

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTOCLAVE SOLAR  
PARA ESTERILIZACIÓN DE INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO**

PRESENTADO POR:

**LEIF EMERSON ALFARO BAÑOS**

**JULIO ENRIQUE AVILÉS RODRÍGUEZ**

**SOFÍA ESMERALDA MEJÍA PÉREZ**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2020

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**M.Sc. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**DR. EDGARD ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR:

**ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTOCLAVE SOLAR  
PARA ESTERILIZACIÓN DE INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO**

Presentado por:

**LEIF EMERSON ALFARO BAÑOS**

**JULIO ENRIQUE AVILÉS RODRÍGUEZ**

**SOFÍA ESMERALDA MEJÍA PÉREZ**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

M.Sc. e Ing. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO

San Salvador, octubre de 2020

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**M.SC. e ING. GUSTAVO SALOMÓN TORRES RÍOS LAZO**

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Wilfredo Alfaro y Raquel Baños que siempre me han brindado todo su apoyo de forma incondicional, a quienes debo todo y son la fuente de mi inspiración.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la vida, por permitirme llegar a vivir este momento tan especial, A mis padres por su infinito amor, comprensión y paciencia; sin ellos este logro no sería posible. Un millón de gracias. A mis hermanos; Will y Erick por estar siempre dispuestos a apoyarme en todo momento en lo que fuere.

A mis amigos y compañeros de una y mil batallas, especialmente a Manuel, Amaya, Luis, Welf, Lara y Gerardo por su amistad, con quienes he compartido gratos momentos en la Universidad y siempre han estado en las buenas y en las malas.

A mis compañeros de fórmula y grandes amigos: Esmeralda y Julio, por su amistad, confianza y por estar siempre ahí alentándome a seguir siempre adelante a pesar de las adversidades.

A los docentes de la UES, y en especial a nuestro asesor Ing. Salomón Torres por su ayuda durante el desarrollo de este trabajo, por compartir su conocimiento durante nuestra formación académica y por sus consejos.

A Don Jesús Mejía por su invaluable ayuda y asistencia brindada en el desarrollo de este proyecto.

A la Dra. Tania Cuadra, de la facultad de química y farmacia de la UES y al Ing. Álvaro Flamenco de LaGeo por su desinteresada y valiosa colaboración en este trabajo.

*Leif Emerson Alfaro Baños.*

## **DEDICATORIA**

Para mis familiares y amigos, por estar en los buenos y malos momentos de la vida, y los cuales siempre creyeron en mis capacidades, alentándome a cumplir todas mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer a Dios y a mis padres: Ana Mirian Alvarado, Manfredo Pérez Méndez al igual que a mi hermano el Ing. Carlos Marvin Avilés. Ya que de ellos he recibido amor, paciencia y su total apoyo, durante toda mi formación académica.

Asimismo, agradezco a Sofía Esmeralda Mejía Pérez y a Leif Emerson Alfaro Baños con los cuales he formado una amistad sincera, además de ser mis dos compañeros en tesis, ya que sin el aporte de cada uno de ellos no hubiera sido posible la culminación de este trabajo.

De igual forma dirigir mis agradecimientos al ingeniero Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo quien fue nuestro docente asesor de tesis, nos brindó su tiempo, la orientación y ayuda no solo para este trabajo de graduación sino a lo largo de la carrera universitaria.

Y finalmente agradecer a todas las personas que fueron parte a lo largo de mi trayectoria universitaria, tanto a mis compañeros, docentes y tutores, a cada uno de ellos por solventar mis interrogantes y ser parte de mi formación.

*Julio Enrique Avilés Rodríguez*

## **DEDICATORIA**

A mi familia, quienes siempre me han apoyado y me han impulsado a seguir adelante y nunca rendirme, y quienes me han forjado como la persona que soy en la actualidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mis padres, Jesús Mejía y María Victoria de Mejía, por su amor, trabajo, honradez y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. A mis hermanas, por estar siempre presentes y apoyarme incondicionalmente, durante todo este proceso.

A mi tutor de tesis, Ing. Salomón Torres, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores. A los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en especial a la Ing. Leyla Jiménez, quien es una persona de admiración y quien me ha ayudado en mi carrera.

Gracias a mis compañeros y amigos, en especial a Alfredo Amaya, Gerardo Zelayandía, Manuel Arévalo, Jazmín Fernández que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano, necesarios en los momentos difíciles de este trabajo y esta profesión.

A mis compañeros de tesis, Leif y Julio, por su amistad, confianza, empeño, esfuerzo y dedicación, quienes nos hemos apoyado tanto en los buenos y malos momentos a pesar de las adversidades.

*Sofía Esmeralda Mejía Pérez.*

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AUTOCLAVE SOLAR PARA ESTERILIZACIÓN DE INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO**

Estudiantes: Brs. Leif Emerson Alfaro Baños, Julio Enrique Avilés Rodríguez y  
Sofía Esmeralda Mejía Pérez

Docente Asesor: M.Sc. e Ing. Gustavo Salomón Torres Ríos Lazo

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador

## **RESUMEN**

Se presenta el desarrollo del diseño y construcción de un equipo de esterilización de instrumental quirúrgico, compuesto de un autoclave a vapor húmedo y un concentrador solar del tipo de disco parabólico el cual es el encargado de suministrar la energía al autoclave para la generación del vapor. Se parte del análisis del enfoque de sobreletalidad para la determinación de los parámetros de funcionamiento: presión, temperatura y tiempo; en base a lo cual se realiza el diseño de los componentes y posteriormente la fabricación de estos. Durante las pruebas se logró obtener la temperatura objetivo de 121°C e incluso llegó a superarse de manera satisfactoria, así como también la cámara de esterilización fue capaz de trabajar a la presión requerida de 15 psi y soportó las pruebas al doble de la presión de funcionamiento.

Palabras clave: Autoclave, Esterilización, Energía Solar Térmica

## ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	i
OBJETIVOS	iii
Objetivos generales	iii
Objetivos específicos	iii
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO	1
1.0. LA ESTERILIZACIÓN	1
1.1. Desinfección	2
1.2. Antisepsia	3
2.0. ESTERILIZACIÓN POR CALOR HÚMEDO	4
2.1. Principio de Operación	5
2.2. Factores que afectan la eficiencia de los procesos de esterilización	6
2.3. El autoclave esterilizador	7
2.4. Tipos de esterilizadores por calor húmedo	9
2.5. Etapas básicas de un ciclo de esterilización	10
2.6. El proceso de esterilización	11
3.0. CINÉTICA DE MUERTE DE LOS MICROORGANISMOS	12
3.1. Resistencia térmica característica de los microorganismos	14
3.1.1. Valor D	14
3.1.2. Valor Z	16
3.1.3. Valores F y F <sub>0</sub>	17
3.2. Nivel de garantía de esterilización (SAL)	18
3.3. Variables requeridas para la determinación de un ciclo ideal de esterilización	20
3.4. Métodos para la determinación de la carga biológica	21
3.4.1. Método de sobreletalidad (Overkill)	21
3.4.2. Método para la determinación de la carga biológica según diseño específico para el producto	23
4.0. RESISTENCIA DE LOS MICROORGANISMOS	23

4.1. Clasificación de los microorganismos	24
5.0. EL INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO	25
5.1. Clasificación del instrumental	26
5.2. Tipo de instrumental a esterilizar	27
5.2.1. Instrumental para curaciones	27
5.2.2. Instrumentos que se utilizan en cirugías	28
5.2.3. Instrumental para toma de citología	29
6.0. ENERGÍA RENOVABLE	30
7.0. ENERGÍA SOLAR	31
7.1. El sol y la radiación sobre la tierra	31
7.2. Sistema Sol-Tierra	32
7.3. Conceptos relacionados con la energía solar	33
7.3.1. Atmósfera	34
7.3.2. Radiación solar	35
7.4. Radiación total incidente en El Salvador	36
7.5. Geometría solar	37
7.5.1. Coordenadas solares	37
7.6. Aprovechamiento de la energía solar térmica	39
7.7. Tipos de colectores	41
7.7.1. Colector plano (CP)	42
7.7.2. Colector parabólico compuesto (CPC)	42
7.7.3. Colectores cilindros parabólicos	42
7.7.4. Colector Fresnel	43
7.8. Aplicaciones de la energía solar térmica al campo de la esterilización	43
7.8.1. Esterilizador Solarclave	44
7.8.2. Esterilizador con colector parabólico	45
7.8.3. Esterilizador de tubos colectores	45
8.0. CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO	46
8.1. Parámetros geométricos del concentrador	47
8.2. Parámetros de diseño del concentrador	48
8.3. Transferencia de energía en el colector	53

8.3.1. Eficiencia óptica del colector	56
CAPÍTULO II	57
9.0. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL ESTERILIZADOR	57
9.1. Temperatura de operación	58
9.2. Determinación del tiempo de duración del ciclo	60
9.3. Determinación de la presión de operación	63
10.0. DISEÑO DEL ESTERILIZADOR	66
10.1. Dimensiones y geometría de la cámara del esterilizador	66
10.2. Selección del material para la cámara del esterilizador	67
10.3. Determinación del espesor del recipiente	69
10.4. Análisis de esfuerzos	72
10.5. Análisis de los elementos de sujeción de la tapa del recipiente a presión	76
10.5.1. Análisis y selección de los pernos	76
10.5.2. Mecanismo de cierre	79
10.5.3. Análisis de la soldadura	81
10.6. Sello de la tapa	82
10.7. Análisis de soldadura del cuerpo cilíndrico	84
10.8. Selección de válvulas e instrumentos indicadores	87
10.8.1. Válvula de purga seleccionada	87
10.8.2. Válvulas de seguridad	88
10.8.3. Selección de instrumentos indicadores	89
11.0. DISEÑO DEL CONCENTRADOR	90
12.0. ANÁLISIS DE ENERGÍA	94
12.1. Pérdidas por transferencia de calor	97
12.2. Potencia absorbida por el cuerpo del recipiente	101
12.3. Potencia disponible para el proceso	102
12.4. Tasa de evaporación	103
12.5. Temperatura y eficiencia estimada	104

