Instalación del sistema de las canaletas de recolección de metalcon en el sistema. Este sistema fue instalado de tal manera que el agua no permanezca estancada, facilitando la fluidez luego de condensar y recopilar la mayor cantidad de agua en estado líquido proveniente de la cubierta para luego ser transportada hacia los bidones los cuales serán los colectores del destilado.
- d. Construcción de la bandeja, la cual es la contenedora del RIL que se va a destilar, es de aluminio, y sus medidas son de 1 metro por lado.



Figura 3.8. Prototipo de Destilador Solar terminado.

### 3.9.2 Funcionamiento del equipo

El objetivo del diseño del equipo se concentra en el funcionamiento promoviendo requerimientos mínimos en cuanto a intervención del ser humano, tal como se detalla a continuación:

- a. El RIL se adiciona por medio de un jarro transparente de 3 litros (Figura 3.9) de forma directa a la bandeja. Cada cierto día, se vuelve a llenar la bandeja a la capacidad de 20 litros.



Figura 3.9. Jarro transparente de 3 litros ocupado para llenar la bandeja del destilador (RIL de piscina de Hidrólisis Alcalina).

- b. Cuando el agua ha alcanzado la altura o nivel requerido y recibe los primeros rayos del sol, se puede observar que la cubierta se va opacando por acción del agua evaporada de la bandeja, es decir, al contacto de la radiación solar con el agua se genera el proceso de evaporación.
- c. El agua evaporada al entrar en contacto con la cubierta forma una capa de agua condensada que al transcurrir el tiempo inicia la formación de diminutas gotas (Figura 3.10), que a su vez se unen entre sí, comienzan el recorrido en forma vertical por la misma superficie de policarbonato hasta llegar a las canaletas de recolección que se encuentran en las 4 paredes de la cubierta del destilador.



Figura 3.10. Formación de gotas producto de la condensación del equipo.

- d. Luego de caer a las canaletas de recolección, el agua es transportada hacia los recipientes donde dicho producto será cuantificado diariamente (Figura 3.11) y se realizan los análisis respectivos para verificar los parámetros a validar por medio de una manguera reforzada 1/4".



Figura 3.11. Bidón que contendrá el agua destilada de cada prototipo.

### 3.9.3 Ajustes

- a. Inclinación de las canaletas de recolección (Figura 3.12) para que el destilado se dirija al contenedor donde será almacenado, de tal manera que el transporte del agua hacia los bidones recolectores sea de la forma más eficiente.



Figura 3.12. Canaletas de recolección de destilado.

- b. Ajuste de bandeja de aluminio para alcanzar un aislamiento más perfecto al unirse con la cubierta.
- c. Reforzado con silicona en uniones de las canaletas para evitar fugas de agua en la recolección de líquido.
- d. Limpieza interna de la cubierta para deslizamiento eficaz de las gotas formadas en el condensador.

### 3.9.4 Reglas básicas de Operación

Debe haber una persona a cargo de la operación y mantenimiento de este equipo, para que todo funcione correctamente.

#### a. Operación

La canaleta de recolección no se debe secar, debido a que cuando se seca es posible que se depositen algunas sales sobre la superficie de la canaleta de recolección, calentándose excesivamente el destilador y se alteran algunas de las condiciones de su superficie, provocando que el equipo no funcione correctamente. El destilador debe purgarse periódicamente, debido a que hay una excesiva acumulación de sales en el evaporador, aún disueltas, disminuye la tendencia del destilando a evaporarse.

#### b. Método preventivo

- Purgar el circuito.
- Verificar que no hay fugas en la bandeja o defectos de aislamiento en la cubierta.

#### c. Puesta en marcha y mantenimiento de la instalación

Para que el equipo tenga una vida duradera y funcione de manera óptima, todos los elementos que componen el prototipo, es conveniente seguir las siguientes pautas:

- Llenar con agua de la red de agua potable la bandeja del destilador solar, para limpiar el sistema de posibles impurezas y proceder a comprobar las posibles fugas de agua que pudiera presentar.
- Luego se procede al llenado del circuito. Esta operación se debe llevar a cabo en horas de baja radiación solar.
- Se debe tener presente que cada uno de los componentes del destilador solar operan bajo condiciones climáticas muy duras caracterizadas por altos niveles de radiación solar y además por las fluctuaciones de temperaturas considerables (-2 a 31°C), debido al cambio climático del día y de la noche en la ciudad de Calama.

- Las operaciones de mantenimiento preventivo tienen como objetivo comprobar que los componentes del equipo se mantienen en buen estado y continúan funcionando de forma correcta.

# CAPÍTULO 4. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

## 4.1 Recopilación de Datos Experimentales

Se estableció realizar las mediciones de temperatura y de volumen durante 1 mes, las cuales equivalen a 20 días, donde la recopilación de datos se llevó a cabo durante las 09:00 am a 16:00 pm de cada día (7 horas). La toma de datos es cada 1 hora (8 mediciones diarias), iniciando el día 25 de septiembre del 2014 y finalizando el día 28 de octubre del mismo año.

El equipo de medición quedó constituido por un termómetro infrarrojo (Figura 4.2) y termómetro de punta (Figura 4.1) que permite el registro de manera continua de las temperaturas de la bandeja del destilador solar, RIL y ambas cubiertas transparentes. También se evaluó la velocidad del viento, radiación solar, y producción de destilado para cada destilador solar.

La radiación solar se obtuvo mediante cálculos y la velocidad del viento (Anexo A) se obtuvo por medio de una página web [18], al igual que la temperatura ambiente y la humedad relativa.

A continuación se presentan los dos termómetros que se utilizan para medir la temperatura del equipo de destilador solar.

Termómetro de punta:

Compacto, en forma de lápiz termómetro digital con sonda de acero inoxidable.

Rango de temperatura de -49,9 a 149,9 ° C



Figura 4.1. Termómetro de punta, para medir temperatura del RIL.

Termómetro Infrarrojo:

Es un termómetro infrarrojo con puntero laser, que posee retención de lectura automática.

Especificaciones:

Rango : -50 + 538 °C

Precisión :  $\pm 2\%$  de leído o  $\pm 2$  °C, la que resulte mayor



Figura 4.2. Termómetro Infrarrojo, para medir temperatura de la cubierta (Condensador).

## 4.2 Validación de Resultados

La validación está relacionada con la correspondencia entre el modelo teórico y el modelo experimental. El término validación se aplica a aquellos procesos que buscan determinar si una simulación es correcta o no respecto al sistema “real”. La validación de la calidad del agua destilada destinada para uso como agua industrial se basa en los análisis físicos, químicos y microbiológicos usando las metodologías y parámetros descritos para análisis según Métodos normalizados para el análisis de aguas de riego según Norma Chilena NCh1333.Of78 [13]. También se debe tomar en cuenta, que el modelo teórico, los datos son estimados en experiencias anteriores, y de agua potable analizada, debido que no se encuentra información sobre los RILes que en esta memoria se evaluaron.



### 4.3 Resultados Obtenidos

Luego de 20 días de recopilación de datos, la información fue tabulada (Anexo B y C) y así se procedió a su análisis.

Se saca un promedio de las temperaturas de cada unidad para proceder a realizar los cálculos de Rendimiento.

Tabla 4.1. Promedio de Temperaturas de cada unidad.

	Temperatura Hidrólisis °C	Temperatura Emulsión °C	Temperatura NAP °C
Cubierta (cara 1)	31,2	29,3	29,8
Cubierta (cara 2)	31,9	30,3	31,2
Bandeja de aluminio	36,8	35,2	35,4
RIL a evaporar	36,7	35,1	39,4

### 4.4 Balance de energía

Parámetros necesarios para calcular el porcentaje de eficiencia del destilador solar para cada RIL (Tabla 4.2)

Tabla 4.2. Parámetros necesarios para realizar los cálculos de Balance de Energía.

Parámetros	NAP	Emulsión	Hidrólisis	Unidad
Temperatura media del RIL	39,4	35,1	36,7	°C
Temperatura Ambiente	22	22	22	°C
Espesor del Aluminio	0,001	0,001	0,001	m
Coef. De Conductividad Térmica Aluminio	209,3	209,3	209,3	W/m·°K
Velocidad del viento promedio	5	5	5	m/s
Emitancia del policarbonato	0,92	0,92	0,92	-
Emitancia del aluminio	0,03	0,03	0,03	-
Constante de Stefan Boltzman	$5,6697 \cdot 10^{-8}$	$5,6697 \cdot 10^{-8}$	$5,6697 \cdot 10^{-8}$	W/m <sup>2</sup> ·K <sup>4</sup>
Temperatura policarbonato	30,5	29,8	31,6	°C
Temperatura Bandeja de aluminio	35,4	35,2	36,8	°C
Emitancia del agua	0,9	0,9	0,9	-
Espesor de la madera	0,045	0,045	0,045	m
Coef. De Conductividad Térmica madera	0,13	0,13	0,13	W/m·°K
Calor Latente de Evaporación a $T_{RIL}$ °C	2408,34	2418,56	2414,79	KJ/Kg
Presión Total	101,325	101,325	101,325	kPa
Espesor del policarbonato	0,003	0,003	0,003	m
Densidad del Policarbonato	1200	1200	1200	kg/m <sup>3</sup>
Volumen del RIL a destilar	20	20	20	L
Calor Específico de policarbonato	1200	1200	1200	J/kg·°K
Calor Específico del agua	4186	4186	4186	J/kg·°K
Densidad del RIL	0,9899	0,9899	0,9899	kg/m <sup>3</sup>
Humedad	14	14	14	%
Presión de vapor de agua	7144,6	5653,8	6173,8	Pa
Presión de vapor de agua a temp. de Policarbonato	4366	4193,6	4648,2	Pa
Radiación solar	6050,3	6050,3	6050,3	W·h/m <sup>2</sup> ·día
Área de Policarbonato	1,25	1,25	1,25	m <sup>2</sup>
Área de bandeja	2,2	2,2	2,2	m <sup>2</sup>

Resultado de Balances de energía para los tres prototipos de destiladores solares utilizados para obtener la eficiencia del equipo quedan tabulados en la Tabla 4.3.

Tabla 4.3. Resultado de Balances de energía de los prototipos.

Parámetros	Agua	NAP	Emulsión	HAT	Unidad
$R_{eq}$	0,35	0,35	0,35	0,35	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$h_{ct}$	14,47	17,8	17,8	17,8	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$K_b$	2,41	2,49	2,49	2,49	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$q_c$	79,5	43,2	32,6	36,5	$\frac{W}{m^2}$
$T_{dp}$	272	266	266	266	K
$T_s$	278,8	276,8	276,8	276,8	K
$q_{rpc}$	158,3	137,2	133,2	143,7	$\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$
$h_{cpc}$	14,47	17,8	17,8	17,8	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$q_{cpc}$	195,35	151,3	138,84	170,88	$\frac{W}{m^2}$
$q_{rw}$	119,3	49,3	28,6	28,0	$\frac{W}{m^2}$
$h_c$	2,82	2,04	1,69	1,68	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$h_r$	0,21	0,20	0,20	0,20	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$h_t$	2,98	2,19	1,84	1,83	$\frac{m^2 \cdot K}{W}$
$q_{cw}$	58,06	19,48	9,76	9,36	$\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$
$h_e$	0,039	0,028	0,024	0,024	$\frac{m^2 \cdot K}{W \cdot h}$
$q_e$	386,1	79,1	35,0	36,4	$\frac{W \cdot h}{m^2 \cdot día}$
$q'_c$	44,4	-5,4	-13,0	-18,1	$\frac{W}{m^2}$
$q'_a$	334,7	439,3	485,7	513,4	$\frac{W}{m^2}$
$q_t$	379,1	433,9	472,8	495,3	$\frac{W}{m^2}$
$Q_T$	379,1	433,9	472,8	495,3	W
$m_{pc}$	4,5	4,5	4,5	4,5	Kg
$Q_{pc}$	2,89	1,82	1,67	2,06	W
$Q_{ca}$	108,1	57,2	43,1	48,1	W
$Q_{ev}$	185,5	212,9	291,3	211,0	W
$Q_n$	331,3	298,9	360,8	291,7	W
$Q$	710,4	732,8	833,6	787,0	W
<b>Eficiencia</b>	<b>44,78</b>	<b>45,37</b>	<b>49,16</b>	<b>43,79</b>	<b>%</b>

Luego en la Tabla 4.4, se encuentran los principales resultados del balance de energía y comparándolos con los cálculos teóricos tenemos:

Tabla 4.4. Comparación de resultados.

	<b>Unidad</b>	<b>Teórico (Agua)</b>	<b>NAP</b>	<b>Emulsión</b>	<b>Hidrólisis</b>
<b>Radiación</b>	W/m <sup>2</sup>	721,1	864,3	864,3	864,3
<b>Volumen Inicial</b>	L	20	20	20	20
<b>Volumen Destilado</b>	L	2	2,25	3,1	2,2
<b>x % Destilado</b>	%	0,1	0,1125	0,1533	0,1117
<b>Eficiencia</b>	%	44,78	45,37	49,16	43,79

Como podemos apreciar en la Tabla 4.4 hemos verificado que las ecuaciones aplicadas al cálculo del balance de energía de los destiladores solares son válidas, y además se observa que los valores de las eficiencias de los diferentes Riles varían con la teórica, esto es debido principalmente a que la radiación solar en el mes de octubre es mayor a la del mes de julio con la cual se realizó los cálculos teóricos. Por ello mismo el volumen destilado es mayor.

## **CAPÍTULO 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

Durante la fase experimental se tiene como objetivo realizar un proceso de obtención de agua de calidad para riego dentro de la Planta Enaex Río Loa, por medio del equipo de destilación solar construido, utilizando como materia prima el RIL de las piscinas de destilación de tres unidades diferentes, las cuales son, Hidrólisis Alcalina, Emulsión y NAP (Planta Neutralizadora). A la vez se realizó un análisis al agua de reservorio, la cual es utilizada para la limpieza de equipos y como agua de piso para las unidades, debido que estas necesitan estar en constante humedad para que no haya explosión de algún residuo de explosivo. Su calidad determina su posibilidad de uso en diferentes situaciones.

En la bibliografía internacional sobre el tema de destilación solar se hace referencia a la eficiencia de los destiladores y a los materiales con los cuales se construyen, pero pocas veces existe un estudio de la calidad del agua destilada obtenida con ellas, lo que se hace necesario para la validación de dichos equipos y su posterior uso en las diferentes industrias.

### **5.1 Análisis Calidad de agua**

Los requisitos de Agua de Riego se encuentran en la Tabla 2.3 del Capítulo 2, los cuales son de origen químico y bacteriológico. El análisis (Anexo H) se realizó en ALs Patagonia S.A., un Laboratorio de la ciudad de Antofagasta, con certificación ISO 9001:2000.

### **5.2 Resultados Obtenidos**

Se analizan los diferentes parámetros que se observan en la Tabla 5.1 y se comparan de acuerdo a la calidad del Agua de Riego (Tabla 2.3), y a la vez se compara con la calidad del Agua de Reservorio (Unidad de almacenamiento de agua recuperada de la Planta Enaex).

Tabla 5.1. Resultado de Análisis de aguas de los diferentes parámetros a analizar.