13.0. VOLUMEN DE OPERACIÓN DE LA CÁMARA DE ESTERILIZACIÓN	105
14.0. ESTRUCTURA Y MECANISMO DE SEGUIMIENTO	107
14.1. Estructura de soporte principal	107
14.2. Estructura del concentrador	108
14.3. Estructura de soporte de la cámara de esterilización	109
14.4. Mecanismo de seguimiento	110
14.4.1. Movimiento	112
CAPÍTULO III	116
15.0. PROCESOS DE FABRICACIÓN UTILIZADOS	116
15.1. Soldadura eléctrica de arco con electrodo revestido	116
15.2. Soldadura oxiacetilénica	117
15.2.1. Oxicorte	119
15.3. Doblado de tubos	121
15.4. Rolado de lámina	121
15.5. Taladrado	122
15.6. Embutido	124
16.0. FABRICACIÓN DEL EQUIPO	125
16.1. Fabricación del concentrador de disco parabólico	125
16.2. Fabricación de la estructura de soporte	130
16.2.1. Mecanismo de orientación	131
16.3. Fabricación de la cámara de esterilización	132
17.0. COSTOS DEL PROYECTO	136
17.1. Costos del concentrador solar	136
17.2. Costos del autoclave	137
17.3. Costo total	138
17.4. Ahorro por operación.	138
18.0. PRUEBAS REALIZADAS	139
18.1. Pruebas al concentrador	140
18.1.1. Resultados de las pruebas al concentrador: tiempo de ebullición	141

18.1.2. Resultados de las pruebas al concentrador: volumen evaporado	145
18.2. Movimiento del concentrador	147
18.3. Pruebas a la cámara de esterilización	153
19.0. PRUEBAS DE VALIDACIÓN	164
19.1. Validación de la instalación	165
19.2. Validación de la operación	166
19.3. Validación del desempeño	167
21.0. RECOMENDACIONES	168
22.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	170
23.0. BIBLIOGRAFÍA	171
24.0. ANEXOS.	173
25.0. GLOSARIO	182

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de los métodos de esterilización.	1
Figura 2. Charles Chamberland e ilustración de lo que fuera el primer autoclave.	8
Figura 3. Partes de un esterilizador a vapor y sus configuraciones de acuerdo a la forma de cargarlo.	9
Figura 4. Perfiles típicos de la variación de la temperatura en a) y de la presión en b) durante un ciclo de esterilización por vapor.	11
Figura 5. Tendencia de la muerte de los microorganismos, y simplificación de este comportamiento llevada a una escala semilogarítmica.	13
Figura 6. Representación esquemática de una curva de supervivencia, y del valor D.	15
Figura 7. Curva TDT y representación del valor Z.	16
Figura 8. Aplicando una reducción adicional de 6 log se reduce la población a 0.000001 organismos.	19
Figura 9. Ciclo de esterilización basado en el método de sobre letalidad.	22
Figura 10. Resistencia de los microorganismos a los procesos de esterilización.	24

Figura 11. Clasificación de los microorganismos. Fuente: Fundamentals of microbiology and science of infection. <a href="https://wfhss.com/wp-content/uploads/wfhss-training-1-02_en.pdf">https://wfhss.com/wp-content/uploads/wfhss-training-1-02_en.pdf</a>	25
Figura 12. Instrumental para curaciones utilizado en establecimientos de salud.	28
Figura 13. Instrumental utilizado para uso en cirugías en establecimientos de salud.	29
Figura 14. Clasificación de las energías renovables según su origen.	30
Figura 15. Estructura del sol.	31
Figura 16. Espectro solar en el tope de la atmósfera y al nivel del mar.	32
Figura 17. Variación de la dirección de los rayos solares sobre la superficie de la Tierra a lo largo del año.	33
Figura 18. Factores que influyen en la atenuación de la radiación solar incidente.	34
Figura 19. Radiación solar incidente sobre la Tierra.	35
Figura 20. Componentes de la irradiancia.	36
Figura 21. Mapa de Irradiancia solar promedio anual en El Salvador. (2005).	36
Figura 22. Mapa de brillo solar promedio anual de El Salvador. (2005).	37
Figura 23. Representación del cambio de la distancia de la tierra con respecto al sol.	37
Figura 24. Coordenadas solares.	38
Figura 25. Parámetros de la posición solar.	39
Figura 26. Clasificación de las instalaciones solares térmicas.	40
Figura 27. Descripción del seguimiento solar en un eje y en dos ejes.	41
Figura 28. a) Colector Solar Plano. b) y c) Captador de tubos de vacío.	42
Figura 29. Colectores Solares a) cilíndrico parabólico compuesto CPC, y b) cilíndrico parabólico.	43
Figura 30. a) Fresnel central de torre. b) Fresnel de discos parabólicos. c) Horno solar de Odeillo.	43
Figura 31. Prototipo de un equipo de esterilización.	44
Figura 32. a) Modelo simplificado b) Equipo Esterilizador Solarclave.	45
Figura 33. a) Esterilizador con colector solar parabólico. b) Equipo de esterilización mediante tubo colector.	46
Figura 34. Esquema del principio de operación del colector de plato parabólico.	47
Figura 35. Elementos característicos en la geometría de la parábola.	48

Figura 36. Parámetros de diseño del concentrador parabólico.	50
Figura 37. Ejemplo de índice de concentración, para el caso de $C = 100$ .	51
Figura 38. Esquema del sistema Sol y Tierra, bajo la cual se determina el diámetro angular aparente del Sol.	51
Figura 39. Esquema del dimensionamiento de la imagen generada en el foco.	53
Figura 40. Componentes de la radiación al incidir sobre una superficie.	54
Figura 41. Desviación experimentada por un rayo de luz al atravesar un medio de distinto índice de refracción.	55
Figura 42. Flujograma para la selección de las características de funcionamiento del esterilizador.	58
Figura 43. Curva de microorganismos supervivientes.	61
Figura 44. Logaritmo de la curva de microorganismos supervivientes.	62
Figura 45. Tiempos ideales para el ciclo de esterilización de acuerdo a diferentes tipos de carga biológica.	62
Figura 46. Diagrama temperatura-entropía (T-s) para el agua, donde se obtiene la presión de trabajo dada la temperatura. Tomado de: Principios de termodinámica de Van Wylen.	65
Figura 47. Dimensiones para el recipiente que servirá como cámara del esterilizador (cotas en mm).	67
Figura 48. Esfuerzos a los que se ve sometido un recipiente cilíndrico de pared delgada.	72
Figura 49. Esquema de la vista transversal de una sección del cuerpo cilíndrico, con cotas en pulgadas.	73
Figura 50. Mecanismo de cierre del recipiente esterilizador.	79
Figura 51. Esquema de las cargas y esfuerzos a los que se ve sometido el elemento.	80
Figura 52. Esquema del patrón de la soldadura.	82
Figura 53. Detalle de la colocación del sello de la cámara de esterilización.	83
Figura 54. Rangos de temperatura de trabajo de materiales para la fabricación de sellos.	84
Figura 55. Esfuerzos tangenciales desarrollados en el cuerpo cilíndrico.	85
Figura 56. Esquema de la soldadura a realizar en el recipiente.	86
Figura 57. Gráfico para la obtención del ángulo de apertura óptimo.	91

Figura 58. Distancia focal y profundidad vs. Diámetro del concentrador.	91
Figura 59. Variación del perfil del concentrador para diversos diámetros y profundidades.	92
Figura 60. Balance de energía en el sistema concentrador-cámara de esterilización.	95
Figura 61. Analogía termo-eléctrica de los efectos de la radiación y convección; como un par de resistencias en paralelo.	98
Figura 62. Esquema de la estructura de soporte principal y detalle de una de las placas de soporte.	108
Figura 63. Estructura de soporte del concentrador y detalle del indicador de posición.	109
Figura 64. Esquema de la platina y de la canasta de soporte de la estructura para la cámara de esterilización.	110
Figura 65. Esquema del principio de funcionamiento del mecanismo de seguimiento a usar.	111
Figura 66. Variación anual de la altura solar.	112
Figura 67. Variación anual del azimut.	113
Figura 68. Esquema de las posiciones angulares trazadas para la generación del canal guía en la placa de soporte.	114
Figura 69. Posiciones y recorridos angulares máximos y mínimos en el plano azimutal previstos durante el año.	115
Figura 70. Esquema de alternativa para la fijación del equipo de esterilización.	115
Figura 71. Esquema del proceso de soldadura eléctrica de arco con electrodo revestido y del circuito de trabajo.	116
Figura 72. Esquema del proceso de soldadura oxiacetilénica.	118
Figura 73. a) Equipo de soldadura oxiacetilénica y b) Detalle de un soplete para soldadura oxiacetilénica.	119
Figura 74. Soplete especial para oxicorte manual.	120
Figura 75. Proceso de doblado de tubos.	121
Figura 76. Esquema del proceso de rolado y esquema de una máquina típica de rolado.	122
Figura 77. Partes de un taladro y esquema de operación del proceso de taladrado mediante la broca.	123

Figura 78. Esquema de los procesos de roscado, avellanado y refrentado.	124
Figura 79. a) Esquema del proceso de embutido y b) piezas de trabajo: forma inicial (1) y pieza embutida (2).	124
Figura 80. Obtención del molde con el perfil parabólico y uno de los brazos del concentrador.	126
Figura 81. Doblado del aro, y unión de los brazos mediante soldadura.	126
Figura 82. Armazón del concentrador y colocación de la malla.	127
Figura 83. Aplicación de la masilla para la generación de la superficie (a,b,c). Corrección y acabado final de la superficie (d,e,f).	128
Figura 84. Colocación de la película reflectiva Reflectech.	129
Figura 85. a) Soldadura de las piezas de la estructura de soporte, b) Elaboración del canal guía y c) Estructura principal finalizada.	130
Figura 86. Canasta de soporte del recipiente, soldado de las platinas y montaje de los brazos de soporte sobre la estructura de soporte principal.	131
Figura 87. Rueda dentada para el bloqueo de posición y el rodillo.	132
Figura 88. Secuencia del doblado de la lámina y aprisionamiento con los aros guías para la obtención del cuerpo cilíndrico.	133
Figura 89. Trazado, corte de las piezas, conformado y unión del fondo al cuerpo cilíndrico.	133
Figura 90. Secuencia constructiva: a) Molde positivo, b) molde negativo, c) resultado tras el conformado y d) el recipiente finalizado.	134
Figura 91. Construcción de los aros, rectificado, colocación del mecanismo de cierre y accesorios y resultado final.	135
Figura 92. Instrumentos utilizados: a) Termómetro infra rojo, b) Piranómetro digital, c) Termómetro de mercurio y d) Visualización de la aplicación SunLocator.	141
Figura 93. Tiempos de ebullición obtenidos en las pruebas.	142
Figura 94. Variación de la temperatura e irradiancia durante las pruebas de tiempos de ebullición.	143
Figura 95. Toma de datos durante las pruebas realizadas.	144
Figura 96. Variación de la temperatura e irradiancia solar durante las pruebas de volumen evaporado.	146
Figura 97. Resultados obtenidos durante la prueba de temperatura máxima.	146

Figura 98. Prueba de temperatura máxima, ubicación del punto focal y medición de la imagen proyectada.	147
Figura 99. Resumen de la Irradiancia global instantánea registrada durante las pruebas.	148
Figura 100. Resumen de la posición solar registrada durante todas las pruebas.	149
Figura 101. Variación angular diaria en el tiempo en la posición de altura solar.	150
Figura 102. Variación angular diaria en el tiempo en la posición azimutal del sol.	151
Figura 103. Variación anual de la tasa de cambio angular horaria del azimut.	152
Figura 104. Variación anual de la tasa de cambio angular horaria en altura.	152
Figura 105. Gráficas del comportamiento de la presión y temperatura al interior del autoclave durante las pruebas.	154
Figura 106. Resultados de la prueba 3 realizada al autoclave.	154
Figura 107. Lecturas registradas durante las pruebas del autoclave.	155
Figura 108. Diagrama Temperatura – entropía del agua, donde se muestran los parámetros de operación del autoclave.	156
Figura 109. Transición de vapor saturado a sobrecalentado/sobresaturado al variar la temperatura.	157
Figura 110. Transición de vapor saturado a sobrecalentado/sobresaturado al variar la presión.	158
Figura 111. Etapas del proceso de esterilización y sus puntos importantes.	159
Figura 112. Esquema que representa la situación de transferencia de calor desde la superficie hacia el interior del autoclave.	161
Figura 113. Comparativa de la evolución de la temperatura exterior respecto a la interior del autoclave.	163

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación del instrumental de acuerdo a su grado de esterilización.	4
Tabla 2. Factores que afectan la eficiencia en los procesos de esterilización.	7
Tabla 3. Tipos de esterilizadores por calor húmedo.	10
Tabla 4. Reducción de la población de los microorganismos obtenida en cada ciclo aplicando el SAL de $10^{-6}$	19

Tabla 5. Clasificación de instrumental médico.	26
Tabla 6. Movimientos del planeta tierra.	33
Tabla 7. Conceptos de la energía solar térmica.	35
Tabla 8. Clasificación según la concentración de energía solar.	40
Tabla 9. Rangos de temperatura y de relación de concentración de los diferentes tipos de concentradores solares existentes.	52
Tabla 10. Ciclos y cargas de esterilización a vapor.	59
Tabla 11. Composición química del acero inoxidable 304.	68
Tabla 12. Propiedades mecánicas y físicas del acero inoxidable 304.	69
Tabla 13. Propiedades físicas y mecánicas del material S-102.	83
Tabla 14. Características de la válvula de purga seleccionada.	88
Tabla 15. Características de la válvula de seguridad seleccionada.	89
Tabla 16. Termómetro y manómetro del tipo a instalar.	89
Tabla 17. Reflectancias de algunos materiales.	96
Tabla 18. Desarrollo de las piezas embutidas.	125
Tabla 19. Costos de materiales para el concentrador.	136
Tabla 20. Costos de fabricación del concentrador.	137
Tabla 21. Costos de materiales para el recipiente.	137
Tabla 22. Costos de fabricación del recipiente.	138
Tabla 23. Temperaturas estimadas de acuerdo a los datos recolectados en la prueba 8 del concentrador.	163

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

$A_a$ :	Área de apertura del concentrador
$A_r$ :	Área del receptor
$C$ :	Índice de concentración
$C_{m\acute{a}x}$ :	Índice de concentración máxima
$C_p$ :	Calor específico a presión constante
$d$ :	Diámetro
$D$ :	Tiempo de reducción decimal

f:	Foco, distancia focal
F:	Letalidad del tratamiento térmico
G:	Irradiancia global
h:	Coeficiente convectivo
l:	Litros, longitud
k:	Conductividad térmica
n:	Factor de seguridad
$N_0$ :	Número de microorganismos inicial
$N_u$ :	Número de Nusselt
P:	Presión
$P_d$ :	Presión de diseño
$P_o$ :	Presión de operación
$P_{sat}$ :	Presión de saturación
$Re$ :	Número de Reynolds
S:	Factor de sombra
SAL:	Nivel de garantía de esterilización
$S_{sy}$ :	Esfuerzo cortante
$S_y$ :	Esfuerzo de fluencia
t:	Espesor, tiempo
T:	Temperatura
V:	Volumen, velocidad
$V_c$ :	Volumen total de la cámara
Z:	Constante de resistencia térmica
$\alpha$ :	Altura solar
$\alpha_r$ :	Absortancia
$\delta$ :	Ángulo de dispersión
$\varepsilon$ :	Emisividad
$\eta$ :	Eficiencia térmica

$\eta_o$ :	Eficiencia Óptica
$\rho$ :	Densidad y reflectancia
$\sigma_L$ :	Esfuerzo longitudinal
$\sigma_t$ :	Esfuerzo tangencial
$\theta_m$ :	Ángulo de aceptación
$t$ :	Transmitividad
$\phi$ :	Ángulo de apertura
$\psi$ :	Azimut solar

## INTRODUCCIÓN

La esterilización es un proceso que permite obtener superficies de objetos libres de contaminación biológica para su uso en servicios de asistencia médica y que garantiza que la salud de los usuarios no se vea comprometida al someterse a cualquier procedimiento de este tipo. A lo largo del tiempo el ser humano ha desarrollado diferentes métodos para obtener superficies limpias, libre de agentes patógenos tales como: virus, hongos, bacterias, etc. Así en 1876 el francés Charles Chamberland desarrolla el primer equipo de esterilización llamado autoclave que funcionaba con vapor de agua a presión y desde entonces surgen diversos métodos para lograr la esterilización.

Un autoclave es un equipo imprescindible en cualquier establecimiento de salud que ofrezca servicios de curaciones y pequeñas cirugías, debido a que con este se asegura que los instrumentos utilizados están libres de contaminación, razón por la cual se plantea el diseño y la construcción de un autoclave que funciona con energía solar para que pueda implementarse en aquellos establecimientos de salud que debido a la falta de este equipo o su difícil acceso puedan presentar deficiencias en sus servicios.

En el capítulo I, se presentan los conceptos y definiciones acerca del proceso de esterilización, la energía solar, tipos de colectores solares, y la disponibilidad del recurso solar con el que el país cuenta. En el capítulo II, se presenta el proceso y los criterios seguidos para seleccionar las características y los parámetros de funcionamiento del esterilizador, y en base a esto, diseñar los elementos que compondrán en conjunto el equipo de esterilización. El esterilizador propuesto es del tipo de desplazamiento por gravedad, que funciona con vapor húmedo, la cámara del esterilizador está formada por un recipiente metálico de configuración vertical y de forma integrada que funciona al mismo tiempo como generador de vapor. Se hace uso de la energía solar térmica para la generación del vapor, esta es captada mediante un colector

solar del tipo de disco parabólico, el cual es orientable. La superficie del colector está recubierta por una capa de material reflectivo que permite reflejar y concentrar la radiación solar incidente en un área muy reducida, en su punto focal, sobre el cual se colocará el autoclave.

Por último, en el capítulo III, se describen los procesos de fabricación utilizados en la construcción del equipo de esterilización, de acuerdo a lo definido en la etapa de diseño, se presentan el listado de materiales, los costos totales del proyecto y los resultados obtenidos al someter los componentes del equipo a pruebas previas a su etapa de validación final, temática que se presenta solo de manera descriptiva.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivos generales**

- Diseñar y construir un equipo para esterilización de instrumental quirúrgico.
- Aprovechar el recurso solar disponible como fuente de energía para aplicarlo al proceso de esterilización.
- Aplicar los conocimientos adquiridos durante la formación académica en la carrera de ingeniería mecánica.

### **Objetivos específicos**

- Presentar la información necesaria que permita tener las bases para la realización del diseño de un equipo de esterilización a vapor solar.
- Determinar los parámetros de funcionamiento del esterilizador.
- Diseñar los elementos del equipo de esterilización.
- Concretar la construcción en físico del modelo a partir de lo presentado en la etapa de diseño del equipo.
- Describir la metodología de los procesos seguidos durante la fabricación del equipo de esterilización.
- Proporcionar las instrucciones necesarias para operar el equipo de esterilización.