Analito	Unidades	Agua Riego	NAP	Hidrólisis	Emulsión	Reservorio
<b>P. Fisicoquímicos</b>						
CE	uS/cm		<b>431</b>	<b>145</b>	<b>1574</b>	6440
Pro Ads Na	mg/L		0.70	1.5	12.3	18.4
Na%	%	35.00	<b>35</b>	80	91	77
pH		5.5 y 9.0	<b>6.86</b>	<b>7.62</b>	<b>7.27</b>	7.93
STD	mg/L		<b>172</b>	<b>94</b>	<b>312</b>	4320
<b>P. Inorgánicos</b>						
<b>Aniones</b>						
Cl	mg/L	<200	<b>45.2</b>	<b>3.0</b>	<b>142.0</b>	1499.0
F	mg/L	<1.00	<b>0.24</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>	0.69
SO <sub>4</sub>	mg/L	<250.00	<b>&lt;10</b>	<b>&lt;10</b>	<b>84</b>	335
B	mg/L	<0.75	<b>0.27</b>	<b>0.28</b>	1.05	12.43
<b>Metales Totales</b>						
Ag	mg/L	<0.20	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<0.01
Al	mg/L	<5.00	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	0.2
As	mg/L	<0.10	<b>&lt;0.0005</b>	<b>&lt;0.0005</b>	<b>0.0116</b>	0.5062
Ba	mg/L	<4.00	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<b>&lt;0.1</b>	<0.1
Be	mg/L	<0.10	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<0.01
Cd	mg/L	<0.010	<b>&lt;0.002</b>	<b>&lt;0.002</b>	<b>&lt;0.002</b>	<0.002
Co	mg/L	<0.050	<b>&lt;0.02</b>	<b>&lt;0.02</b>	<b>&lt;0.02</b>	<0.02
Cr	mg/L	<0.10	<b>&lt;0.02</b>	<b>&lt;0.02</b>	<b>&lt;0.02</b>	<0.02
Cu	mg/L	<0.20	<b>&lt;0.005</b>	<b>0.016</b>	<b>0.023</b>	0.021
Fe	mg/L	<5.00	<b>&lt;0.03</b>	<b>&lt;0.03</b>	<b>&lt;0.03</b>	0.11
Hg	mg/L	<0.001	<b>&lt;0.0005</b>	<b>&lt;0.0005</b>	<b>&lt;0.0005</b>	<0.0005
Li	mg/L	<2.50	<b>0.03</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>0.11</b>	2.07
Mn	mg/L	<0.20	<b>0.028</b>	<b>&lt;0.005</b>	<b>&lt;0.005</b>	<0.005
Mo	mg/L	<0.010	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<b>&lt;0.01</b>	<0.01
Ni	mg/L	<0.20	<b>&lt;0.02</b>	<b>&lt;0.02</b>	<b>&lt;0.02</b>	<0.02
Pb	mg/L	<5.00	<b>&lt;0.03</b>	<b>&lt;0.03</b>	<b>&lt;0.03</b>	<0.03
Se	mg/L	<0.020	<b>&lt;0.0005</b>	<b>&lt;0.0005</b>	<b>&lt;0.0005</b>	<0.0005
V	mg/L	<0.10	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	<b>&lt;0.05</b>	<0.05
Zn	mg/L	<2.00	335.000	<b>1.045</b>	11.540	0.062
<b>P. Orgánicos</b>						
DBO5	mg/L		<b>&lt;2</b>	<b>&lt;2</b>	<b>&lt;2</b>	<2
<b>P. Sub Contratados</b>						
Colif Fec	NMP/100mL	<1000	<b>&lt;2.0</b>	<b>&lt;2.0</b>	<b>&lt;2.0</b>	<2.0
CN-T	mg/L	<0.2	<b>0.016</b>	<b>0.011</b>	<b>0.009</b>	0.002

De la Tabla 5.1, se puede observar que los valores ennegrecidos indican que estos se encuentran en el límite máximo de cada parámetro del agua de riego por la Norma Chilena 1333. En la última columna de la Tabla 5.1 se encuentra el resultado del análisis de los diferentes parámetros para el agua del reservorio de la planta. Se realiza este análisis debido, que si los destilados correspondientes a las tres unidades analizadas no cumplen con la calidad necesaria para el agua de riego, pueden ser depositadas al reservoi y darles esa utilidad. Por lo tanto se concluye que si se utiliza como agua de riego, esta deberá ser utilizada con precaución. De Otra manera podría ser utilizada como agua para el humedecimiento de los pisos de las Unidades de la Planta y además para la limpieza de los equipos.

### 5.2.1 Clasificación Conductividad Específica (CE)

La conductividad puede relacionarse a la pureza química del agua, mientras más pura es el agua, menos es la concentración de electrolitos en el agua y por ende, mayor es la resistencia a la transmisión de una corriente eléctrica.

Según los resultados descritos en la Tabla 5.1, referente a la conductividad específica, las Unidades de la Planta Enaex, se clasifican en la Tabla 5.2, mediante los rangos clasificados que en encuentran dispuestos en la Tabla 2.2 del capítulo 2.

Tabla 5.2. Clasificación de resultados Conductividad Específica.

Unidad	Clasificación Conductividad Específica
NAP e Hidrólisis	Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales
Emulsión	Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos
Reservorio	Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos

### 5.2.2 Clasificación Sólidos Disueltos Totales (SDT)

Según la Tabla 2.2 del Capítulo 2 para el uso de agua de riego, los parámetros obtenidos de los SDT para cada unidad se pueden clasificar en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3. Clasificación de resultados de STD.

Unidad	Clasificación STD
NAP, Hidrólisis, Emulsión	Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales
Reservorio	Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos

### 5.3 Análisis explosivos para cada tipo de RIL

El laboratorio de la Planta de Enaex Servicios, realizó un análisis de explosivos a cada RIL antes y después de destilar. Los parámetros a analizar a cada RIL se encuentran dispuestos en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4. Parámetros a analizar de explosivos realizados en dependencias de Enaex.

RIL proveniente NAP	RIL proveniente Emulsión	RIL proveniente Hidrólisis
HNO <sub>3</sub> PETN Sólidos Totales H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Ph	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> Aceites y grasas Sólidos Totales pH	Nitroglicerina Grasas Totales H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> HNO <sub>3</sub> Sólidos Totales pH

Para tomar las muestras en todas las ocasiones se utilizaron frascos estériles, a fin de asegurar la calidad de las mediciones. Este riguroso método de trabajo debe realizarse cada vez que se vaya a validar la calidad del agua. Se realizó un análisis a los RILes antes de destilar (Figura 5.1) y después de destilar (Figura 5.2).





Figura 5.1. Muestras de RILes antes de destilar.



Figura 5.2. Muestras de RILes después de destilar.

### 5.3.1 Resultado de análisis de laboratorio de explosivos

Se realizan 3 mediciones, la primera, sería el RIL sin destilar (Anexo D), y luego las dos siguientes al RIL ya destilado. El resultado de los análisis con fecha 19 de octubre (Anexo E) fueron contaminadas por realizarse por primera vez, una vez que ya se procedió de la manera correcta en cuanto al funcionamiento de los prototipos de destiladores solares, se realizó nuevamente el análisis de las muestras de agua destilada de cada unidad (Anexo F), donde se muestra claramente que los equipos cumplen su función en cuanto a sus resultados. Debido que regula el pH de cada muestra a la óptima para la calidad de agua de riego.

Tabla 5.5. Resultado de análisis de RIL proveniente de la Unidad de Hidrólisis Alcalina del Departamento de Ácido y Nitraciones.

	Hidrólisis Alcalina		
	Inicial	Final	Final
	30 de Septiembre	19 de Octubre	27 de Octubre
%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,25	0	0
%HNO <sub>3</sub>	0,05	0	0
pH	8	10	7
Sólidos Totales (g/L)	0,101	0,01	0
Grasas y Aceites (mg KOH/g)	1,43	0,36	0,09

Tabla 5.6. Resultado de análisis de RIL proveniente de Unidad de Emulsión del Departamento de Explosivos.

	Emulsión		
	Inicial	Final	Final
	30 de Septiembre	19 de Octubre	27 de Octubre
pH	9	8	7
Sólidos Totales (g/L)	0,55	0,018	0
Grasas y Aceites (mg KOH/g)	1,12	0,73	0,09
% Nitrato de Amonio	11,3	0,09	0,17

Tabla 5.7. Resultados de RIL proveniente de la Unidad NAP del Departamento de Ácido y Nitraciones.

	NAP	
	Inicial	Final
	30 de Septiembre	27 de Octubre
%PETN	0,028	0
%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0	0
%HNO <sub>3</sub>	0	0
pH	6,5	6
Sólidos Totales (g/L)	0,441	0

A la Unidad NAP sólo se realizan dos análisis debido a que la Unidad no se encontraba en funcionamiento de un comienzo.

El prototipo del destilador del RIL de la NAP elimina en un 100% el PETN, el cual es un explosivo y regula el pH a 6. En cuento al prototipo de RIL de Hidrólisis Alcalina, disminuye en un 100% el % de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y HNO<sub>3</sub> y regula el pH a 7. El prototipo del destilador del RIL de Emulsión regula su pH a 7, disminuye un 98,5% el Nitrato de amonio que había antes de destilar.

### 5.3.2 Determinación de la Nitroglicerina [14]

Para determinar si hay Nitroglicerina en la Unidad de Hidrólisis Alcalina se realiza otro tipo de Análisis por medio de Espectro de IR (Anexo G), el cual determino que el espectro de la muestra no se observa la banda a 1272+- 0,5 cm<sup>-1</sup> que es característica de la Nitroglicerina, por lo que de concluye que no contiene Nitroglicerina.

En los siguientes gráficos 5.1 y 5.2 se analizó la muestra de RIL de la Unidad de Hidrólisis Alcalina Termal inicial y final para determinar si poseen Nitroglicerina.

Grafico 5.1. IR-muestra de Hidrólisis Alcalina Termal Inicial.

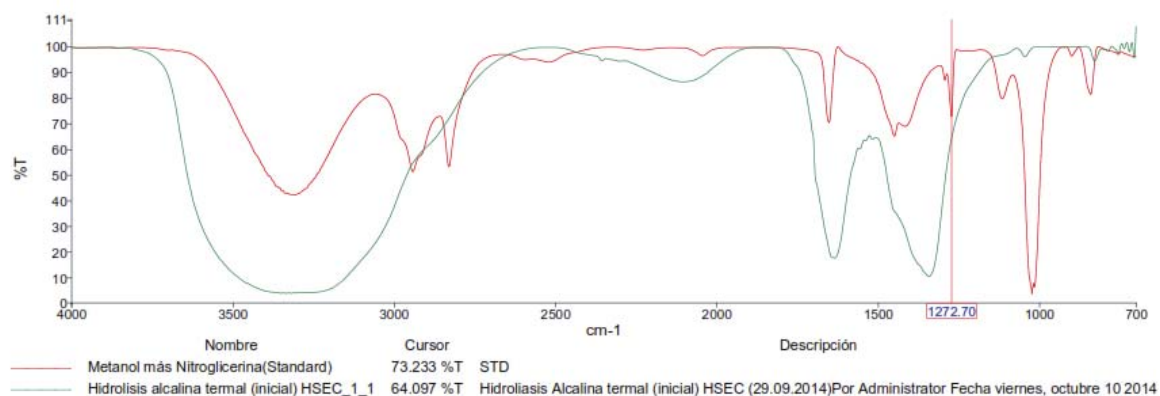
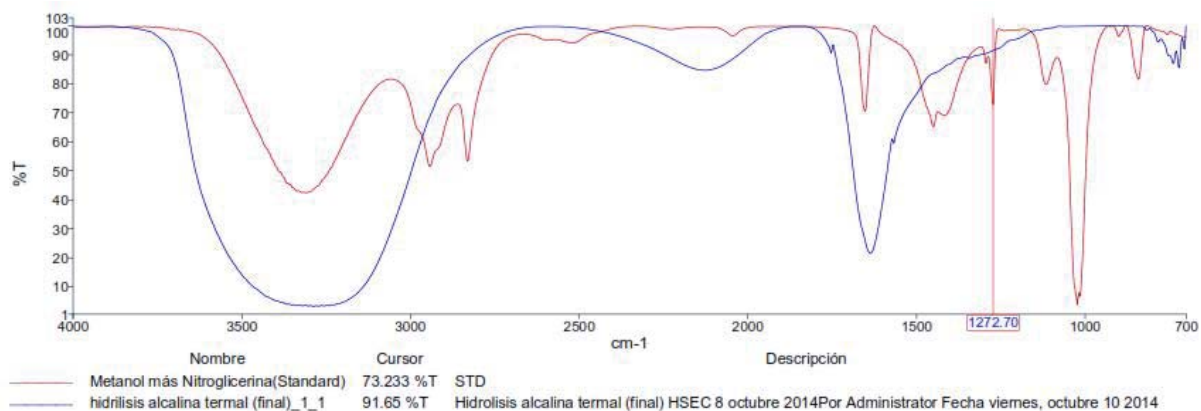


Grafico 5.2. IR-muestra de Hidrólisis Alcalina Termal Final.



A continuación se muestran los resultados obtenidos del laboratorio de Investigación Aplicada de la empresa Enaex Planta Río Loa.

Tabla 5.8. Resultado de muestras.

Nombre de la muestra	Resumen del Espectro
Agua de Hidrólisis Alcalina Termal Inicial	Por este método, no se puede determinar si existe o no Nitroglicerina en la muestra.
Agua de Hidrólisis Alcalina Termal Final	La muestra no contiene Nitroglicerina.

## **CAPÍTULO 6. EVALUACIÓN ECONÓMICA**

Se lleva a cabo un análisis económico que permite visualizar la viabilidad del proyecto en términos de valores a invertir, costos y gastos que ocurren durante y luego del proceso de implementación; para esto, se hará una evaluación de los costos de mantenimiento y operación del equipo, además de los posibles insumos.

Mediante un flujo de caja podemos describir los ingresos y costos para poder evaluar cuál de las alternativas de inversión es en definitiva la mejor.

### **6.1 Flujo de Caja**

El flujo de caja que se presenta a continuación se basa en el punto de vista para la Empresa Enaex ubicada en la ciudad de Calama, como inversionista y beneficiario de este proyecto.

#### **6.1.1 Vida útil del proyecto**

La proyección del estudio se realizó en base a la vida útil del equipo, la vida útil de los destiladores es difícil de calcularla debido a que son equipos experimentales, contruidos con policarbonato y aluminio. Por lo que se estima 6 años la duración del proyecto.

#### **6.1.2 Ingresos**

Para poder evaluar los destiladores solares y su aporte a la Planta Enaex, se asumirá que los ingresos se calculan como el caudal generado de agua por los destiladores en comparación con el valor real del agua potable en Calama con todos los costos de tratamiento y alcantarillado. El litro de agua embotellada cuesta aproximadamente en Calama \$1.000, agua que se podría comparar con el agua destilada producida por los equipos, por lo que se supondrá que el litro de agua producida tenga un valor de \$900. Bajo éste supuesto se realiza el cálculo del ingreso promedio que el destilador podría ahorrar en términos de costos de empresa.

El caudal generado por los destiladores depende del rendimiento de cada destilador y los factores descrito en la tesis. Además que el estudio se realizó en una época en donde la productividad se considera normal baja, por lo que se estima la generación producida en la etapa de experimentación a lo largo del tiempo de duración de la vida útil del proyecto.

Calculo anual de ingresos del destilador NAP

$$Q_{día} = 0,375 L$$

$$Q_{mes} = 11,25 L$$

$$Q_{año} = 136,875 L$$

Precio del agua por litro = \$900

Total anual = \$123.187,5

Calculo anual de ingresos del destilador Hidrólisis Alcalina Termal

$$Q_{día} = 0,25 L$$

$$Q_{mes} = 7,5 L$$

$$Q_{año} = 91,25 L$$

Precio del agua por litro = \$900

Total anual = \$82.125

Calculo anual de ingresos del destilador Emulsión

$$Q_{día} = 0,3 L$$

$$Q_{mes} = 9 L$$

$$Q_{año} = 109,5 L$$

Precio del agua por litro = \$900

Total anual = \$98.550

### **6.1.3 Costos de Mantención**

Los costos de mantención se designaron de manera mensual, debido a que estos equipos no se necesitan limpiar periódicamente de manera interna. La formación de la capa de sal que disminuye la formación de destilado se forma a través del tiempo. Se estima que ésta mantención podría ser mensual ocupando el tiempo necesario para vaciar los destiladores y remover todo sólido que pueda quedar atrapado dentro del destilador. Esta mantención se realiza abriendo el condensador, con la misma agua que se ocupa en el proceso limpiar la parte interna donde se realiza la evaporación y con un paño limpio retirar cualquier sólido en la superficie. Tal como se describe no tiene mayor complejidad la mantención pero sí toma tiempo de la persona que se encarga de la operación de este equipo.

Debido a que no hay técnicos especializados ni empresas de servicios para valorizar la mantención debemos hacer supuestos del caso. Para valorizar el tiempo de una persona que realiza esta acción, se ha supuesto que el ingreso mínimo mensual es de \$225.000 (Ley N° 20.763, artículo 1) y que la limpieza le toma 1 hora en el mes. Con una división simple calculamos que una persona trabajando 20 días en el mes y 8 horas diarias el valor por hora de trabajo es de \$1.407 en base al supuesto, que se podría asumir como costo aproximado del trabajo de limpieza, el cuál al año son \$16.875.

### **6.1.4 Costos de Operación**

Los costos de operación son los que afectan el correcto funcionamiento del destilador si no se realizan a diario. Esto consiste simplemente en limpiar la cubierta del destilador con un paño limpio y seco. Está cubierta es de policarbonato por lo que se aconseja utilizar algún producto limpiavidrios para dejar sin manchas la cubierta. El producto tiene un valor de \$1.560, marca Lider, en Supermercado A Cuenta, con un valor anual \$18.720. El tiempo en que toma limpiar los vidrios de manera correcta es de 15 minutos con un paño que tiene una duración mensual al igual que el limpiavidrios. El valor de la hora de trabajo es de \$1.407, y los 15 minutos corresponden a \$352. Eso multiplicado por 20 y por 12 nos da un total anual de \$84.480.