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

#### 1.0. LA ESTERILIZACIÓN

La esterilización consiste en la destrucción completa de todas las formas de vida microbianas, incluyendo bacterias y sus formas esporuladas altamente resistentes. Se entiende por muerte, la pérdida irreversible de la capacidad reproductiva del microorganismo; se trata de un término absoluto, donde un objeto está estéril o no lo está, sin rangos intermedios. Esto puede conseguirse mediante esterilización física, esterilización gaseosa y esterilización química, proceso mediante el cual se alcanza la muerte

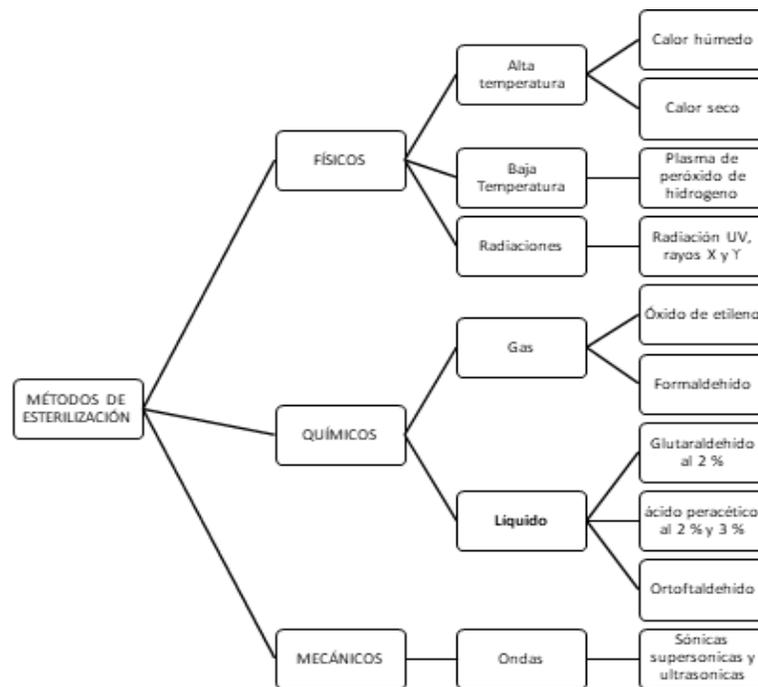


Figura 1. Clasificación de los métodos de esterilización.

En los métodos físicos se someten los artículos a ciertas temperaturas durante determinado tiempo con la diferencia de que el calor húmedo hace uso de vapor

de agua como agente esterilizante, mientras que el calor seco utiliza el aire caliente. Por otra parte, como alternativa, pueden también ser expuestos a dosis de radiaciones ionizantes o bien someterse a atmosferas de plasma.

Los métodos químicos de esterilización usan sustancias que actúan como venenos citoplasmáticos que coagulan las proteínas celulares de los microorganismos desnaturalizándolas, estos procesos se realizan a baja temperatura. Mientras que la esterilización mediante ondas consiste en la aplicación de vibraciones mecánicas longitudinales con frecuencias que oscilan los 10,000 a 15,000 vibraciones por segundo. Cabe mencionar que la esterilización es un proceso bastante particular y que no debe ser confundido con otros términos, cuando se habla de forma general es preferible usar el término de descontaminación de material médico quirúrgico en el entendido que esta actividad involucra los procesos físicos o químicos para remover, inactivar o destruir organismos patógenos sobre una superficie o artículo hasta el punto que se considere seguro para su manejo, uso o descarte. Dentro de los procesos de descontaminación tenemos:

- Limpieza
- Desinfección
- Esterilización

De estos, la esterilización tiene el nivel más alto de seguridad en la destrucción de microorganismos y sus formas de resistencia.

### **1.1. Desinfección**

Los procesos de desinfección se han dividido en varios grados [1] (alto, intermedio y bajo), la desinfección de alto grado por regla general posee una eficacia semejante a la de la esterilización, mientras que las esporas pueden

sobrevivir tras una desinfección de grado intermedio; asimismo, numerosos microorganismos pueden seguir siendo viables después de una desinfección de bajo grado. En este proceso se eliminan los agentes patógenos reconocidos, pero no necesariamente todas las formas de vida microbianas.

## **1.2. Antisepsia**

Es el proceso que, por su baja toxicidad, se utiliza para la destrucción de microorganismos presentes sobre la superficie cutáneo-mucosa mediante la utilización de agentes químicos sobre la piel o sobre otros tejidos vivos para inhibir o eliminar los microorganismos; la antisepsia no implica una acción esporicida. Este término tampoco implica la destrucción de todas las formas de vida. Existen agentes como los alcoholes que son antisépticos y desinfectantes a la vez.

El médico norteamericano Earl Spaulding, realizó un estudio sobre desinfección atendiendo al riesgo de infección en pacientes, y los instrumentos relacionados a utilizar. De acuerdo al instrumento necesario, así será el nivel de desinfección que se requiere [10]; clasificándose como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 1. Clasificación del instrumental de acuerdo a su grado de esterilización.

<b>CLASIFICACIÓN DE SPAULDING</b>		
<b>Elementos</b>	<b>Ejemplo</b>	<b>Método de descontaminación</b>
<b>Críticos:</b> Son instrumentos que entran en contacto con cavidades y tejidos incluyendo el sistema vascular. Representan alto riesgo de infección si están contaminados, requieren estar estériles para su uso.	Materiales cortantes, instrumentos quirúrgicos, implantes, catéteres, prótesis, endoscopios rígidos que entran en tejidos estériles y sus accesorios, agujas, válvulas de succión, fórceps	Procesos de esterilización por calor húmedo u óxido de etileno únicamente Esterilización química con desinfectante de alto nivel, manteniendo esterilidad en todo el proceso, en caso de material que no pueda esterilizarse con los métodos antes mencionados.
<b>Semi críticos:</b> Son aquellos instrumentos que entran en contacto con la mucosa del tracto respiratorio, gastrointestinal, genital, urinario y piel no intacta.	Material para anestesia y terapia respiratoria, endoscopios, tubos endotraqueales, máquinas de diálisis, otoscopios, espéculos vaginales, termómetros rectales, y laringoscopios.	Desinfección de alto nivel Por ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ácido Peracético al 0.2%</li> <li>● Glutaraldehído al 2%</li> <li>● Glutaraldehído Fenolato 1.8</li> <li>● Peróxido de hidrógeno al 6%</li> </ul>
<b>No críticos:</b> Son materiales en contacto con piel íntegra y que no tienen relación con mucosas ni áreas de tejido estéril	Sábanas, muebles, manguito del esfigmomanómetro, electrodos, otros accesorios como termómetros, urinarios, desfibrilador, superficies y tapones de viales de medicación.	Desinfección de nivel intermedio o bajo. Ejemplo: <ul style="list-style-type: none"> <li>● Alcohol al 70%</li> <li>● Hipoclorito Sódico a 5000 ppm</li> <li>● Iodóforos</li> </ul>

Fuente: Unidad de enfermería Comité Nacional de procedimientos, manual organizativo y de funcionamiento de la central de esterilización hospitalaria, El Salvador 2006.

## 2.0. ESTERILIZACIÓN POR CALOR HÚMEDO

De los métodos de esterilización anteriormente mencionados, en nuestro caso el de interés es el método de esterilización de calor húmedo, el cual utiliza el vapor de agua como agente esterilizante. Existen tres formas para aplicar este método:

- Agua hirviendo
- Vapor fluyendo libremente
- Vapor bajo presión

La forma de vapor de agua bajo presión es el mejor medio para el aniquilamiento o destrucción de materias infecciosas. Las otras 2 formas, son menos eficientes debido a que sólo pueden mantener una temperatura máxima de 100°C lo que provoca que los procesos sean más largos en comparación con el método de vapor bajo presión y deben considerar usarse solo para casos de emergencias

Cuando el vapor se confina en un compartimiento cerrado, si se aumenta la temperatura también aumentará su presión; si estas condiciones se mantienen por un tiempo determinado causarán la muerte de los microorganismos presentes al provocarles una coagulación o solidificación de su masa protoplásmica, deteniendo así sus procesos vitales. En cuanto al vapor usado para la esterilización este debe estar saturado, el cual se presenta a presiones y temperaturas en las cuales el vapor y el agua en estado líquido pueden coexistir juntos, y se puede decir que está a punto de condensarse, bajo esta condición cualquier pérdida de calor provocará que este se condense inmediatamente. Esto debe ser así, ya que de esta forma se logra aprovechar el calor latente del agua liberando energía térmica debido al cambio de fase. La calidad del vapor debe rondar entre 92 a 95% (es decir con un 5 a 8% de fase líquida), y este debe ser además de alta pureza, sin minerales, carga orgánica y sin la presencia de gases no condensables (menores al 3.5%).

## **2.1. Principio de Operación**

El contacto directo con el vapor saturado es la base para la esterilización con este método, este debe penetrar en cada fibra y a través de la superficie de los

objetos que van a ser esterilizados durante un tiempo y temperatura necesarios. Los procesos de esterilización más comunes son a 121°C con una duración de 15 minutos, con una presión de 2 atmósferas; y 134°C por 3 minutos, con una presión de 3 atmósferas.

La capacidad del vapor de agua saturado de actuar sobre los gérmenes se puede interpretar por el siguiente mecanismo de acción; cuando el vapor entra a la cámara de esterilización, hace contacto con la capa exterior más fresca de la envoltura de los paquetes y se condensa en ella, se da un calentamiento por transferencia de calor, principalmente por convección. El vapor al calentar el material que se quiere esterilizar se condensa y así produce la humectación y la de los gérmenes que contiene, cediendo su calor latente de vaporización, en estas condiciones hay una gran contracción de volumen que produce un vacío intersticial que determina una nueva penetración de vapor, para reemplazar al vapor que se condensó; en este punto el vapor ya no continúa condensándose en la capa externa, la cual ya está a la temperatura del vapor, pero si lo hace en la siguiente capa interior; este proceso continúa repitiendo hasta que el vapor ha calentado todos los objetos dentro del paquete, y cuando el calor ha penetrado en los paquetes y los ha calentado hasta la temperatura deseada, esta es mantenida durante un tiempo preseleccionado. Cuando el ciclo de esterilización es completado, el vapor es extraído y los objetos esterilizados son posteriormente secados.