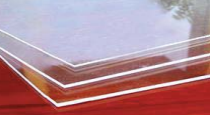





### **6.1.5 Capital de Inversión**

#### a. Costo de materia prima

A continuación en la Tabla 6.1 se detalla la lista de materiales necesarios para la construcción del destilador solar de piscina de evaporación, los datos fueron tomados con fecha de Abril 2014. La primera columna indica el material a utilizar en la construcción del destilador solar y sus medidas, la segunda columna indica la cantidad correspondiente a los distintos materiales, la tercera columna señala el costo unitario, la columna siguiente se refiere al costo total necesario utilizado por ítem, luego la referencia, es decir lugar donde pueden ser comprados los materiales y en la última columna se indica una imagen de referencia.



Tabla 6.1 Costo Materia Prima para 3 prototipos.

Material y medidas	Cantidad	Costo Unidad	Costo Total	Referencia	Imagen
Metalcon 39x20x0,5mm Perfil tabiques canal (Canaleta) 3 m de largo	5 perfiles de 3 m cada uno (Total 15 m)	\$ 800	\$ 4.000	Sodimac SKU: 42969- 4	
Perfil Tubular Cuadrado 15x15x1mm 6 m de largo	6 perfiles de 6 m c/u (Total 36 m)	\$ 2.000	\$ 12.000	Sodimac SKU: 16503- 4	
Plancha aluminio Lisa 1 mm x 1100 mm x 3000 mm	2 Plancha	\$ 30.997	\$ 61.994	Acermet	
Plancha de policarbonato compacto transparente 6,00x1,1 m 3mm espesor	1 plancha	\$ 124.500	\$ 124.500	Tecpol	
Silicona Universal 300 ml	2 siliconas	\$ 2.390	\$ 4.780	Sodimac SKU: 43626- 7	
Perno combinado con tuerca 1/8" x 3/8" 5 u.	18 unidades	\$ 370	\$ 6.660	Easy 464121	
Electrodo para aluminio 3/32". Alum43. – INDURA	3 Unidades	\$ 2.190	\$ 8.760	Easy 823847	
Electrodos 1 Kg	1 bolsas	\$ 3.980	\$ 3.980	Sodimac SKU: 9629-6	
Manguera reforzada por metro – PETROFLEX	3 m	\$ 1.990	\$ 5.970	Sodimac SKU: 28521- 8	
<b>Total Materiales \$</b>		<b>\$ 169.217</b>	<b>\$ 232.644</b>		

Por lo tanto el costo total de materiales para realizar los tres prototipos de un destilador solar para las piscinas de evaporación de la Planta Río Loa es de \$232.644.

b. Costo de Mano de Obra

La empresa de Miguel González, colaboradora de Enaex Planta Río Loa, se hizo cargo de la construcción de los prototipos de destilador solar.

Tabla 6.2 Costo Mano de Obra Directo

Detalle	Costo Mano de Obra \$
Corte de fierros, Soldadura, instalación de estructura metálica y corte e instalación de acrílico para cubierta.	150.000

Se realiza la suma del costo de materia prima y el costo de mano de obra.

Tabla 6.3 Total Capital Fijo Directo

Detalle	Valor Monetario \$
Costo Materiales	232.644
Costo Mano de Obra	150.000
<b>Total Capital Fijo Directo</b>	<b>\$382.644</b>

Por lo que el capital total directo es de \$382.644 considerando los gastos de los materiales necesarios para la construcción y la mano de obra destinada para la fabricación de los equipos.

El capital de inversión realizada para la construcción del destilador convencional es de \$382.644, sin IVA incluido.

### 6.1.6 Depreciación

Los destiladores solares como equipos de trabajo a pesar de que sean transportables, permanecen estáticos en sus ubicaciones de trabajo a la intemperie en la noche haciéndolos funcionar todos los días del año sin descanso, además las condiciones físicas y geográficas a la que están sometidos los hacen más susceptibles a sufrir daños por imprevistos de la zona. Se aplica la depreciación acelerada a estos equipos, por su conveniencia económica para el proyecto.

La depreciación utilizada es por el método de la línea recta, en donde los tres destiladores poseen la misma vida útil, que con depreciación lineal es de 6 años, el cálculo de la depreciación es mediante la siguiente fórmula:

$$D = \frac{I - V_s}{n}$$

donde el número de periodos de vida útil ( $n$ ), y su valor de salvamento ( $V_s$ ) es el mismo, valorado en 0 debido a que después de su uso comercial los destiladores no tienen otra utilidad en el actual mercado de los bienes de destilación como otros usos comerciales que se le puedan dar como secadores o deshidratadores caseros. Sin embargo el valor de la inversión ( $I$ ) es la que los diferencia uno de otro.

## 6.2 Flujo de Caja Destiladores Solares

Tabla 6.4. Flujo de Caja.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
<b>Ingresos</b>							
<b>Caudal (L/año)</b>	-	337,6	337,6	337,6	337,6	337,6	337,6
<b>Precio (\$)</b>	-	900	900	900	900	900	900
<b>Total Ingresos (\$)</b>	-	303.863	303.863	303.863	303.863	303.863	303.863
<b>Egresos</b>							
<b>Costos Mantención (\$)</b>	-	16.875	16.875	16.875	16.875	16.875	16.875
<b>Costos Operacionales (\$)</b>	-	84.480	84.480	84.480	84.480	84.480	84.480
<b>Insumos (\$)</b>	-	18.720	18.720	18.720	18.720	18.720	18.720
<b>Inversión (\$)</b>	382.644	-	-	-	-	-	-
<b>Depreciación (\$)</b>	-	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774
<b>UAI</b>	-	120.014	120.014	120.014	120.014	120.014	120.014
<b>Impuesto (19%)</b>	-	22.803	22.803	22.803	22.803	22.803	22.803
<b>UDI</b>	-	97.211	97.211	97.211	97.211	97.211	97.211
<b>Depreciación (\$)</b>	-	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774
<b>Flujo caja Neto (\$)</b>	-382.644	160.985	160.985	160.985	160.985	160.985	160.985
<b>F caja Acumulado (\$)</b>	-382.644	-221.659	-60.674	100.311	261.296	422.281	583.266

## 6.3 Análisis de Rentabilidad

### 6.3.1 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Se define como la tasa de interés que toma cero el Valor Presente del Proyecto.

$$VP = \sum_{k=0}^n \frac{F_k}{(1+i)^k}$$

$$\sum_{k=0}^n \frac{F_k}{(1+i)^k} = 0$$

Donde  $i$  es la Tasa Interna de Retorno.

La tasa interna de retorno tendrá un valor mayor que cero  $TIR > 0$  siempre que la cantidad total de los ingresos sea mayor que el total de los desembolsos.

Criterio de Decisión

TIR > TMAR	➡	Conveniente realizar el proyecto porque aporta ganancias.
TIR = TMAR	➡	Es indiferente realizar o no el proyecto, sólo se recupera la inversión a la tasa de retorno utilizada.
TIR < TMAR	➡	No es conveniente realizar el proyecto.

$$0 = -382.644 + 160.985 \cdot \left[ \frac{(1+i)^6 - 1}{i \cdot (1+i)^6} \right]$$

$$i = 35\%$$

Debido que el  $TIR > 0$  y  $TIR > TMAR$ , el proyecto es rentable.

### 6.3.2 Valor actual Neto (VAN)

Se define como la sumatoria de los flujos netos anuales actualizados menos la Inversión inicial. Este indicador de evaluación representa el valor del dinero actual que va a reportar el proyecto en el futuro, a una tasa de interés y un periodo determinado.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+r)^t}$$

**Donde:**

$F_t$  = Flujo neto al final del periodo t.

$I_0$  = Inversión inicial.

$r$  = Tasa de descuento.

$n$  = Numero de periodos.

Criterios de decisión

VAN > 0	➡	Proyecto conveniente.
VAN = 0	➡	La decisión es indiferente.
VAN < 0	➡	Proyecto no conveniente.

$$VAN = -382.644 + 160.985 \cdot \left[ \frac{(1 + 0,1)^6 - 1}{0,1 \cdot (1 + 0,1)^6} \right]$$

$$VAN = \$318.488$$

Debido que el VAN es mayor a 0, el proyecto es rentable.

### 6.3.3 Índice Valor Actual Neto (IVAN)

Se define como la razón entre el VAN y la inversión. Este indicador muestra la relación entre la ganancia expresada en el VAN y la inversión inicial.

$$IVAN = \frac{VAN}{I_0}$$

Donde:

$VAN$  = Valor Actual Neto

$I_0$  = Inversión

$$IVAN = \frac{\$318.488}{\$382.644}$$

$$IVAN = 0,83$$

La tasa de descuento (TMAR) para el proyecto es del 10%, porcentaje promedio referido para este tipo de proyectos de inversión privada. Se obtuvo un VAN de \$318.488 con una TIR de 35%, además el flujo acumulado se vuelve positivo el 3er año del proyecto. El Índice del Valor Actual Neto (IVAN), es de 0,83 para los tres destiladores.

## 6.4 Análisis de Sensibilidad

Es un estudio para ver de qué manera se altera la decisión económica con la variación de las variables o parámetros considerados en el análisis económico. Este análisis tiene por finalidad mostrar los efectos que tendría sobre la rentabilidad una variación o cambio en el valor de una o más de las variables de costo o de ingreso que inciden en el proyecto y a la vez, mostrar la holgura con que se cuenta para su realización ante eventuales cambios de tales variables en el mercado.

Para ello se identificó que la variable que tiene mayor efecto en el análisis económico es la variable Precio de venta del producto.

Para ello hay tres diferentes métodos, se ocupará el Análisis de punto de equilibrio, este es un análisis unidimensional, o sea que se estudia una variable por vez,

manteniendo todas las demás constantes. Aquí se evalúa hasta que punto pueden cambiar las variables del proyecto para que VAN sea cero.

- Si se da un precio de venta del producto = \$600

Tabla 6.5. Flujo de caja con precio de venta \$600.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
<b>Ingresos</b>	-						
<b>Caudal (L/año)</b>	-	337,625	337,625	337,625	337,625	337,625	337,625
<b>Precio (\$)</b>	-	600	600	600	600	600	600
<b>Total Ingresos (\$)</b>	-	202.575	202.575	202.575	202.575	202.575	202.575
<b>Egresos</b>							
<b>Costos Mantención (\$)</b>	-	16.875	16.875	16.875	16.875	16.875	16.875
<b>Costos Operacionales (\$)</b>	-	84.480	84.480	84.480	84.480	84.480	84.480
<b>Insumos (\$)</b>	-	18.720	18.720	18.720	18.720	18.720	18.720
<b>Inversión (\$)</b>	382.644						
<b>Depreciación (\$)</b>	-	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774
<b>UAI</b>	-	18.726	18.726	18.726	18.726	18.726	18.726
<b>Impuesto (19%)</b>	-	3.558	3.558	3.558	3.558	3.558	3.558
<b>UDI</b>	-	15.168	15.168	15.168	15.168	15.168	15.168
<b>Depreciación (\$)</b>	-	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774
<b>Fcaja Neto (\$)</b>	-382.644	78.942	78.942	78.942	78.942	78.942	78.942
<b>Fcaja Acumulado (\$)</b>	-382.644	-303.702	-224.760	-145.818	-66.876	12.066	91.008

Donde:

TMAR	10%
TIR	6%
VAN	\$-38.831
IVAN	-0,10

- Si se da un precio de venta del producto = \$633

Tabla 6.6. Flujo de Caja con precio de venta \$633.

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
<b>Ingresos</b>							
<b>Caudal (L/año)</b>		337,625	337,625	337,625	337,625	337,625	337,625
<b>Precio (\$)</b>		633	633	633	633	633	633
<b>Total Ingresos (\$)</b>		213.717	213.717	213.717	213.717	213.717	213.717
<b>Egresos</b>							
<b>Costos Mantención (\$)</b>		16.875	16.875	16.875	16.875	16.875	16.875
<b>Costos Operacionales (\$)</b>		84.480	84.480	84.480	84.480	84.480	84.480
<b>Insumos (\$)</b>		18.720	18.720	18.720	18.720	18.720	18.720
<b>Inversión (\$)</b>	382.644						
<b>Depreciación (\$)</b>		63.774	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774
<b>UAI</b>		29.868	29.868	29.868	29.868	29.868	29.868
<b>Impuesto (19%)</b>		5.675	5.675	5.675	5.675	5.675	5.675
<b>UDI</b>		24.193	24.193	24.193	24.193	24.193	24.193
<b>Depreciación (\$)</b>		63.774	63.774	63.774	63.774	63.774	63.774
<b>Fcaja Neto (\$)</b>	-382.644	87.967	87.967	87.967	87.967	87.967	87.967
<b>Fcaja Acumulado (\$)</b>	-382.644	-294.677	-206.710	-118.744	-30.777	57.190	145.157

Donde:

TMAR	10%
TIR	10%
VAN	\$474
IVAN	0,0

Luego se realiza la Tabla 6.5 resumen del Análisis de Sensibilidad.

Tabla 6.7. Análisis de Sensibilidad.

Precio Venta	\$900	\$600	\$633
<b>TMAR</b>	10%	10%	10%
<b>TIR</b>	35%	6%	10%
<b>VAN</b>	\$318.488	-\$38.831	\$474
<b>IVAN</b>	0,83	-0,10	0,00
<b>Rentabilidad</b>	Rentable ✓	No Rentable ✗	Punto de Quiebre



## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

Se ha demostrado la factibilidad técnica para la construcción de estos prototipos de destilador solar, destacándose lo simple y fácil de su operación y mantenimiento, prueba fehaciente de lo sencillo y robusta de la tecnología planteada. Además, todos los equipos y componentes pueden fabricarse en el país lo que garantiza una alta disponibilidad operativa.

El destilador para el RIL de Emulsión en horas luz produjo un total de 3100 ml de destilado, significando horas luz el período entre las 09:00 am y las 16:00 pm que es el período en el día donde el sol se encuentra disponible o en contacto directo con los destiladores, teniendo en cuenta que el período de evaluación es de 20 días tenemos 7 horas en horas luz, siendo el total generado en las 20 días que dura el experimento 6900 ml. El destilador para el RIL de Hidrólisis Alcalina Termal alcanzó un total de 2200 ml de destilado en horas luz y un total de 5700 ml en los 20 días de estudio. El destilador para el RIL de NAP alcanzó un total de 2250 ml de destilado en horas luz en los 7 días de estudio.

Los volúmenes generados en horas luz fueron mayores que en 24 horas debido a que el experimento tomó lugar 24 horas por 20 días de exposición al sol. Debido a que empezó a las 09:00 am podemos asumir que la generación de destilado es mayor en las horas luz del día que en la noche como nos rectifica la bibliografía.

El valor del pH de los destilados se encuentra comprendido entre 5,5 y 9,0. El destilado del RIL de NAP tiene un pH de 6,86, el destilado del RIL de Emulsión es de 7,27 y el destilado del RIL de HAT es de 7,62. Lo cual determina que están dentro del rango que determina la Calidad de agua de riego exigida.

La conductividad eléctrica (CE) nos muestra la relación con las sales minerales que hay en el agua, donde queda determinado que por medio de la Conductividad

Específica las unidades NAP e Hidrólisis Alcalina Termal son Aguas con las cuales no se observarán efectos perjudiciales. En cuanto al RIL de la Unidad de Emulsión el Agua podría tener efectos adversos en muchos cultivos y podría necesitar métodos de manejo cuidadoso.

De los sólidos disueltos totales (STD) se define que los tres destilados son aguas con las que no se observaran efectos perjudiciales.

Con respecto al resultado de Sodio Porcentual, el destilado de la Unidad NAP se encuentra dentro de los Parámetros de agua de Riego NCh 1333, cumpliendo con el porcentaje máximo que es 35. Las Unidades de Emulsión e Hidrólisis Alcalina Termal se encuentran sobre el límite máximo, los cuales son más cercanos al porcentaje del sodio que hay en el Reservorio de la Planta Enaex Calama.

El resultado de los Aniones Cl, F, SO<sub>4</sub>, se encuentran dentro del límite máximo para los tres tipos de destilados analizados (NAP, HAT y Emulsión). En cuanto al Boro, para el destilado de la Unidad de Emulsión se encuentra sobre un 40% con respecto al límite máximo.

Los Metales totales (Ag, Al, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Li, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, V), de los destilados analizados se encuentran dentro del límite máximo de cada parámetro. En cuanto al Zn, el destilado que no se encuentra dentro del límite máximo (2,00 mg/L) es de la Unidad NAP con 335 mg/L y de la Unidad de Emulsión con 11,54 mg/L.

El resultado de Coliformes Fecales del análisis de los tres destilados se encuentra dentro del límite máximo, el cual debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales/100 ml.

El resultado de análisis de CN-T para los tres destilados se encuentra dentro del límite máximo que es 0,2 mg/L.

El laboratorio de Explosivos de Enaex realizó un análisis a diversos parámetros, donde se determina que antes de ser destilado el RIL de HAT, este poseía 0,25% de  $H_2SO_4$ , mientras que una vez destilado ya no se encuentra ácido sulfúrico en la muestra analizada. Esto mismo ocurre con  $HNO_3$ , donde disminuye en un 100% en la muestra destilada. El destilador solar del RIL de la Unidad HAT regula el pH de un 8 a un 7. En cuanto a los sólidos disueltos en g/L, en la muestra final analizada ya no hay sólidos disueltos. Por último las grasas y aceites analizadas, éstas disminuyen de un 93,7%.

Se determina que el RIL de Hidrólisis Alcalina Termal y su posterior destilado no se observa la banda a  $1272 \pm 0,5 \text{ cm}^{-1}$  que es característica de la Nitroglicerina, por lo que se concluye que no contiene Nitroglicerina.

El laboratorio de explosivos Enaex analizó los resultados de diferentes parámetros para el RIL de Emulsión inicial y una vez destilada. El destilador regula el pH de 9 a 7. Los sólidos disueltos totales disminuyen considerablemente. Las grasas y aceites disminuyen en un 91,96%. Y el porcentaje de Nitrato de Amonio disminuye en un 98,5%. El nitrato de amonio, como bien se sabe, este puede ser utilizado como fertilizante, por lo cual que haya un mínimo porcentaje en la muestra no altera su funcionalidad.

El laboratorio de explosivos Enaex realizó un análisis al RIL de la Unidad NAP, disminuye en un 100% el porcentaje de PETN, lo cual es favorable, debido a que el PETN es un explosivo. El porcentaje de sólidos disueltos totales disminuyen de un 0,441 g/L a 0 g/L. En cuanto al pH este se vuelve más ácido, de un 6,5 a 6.

Al evaporarse el agua contenida en la bandeja del RIL de HAT, se puede observar un alto contenido de colorante, la cual se puede visualizar por los restos sólidos rojos depositados en el fondo de la bandeja. Estos lodos de Hidrólisis contienen compuestos inorgánicos (Plomo, Cadmio, Mercurio, Cromo, Bario, Selenio, Arsénico

y Plata) que se encuentran dentro de la Concentración Máxima Permisible. En la bandeja del RIL de Emulsión, se puede observar un alto contenido de grasa y aceites. Y en la bandeja del RIL de la Unidad NAP, se observan restos sólidos blancos, los cuales podrían ser PETN, por lo cual es muy importante que el sistema sea continuo, debido que el PETN debe mantenerse húmedo para que no sea explosivo.

El análisis económico mostró que el proyecto de inversión dio como resultado un VAN positivo por lo que el proyecto es viable o rentable para ser ejecutado bajo los supuestos establecidos en el análisis económico.

La TIR de los destiladores solares es superior al TMAR por lo que es viable.

Los prototipos de destiladores solares utilizados en esta tesis utilizan la energía solar para su correcto funcionamiento, producen agua de muy buena calidad en relación a antes de ser destilada con energías renovables no convencionales, no generan emisiones a la atmósfera y los residuos industriales sólidos generados deben ser manejados con estrictos controles y con las respectivas recomendaciones de disposición. Siendo estos detonados junto a la basura explosiva que se origina en la Planta.

Los tres destiladores mostraron ser eficiente tanto en remoción de minerales dentro del marco de la normativa vigente aplicable al consumo de agua de riego en Chile como en generación de destilado.

## CAPÍTULO 8. RECOMENDACIONES

- Variar el ángulo de inclinación de la cubierta a 30° para aumentar la velocidad del agua condensada en la cubierta.
- Utilizar polimetilmetacrilato en el condensador (cubierta) y comparar los valores obtenidos con los del policarbonato utilizado en el sistema estudiado.
- Al momento de limpiar la cubierta, hacerlo de manera vertical para evitar la formación de estrías que puedan disminuir el rendimiento del equipo, y asegurarse de la eliminación de contaminantes tales como grasa y polvo proveniente del medio ambiente, debido que en Calama la velocidad del viento es mayor en comparación a otras ciudades de Chile.
- Aplicar anticorrosivo en la parte metálica interna para evitar ataques corrosivos.
- Utilizar canaletas en forma de “V” de tal manera que se pueda recuperar una mayor parte de agua destilada en el sistema en menor tiempo.
- Para la recepción de agua destilada, utilizar depósitos transparentes con medición para tener un panorama más preciso del agua destilada durante el proceso de destilación.
- Estudiar el comportamiento de dicho sistema en ambientes diversos, tales como los ubicados en las costas de nuestro país, verificando las temperaturas y volumen de agua destilado y compararlos con los obtenidos en el trabajo realizado para reportar que tan significativo pueda ser el proceso dependiendo de la zona de ubicación del mismo.
- Los residuos industriales sólidos que se encuentran depositados en las bandejas de los equipos son detonados junto a la basura explosiva de la Planta Enaex.

## CAPÍTULO 9. OBSERVACIONES

- La limpieza diaria de la cubierta de policarbonato tanto interna como externa influye de manera positiva en la eficiencia del equipo.
- Las canaletas poseen un grado de inclinación para que el agua condensada sea dispuesta en el frasco a analizar.
- La parte metálica interna del equipo muestra un ataque corrosivo debido a la evaporación sufrida por el agua y posterior condensación en dichos puntos.
- La cantidad de agua obtenida por los equipos es fundamental para realizarle los análisis correspondientes.

## CAPÍTULO 10. BIBLIOGRAFÍA

1. Mejías Valenzuela, P.A. (2011). Evaluación y Actualización Ambiental de la Planta Río Loa, Perteneciente a Enaex S.A. Universidad Católica del Norte, Departamento de Químico, Antofagasta.
2. Enaex S.A. (1999). Recuperado en Abril de 2014, de <http://www.enaex.cl>
3. Enaex S.A. y Filiales (2014). Memoria Anual 2013. Santiago: M&M Gráfica.
4. Enaex Servicios S.A. (2013). Memoria Planta de ANFO. Calama.
5. Metcalf & Eddy (1996), Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento y reutilización. McGraw Hill: México.
6. Rufes Martínez, P. (2010). Energía Solar Térmica: Técnicas para su aprovechamiento. España: Marcombo.
7. Meinel, A. B, & Meinel, M.P. (1892). Aplicaciones de la Energía Solar. Barcelona, España: Reverté, S.A.
8. Hermosillo Villalobos, J. J. (1995). Notas sobre curso de Energía Solar. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente. Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales División de Ingeniería., Jalisco.
9. LLorca, R., Bautista, I. (2006). Prácticas de atmósferas, suelo y agua. Valencia: Universidad Politécnica.
10. El Mercurio. (15 de Enero de 2010). El Mercurio Calama. Recuperado el Mayo del 2014, de Economía (Minería y Negocio): <http://www.mercuriocalama.cl>
11. Sitio Solar. (2013). Portal de Energías Renovables. Recuperado el Abril de 2014, de <http://www.sitiosolar.com/los-destiladores-solares/>
12. EcuRed. (14 de Diciembre de 2010). Destilador Solar. Recuperado el Abril de 2014, de [http://www.ecured.cu/index.php/Destilador\\_solar](http://www.ecured.cu/index.php/Destilador_solar)
13. Norma Chilena Oficial NCh 1333. Of 78. (1978). Requisitos de Calidad del agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización – INN – Chile, Santiago.

14. Sainz, J. A. (2007). *Tecnologías para la Sostenibilidad. Procesos y operaciones unitarias en depuración de aguas residuales*. Madrid: Fundación EOI.
15. Enaex. (2015). Hoja de Seguridad. Recuperado 10 de marzo de 2015, de [www.enaex.cl](http://www.enaex.cl).
16. Pickering, W. F. (1980). *Química Analítica Moderna*. Barcelona: Reverté, S.A.
17. Duffie, J. y Beckman, W. (1980). *Solar Energy Thermal Processes*, Ed. Interscience.
18. El Tiempo. Recuperado en Abril de 2014, de <http://www.tutiempo.net/clima/CALAMA/854320.htm>
19. Ángulo de inclinación de la cubierta
20. Petersen Oehninger, Hans Christian. (31 de Oct. 2007). *Análisis y Sistematización de datos para el diseño de sistemas solares térmicos en Chile*. Santiago, Chile.
21. Santiago Netto, R. (2007). Fisicanet. Recuperado el Mayo de 2014, de [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03\\_conductividad.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb03_conductividad.php)
22. König, O., & Kaufmann, J. (s.f.). Windfinder. Recuperado el Junio de 2014, de *Estadísticas de viento & tiempo Calama/El Loa*: [http://es.windfinder.com/windstatistics/calama\\_el\\_loa](http://es.windfinder.com/windstatistics/calama_el_loa)
23. Ullmann, F., & Gerhartz, W. (1995). *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (5 ed., Vol. 16). (1. VCH, Ed.) Michigan, EE.UU.
24. Dismatec Técnica S.A. (s.f.). Recuperado el Mayo de 2014, de <http://www.dismatec.com/pregfreg.html#4top>
25. Sobrino, J. A. (2000). *Teledetección*. España: Universidad de Valencia.
26. Incropera, Frank P., De Witt, David P. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor* (4ª edición). Pearson Educación. México.
27. Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2007). *Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química* (7ma ed.).
28. Nutsch, W. (1996). *Tecnología de la madera y del mueble*. Barcelona: Reverté.



29. Industrias JQ. (20 de Marzo de 2013). Recuperado el Mayo de 2014, de Plásticos de Ingeniería: <http://www.jq.com.ar/Imagenes/Productos/Policarbonato/dtecnicos/dtecnicos.htm>
30. Santiago Netto, R. (2007). Físicanet. Recuperado el mayo de 2014, de [http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb01\\_calor.php](http://www.fisicanet.com.ar/fisica/termodinamica/tb01_calor.php)
31. Vaxasoftware. (Marzo de 2007). Recuperado el 2014, de Densidad del agua líquida entre 0 °C y 100 °C : [http://www.vaxasoftware.com/doc\\_edu/qui/denh2o.pdf](http://www.vaxasoftware.com/doc_edu/qui/denh2o.pdf)
32. Memoria Explicativa Plan Seccional Topater Calama. 2009.
33. Varela, D. L., Molina, F.D., & Alvarez, A. J. (2008). Protocolo de Auditoría Energética en Invernadero. Madrid, España.
34. Paul A. Tipler. (1980). Física Moderna. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España.
35. Peters, M. S., & Timmerhaus, K. D. (1991). Plant Design and Economics for Chemical Engineers. McGraw-Hill.
36. Huevo, F. R., & Morán, J. I. (2012). Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la Escuela de Ingeniería Química. San Salvador.

## ANEXO A

Tabla A.1. Velocidad del viento (km/h) en la ciudad de Calama.

Velocidad del Viento (km/h)											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	28	15	17	26	33	33	39	24	15	39	26,9
<b>26-sep</b>	8	11	14	19	24	29	28	27	8	29	20,0
<b>29-sep</b>	22	9	9	30	37	25	25	26	9	37	22,9
<b>30-sep</b>	22	6	17	12	9	6	6	6	6	22	10,5
<b>01-oct</b>	37	10	10	14	18	22	22	22	10	37	19,4
<b>02-oct</b>	30	10	11	14	17	20	21	21	10	30	18,0
<b>03-oct</b>	25	11	12	15	18	22	22	22	11	25	18,4
<b>06-oct</b>	20	11	13	16	20	23	23	23	11	23	18,6
<b>07-oct</b>	11	10	8	11	14	19	19	21	8	21	14,1
<b>08-oct</b>	22	19	14	14	18	21	19	19	14	22	18,3
<b>09-oct</b>	22	21	19	16	16	14	13	11	11	22	16,5
<b>10-oct</b>	24	19	16	11	13	16	19	18	11	24	17,0
<b>13-oct</b>	27	24	21	10	11	13	16	16	10	27	17,3
<b>14-oct</b>	13	13	14	14	16	18	21	19	13	21	16,0
<b>15-oct</b>	8	10	11	26	26	27	32	29	8	32	21,1
<b>16-oct</b>	32	27	22	19	16	14	32	27	14	32	23,6
<b>17-oct</b>	8	10	11	13	14	16	19	19	8	19	13,8
<b>20-oct</b>	16	16	15	15	16	18	20	20	15	20	17,0
<b>21-oct</b>	24	22	20	18	18	20	22	20	18	24	20,5
<b>22-oct</b>	9	9	11	11	15	20	26	24	9	26	15,6
<b>23-oct</b>	17	6	4	2	0	0	20	22	0	22	8,9
<b>24-oct</b>	39	33	28	22	18	17	17	13	13	39	23,4
<b>27-oct</b>	11	11	11	11	13	15	17	15	11	17	13,0
<b>28-oct</b>	17	17	18	18	20	24	26	26	17	26	20,8

Tabla A.2. Humedad Relativa en Calama.

Humedad Relativa (%)									
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio
25-sep	11	9	9	8	7	6	6	6	7,8
26-sep	14	11	9	8	7	6	6	7	8,5
29-sep	13	11	11	12	11	5	6	7	9,5
30-sep	16	13	16	11	9	6	6	6	10,4
01-oct	11	7	6	5	5	4	5	5	6,0
02-oct	15	14	13	13	13	13	13	14	13,5
03-oct	15	14	13	13	13	13	12	12	13,1
06-oct	15	14	14	14	14	12	11	10	13,0
07-oct	26	20	16	12	12	12	11	11	15,0
08-oct	14	14	14	15	14	15	14	14	14,3
09-oct	12	14	16	19	21	19	17	16	16,8
10-oct	10	12	12	12	14	14	14	13	12,6
13-oct	15	14	12	8	8	8	8	9	10,3
14-oct	21	20	17	15	13	11	12	13	15,3
15-oct	26	25	21	8	9	12	8	11	15,0
16-oct	12	14	14	7	9	11	9	12	11,0
17-oct	38	37	31	27	24	23	22	21	27,9
20-oct	20	20	18	14	12	11	9	8	14,0
21-oct	13	15	16	17	17	16	15	15	15,5
22-oct	22	22	18	16	15	14	13	12	16,5
23-oct	22	21	17	14	12	11	9	8	14,3
24-oct	13	13	13	7	9	10	10	12	10,9
27-oct	33	33	27	23	20	19	19	19	24,1
28-oct	29	26	22	19	18	18	18	18	21,0

Tabla A.3. Nubosidad para la ciudad de Calama.

Nubosidad (%)									
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio
25-sep	20	22	24	26	28	30	39	35	28
26-sep	74	54	35	34	33	32	41	50	44,1
29-sep	93	92	91	90	89	88	92	96	91,4
30-sep	91	90	88	88	87	86	84	81	86,9
01-oct	87	67	62	61	61	60	72	83	69,1
02-oct	99	99	99	99	99	99	90	81	95,6
03-oct	7	8	9	40	45	38	44	50	30,1
06-oct	0	2	8	14	23	31	38	27	17,9
07-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13-oct	2	2	1	0	0	0	0	0	0,6
14-oct	52	32	12	0	34	66	99	99	49,3
15-oct	7	7	8	50	45	39	62	52	33,8
16-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-oct	0	0	0	0	0	1	2	1	0,5
20-oct	35	24	13	5	16	34	39	43	26,1
21-oct	75	78	83	87	94	96	98	99	88,8
22-oct	12	9	6	3	0	0	0	0	3,8
23-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27-oct	0	0	0	0	1	2	4	5	1,5
28-oct	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla A.4. Temperatura Ambiental [°C] en la ciudad de Calama.

Temperatura Ambiente (°C)									
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Promedio
<b>25-sep</b>	14	18	20	21	22	22	22	19	20
<b>26-sep</b>	15	16	18	19	21	22	21	21	19
<b>29-sep</b>	15	19	21	22	23	23	22	21	21
<b>30-sep</b>	17	20	22	20	22	23	23	22	21
<b>01-oct</b>	10	20	22	23	24	25	24	23	21
<b>02-oct</b>	14	21	22	23	23	24	24	24	22
<b>03-oct</b>	13	19	20	22	23	24	25	24	21
<b>06-oct</b>	12	16	18	21	23	25	26	26	21
<b>07-oct</b>	13	17	21	26	26	27	27	26	23
<b>08-oct</b>	16	18	21	23	25	25	25	25	22
<b>09-oct</b>	13	16	19	21	23	24	26	26	21
<b>10-oct</b>	13	16	18	20	22	24	25	26	21
<b>13-oct</b>	14	18	21	26	28	29	31	30	25
<b>14-oct</b>	10	13	17	21	25	28	28	27	21
<b>15-oct</b>	17	20	23	24	25	26	26	26	23
<b>16-oct</b>	16	20	23	26	28	29	27	27	25
<b>17-oct</b>	15	18	20	23	24	25	25	25	22
<b>20-oct</b>	15	18	19	22	23	24	25	24	21
<b>21-oct</b>	15	18	19	21	22	23	24	24	21
<b>22-oct</b>	15	18	21	23	24	25	25	26	22
<b>23-oct</b>	14	17	20	23	24	25	26	26	22
<b>24-oct</b>	13	17	20	24	25	26	27	27	22
<b>27-oct</b>	15	18	21	23	25	25	24	24	22
<b>28-oct</b>	14	17	20	22	23	24	24	24	21

## ANEXO B

Registro de Temperaturas de los tres prototipos de Destilador Solar durante 20 días.