## **2.2. Factores que afectan la eficiencia de los procesos de esterilización**

Se han identificado los factores esenciales que afectan el proceso [1], estos deben tenerse muy en cuenta a fin de realizar un adecuado proceso de esterilización y se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 2. Factores que afectan la eficiencia en los procesos de esterilización.

Factores	Descripción
Número de microorganismos	Este es un factor fundamental ya que es uno de los dos factores que miden la efectividad de los diferentes procesos de esterilización. Se utiliza en función de la evaluación de los diferentes métodos.
Materia orgánica	La presencia de materia orgánica dificulta la eliminación de los microorganismos, pero es uno de los factores fácilmente modificables. Esto justifica la importancia de la limpieza antes de la esterilización, para garantizar siempre una disminución de riesgos que afecten dicho proceso.
Tiempo	Es otro de los factores por medio del cual se evalúa la función de los métodos de esterilización. El valor t es el tiempo necesario para que una suspensión a temperatura de 121°C elimine todas las esporas bacterianas. También es utilizado como valor de referencia en la evaluación de los métodos de esterilización.
Temperatura.	Al aumentar la temperatura durante un proceso específico de esterilización, su efectividad aumenta pues cuando ésta es superior a la temperatura óptima de crecimiento de un microorganismo generalmente provoca la muerte del mismo.
Humedad relativa (HR)	Se define como la fracción de presión de vapor de agua en un sistema con respecto a otro sistema con la máxima presión (saturado 100%) y a la misma temperatura. A mayor humedad relativa, mayor contenido de agua en las células o esporas y mejor resultado final de esterilización. Es decir, más rápido.
Estandarización de la carga.	Los paquetes deben tener las medidas y los envoltorios normados internacionalmente. La carga a esterilizarse es muy variable. Puede cambiar con respecto al número de instrumentos, volumen de carga, tamaño de los instrumentos y contenido de los paquetes. Es importante estandarizar los procesos de esterilización según los diferentes artículos de la carga ya que la efectividad del método puede variar en función de los artículos.

### 2.3. El autoclave esterilizador

El autoclave es una máquina que utiliza la combinación de alta presión y vapor con el fin de transferir calor a los artículos colocados dentro de él, utilizando estas propiedades, logra realizar la esterilización de estos, y es por lo que también se les llama coloquialmente esterilizador.

Este dispositivo fue construido por primera vez<sup>1</sup> en el año 1879 por el microbiólogo francés Charles Chamberland, quien fuera discípulo y luego colaborador de Louis Pasteur<sup>2</sup>, y era lo más parecido a una olla de presión, solo un tanto sofisticada, el nombre original bajo el cual fue patentado en esa época fue la de digestor.

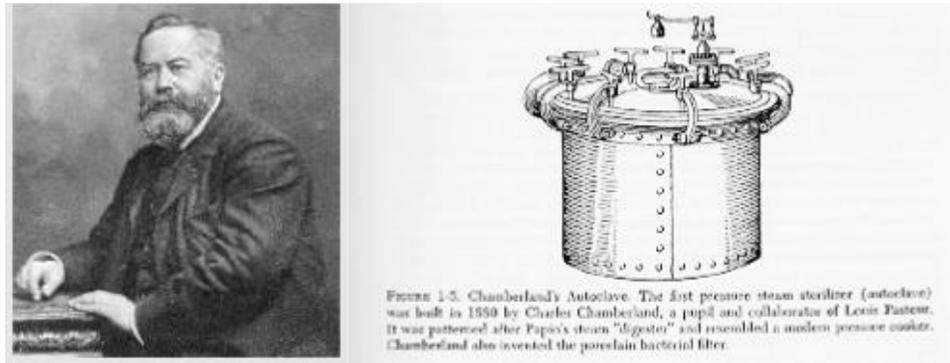


Figura 2. Charles Chamberland e ilustración de lo que fuera el primer autoclave.

El vapor puede generarse al interior del autoclave, formando en sí mismo la cámara de esterilización o bien generarse exteriormente y luego inyectarse a la cámara donde se coloca la carga a esterilizar. De forma general los autoclaves constan de las siguientes partes:

1. Cámara de acero inoxidable, donde se introduce el material a esterilizar.
2. Recámara que recubre a la cámara: es calentada por una fuente de vapor procedente de un generador central a partir de una caldera de alta presión, o bien, de un generador autónomo que produce vapor por medio de resistencias u otras fuentes de energía.

<sup>1</sup> Chamberland recurrió a la literatura existente en la época, y encontró un instrumento creado dos siglos antes, en el año 1679, por el físico francés Dennis Papin, quien diseñó un equipo cerrado que trabajaba con vapor de agua a altas presiones con la finalidad de poder separar grasa y otros tejidos desde los huesos. Papin llega a este diseño gracias a los trabajos realizados por Robert Boyle, quien estudió las propiedades termodinámicas del agua.

<sup>2</sup> Louis Pasteur (1822-1895) fue un químico y microbiólogo francés, cuyos descubrimientos tuvieron enorme importancia en diversos campos de las ciencias naturales, sobre todo en la química y microbiología. A él se debe la técnica conocida como pasteurización y la vacuna contra la rabia.

3. Una o dos puertas (entrada y salida)
4. Filtros de aire y vapor.
5. Indicadores de presión y temperatura.
6. Válvulas de seguridad y válvula reductora de presión.

De acuerdo a la forma en que son cargados estos pueden ser de configuración horizontal o vertical, tal como se observa en la figura 3; donde también se señalan algunos de los elementos que los componen, ya antes mencionados y se muestran también los dos casos posibles en cuanto a suministro del vapor, en este ejemplo, en el horizontal este proviene de un generador de vapor externo, mientras que el vertical lo genera internamente dentro de la misma cámara de esterilización, donde en el fondo se deposita una cantidad de agua líquida que es evaporada.

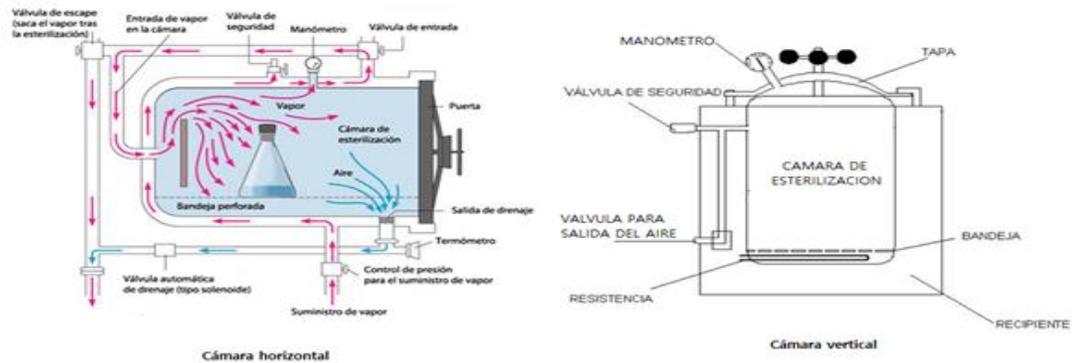


Figura 3. Partes de un esterilizador a vapor y sus configuraciones de acuerdo a la forma de cargarlo.

## 2.4. Tipos de esterilizadores por calor húmedo

Existen tres tipos de esterilizadores a vapor, los cuales se describen en la siguiente tabla.

Tabla 3. Tipos de esterilizadores por calor húmedo.

Tipo	Característica
Esterilizadores de desplazamiento por gravedad	El agua se calienta hasta que se forma vapor que luego se inyecta hacia la cámara de esterilización (o bien la llena si se genera internamente). Debido a la diferencia de densidades, el aire es desplazado por el vapor hacia la parte inferior de la cámara a medida que la cámara se llena y es expulsado mediante una válvula de drenaje. Cuando el vapor ha desplazado todo el aire, se cierra la válvula y la presión se incrementa hasta alcanzar la temperatura de esterilización (121°C en este caso) y a partir de ese momento comienza a contarse el tiempo que dura el proceso de esterilización (de 15 a 30 minutos).
Esterilizadores con pre-vacío	En este tipo, el aire es removido mecánicamente con ayuda de una bomba de vacío. Al cerrarse la puerta del esterilizador e iniciar el ciclo, queda aire atrapado en la cámara, se activa inmediatamente la bomba y es expulsado, tras lo que se inyecta el vapor que penetra rápidamente ya que no hay aire, el vapor alcanza la temperatura establecida (134°C) y comienza a contarse el tiempo de esterilización (4 minutos).
Esterilizadores flash.	Es un tipo de esterilización para instrumental para uso inmediato, con la variante que se utiliza dentro del quirófano, donde el instrumental puede colocarse sin envoltorio, para la esterilización emergente de instrumental que se ha caído, contaminado o colocado por error fuera de la charola quirúrgica. Hay que aclarar que este tipo no se recomienda para la esterilización de rutina de instrumental médico.

## 2.5. Etapas básicas de un ciclo de esterilización

La esterilización por vapor típicamente consiste en tres fases [5]:

- Pre condicionado: Comienza el calentamiento de la cámara, durante esta fase el aire es removido de la cámara y la carga es humidificada, dependiendo del tipo de autoclave.
- Exposición: Durante esta fase, la temperatura de la cámara es incrementada y llevada a la temperatura programada, para el tiempo de exposición, también programado.
- Post acondicionado: La carga se enfría y es secada, o los líquidos son enfriados, y la presión de la cámara es llevada hasta la presión atmosférica.