Tabla B.1. Registro de Temperatura de una cara de la cubierta HAT ( $T_1$ ).

Temperatura de cubierta (cara 1) $T_1$ (°C) HAT											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínim o	Máxim o	Promedi o
<b>25-sep</b>	12,0	20,3	28,8	28,7	33,1	35,1	35,2	30,4	12,0	35,2	27,7
<b>29-sep</b>	13,8	22,6	30,8	36,3	38,5	34,0	37,5	32,4	13,8	38,5	30,7
<b>30-sep</b>	11,8	23,8	34,0	39,3	38,2	40,6	36,2	32,5	23,8	40,6	34,2
<b>01-oct</b>	15,9	11,1	26,4	45,4	43,5	41,7	37,5	36,0	11,1	45,4	34,5
<b>02-oct</b>	14,9	16,9	29,9	38,6	39,0	40,2	41,6	35,7	14,9	41,6	32,1
<b>03-oct</b>	14,0	16,1	29,7	37,3	38,0	38,9	39,3	34,8	14,0	39,3	31,0
<b>06-oct</b>	15,4	20,6	33,9	34,0	30,0	23,7	28,1	25,3	15,4	34,0	26,4
<b>07-oct</b>	18,7	25,0	29,8	38,2	39,9	34,1	31,8	28,4	18,7	39,9	30,7
<b>08-oct</b>	18,1	29,1	37,3	34,4	34,6	32,2	32,5	29,7	18,1	37,3	31,0
<b>09-oct</b>	17,4	24,2	33,6	36,0	35,7	36,7	33,1	31,0	17,4	36,7	31,0
<b>10-oct</b>	22,8	18,5	34,3	32,7	32,3	32,5	30,3	29,9	18,5	34,3	29,2
<b>13-oct</b>	18,5	29,6	35,1	40,4	36,7	36,7	34,0	33,4	18,5	40,4	33,1
<b>14-oct</b>	21,2	30,0	35,6	40,6	37,9	37,8	34,3	33,7	30,0	40,6	35,7
<b>20-oct</b>	22,0	31,0	36,6	41,0	38,5	35,8	34,6	30,2	22,0	41,0	33,7
<b>21-oct</b>	17,0	20,2	23,4	26,5	26,5	27,6	25,6	23,1	17,0	27,6	23,7
<b>22-oct</b>	20,6	29,2	33,5	36,0	35,8	36,8	34,4	31,3	20,6	36,8	32,2
<b>23-oct</b>	16,5	25,0	30,6	40,6	41,3	37,2	35,7	34,6	16,5	41,3	32,7
<b>24-oct</b>	21,4	29,7	34,8	39,4	37,2	35,6	33,4	33,0	21,4	39,4	33,1
<b>27-oct</b>	18,3	28,0	36,2	36,8	34,9	33,3	32,2	29,3	18,3	36,8	31,1
<b>28-oct</b>	20,0	26,7	32,1	33,5	32,7	32,1	31,7	28,4	20,0	33,5	29,7

Tabla B.2. Registro de Temperatura de la otra cara de la cubierta de HAT ( $T_1'$ ).

Temperatura de cubierta (cara 2) $T_1'$ (°C) HAT											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	12,1	20,8	18,7	29,3	37,1	35,1	36,1	29,8	12,1	37,1	28,5
<b>29-sep</b>	14,7	23,1	30,8	36,3	40,3	36,9	41,2	33,8	23,1	41,2	34,8
<b>30-sep</b>	12,5	23,8	34,0	40,8	39,8	43,1	40,6	34,6	23,8	43,1	36,2
<b>01-oct</b>	16,6	11,6	27,5	44,6	43,6	42,1	38,1	29,6	11,6	44,6	31,7
<b>02-oct</b>	15,8	15,1	26,8	41,6	39,7	41,2	44,1	34,6	15,1	44,1	32,4
<b>03-oct</b>	15,2	15,0	30,1	37,3	38,8	39,2	40,5	34,2	15,0	40,5	31,3
<b>06-oct</b>	17,1	20,9	33,3	34,2	30,3	25,3	29,3	25,8	17,1	34,2	27,0
<b>07-oct</b>	19,8	26,3	30,4	39,1	40,9	35,7	34,6	28,5	19,8	40,9	31,9
<b>08-oct</b>	19,4	20,1	39,1	35,2	35,5	32,7	33,2	29,7	20,1	39,1	32,2
<b>09-oct</b>	18,4	24,4	34,6	36,9	36,2	38,3	34,5	31,8	24,4	38,3	33,8
<b>10-oct</b>	22,8	17,6	35,2	32,8	32,9	35,1	33,2	30,2	17,6	35,2	30,0
<b>13-oct</b>	19,3	28,8	35,1	41,0	37,6	39,7	36,9	35,0	19,3	41,0	34,2
<b>14-oct</b>	22,3	31,0	36,7	40,9	38,3	38,9	36,3	35,7	22,3	40,9	35,0
<b>20-oct</b>	22,9	32,2	37,6	41,0	39,4	38,3	35,6	31,0	22,9	41,0	34,8
<b>21-oct</b>	17,2	20,7	24,0	26,6	26,7	27,8	26,0	23,4	17,2	27,8	24,1
<b>22-oct</b>	21,4	28,2	32,6	35,2	36,9	39,4	36,2	32,1	21,4	39,4	32,8
<b>23-oct</b>	16,7	24,7	30,3	40,1	41,0	39,1	38,2	35,2	16,7	41,0	33,2
<b>24-oct</b>	22,0	29,9	35,1	39,6	37,6	36,6	35,1	33,2	22,0	39,6	33,6
<b>27-oct</b>	18,5	27,5	36,4	36,4	35,2	34,9	33,2	29,6	18,5	36,4	31,5
<b>28-oct</b>	20,5	26,9	32,3	33,7	33,2	32,9	32,6	29,0	20,5	33,7	30,1

Tabla B.3. Registro de Temperatura de Bandeja de aluminio HAT (T<sub>2</sub>).

Temperatura de Bandeja (Evaporador) T <sub>2</sub> (°C) HAT											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	12,2	14,9	33,7	37,2	43,5	45,5	45,1	43,4	12,2	45,5	34,4
<b>29-sep</b>	12,9	22,5	35,2	43,0	45,2	44,1	44,7	39,8	22,5	44,7	38,2
<b>30-sep</b>	13,9	25,4	36,9	44,7	44,2	45,1	44,3	40,9	25,4	45,1	38,5
<b>01-oct</b>	18,8	25,8	30,6	42,2	47,0	44,5	43,4	42,2	18,8	47,0	36,0
<b>02-oct</b>	18,4	28,3	38,7	47,0	46,4	39,3	40,6	37,1	18,4	47,0	37,0
<b>03-oct</b>	17,0	25,3	34,1	38,2	37,1	36,2	35,2	33,6	17,0	38,2	32,1
<b>06-oct</b>	22,1	25,5	35,5	37,0	38,2	40,1	38,1	33,4	22,1	40,1	33,7
<b>07-oct</b>	20,4	25,1	31,0	39,8	43,0	36,7	35,5	35,1	20,4	43,0	33,3
<b>08-oct</b>	12,5	17,7	39,1	43,0	43,6	40,0	39,2	37,6	12,5	43,6	34,1
<b>09-oct</b>	15,7	27,2	38,1	44,5	43,5	42,6	42,3	40,4	15,7	44,5	36,8
<b>10-oct</b>	22,7	18,4	36,1	36,9	37,0	37,1	36,4	34,3	18,4	37,1	32,4
<b>13-oct</b>	20,1	33,0	36,4	40,2	38,6	46,4	46,6	44,1	20,1	46,6	38,2
<b>14-oct</b>	23,5	40,4	46,6	50,1	48,9	47,4	45,9	41,0	23,5	50,1	43,0
<b>20-oct</b>	12,0	14,2	22,2	46,8	48,9	48,9	45,9	41,2	12,0	48,9	35,0
<b>21-oct</b>	15,4	21,0	29,0	32,6	34,9	35,3	34,9	32,7	15,4	35,3	29,5
<b>22-oct</b>	19,0	32,4	38,1	45,4	46,4	47,4	46,7	44,4	19,0	47,4	40,0
<b>23-oct</b>	16,5	26,5	35,7	47,5	49,5	50,7	48,3	46,2	16,5	50,7	40,1
<b>24-oct</b>	22,4	32,9	45,3	50,2	49,5	48,8	46,2	43,0	22,4	50,2	42,3
<b>27-oct</b>	18,0	34,3	42,2	49,1	48,2	46,6	45,0	40,4	18,0	49,1	40,5
<b>28-oct</b>	22,7	35,3	42,6	47,2	46,3	45,0	44,8	39,3	22,7	47,2	40,4



Tabla B.4. Registro de Temperatura de RIL de la bandeja a Evaporar HAT (T<sub>3</sub>).

Temperatura de RIL a Evaporar T <sub>3</sub> (°C) HAT											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	13,0	22,0	34,2	36,2	42,4	44,2	44,1	43,4	13,0	44,2	34,9
<b>29-sep</b>	12,9	22,5	35,2	43,0	45,2	44,1	43,7	38,2	12,9	45,2	35,6
<b>30-sep</b>	13,9	25,4	36,6	44,6	44,2	45,0	44,2	40,7	13,9	45,0	36,8
<b>01-oct</b>	18,6	25,7	30,6	42,0	46,9	44,3	43,2	41,9	18,6	46,9	36,7
<b>02-oct</b>	18,3	28,1	38,6	47,0	46,1	39,3	40,6	37,1	18,3	47,0	36,9
<b>03-oct</b>	16,7	25,1	33,9	38,2	37,0	36,1	35,2	35,0	16,7	38,2	32,2
<b>06-oct</b>	22,0	25,4	35,5	36,9	38,2	40,1	38,1	33,4	22,0	40,1	33,7
<b>07-oct</b>	20,2	25,0	30,9	39,8	43,0	36,7	35,4	35,0	20,2	43,0	33,3
<b>08-oct</b>	15,9	17,5	39,4	41,2	43,6	40,0	39,5	39,0	15,9	43,6	34,5
<b>09-oct</b>	15,4	27,0	37,9	44,3	43,5	42,5	42,3	40,3	15,4	44,3	36,7
<b>10-oct</b>	22,5	18,0	36,0	37,7	36,8	37,0	36,3	36,0	18,0	37,7	32,5
<b>13-oct</b>	20,0	32,7	36,2	40,2	38,5	46,4	46,6	44,0	20,0	46,6	38,1
<b>14-oct</b>	23,2	40,2	46,4	51,0	48,9	48,2	46,8	45,1	23,2	51,0	43,7
<b>20-oct</b>	12,0	14,0	37,2	46,5	48,6	48,7	45,6	41,0	12,0	48,7	36,7
<b>21-oct</b>	15,5	20,8	28,9	32,4	34,8	35,2	34,7	32,7	15,5	35,2	29,4
<b>22-oct</b>	18,5	32,0	38,0	45,3	46,2	47,2	46,5	44,3	18,5	47,2	39,8
<b>23-oct</b>	16,1	26,2	35,5	47,4	49,4	50,7	48,3	46,2	16,1	50,7	40,0
<b>24-oct</b>	22,0	32,9	45,3	50,2	49,5	48,8	46,1	45,0	22,0	50,2	42,5
<b>27-oct</b>	18,0	34,3	42,2	49,1	48,2	46,6	45,0	40,4	18,0	49,1	40,5
<b>28-oct</b>	22,3	35,0	42,3	47,0	46,2	45,0	44,6	39,2	22,3	47,0	40,2

Tabla B.5. Registro de Temperatura de una cara de la cubierta Emulsión ( $T_1$ ).

Temperatura de cubierta (cara 1) $T_1$ (°C) Emulsión											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	14,7	16,9	19,1	26,2	33,8	33,8	33,3	26,8	14,7	33,8	25,2
<b>26-sep</b>	16,4	24,3	28,2	29,6	30,2	33,8	32,6	26,4	24,3	33,8	28,6
<b>29-sep</b>	14,8	21,8	26,3	31,2	30,8	30,0	30,7	28,6	21,8	31,2	27,3
<b>30-sep</b>	12,8	24,3	30,4	32,9	31,9	33,7	30,6	28,8	24,3	32,9	29,1
<b>01-oct</b>	16,4	18,9	24,8	38,3	31,7	32,0	30,0	29,6	16,4	32,0	25,4
<b>02-oct</b>	18,3	23,4	36,7	46,9	39,0	40,2	36,2	32,6	18,3	46,9	34,2
<b>03-oct</b>	17,6	22,9	31,6	37,3	33,3	25,6	26,5	23,0	17,6	37,3	27,2
<b>06-oct</b>	20,5	26,6	32,7	36,6	36,3	36,5	33,0	27,8	20,5	36,6	31,3
<b>07-oct</b>	23,6	25,8	29,2	38,2	37,8	33,8	31,8	28,1	23,6	38,2	31,0
<b>08-oct</b>	22,2	24,5	27,7	28,4	34,9	32,9	33,0	32,9	22,2	34,9	29,6
<b>09-oct</b>	19,6	23,1	29,4	31,2	32,3	34,6	32,5	30,6	19,6	34,6	29,2
<b>10-oct</b>	22,2	17,2	30,1	28,8	30,3	30,9	30,4	28,4	17,2	30,9	28,0
<b>13-oct</b>	19,5	27,3	32,5	38,5	35,0	37,3	35,2	34,9	19,5	38,5	32,5
<b>21-oct</b>	17,6	21,5	24,5	26,4	26,0	27,0	25,0	22,5	17,6	27,0	23,8
<b>22-oct</b>	22,3	29,2	34,7	34,0	34,6	36,9	33,2	30,8	22,3	36,9	32,0
<b>23-oct</b>	17,9	25,9	32,1	40,8	41,5	37,1	34,6	33,1	17,9	41,5	32,9
<b>24-oct</b>	22,8	28,6	35,0	38,3	36,7	34,8	31,2	28,3	22,8	38,3	32,0
<b>27-oct</b>	20,2	27,9	38,1	33,5	32,7	32,0	32,0	28,8	20,2	38,1	30,7
<b>28-oct</b>	21,4	22,9	26,8	29,8	28,9	28,3	30,5	26,9	21,4	30,5	26,9

Tabla B.6. Registro de Temperatura de la otra cara de la cubierta Emulsión ( $T_1'$ ).

Temperatura de cubierta (cara 2) $T_1'$ (°C) Emulsión											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	15,3	17,4	21,5	28,7	33,8	34,7	34,5	29,0	15,3	34,7	26,0
<b>26-sep</b>	15,0	25,0	28,8	33,3	33,6	34,3	33,1	27,0	25,0	34,3	28,8
<b>29-sep</b>	13,5	22,4	30,3	35,6	34,6	31,2	32,1	28,8	22,4	35,6	30,7
<b>30-sep</b>	12,4	24,3	30,4	37,7	35,3	35,0	30,4	28,3	24,3	37,7	31,0
<b>01-oct</b>	15,1	14,0	30,0	44,3	35,4	32,5	29,5	29,8	14,0	44,3	28,8
<b>02-oct</b>	17,2	22,8	42,9	53,4	39,7	41,2	35,5	32,0	17,2	53,4	35,6
<b>03-oct</b>	17,3	22,0	24,7	36,7	32,9	25,3	25,8	27,0	17,3	36,7	26,5
<b>06-oct</b>	19,7	28,7	35,8	38,8	38,7	38,7	33,8	28,5	19,7	38,8	32,8
<b>07-oct</b>	22,7	27,6	32,7	42,0	41,3	34,3	31,7	28,3	22,7	42,0	32,6
<b>08-oct</b>	22,9	25,0	29,9	30,0	36,5	32,6	34,1	33,4	22,9	36,5	30,6
<b>09-oct</b>	17,3	23,0	30,4	32,2	34,2	35,5	31,8	31,2	17,3	35,5	29,5
<b>10-oct</b>	21,2	17,5	31,4	30,8	31,8	31,9	30,5	28,5	17,5	31,9	28,0
<b>13-oct</b>	18,2	27,7	34,5	39,6	37,4	38,2	36,2	35,5	18,2	39,6	33,4
<b>21-oct</b>	17,7	21,8	25,1	27,3	26,7	27,2	25,0	22,9	17,7	27,3	24,2
<b>22-oct</b>	21,6	30,6	36,7	35,4	36,5	37,2	34,1	31,6	21,6	37,2	33,0
<b>23-oct</b>	17,3	26,5	34,0	43,4	43,8	37,6	35,0	34,2	17,3	43,8	34,0
<b>24-oct</b>	22,4	28,2	36,7	40,4	37,2	35,7	31,9	28,7	22,4	40,4	32,7
<b>27-oct</b>	19,1	29,4	38,9	36,0	32,9	32,5	31,2	28,5	19,1	38,9	31,1
<b>28-oct</b>	21,0	22,8	28,2	30,7	29,8	29,3	31,0	28,2	21,0	31,0	27,6

Tabla B.7. Registro de Temperatura de Bandeja de aluminio Emulsión (T<sub>2</sub>).

Temperatura de Bandeja (Evaporador) T <sub>2</sub> (°C) Emulsión											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>25-sep</b>	9,3	17,0	20,5	33,9	39,4	40,6	40,5	39,3	9,3	40,6	29,5
<b>26-sep</b>	10,8	21,5	31,5	35,3	37,6	38,7	38,5	37,0	21,5	38,7	34,1
<b>29-sep</b>	9,7	20,5	32,4	38,3	38,5	37,2	36,5	35,8	32,4	38,5	36,5
<b>30-sep</b>	11,4	23,1	35,3	40,5	39,8	39,1	37,4	36,0	11,4	40,5	32,8
<b>01-oct</b>	18,7	26,1	29,2	40,8	40,5	38,5	37,9	36,8	18,7	40,8	33,6
<b>02-oct</b>	22,2	28,8	39,8	47,6	46,4	39,3	36,7	36,0	22,2	47,6	35,8
<b>03-oct</b>	18,4	24,6	32,7	36,7	33,4	25,1	26,7	25,2	18,4	36,7	27,9
<b>06-oct</b>	21,6	28,3	38,8	38,0	37,7	37,2	36,1	32,8	21,6	38,8	33,8
<b>07-oct</b>	23,3	28,6	33,2	41,7	39,1	34,6	33,5	32,7	23,3	41,7	33,3
<b>08-oct</b>	10,0	16,4	29,5	35,5	45,6	44,7	43,0	42,6	10,0	45,6	33,4
<b>09-oct</b>	11,7	23,1	34,0	40,6	43,3	45,5	44,9	42,3	11,7	45,5	35,7
<b>10-oct</b>	22,5	17,8	34,9	39,9	40,6	41,8	42,2	40,1	17,8	42,2	35,0
<b>13-oct</b>	16,9	31,1	37,0	42,2	45,0	44,8	44,1	43,2	16,9	45,0	38,0
<b>21-oct</b>	16,8	22,4	30,1	31,8	32,7	32,8	33,0	30,1	16,8	33,0	28,7
<b>22-oct</b>	21,2	34,2	40,0	44,6	46,1	44,6	44,0	42,5	21,2	46,1	39,7
<b>23-oct</b>	19,0	29,9	37,8	50,0	51,9	47,6	46,3	44,9	19,0	51,9	40,9
<b>24-oct</b>	25,2	36,5	44,9	49,2	47,9	45,4	44,6	41,0	25,2	49,2	41,8
<b>27-oct</b>	20,1	35,7	46,4	49,2	48,3	47,4	45,9	43,8	20,1	49,2	42,1
<b>28-oct</b>	26,3	24,8	30,3	40,0	42,2	44,0	44,1	42,3	24,8	44,1	36,8

Tabla B.8. Registro de Temperatura de RIL de la bandeja a evaporar Emulsión (T<sub>3</sub>).

Temperatura de RIL a Evaporar T <sub>3</sub> (°C) Emulsión											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
25-sep	9,6	17,7	20,8	33,3	38,5	39,9	40,3	38,6	9,6	40,3	29,8
26-sep	10,6	21,4	31,4	35,3	37,4	38,7	38,5	37,5	21,4	38,7	33,8
29-sep	9,7	20,5	32,4	38,3	38,5	37,2	36,3	35,7	20,5	38,5	34,1
30-sep	11,4	23,1	35,3	40,4	39,8	39,0	37,2	35,9	11,4	40,4	32,8
01-oct	18,6	26,0	29,1	40,6	40,3	38,2	37,7	36,6	18,6	40,6	33,4
02-oct	22,1	28,7	39,6	47,6	46,1	39,3	36,5	35,9	22,1	47,6	37,0
03-oct	18,1	24,4	32,6	36,6	33,3	25,1	26,7	26,0	18,1	36,6	27,9
06-oct	21,4	28,1	38,7	38,0	37,6	37,2	36,0	32,8	21,4	38,7	33,7
07-oct	23,0	28,5	33,1	41,7	39,1	34,5	33,4	32,6	23,0	41,7	33,2
08-oct	13,0	17,4	28,9	35,5	45,3	44,5	42,8	42,4	13,0	45,3	33,7
09-oct	11,4	22,9	33,9	40,3	43,2	45,4	44,9	42,1	11,4	45,4	35,5
10-oct	22,0	17,3	34,8	39,7	40,6	41,6	42,1	40,8	17,3	42,1	34,9
13-oct	17,0	31,0	36,9	42,2	44,9	44,8	44,1	43,1	17,0	44,9	38,0
21-oct	16,4	22,3	30,0	31,7	32,6	32,7	32,9	30,1	16,4	32,9	28,6
22-oct	20,5	34,1	39,8	44,5	46,1	44,5	43,8	42,4	20,5	46,1	39,5
23-oct	18,6	29,6	37,6	50,0	51,9	47,3	46,3	44,9	18,6	51,9	40,8
24-oct	25,0	36,2	44,3	49,2	47,4	45,1	44,1	43,0	25,0	49,2	41,8
27-oct	19,8	35,2	46,0	48,6	47,9	46,9	45,4	43,3	19,8	48,6	41,6
28-oct	25,6	24,0	29,5	39,6	41,7	43,6	43,4	41,7	24,0	43,6	36,1

Tabla B.9. Registro de Temperatura de una cara de la cubierta NAP ( $T_1$ ).

Temperatura de cubierta (cara 1) $T_1$ (°C) NAP											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
20-oct	22,0	27,8	31,2	33,4	36,0	33,6	33,2	31,0	22,0	36,0	31,0
21-oct	17,7	21,0	23,1	25,8	25,8	26,7	25,7	22,7	17,7	26,7	23,6
22-oct	21,5	28,0	31,4	33,6	34,4	36,8	34,9	31,6	21,5	36,8	31,5
23-oct	17,1	24,5	29,2	39,2	38,1	38,3	35,9	34,6	17,1	39,2	32,1
24-oct	22,0	28,3	32,5	37,1	35,3	31,4	29,8	33,2	22,0	37,1	31,2
27-oct	18,2	26,8	34,9	34,2	33,9	33,2	32,4	28,0	18,2	34,9	30,2
28-oct	19,8	26,6	31,0	32,5	32,2	32,0	32,0	27,6	19,8	32,5	29,2

Tabla B.10. Registro de Temperatura de la otra cara de la cubierta NAP ( $T_1'$ ).

Temperatura de cubierta (cara 2) $T_1'$ (°C) NAP											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
20-oct	22,3	28,4	32,0	34,2	36,7	33,6	33,5	31,2	22,3	36,7	31,5
21-oct	17,8	21,2	23,9	25,8	26,0	26,7	24,8	22,8	17,8	26,7	23,6
22-oct	21,5	29,2	33,7	34,1	34,5	35,7	32,7	30,2	21,5	35,7	31,5
23-oct	17,4	26,1	31,6	40,9	38,9	39,5	35,1	34,3	17,4	40,9	33,0
24-oct	22,6	29,0	34,6	37,8	35,7	31,7	29,9	33,1	22,6	37,8	31,8
27-oct	19,1	30,9	40,7	45,1	44,5	43,0	42,4	35,4	19,1	45,1	37,6
28-oct	20,7	27,6	32,0	32,8	32,5	32,0	31,3	27,1	20,7	32,8	29,5

Tabla B.11. Registro de Temperatura de Bandeja de aluminio NAP ( $T_2$ ).

Temperatura de Bandeja (Evaporador) $T_2$ (°C) NAP											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
20-oct	15,0	20,0	34,2	39,9	43,9	42,2	40,3	38,2	15,0	43,9	34,2
21-oct	15,3	20,5	26,6	30,8	32,0	32,5	32,5	30,1	15,3	32,5	27,5
22-oct	19,0	31,2	35,2	39,9	41,9	43,2	43,3	41,6	19,0	43,3	36,9
23-oct	15,8	25,8	33,4	45,7	45,3	46,1	45,3	44,5	15,8	46,1	37,7
24-oct	22,7	32,6	41,3	45,2	40,2	38,4	37,9	34,0	22,7	45,2	36,5
27-oct	16,9	30,9	40,7	45,1	44,5	43,0	42,4	35,4	16,9	45,1	37,4
28-oct	21,3	33,6	38,6	44,6	44,4	44,2	39,9	32,3	21,3	44,6	37,4

Tabla B.12. Registro de Temperatura de RIL de la bandeja a Evaporar NAP (T<sub>3</sub>).

Temperatura de RIL a Evaporar T <sub>3</sub> (°C) NAP											
Día\Hora	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	Mínimo	Máximo	Promedio
<b>20-oct</b>	17,0	29,0	33,9	39,5	43,7	42,0	40,0	38,1	17,0	43,7	39,5
<b>21-oct</b>	14,9	20,3	26,4	30,6	32,0	32,3	32,3	30,2	14,9	32,3	30,6
<b>22-oct</b>	18,6	31,0	35,1	39,8	41,7	43,1	43,2	41,4	18,6	43,2	40,7
<b>23-oct</b>	15,6	25,6	33,3	45,6	45,1	45,8	45,3	44,5	15,6	45,8	43,3
<b>24-oct</b>	22,3	32,4	41,0	44,8	39,9	38,1	37,7	34,0	22,3	44,8	39,3
<b>27-oct</b>	16,3	30,4	40,2	45,0	44,2	42,5	42,0	38,9	16,3	45,0	42,1
<b>28-oct</b>	21,0	33,2	38,2	44,3	44,0	44,9	39,4	33,0	21,0	44,3	40,5

## ANEXO C

Volumen Destilado diario de los prototipos:

A continuación, se puede apreciar la contribución del volumen recolectado diariamente durante el tiempo de muestreo. Así se obtiene la fracción de agua evaporada (Tabla 4.18) en el sistema, debido a que no todo el RIL retenido en la bandeja es evaporado, se calcula el porcentaje de agua aproximado, dividiendo la cantidad de agua promedio obtenida del sistema por la cantidad de agua adicionada al sistema.

Tabla C.1. Datos recopilados de Volumen de RIL Hidrólisis Alcalina Termal.

Día	Volumen Alimentado (L)	Volumen Producido (L)	Volumen Total (L)
25-sep	20	0,35	0,35
26-sep	0	0,55	0,90
29-sep	0	0,55	1,45
30-sep	0	0,50	1,95
01-oct	0	0,35	2,30
02-oct	0	0,25	2,55
03-oct	0	0,15	2,70
06-oct	0	0,05	2,75
07-oct	11	0,35	3,10
08-oct	0	0,25	3,35
09-oct	0	0,20	3,55
10-oct	0	0,15	3,70
13-oct	0	0,15	3,85
14-oct	0	0,10	3,95
15-oct	0	0,05	4,00
16-oct	0	0,05	4,05
17-oct	0	0,05	4,10
20-oct	20	0,40	4,50
21-oct	0	0,35	4,85
22-oct	0	0,25	5,10
23-oct	0	0,20	5,30
24-oct	0	0,20	5,50
27-oct	0	0,20	5,70



Tabla C.2. Datos recopilados de Volumen de RIL Emulsión.

Día	Volumen Alimentado (L)	Volumen Producido (L)	Volumen Total (L)
25-sep	20	0,175	0,18
26-sep	0	0,14	0,32
29-sep	0	0,11	0,43
30-sep	0	0,065	0,49
01-oct	0	0,11	0,60
02-oct	3	0,10	0,70
03-oct	0	0,30	1,00
06-oct	0	0,30	1,30
07-oct	0	0,20	1,50
08-oct	20	0,30	1,80
09-oct	0	0,50	2,30
10-oct	0	0,60	2,90
13-oct	0	0,70	3,60
14-oct	0	0,40	4,00
15-oct	0	0,40	4,40
16-oct	0	0,20	4,60
17-oct	0	0,20	4,80
20-oct	2	0,90	5,70
21-oct	0	0,40	6,10
22-oct	0	0,01	6,11
23-oct	0	0,21	6,32
24-oct	0	0,38	6,70
27-oct	0	0,20	6,90

Tabla C.3. Datos recopilados NAP para cálculo de tasa de evaporación.

Día	Volumen Alimentado (L)	Volumen Destilado (L)	Volumen Total (L)
20-oct	20	0,45	0,45
21-oct	0	0,40	0,85
22-oct	0	0,40	1,25
23-oct	0	0,35	1,60
24-oct	0	0,35	1,95
27-oct	0	0,30	2,25

## ANEXO D

	<b>Riles</b>		
<b>Calidad – Laboratorio Químico.</b>			
Solicitado por	Patricia Mejías	N°	LQ # 487
Cargo	Ingeniero Ambiental	Fecha	30-09-2014
Planta/Oficina/Dpto.	Rio Loa	Página	1 de 1

### PRUEBAS REQUERIDAS

% Petn, g/L Sólidos totales, % Acidez, pH, g/L Grasas Totales, % NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

Fecha de Análisis	30-09-2014
Analista(s)	Nathaly Almeida


### RESULTADOS

RILES	Hidrólisis Alcalina	NAP	Emulsión
% PETN	X	0,004	X
% H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,25	0,09	X
% HNO <sub>3</sub>	0,05	3,44	X
Acetona g/L	No se puede Realizar	No se puede Realizar	No se puede Realizar
pH	8,00	1	9,00
Solidos Totales g/L	0,101	0,006	0,55
Aceites & Grasas mgKOH/g	1,43	X	1,12
% Nitrato de Amonio	X	X	11,30



<b>Aprobado por</b>	<i>Alvaro Pantoja Fariás</i>	<b>Firma o Timbre</b>	
---------------------	----------------------------------	-----------------------	--

## ANEXO E

	<b>Riles</b>		
<b>Calidad - Laboratorio Químico.</b>			
Solicitado por	Patricia Mejías	N°	LQ # 526
Cargo	Ingeniero Ambiental	Fecha	19-10-2014
Planta/Oficina/Dpto.	Rio Loa	Página	1 de 1

### PRUEBAS REQUERIDAS

% Petn, g/L Sólidos totales, % Acidez, pH, g/L Grasas Totales, % NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>.