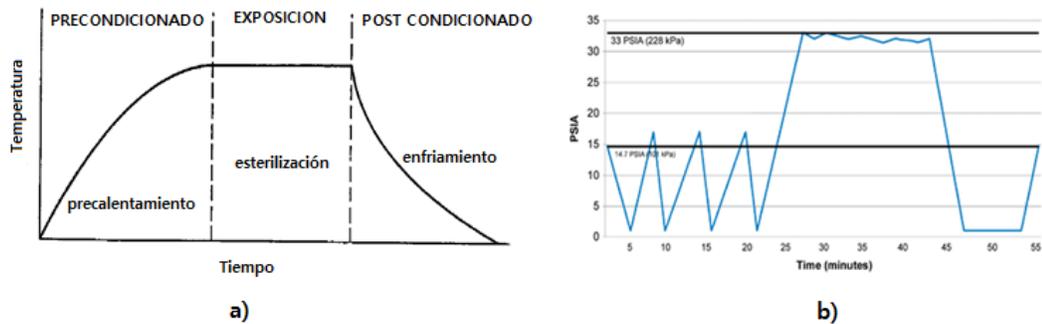


Figura 4. Perfiles típicos de la variación de la temperatura en a) y de la presión en b) durante un ciclo de esterilización por vapor.

El tiempo total del ciclo es la suma de todas las etapas relacionadas, desde la puesta en funcionamiento hasta el momento de la apertura con seguridad del equipo. Dependiendo del tipo el tiempo total, por ejemplo, para una esterilización de 20 minutos puede resultar en un total de 50 a 70 minutos.

## 2.6. El proceso de esterilización

Cuando se realice la esterilización con calor húmedo, debe cumplirse lo siguiente:

- Previamente, los objetos a esterilizar deben limpiarse de cualquier residuo de suciedad y luego deben ser lavados con agua destilada o desmineralizada para remover cualquier residuo de detergente.
- Utilizar agua destilada para la alimentación del tanque generador de vapor y revisar el funcionamiento del aparato, verificando los parámetros de tiempo, temperatura y presión.
- Deben utilizarse envolturas para cubrir los artículos a esterilizar formando paquetes, y así estos puedan conservar su esterilidad. En general el material de la envoltura debe poseer características filtrantes, sin obstaculizar el paso del vapor.

- Acomodar los paquetes holgadamente en forma vertical para favorecer la circulación del vapor. La cristalería deberá esterilizarse colocando los recipientes boca abajo u horizontales.
- La carga deberá estar formada por objetos o materiales cuyo tiempo de esterilización recomendado sea el mismo. Nunca se debe introducir materiales que necesitan diferentes tiempos de esterilización.
- Colocar el paquete de prueba con el indicador biológico (dispositivo que en cierta medida permite determinar si la esterilización fue realizada con éxito) en el área de más difícil penetración del vapor en el autoclave. El paquete de prueba se elabora con un campo de tela doblado, que contiene en el centro el indicador.
- Programar los parámetros de tiempo, temperatura y presión según el tipo de material a esterilizar, si no es automático.
- Verificar y controlar que no exista fuga de vapor.
- Al finalizar el ciclo de esterilización, debe despresurizarse la cámara y abrir la puerta hasta que el manómetro indique el valor de presión de cero
- Dejar la puerta del autoclave entreabierta, para favorecer el proceso de enfriamiento del material.
- Descargar el autoclave cuando el material esté completamente frío, si se ha colocado paquete de prueba realizar los pasos para su lectura, según indicaciones técnicas.
- Realizar registros de información en instrumentos correspondientes.
- Revisar las condiciones de los empaques.
- Almacenar el material estéril.

### **3.0. CINÉTICA DE MUERTE DE LOS MICROORGANISMOS**

La muerte de los microorganismos al ser sometidos a un tratamiento a altas temperaturas tiene un comportamiento exponencial. Si se representa la

variación del logaritmo del número de células supervivientes a un tratamiento térmico realizado a una temperatura dada en función del tiempo de tratamiento, se obtiene una gráfica del descenso del logaritmo de microorganismos supervivientes y que es lineal con respecto al tiempo y que facilita el análisis.

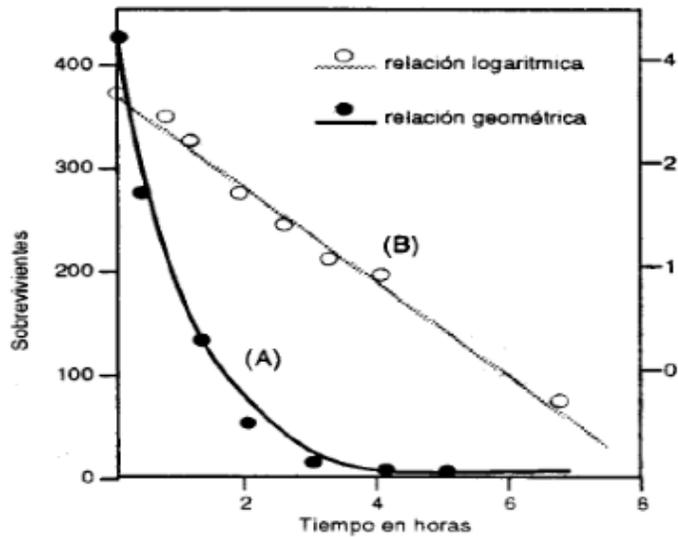


Figura 5. Tendencia de la muerte de los microorganismos, y simplificación de este comportamiento llevada a una escala semilogarítmica.

Así, de la ecuación original que representa el comportamiento de la muerte de los microorganismos mediante la función:

$$N = N_0 e^{-kt} \quad (1)$$

Dónde:

N: Es el número de microorganismos presentes en un momento determinado

$N_0$ : Es el número inicial de microorganismos presentes

k: Constante característica del microorganismo y temperatura a la que es sometido

t: Es el tiempo. Cuando se refiere al tiempo específico de algún tratamiento puede distinguirse como T.

Aplicando logaritmos se obtiene la nueva ecuación:  $\log (N) = \log (N_0) - kt$   
Sustituyendo  $k = -1/D$  y  $t = T$  resulta:

$$\log (N) = \log (N_0) - \frac{T}{D} \quad (2)$$

La curva resultante del logaritmo de la población de los microorganismos con respecto al tiempo se denomina curva de supervivencia.

### **3.1. Resistencia térmica característica de los microorganismos**

Se refiere a la capacidad que estos tienen de sobrevivir bajo ciertas condiciones específicas a los que son sometidos durante los procesos de esterilización. En los tratamientos por calor esto se caracteriza mediante los valores comúnmente llamados D y Z, o también conocidos por tiempo de reducción decimal y constante de resistencia térmica, respectivamente.

#### **3.1.1. Valor D**

El valor D o tiempo de reducción decimal, representa la tasa de muerte de los microorganismos, esto determina el tiempo requerido para reducir la población microbiana en una potencia de diez, concretamente D es el tiempo en minutos que se requiere a una temperatura específica para reducir dicha población en un 90% o a una unidad o nivel logarítmico (1 log). Matemáticamente es igual al recíproco negativo de la pendiente de la curva de supervivencia de la población microbiana y puede ser calculado mediante:

$$\frac{\log N_{t_1} - \log N_{t_2}}{t_1 - t_2} = -\frac{1}{D} \quad (3)$$

Donde:

$N_{t_1}$ : población microbiana en un instante uno

$N_{t_2}$ : población microbiana en un instante dos

$t_1$  : tiempo en el instante uno

$t_2$ : tiempo en el instante dos

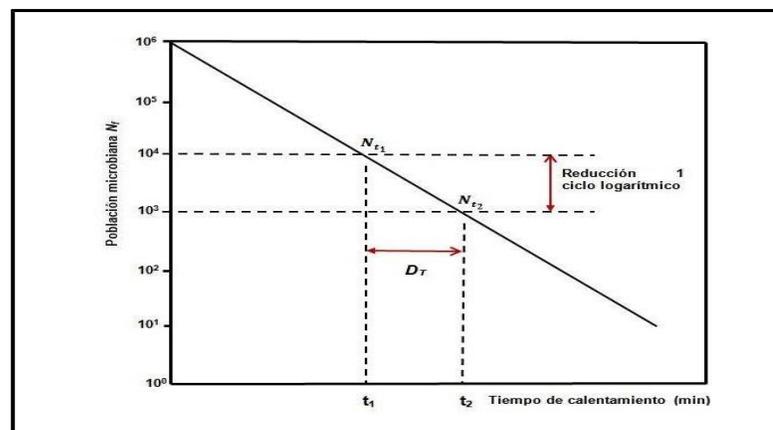


Figura 6. Representación esquemática de una curva de supervivencia, y del valor D.

El valor D es importante en la validación de los procesos de esterilización por diversas razones, entre las cuales tenemos:

- Porque es específico para cada organismo en un ambiente sujeto a un agente, también específico de esterilización o condición
- El conocimiento del valor D a diferente temperatura en la esterilización por calor, es necesario para calcular el valor Z.
- El valor D es usado en el cálculo del factor biológico F.
- La extrapolación del valor D, predice el número de reducciones logarítmicas de la población microbiana.

El valor D depende de varios parámetros, los más importantes son: el tipo de microorganismo usado como indicador biológico, la superficie en la cual el microorganismo está expuesto y la temperatura en el caso de tratamientos por

calor (con otros métodos de esterilización diferentes dependerá de la dosis de radiación usada o la concentración de gas, por ejemplo.)