### RESULTADOS


#### Análisis Químico

Muestra de RIL NAP sin neutralizar		RIL Hidrólisis Alcalina	
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
pH	4,0	pH	10,0
HNO <sub>3</sub> (%)	0,04	HNO <sub>3</sub> (%)	0,00
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	0,00	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	0,00
Sólidos Totales (g/L)	0,015	Sólidos Totales (g/L)	0,010
PETN (%)	0,001	Grasas totales (mg KOH/g)	0,36

RIL Emulsiones	
Parámetro	Resultado
pH	8,0
Petroleo (%)	0,0
Sólidos Totales (g/L)	0,018
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (%)	0,09
Grasas totales (mg KOH/g)	0,73

Realizado por	Mirna Guamparito Zepeda	V°B° Jefe Depto.	
---------------	-------------------------	------------------	--

## ANEXO F

 <p><b>Enaex</b> Soluciones en terreno</p>	<h3 style="margin: 0;">Riles</h3>		
<b>Calidad - Laboratorio Químico.</b>			
Solicitado por	Patricia Mejías	N°	LQ # 546
Cargo	Ingeniero Ambiental	Fecha	28-10-2014
Planta/Oficina/Dpto.	Rio Loa	Página	1 de 1

### PRUEBAS REQUERIDAS

% Petn, g/L Sólidos totales, % Acidez, pH, g/L Grasas Totales, % NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>


### RESULTADOS

Análisis Químico

Muestra de RIL NAP neutralizada (inicial)		RIL Hidrólisis Alcalina (final)	
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
Ph	6,5	pH	7,0
HNO <sub>3</sub> (%)	no presenta	HNO <sub>3</sub> (%)	no presenta
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	no presenta	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	no presenta
Sólidos Totales (g/L)	0,441	Sólidos Totales (g/L)	0,000
PETN (%)	0,028	Grasas totales (mg KOH/g)	0,09
RIL Emulsiones (final) 27/10/2014		Muestra de RIL NAP neutralizada (final)	
Parámetro	Resultado	Parámetro	Resultado
pH	7,0	pH	6,0
Petroleo (%)	Sin análisis	HNO <sub>3</sub> (%)	no presenta
Sólidos Totales (g/L)	0,000	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (%)	no presenta
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (%)	0,17	Sólidos Totales (g/L)	0,000
Grasas totales (mg KOH/g)	0,09	PETN (%)	0,000

Realizado por	Mirna Guamparito Zepeda	V°B° Jefe Depto.	
---------------	-------------------------	------------------	--

## ANEXO G

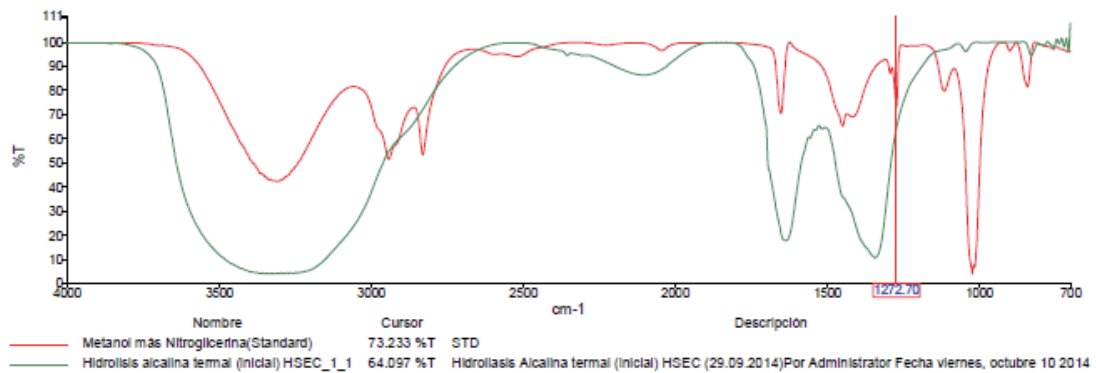
	<b>INFORME PRUEBAS ESPECIALES: Espectro de IR Agua de hidrólisis alcalina HSEC</b> <b>12/11/2014</b>		
	<b>Solicitado por</b>	HSEC	<b>N°</b>
<b>Cargo</b>	Ingeniero Ambiental	<b>Fecha</b>	13/10/2014
<b>Planta/Oficina</b>	Río Loa	<b>Página</b>	1/2

### Antecedentes y Objetivo:

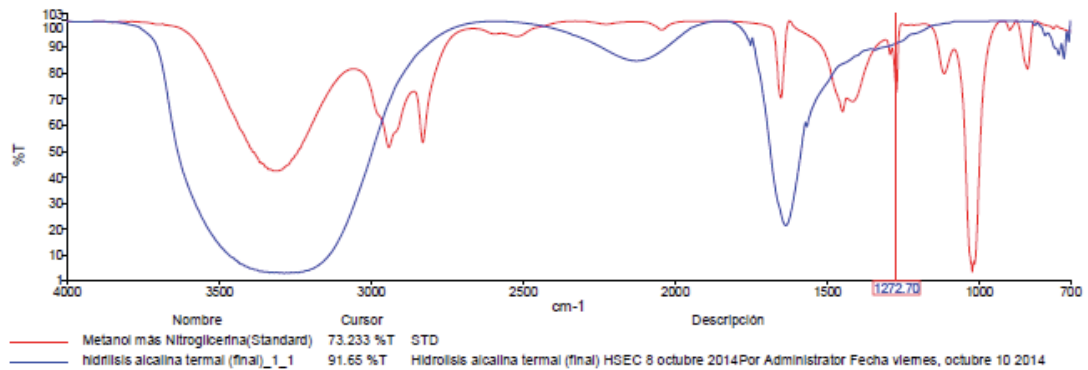
Se solicitó realizar espectro de Infrarrojo de una muestra de agua de hidrólisis para comprobar la ausencia de nitroglicerina.

### Resultados

**Gráfico N°1: IR- muestra de hidrólisis alcalina termal inicial**



**Gráfico N°2: IR muestra de hidrólisis alcalina termal final**



<b>Informe realizado por</b>	Luz Guarda G.	Carolina	<b>V°B° Jefe Depto.</b>	Guillermo Carvajal
	Fuentes A.			

Nombre de la muestra	Descripción	Estado	Resumen del espectro
Agua de Hidrólisis alcalina termal inicial	Fecha:	Guardado	<ul style="list-style-type: none"> <li>Las verificaciones de calidad se emitieron de forma cualitativa. En un espectro IR estándar, el pick asociado a la Nitroglicerina se encuentra normalmente cerca de los <math>1272 \pm 0.5 \text{ cm}^{-1}</math>. Sin embargo en el espectro de la muestra no se puede determinar la presencia o ausencia de Nitroglicerina. Cerca de los <math>1300 \text{ cm}^{-1}</math> se observa una banda ancha que podría contener la banda de la Nitroglicerina</li> <li><b>Por este método, no se puede determinar si existe o no Nitroglicerina en la muestra.</b></li> </ul>
Agua de Hidrólisis alcalina termal final	Fecha:	Guardado	<ul style="list-style-type: none"> <li>En el espectro de la muestra no se observa la banda a <math>1272 \pm 0.5 \text{ cm}^{-1}</math> característica de la Nitroglicerina.</li> <li><b>La muestra no contiene Nitroglicerina</b></li> </ul>

#### Comentarios:

- La muestra de hidrólisis alcalina termal podría contener Nitroglicerina.
- La muestra de hidrólisis alcalina termal final no contiene Nitroglicerina.
- En el segundo espectro se observa la desaparición de una banda cerca de  $1300 \text{ cm}^{-1}$  que si se observa en el primero. Algún compuesto ya no se encuentra en solución después de haber realizado el tratamiento.

<b>Informe realizado por</b>	Luz Guarda G. Carolina Fuentes A.	<b>V°B° Jefe Depto.</b>	Guillermo Carvajal
------------------------------	-----------------------------------	-------------------------	--------------------

## ANEXO H

# INFORME DE ENSAYO

AE1402840



Alcance acreditación LE 277, 279

---

**Informe para** : **ENAEX SERVICIOS S.A. Dirección**  
: **CAMINO A ANTOFAGASTA S/N**  
**Atención** : **PATRICIA MEJIAS**  
**Fecha de Informe** : 11-Dec-14  
**Fecha de Recepción** : 12-Nov-14  
**Muestreado por** : ENAEX SERVICIOS S.A.  
**Referencia** : Análisis NCh 1333 + DBO5. Muestreo 11-11-14  
**Proyecto** : Agua Destiladores Solares

---

**ALS ENVIRONMENTAL**

**ELIZABETH.HERNANDEZ**  
Jefe de Laboratorio

Juan Gutemberg # 438 Galpón 9 y 10 - Antofagasta  
Tel:(56 2)6546192

# AE1402840

## RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación				NAP	Hidrólisis	Emulsiones
Fecha de Muestreo				11-Nov-14	11-Nov-14	11-Nov-14
Hora de Muestreo				16:15	16:15	16:00
Código ALS				AE1402840-001	AE1402840-002	AE1402840-003
Tipo de Muestra				AR	AR	AR
Parámetro / LD						

Parámetro / LD	Analito	Unidades	Fecha de Análisis			
----------------	---------	----------	-------------------	--	--	--

### PARAMETROS FISICOQUIMICOS

ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	12-Nov-14	431	145	1574
EOA-CAL767 / 0.1	Pro Ads Na	mg/L	25-Nov-14	0.70	1.5	12.3
EOA-CAL781 / 10	Na%	%	25-Nov-14	35	80	91
EPH-POT403 / 0.01	pH		12-Nov-14	6.86	7.62	7.27
ESTD-GRA203 / 10	STD	mg/L	26-Nov-14	172	94	312

### PARAMETROS INORGANICOS

#### Aniones

ECL-VOL309 / 0.5	Cl	mg/L	25-Nov-14	45.2	3.0	142.0
EF-POT405 / 0.02	F	mg/L	25-Nov-14	0.24	0.14	0.12
ESO4-GRA205b / 10	SO4	mg/L	27-Nov-14	<10	<10	84
EB-COL129 / 0.01	B	mg/L	24-Nov-14	0.27	0.28	1.05

### METALES TOTALES

EAG-AAS4c / 0.01	Ag	mg/L	19-Nov-14	<0.01	<0.01	<0.01
EAL-AAS4 / 0.1	Al	mg/L	19-Nov-14	<0.1	<0.1	<0.1
EAS-GH64 / 0.0005	As	mg/L	27-Nov-14	<0.0005	<0.0005	0.0116
EBA-AAS3 / 0.1	Ba	mg/L	19-Nov-14	<0.1	<0.1	<0.1
EBE-AAS4 / 0.01	Be	mg/L	19-Nov-14	<0.01	<0.01	<0.01
ECD-AAS4c / 0.002	Cd	mg/L	19-Nov-14	<0.002	<0.002	<0.002
ECO-AAS10 / 0.02	Co	mg/L	19-Nov-14	<0.02	<0.02	<0.02
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	19-Nov-14	<0.02	<0.02	<0.02
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	17-Nov-14	<0.005	0.016	0.023
EFE-AAS4 / 0.03	Fe	mg/L	17-Nov-14	<0.03	<0.03	<0.03
EHG-VF93 / 0.0005	Hg	mg/L	24-Nov-14	<0.0005	<0.0005	<0.0005
ELI-EA10 / 0.01	Li	mg/L	27-Nov-14	0.03	<0.01	0.11
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	18-Nov-14	0.028	<0.005	<0.005
EMO-AAS12 / 0.01	Mo	mg/L	19-Nov-14	<0.01	<0.01	<0.01
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	25-Nov-14	<0.02	<0.02	<0.02
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	21-Nov-14	<0.03	<0.03	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	27-Nov-14	<0.0005	<0.0005	<0.0005
EV-AAS4 / 0.05	V	mg/L	19-Nov-14	<0.05	<0.05	<0.05
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	17-Nov-14	335.000	1.045	11.540

### PARAMETROS ORGANICOS

EDBO-POT408 / 2	DBO5	mg/L	17-Nov-14	<2	<2	<2
-----------------	------	------	-----------	----	----	----



**AE1402840**

**RESULTADOS DE ANALISIS**

<b>Identificación</b>				NAP	Hidrólisis	Emulsiones
<b>Fecha de Muestreo</b>				11-Nov-14	11-Nov-14	11-Nov-14
<b>Hora de Muestreo</b>				16:15	16:15	16:00
<b>Código ALS</b>				AE1402840-001	AE1402840-002	AE1402840-003
<b>Tipo de Muestra</b>				AR	AR	AR
<b>Parámetro / LD</b>	<b>Analito</b>	<b>Unidades</b>	<b>Fecha de Análisis</b>			
<hr/>						
<b>PARAMETROS SUB CONTRATADOS</b>						
ESUBC-519 / 2.0	Colif Fec	NMP/100mL	12-Nov-14	<2.0	<2.0	<2.0
ECNT-COL144 / 0.002	CN-T	mg/L	21-Nov-14	0.016	0.011	0.009

AE1402840

## RESULTADOS DE ANALISIS

Identificación  
Fecha de Muestreo  
Hora de Muestreo  
Código ALS  
Tipo de Muestra  
Parámetro / LD

Reservorio  
11-Nov-14  
16:00  
AE1402840-004  
AR

Parámetro / LD	Analito	Unidades	Fecha de Análisis	
<b><u>PARAMETROS FISICOQUIMICOS</u></b>				
ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	12-Nov-14	6440
EOA-CAL767 / 0.1	Pro Ads Na	mg/L	25-Nov-14	18.4
EOA-CAL781 / 10	Na%	%	25-Nov-14	77
EPH-POT403 / 0.01	pH		12-Nov-14	7.93
ESTD-GRA203 / 10	STD	mg/L	26-Nov-14	4320
<b><u>PARAMETROS INORGANICOS</u></b>				
<b><u>Aniones</u></b>				
ECL-VOL309 / 0.5	Cl	mg/L	25-Nov-14	1499.0
EF-POT405 / 0.02	F	mg/L	25-Nov-14	0.69
ESO4-GRA205b / 10	SO4	mg/L	27-Nov-14	335
EB-COL129 / 0.01	B	mg/L	24-Nov-14	12.43
<b><u>METALES TOTALES</u></b>				
EAG-AAS4c / 0.01	Ag	mg/L	19-Nov-14	<0.01
EAL-AAS4 / 0.1	Al	mg/L	19-Nov-14	0.2
EAS-GH64 / 0.0005	As	mg/L	27-Nov-14	0.5062
EBA-AAS3 / 0.1	Ba	mg/L	19-Nov-14	<0.1
EBE-AAS4 / 0.01	Be	mg/L	19-Nov-14	<0.01
ECD-AAS4c / 0.002	Cd	mg/L	19-Nov-14	<0.002
ECO-AAS10 / 0.02	Co	mg/L	19-Nov-14	<0.02
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	19-Nov-14	<0.02
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	17-Nov-14	0.021
EFE-AAS4 / 0.03	Fe	mg/L	17-Nov-14	0.11
EHG-VF93 / 0.0005	Hg	mg/L	24-Nov-14	<0.0005
ELI-EA10 / 0.01	Li	mg/L	27-Nov-14	2.07
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	18-Nov-14	<0.005
EMO-AAS12 / 0.01	Mo	mg/L	19-Nov-14	<0.01
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	25-Nov-14	<0.02
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	21-Nov-14	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	27-Nov-14	<0.0005
EV-AAS4 / 0.05	V	mg/L	19-Nov-14	<0.05
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	17-Nov-14	0.062
<b><u>PARAMETROS ORGANICOS</u></b>				
EDBO-POT408 / 2	DBO5	mg/L	17-Nov-14	<2

**AE1402840**

**RESULTADOS DE ANALISIS**

Identificación				Reservorio
Fecha de Muestreo				11-Nov-14
Hora de Muestreo				16:00
Código ALS				AE1402840-004
Tipo de Muestra				AR
Parámetro / LD	Analito	Unidades	Fecha de Análisis	

---

**PARAMETROS SUB CONTRATADOS**

ESUBC-519 / 2.0	Colif Fec	NMP/100mL	12-Nov-14	<2.0
ECNT-COL144 / 0.002	CN-T	mg/L	21-Nov-14	0.002

**PARAMETRO CRITICO DBO5**

Fecha inicio análisis: 12-11-14	Hora inicio análisis: 17:20
Fecha término análisis: 17-11-14	Hora término análisis: 17:40

**PARAMETROS CRITICOS**

pH	Hora análisis: 18:00
Coliforme Fecal	Hora análisis: 16:37

AE1402840

Anexo 1 - CONTROL DE CALIDAD - Duplicados

Identificación						
Fecha de Muestreo					NAP	
Hora de Muestreo					11-Nov-14	
Código ALS					16:15	
Tipo de Muestra					AE1402840-001	
Parámetro / LD	Analito	Unidades	Fecha de Análisis	ORIG	AR	DUPL
<b><u>PARAMETROS FISICOQUIMICOS</u></b>						
ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	12-Nov-14	----		----
EPH-POT403 / 0.01	pH		12-Nov-14	----		----
ESTD-GRA203 / 10	STD	mg/L	26-Nov-14	----		----
<b><u>PARAMETROS INORGANICOS</u></b>						
<b><u>Aniones</u></b>						
ECL-VOL309 / 0.5	Cl	mg/L	25-Nov-14	----		----
EF-POT405 / 0.02	F	mg/L	25-Nov-14	0.24		0.20
ESO4-GRA205b / 10	SO4	mg/L	27-Nov-14	----		----
EB-COL129 / 0.01	B	mg/L	24-Nov-14	----		----
<b><u>METALES TOTALES</u></b>						
EAG-AAS4c / 0.01	Ag	mg/L	19-Nov-14	----		----
EAL-AAS4 / 0.1	Al	mg/L	19-Nov-14	----		----
EAS-GH64 / 0.0005	As	mg/L	27-Nov-14	----		----
EBA-AAS3 / 0.1	Ba	mg/L	19-Nov-14	----		----
EBE-AAS4 / 0.01	Be	mg/L	19-Nov-14	----		----
ECD-AAS4c / 0.002	Cd	mg/L	19-Nov-14	----		----
ECO-AAS10 / 0.02	Co	mg/L	19-Nov-14	----		----
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	19-Nov-14	----		----
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	17-Nov-14	----		----
EFE-AAS4 / 0.03	Fe	mg/L	17-Nov-14	----		----
EHG-VF93 / 0.0005	Hg	mg/L	24-Nov-14	----		----
ELI-EA10 / 0.01	Li	mg/L	27-Nov-14	----		----
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	18-Nov-14	----		----
EMO-AAS12 / 0.01	Mo	mg/L	19-Nov-14	----		----
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	25-Nov-14	----		----
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	21-Nov-14	----		----
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	27-Nov-14	----		----
EV-AAS4 / 0.05	V	mg/L	19-Nov-14	----		----
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	17-Nov-14	----		----
<b><u>PARAMETROS ORGANICOS</u></b>						
EDBO-POT408 / 2	DBO5	mg/L	17-Nov-14	----		----

AE1402840

Anexo 1 - CONTROL DE CALIDAD - Duplicados

Identificación				Reservorio	
Fecha de Muestreo				11-Nov-14	
Hora de Muestreo				16:00	
Código ALS				AE1402840-004	
Tipo de Muestra				AR	
Parámetro / LD	Analito	Unidades	Fecha de Análisis	ORIG	DUPL
<b><u>PARAMETROS FISICOQUIMICOS</u></b>					
ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	12-Nov-14	6440	6450
EPH-POT403 / 0.01	pH		12-Nov-14	7.93	7.93
ESTD-GRA203 / 10	STD	mg/L	26-Nov-14	4320	4295
<b><u>PARAMETROS INORGANICOS</u></b>					
<b><u>Aniones</u></b>					
ECL-VOL309 / 0.5	Cl	mg/L	25-Nov-14	1499.0	1501.0
EF-POT405 / 0.02	F	mg/L	25-Nov-14	----	----
ESO4-GRA205b / 10	SO4	mg/L	27-Nov-14	335	382
EB-COL129 / 0.01	B	mg/L	24-Nov-14	12.43	12.42
<b><u>METALES TOTALES</u></b>					
EAG-AAS4c / 0.01	Ag	mg/L	19-Nov-14	<0.01	<0.01
EAL-AAS4 / 0.1	Al	mg/L	19-Nov-14	0.2	0.2
EAS-GH64 / 0.0005	As	mg/L	27-Nov-14	0.5062	0.4899
EBA-AAS3 / 0.1	Ba	mg/L	19-Nov-14	<0.1	<0.1
EBE-AAS4 / 0.01	Be	mg/L	19-Nov-14	<0.01	<0.01
ECD-AAS4c / 0.002	Cd	mg/L	19-Nov-14	<0.002	<0.002
ECO-AAS10 / 0.02	Co	mg/L	19-Nov-14	<0.02	<0.02
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	19-Nov-14	<0.02	<0.02
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	17-Nov-14	0.021	0.021
EFE-AAS4 / 0.03	Fe	mg/L	17-Nov-14	0.11	0.11
EHG-VF93 / 0.0005	Hg	mg/L	24-Nov-14	<0.0005	<0.0005
ELI-EA10 / 0.01	Li	mg/L	27-Nov-14	2.07	2.18
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	18-Nov-14	<0.005	<0.005
EMO-AAS12 / 0.01	Mo	mg/L	19-Nov-14	<0.01	<0.01
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	25-Nov-14	<0.02	<0.02
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	21-Nov-14	<0.03	<0.03
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	27-Nov-14	<0.0005	<0.0005
EV-AAS4 / 0.05	V	mg/L	19-Nov-14	<0.05	<0.05
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	17-Nov-14	0.062	0.054
<b><u>PARAMETROS ORGANICOS</u></b>					
EDBO-POT408 / 2	DBO5	mg/L	17-Nov-14	<2	<2

**AE1402840****Anexo 2 - CONTROL DE CALIDAD - Adiciones**

Parámetro / LD	Analito	Unidades	Fecha de Análisis	Rango(%)	%Recup.	Código ALS
<b><u>PARAMETROS INORGANICOS</u></b>						
<b><u>Aniones</u></b>						
ECL-VOL309 / 0.5	Cl	mg/L	25-Nov-14	<80-120>	101.6	AE1402840-001
EF-POT405 / 0.02	F	mg/L	25-Nov-14	<80-120>	86.0	AE1402840-004
EB-COL129 / 0.01	B	mg/L	24-Nov-14	<80-120>	116.0	AE1402840-001
<b><u>METALES TOTALES</u></b>						
EAG-AAS4c / 0.01	Ag	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	98.0	AE1402840-001
EAL-AAS4 / 0.1	Al	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	100.0	AE1402840-001
EAS-GH64 / 0.0005	As	mg/L	27-Nov-14	<85-115>	NA	AE1402840-001
EBA-AAS3 / 0.1	Ba	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	110.0	AE1402840-001
EBE-AAS4 / 0.01	Be	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	102.0	AE1402840-001
ECD-AAS4c / 0.002	Cd	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	96.0	AE1402840-001
ECO-AAS10 / 0.02	Co	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	100.0	AE1402840-001
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	104.0	AE1402840-001
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	17-Nov-14	<85-115>	99.4	AE1402840-001
EFE-AAS4 / 0.03	Fe	mg/L	17-Nov-14	<85-115>	86.0	AE1402840-001
EHG-VF93 / 0.0005	Hg	mg/L	24-Nov-14	<85-115>	96.7	AE1402840-001
ELI-EA10 / 0.01	Li	mg/L	27-Nov-14	<85-115>	99.0	AE1402840-001
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	18-Nov-14	<85-115>	97.3	AE1402840-001
EMO-AAS12 / 0.01	Mo	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	98.0	AE1402840-001
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	25-Nov-14	<85-115>	94.0	AE1402840-001
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	21-Nov-14	<85-115>	106.0	AE1402840-001
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	27-Nov-14	<85-115>	100.0	AE1402840-001
EV-AAS4 / 0.05	V	mg/L	19-Nov-14	<85-115>	109.0	AE1402840-001
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	17-Nov-14	<85-115>	99.8	AE1402840-004

**AE1402840**

**Anexo 3 - CONTROL DE CALIDAD - Blancos y Estándares**

<u>Parámetro / LD</u>	<u>Analito</u>	<u>Unidades</u>	<u>Fecha de Análisis</u>	<u>Blanco</u>	<u>Valor STD</u>	<u>Valor Nominal</u>	<u>% Recup.</u>	<u>Limites</u>	<u>Nombre STD</u>
<b><u>PARAMETROS FISICOQUIMICOS</u></b>									
ECE-POT401 / 2	CE	uS/cm	12-Nov-14	<2	1414	1417	100	80-120	Pt-CE-1-2
EPH-POT403 / 0.01	pH		12-Nov-14	---	7.01	7.00	100	80-120	Pt-pH-1-2
ESTD-GRA203 / 10	STD	mg/L	26-Nov-14	<10	2064	2000	103	80-120	Pt-STD-1-6
<b><u>PARAMETROS INORGANICOS</u></b>									
<b><u>Aniones</u></b>									
ECL-VOL309 / 0.5	Cl	mg/L	25-Nov-14	<0.5	397.4	400.0	99	80-120	Pt-Cl-1-10
EF-POT405 / 0.02	F	mg/L	25-Nov-14	<0.02	0.51	0.49	104	80-120	Pt-F-1-2
ESO4-GRA205b / 10	SO4	mg/L	27-Nov-14	<10	1005	1000	101	80-120	Pt-SO4-1-5
EB-COL129 / 0.01	B	mg/L	24-Nov-14	<0.01	3.41	3.00	114	80-120	Pt-B-1-2
<b><u>METALES TOTALES</u></b>									
EAG-AAS4c / 0.01	Ag	mg/L	19-Nov-14	<0.01	1.02	1.00	102	80-120	Pt-Ag-1-2
EAL-AAS4 / 0.1	Al	mg/L	19-Nov-14	<0.1	0.5	0.5	100	80-120	Pt-Al-1-3
EAS-GH64 / 0.0005	As	mg/L	27-Nov-14	<0.0005	0.0050	0.0050	100	80-120	Pt-As-1-3
EBA-AAS3 / 0.1	Ba	mg/L	19-Nov-14	<0.1	1.0	1.0	100	80-120	Pt-Ba-1-1
EBE-AAS4 / 0.01	Be	mg/L	19-Nov-14	<0.01	0.50	0.50	100	80-120	Pt-Be-1-1
ECD-AAS4c / 0.002	Cd	mg/L	19-Nov-14	<0.002	0.987	1.000	99	80-120	Pt-Cd-1-6
ECO-AAS10 / 0.02	Co	mg/L	19-Nov-14	<0.02	1.02	1.00	102	80-120	Pt-Co-1-5
ECR-AAS4 / 0.02	Cr	mg/L	19-Nov-14	<0.02	1.02	1.00	102	80-120	Pt-Cr-1-4
ECU-AAS4 / 0.005	Cu	mg/L	17-Nov-14	<0.005	0.931	1.000	93	80-120	Pt-Cu-1-6
EFE-AAS4 / 0.03	Fe	mg/L	17-Nov-14	<0.03	0.92	1.00	92	80-120	Pt-Fe-1-5
EHG-VF93 / 0.0005	Hg	mg/L	24-Nov-14	<0.0005	0.0046	0.0050	92	80-120	Pt-Hg-1-3
ELI-EA10 / 0.01	Li	mg/L	27-Nov-14	<0.01	0.98	1.00	98	80-120	Pt-Li-1-6
EMN-AAS4 / 0.005	Mn	mg/L	18-Nov-14	<0.005	1.037	1.000	104	80-120	Pt-Mn-1-6
EMO-AAS12 / 0.01	Mo	mg/L	19-Nov-14	<0.01	1.02	1.00	102	80-120	Pt-Mo-1-1
ENI-AAS4 / 0.02	Ni	mg/L	25-Nov-14	<0.02	1.02	1.00	102	80-120	Pt-Ni-1-5
EPB-AAS4 / 0.03	Pb	mg/L	21-Nov-14	<0.03	1.00	1.00	100	80-120	Pt-Pb-1-7
ESE-GH56 / 0.0005	Se	mg/L	27-Nov-14	<0.0005	0.0099	0.0100	99	80-120	Pt-Se-1-4
EV-AAS4 / 0.05	V	mg/L	19-Nov-14	<0.05	1.07	1.00	107	80-120	Pt-V-1-4
EZN-AAS4 / 0.005	Zn	mg/L	17-Nov-14	<0.005	1.009	1.000	101	80-120	Pt-Zn-1-6
<b><u>PARAMETROS ORGANICOS</u></b>									
EDBO-POT408 / 2	DBO5	mg/L	17-Nov-14	<2	187	198	94	85-115	Pt-DBO-1-2

**AE1402840**

## **Anexo 4 - COMENTARIOS**

### **Condiciones de Recepción de Muestras**

- ✚ Se recibieron 4 muestras.
- ✚ La muestra fue tomada por el cliente quien se responsabiliza por su correcta identificación y preservación.
- ✚ Los resultados expuestos son válidos para las muestras analizadas.
- ✚ Análisis de Coliformes es subcontratado en otro laboratorio Acreditado por ISO 17025
- ✚ La información contenida en este informe no podrá ser reproducida total o parcialmente para usos publicitarios sin la autorización previa de ALS Patagonia S.A.
- ✚ Los resultados contenidos en este Informe de ensayo sólo son válidos para las muestras analizadas.
- ✚ Análisis de Cianuro fue subcontratados por ALS Santiago.

### **Referencias de Métodos**

- ✚ **EAG-AAS4c (Ag)** : Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005, 3111-B, page 3-17 to 3-19.
- ✚ **EAL-AAS4 (Al)** : Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005,3111-D, page 3-20 to 3-22.
- ✚ **EAS-GH64 (As)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación Continua de Hidruros, NCh 2313/09, Oficial 1996. .
- ✚ **EB-COL129 (B)** : Carmine Method. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005, 4500-B-C, page 4-25.
- ✚ **EBA-AAS3 (Ba)** : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22th Ed. 2012,3030-D: Digestion for Metals, Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005,3111-D, page 3-20 to 3-22.
- ✚ **EBE-AAS4 (Be)** : Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005,3111-D, page 3-20 to 3-22.
- ✚ **ECD-AAS4c (Cd)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **ECE-POT401 (CE)** : QWI- IO-COND-01. Método basado en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21  
2510 –B, page 2-47 to 2-48.
- ✚ **ECL-VOL309 (Cl)** : Método Argentométrico de Mohr, NCh 2313/32, Oficial 1999.
- ✚ **ECO-AAS10 (Co)** : Direct Air-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005, 3111-B, page 3-17 to 3-19.
- ✚ **ECR-AAS4 (Cr)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **ECU-AAS4 (Cu)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **EDBO-POT408 (DBO5)** : Incubación - Potenciometría, NCh 2313/5, Oficial 2005. .
- ✚ **EF-POT405 (F)** : Método Potenciométrico después de Destilación, NCh 2313/33, Oficial 1999.
- ✚ **EFE-AAS4 (Fe)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **EHG-VF93 (Hg)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación de Vapor Frío, NCh 2313/12, Oficial 1996.



- ✚ **ELI-EA10 (Li)** : Flame Emission Photometric Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005, 3500-B, page 3-82 to 3-83.
- ✚ **EMN-AAS4 (Mn)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **EMO-AAS12 (Mo)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/13, Oficial 1998.
- ✚ **ENI-AAS4 (Ni)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **EOA-CAL767 (Pro Ads Na)** : Método:Cálculo, NCh1313 Oficial 1978 Mod. 1987, pág. 2 pto.3.7.
- ✚ **EOA-CAL781 (Na%)** : Método:Cálculo, NCh1313 Oficial 1978 Mod. 1987, pág. 3 pto.3.8.
- ✚ **EPB-AAS4 (Pb)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .
- ✚ **EPH-POT403 (pH)** : Método Potenciométrico, NCh 2313/1, Oficial 1995.
- ✚ **ESE-GH56 (Se)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Generación Continua de Hidruros, NCh 2313/30, Oficial 1999.
- ✚ **ESO4-GRA205b (SO4)** : Método Gravimétrico con Calcinación de Residuos, NCh 2313/18, Oficial 1997.
- ✚ **ESTD-GRA203 (STD)** : Total Dissolved Solids Dried at 180 °C. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005, 2540-C, page 2-57.
- ✚ **EV-AAS4 (V)** : Direct Nitrous Oxide-Acetylene Flame Method, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Ed 21, 2005,3111-D, page 3-20 to 3-22.
- ✚ **EZN-AAS4 (Zn)** : Método Espectrofotometría de Absorción Atómica con Llama, NCh 2313/10, Oficial 1996. .

#### **Referencias de Métodos - Parámetros Subcontratados**

- ✚ **ESUBC-519 (Colif Fec)** : En Medio EC, NCh 2313/22, Oficial 1995..
- ✚ **ECNT-COL144 (CN-T)** : Total Cyanide after Distillation. Standard Methods 4500-CN-C, page 4-39 to 4-40, 21st ed. Colorimetric Method, Standard Methods 4500-CN-E, page 4-41 to 4-43, 21st ed.2005., Cianuro Total. Standard Methods 4500-CN-N, page 4-53 to 4-54, 21 st ed. 2005. Standard Methods 4500-CN-C: Preliminary Distillation Step.

**AE1402840**

**Anexo 5**

**Procedimientos Analíticos**

<b>CODIGO METODO</b>	<b>DESCRIPCION</b>
EAG-AAS4c	Plata Total
EAL-AAS4	Aluminio Total
EAS-GH64	Arsénico Total por HGAAS
EB-COL129	Boro Total por Colorimetría
EBA-AAS3	Bario total por FAAS
EBE-AAS4	Berilio total por FAAS
ECD-AAS4c	Cadmio Total por FAAS
ECE-POT401	Conductividad por potenciometría
ECL-VOL309	Cloruro por Volumetría
ECO-AAS10	Cobalto Total por FAAS
ECR-AAS4	Cromo total por FAAS
ECU-AAS4	Cobre total por FAAS
EDBO-POT408	DBO5 por electrodo de membrana Galvánica
EF-POT405	Fluoruro por Potenciometría
EFE-AAS4	Hierro total por FAAS
EHG-VF93	Mercurio Total por CVAAS
ELI-EA10	Litio Total
EMN-AAS4	Manganeso total por FAAS
EMO-AAS12	Molibdeno Total por FAAS
ENI-AAS4	Niquel total por FAAS
EOA-CAL767	Razón de Adsorción de Sodio (RAS)
EOA-CAL781	Sodio Porcentual Cálculo
EPB-AAS4	Plomo total por FAAS
EPH-POT403	pH por potenciometría
ESE-GH56	Selenio total por HGAAS
ESO4-GRA205b	Sulfato por gravimetría
ESTD-GRA203	Sólidos Totales Disueltos, gravimetría
ESUBC-519	Coliformes Fecales por tubos Múltiples
EV-AAS4	Vanadio total por FAAS
EZN-AAS4	Zinc total por FAAS
ECNT-COL144	Cianuro Total

**\*\* FIN DEL  
REPORTE \*\***