### 3.1.2. Valor Z

Es el cambio de temperatura requerido para que resulte la reducción de un ciclo logarítmico en el valor D; su significado práctico es que cuando se eleva la temperatura del tratamiento térmico en Z grados el tiempo requerido para conseguir la misma destrucción térmica es 10 veces menor. Matemáticamente Z es el valor del recíproco negativo de la pendiente de la curva de Tiempo de Destrucción Térmica (gráfica de valor D vs. Temperatura o muy conocida como TDT: Thermal Death Time). Este se expresa por la ecuación:

$$\frac{\log D_{T_1} - \log D_{T_2}}{T_1 - T_2} = -\frac{1}{Z} \quad (4)$$

Donde:

$D_{T_1}$  y  $D_{T_2}$  son valores D para un microorganismo a diferentes temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ .

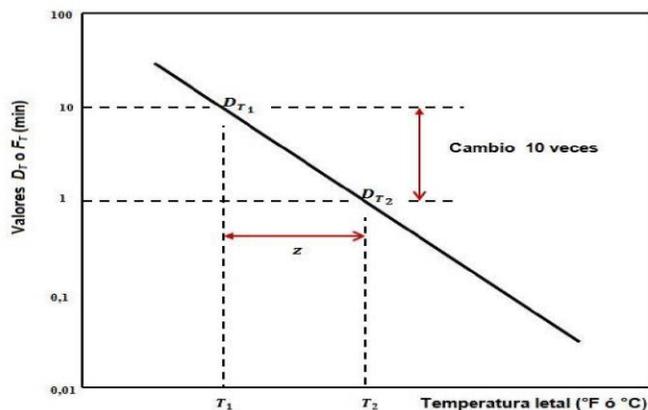


Figura 7. Curva TDT y representación del valor Z.

La magnitud de la pendiente indica el grado relativo de letalidad de acuerdo si la temperatura es incrementada o disminuida. El valor estándar aceptado para Z, para utilizarse en esterilización por vapor para la bacteria *Bacillus Subtilis* es 22°C y para la *Geobacillus Stearothermophilus* es 10°C. Estos puntos son importantes porque con estos puede determinarse el valor D del indicador del microorganismo a cualquier temperatura de interés.

### 3.1.3. Valores F y F<sub>0</sub>

Otras variables importantes y que son medibles perteneciente a la resistencia térmica son los valores F y F<sub>0</sub>.

Un valor F es el número de minutos requeridos para matar un número específico de microorganismos con un valor específico Z de temperatura. Este valor mide el tiempo equivalente pero no el tiempo real (de reloj) que es expuesto a una temperatura definida.

Mientras que un valor F<sub>0</sub> es el número en minutos para matar un número específico de microorganismos con un valor Z a 10°C hasta 121.1°C. Con la ecuación que define a F<sub>0</sub> puede ser usado para determinar el tiempo relativo de esterilización, así como otras temperaturas.

$$F_0 = \int_0^t L dt \quad (5)$$

Donde:

L: Tasa letal del microorganismo (Bacteria o espora), esta se define

como  $L = 10^{\left(\frac{T-121.1}{Z}\right)}$

t: Tiempo de exposición (en segundos)

T: Temperatura de exposición (en °C)

Z: Es una constante, corresponde al valor “Z”, este describe la pendiente de la curva de muerte térmica. Para esterilización por vapor el valor más ampliamente aceptado es  $Z=10^{\circ}\text{C}$  ( $18^{\circ}\text{F}$ ).

El parámetro F permite comparar el tratamiento realizado a una temperatura y durante un tiempo determinado con un tratamiento de referencia que usemos para poder efectuar comparaciones. Para poder comparar la eficiencia de diferentes tipos de tratamiento térmico, se elige un sistema de referencia de eficiencia conocida. Cuando el tratamiento de referencia es el indicado, el parámetro F se denomina  $F_0$ .

### **3.2. Nivel de garantía de esterilización (SAL)**

El nivel de inactivación microbiana puede ser descrito mediante una función exponencial llamada nivel de garantía de esterilización, comúnmente llamado SAL (Sterilization Assurance Level). Éste representa la probabilidad de que un microorganismo viable haya sobrevivido y esté presente en un artículo u objeto esterilizado.

El SAL requerido es determinado según el uso del producto al que éste destinado, el proceso de esterilización asociado con artículos médicos donde el riesgo de infección es muy alto generalmente se utiliza<sup>3</sup> un SAL de  $10^{-6}$ . Esto quiere decir que la probabilidad de que un solo microorganismo sobreviva después de la esterilización es de una en un millón.

$$\text{SAL} = 10^{-6} = \frac{1}{1,000,000} = 0.000001$$

---

<sup>3</sup> De acuerdo a la Agencia Reguladora Estadounidense FDA (Foods and Drugs Administration)

Un ciclo de esterilización con un SAL de  $10^{-6}$  significa que los microorganismos que podrían estar presentes están muertos y que se ha proporcionado un factor de seguridad de 6 unidades o ciclos logarítmicos adicionales.

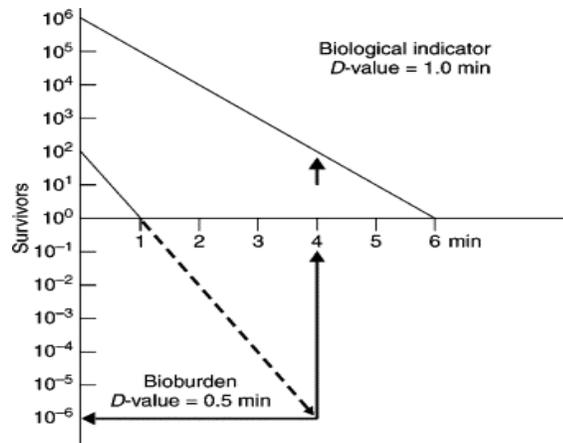


Figura 8. Aplicando una reducción adicional de 6 log se reduce la población a 0.000001 organismos.

Tabla 4. Reducción de la población de los microorganismos obtenida en cada ciclo aplicando el SAL de  $10^{-6}$

Tiempo (Minutos)	Bacterias vivas	Bacterias sobrevivientes/ muertas	Tiempo (Minutos)	Bacterias vivas	Bacterias sobrevivientes/ muertas
0	1000000	Sobrevivientes	7	-0.9	Sobrevivientes
	0	Muertas		1	Muertas
1	-900000	Sobrevivientes	8	-0.09	Sobrevivientes
	100000	Muertas		0.01	Muertas
2	-90000	Sobrevivientes	9	-0.009	Sobrevivientes
	10000	Muertas		0.001	Muertas
3	-9000	Sobrevivientes	10	-0.0009	Sobrevivientes
	1000	Muertas		0.0001	Muertas

Tiempo (Minutos)	Bacterias vivas	Bacterias sobrevivientes/ muertas	Tiempo (Minutos)	Bacterias vivas	Bacterias sobrevivientes/ muertas
4	-900	Sobrevivientes	11	-0.00009	Sobrevivientes
	100	Muertas		0.00001	Muertas
5	-90	Sobrevivientes	12	-0.000009	Sobrevivientes
	10	Muertas		0.000001	Muertas
6	-9	Sobrevivientes			
	1	Muertas			

Por otra parte, aquellos artículos médicos que no entran en contacto con tejidos delicados o estériles, o bien con piel lastimada pueden ser esterilizados con SAL de  $10^{-3}$ , en este caso la probabilidad de encontrar un microorganismo vivo será de una en mil (1/1,000).

### 3.3. Variables requeridas para la determinación de un ciclo ideal de esterilización

Un ciclo ideal de esterilización por vapor es aquel en el que se presume la existencia de un ambiente con vapor saturado y sin aire dentro de la cámara del autoclave, para poder ser determinado es necesario definir las siguientes tres variables:

1. Carga biológica
2. Valor D
3. SAL requerido

Hay que mencionar que la fijación de cualquiera de una de estas tres variables condiciona el valor de los parámetros de funcionamiento del autoclave (Temperatura, Presión y tiempo las cuales pueden ser monitoreadas y tener perfecto control de estas), específicamente el valor "D" el cual, dependiendo de la temperatura seleccionada para el proceso, afecta en gran manera el tiempo

de duración del ciclo y a su vez la temperatura condiciona la presión del vapor dentro de la cámara del autoclave. A parte de las ya mencionadas variables SAL y “D” tenemos la carga biológica que se refiere a la cantidad de microorganismos presentes en los artículos en la carga que pretendemos esterilizar.

### **3.4. Métodos para la determinación de la carga biológica**

Para determinar la carga biológica, se pueden utilizar los métodos siguientes:

- Método de sobreletalidad (Overkill)
- Método para la determinación de la carga biológica según diseño específico para el producto

#### **3.4.1. Método de sobreletalidad (Overkill)**

Lo que se busca bajo este método es asegurar la muerte de los microorganismos presentes en la carga de los artículos a esterilizar, esto al incorporar como carga de prueba, una con microorganismos con resistencia al calor mucho mayor a los que normalmente pueden estar presentes en los artículos, de manera que si se garantiza la muerte de estos microorganismos altamente resistentes se da por hecho que otros tipos también son exterminados. Como aspectos importantes a tomar en cuenta de este método tenemos que:

- Requiere menos información inicial respecto a la carga biológica de los materiales o productos a ser esterilizados. Sin embargo, requiere mayor temperatura, consecuentemente tiene un mayor potencial de degradar el material o producto a ser esterilizado.
- Aplica para materiales termo resistentes como vidrio, acero, etc.

- Garantiza la esterilidad sin considerar la cantidad y resistencia de la carga biológica real del producto o material esterilizado. Asume altos valores de carga biológica y resistencia (valor D)
- El proceso generalmente es más rápido que el diseño específico para un producto.
- Bajo la regulación estadounidense, se requiere que el ciclo proporcione por lo menos 12 minutos (a una temperatura de 121°C) a los ítems esterilizados para alcanzar un ciclo Overkill de 12 reducciones.
- La regulación Europea (UE) define como Overkill, para los productos esterilizados terminalmente, al proceso por calor húmedo que cumpla la temperatura de 121°C por 15 min.

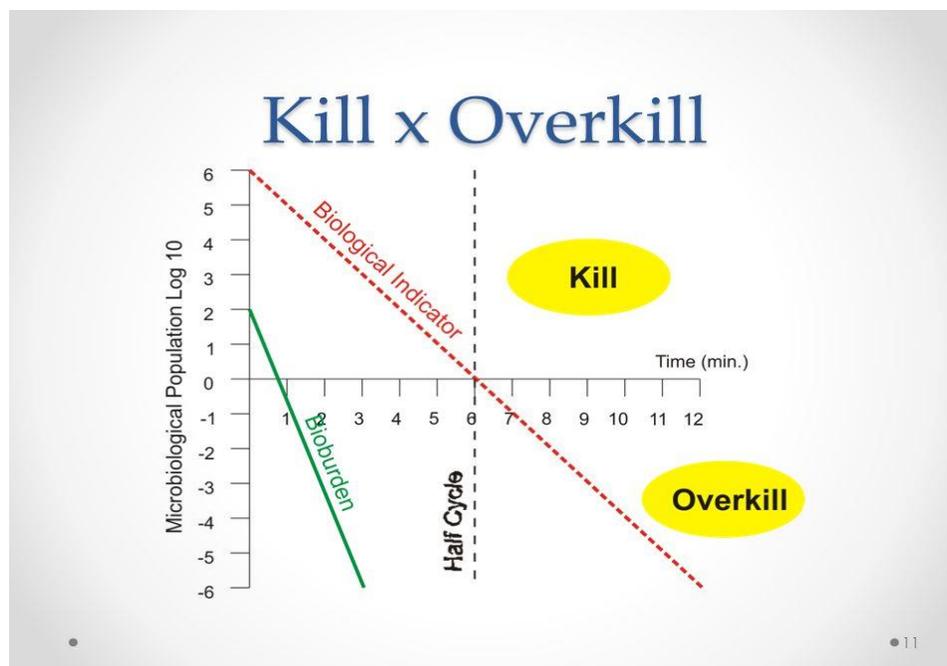


Figura 9. Ciclo de esterilización basado en el método de sobre letalidad.

En la figura anterior se puede observar que la cantidad de los microorganismos con indicador biológico (rojo) siempre será mayor que la de los microorganismos presentes en la carga real (verde).

### **3.4.2. Método para la determinación de la carga biológica según diseño específico para el producto**

El ciclo desarrollado debe ser capaz de destruir adecuadamente la carga de microorganismos, pero no debe producir degradación del producto o contenedor. Generalmente se trabaja con un margen de seguridad en base a los estudios de la población inicial de microorganismos  $N_0$  y valor D (bajo criterio profesional, cantidad de datos, cantidad de pruebas futuras). Por ejemplo, a menor margen de seguridad, mayor frecuencia de estudios de carga biológica inicial y resistencia. El margen de seguridad se ve traducido en tiempo y temperatura.

Las consideraciones a tomar en cuenta en este método son:

- En el diseño se debe tener en cuenta tanto la carga biológica como la resistencia (consideración biológica)
- Se ha encontrado que muy pocos microorganismos tienen un valor D a 121°C mayor que 0.5 min.
- Los productos, destinados a ser estériles, deberían contener muy baja bio carga (1 a 100 UFC por contenedor). UFC se refiere a la abreviación de unidades formadoras de colonias
- Entre las consideraciones físicas se debe tener en cuenta las características de la carga, del equipo esterilizador y los parámetros claves para el buen desempeño del proceso.

## **4.0. RESISTENCIA DE LOS MICROORGANISMOS**

La susceptibilidad de los distintos microorganismos a los procesos de inactivación está en función de los distintos factores (tiempo, temperatura, humedad relativa, cantidad de microorganismos, etc.). Sin embargo, los microorganismos tienen una resistencia intrínseca o innata frente a los

procesos de esterilización, cuya naturaleza reside mayormente, en la composición de la pared celular que regula la penetrabilidad de los agentes desinfectantes y esterilizantes.

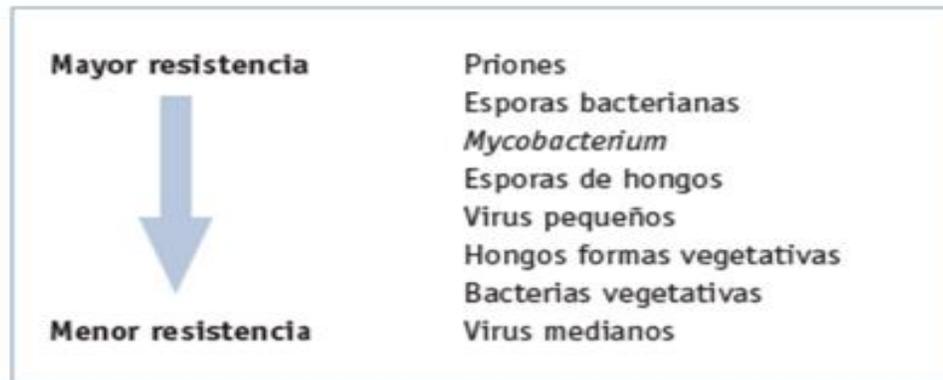


Figura 10. Resistencia de los microorganismos a los procesos de esterilización.

#### 4.1. Clasificación de los microorganismos

En la figura 11 se muestra una breve descripción de las características de los grandes grupos en los cuales se pueden clasificar dichos microorganismos.

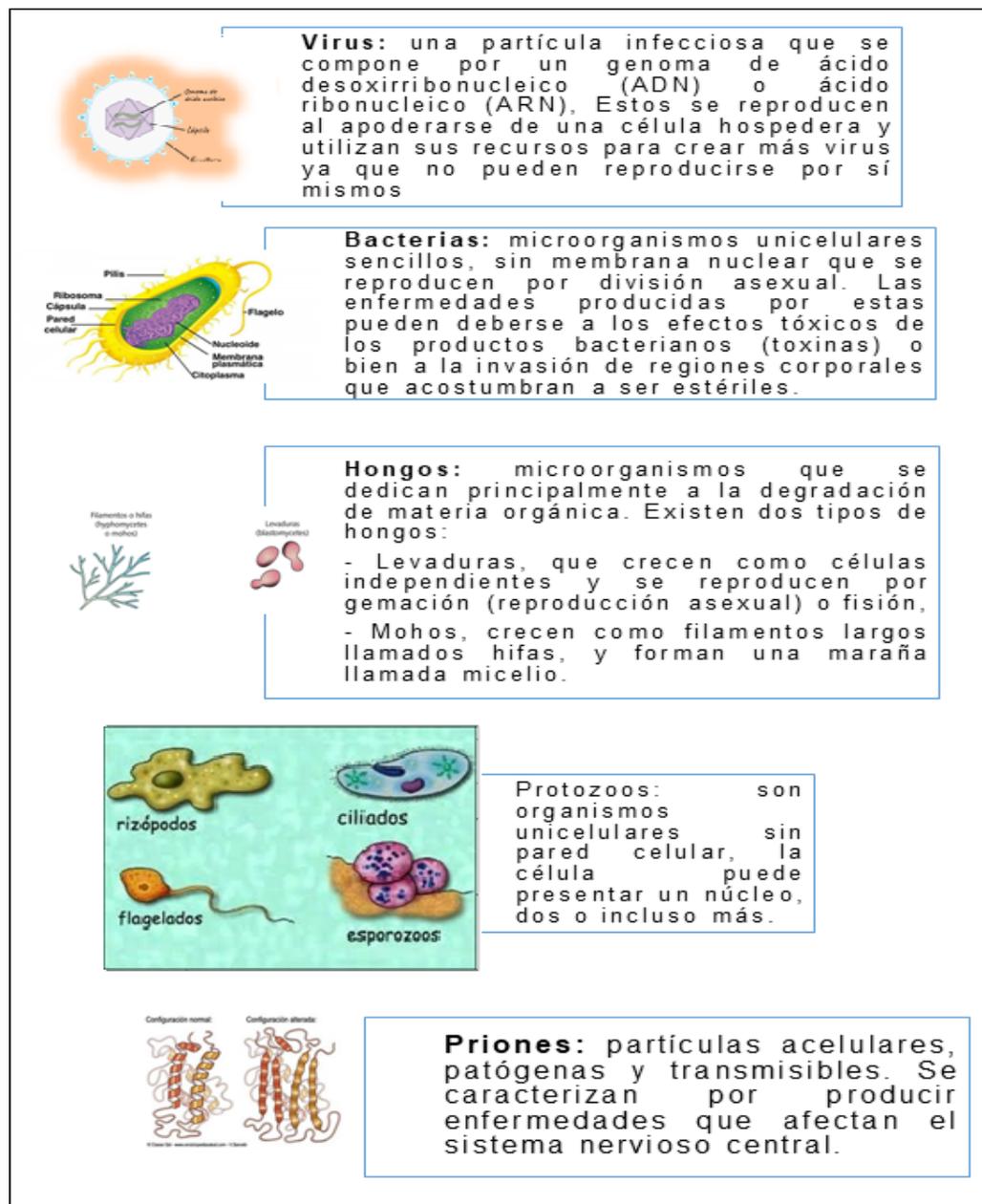


Figura 11. Clasificación de los microorganismos. Fuente: Fundamentals of microbiology and science of infection. [https://wfhss.com/wp-content/uploads/wfhss-training-1-02\\_en.pdf](https://wfhss.com/wp-content/uploads/wfhss-training-1-02_en.pdf)

## 5.0. EL INSTRUMENTAL QUIRÚRGICO

El instrumental quirúrgico es el conjunto de elementos utilizados en los procedimientos quirúrgicos, que son las actividades de la operación

instrumental, total o parcial, de lesiones causadas por enfermedades o accidentes, con fines diagnósticos, de tratamiento o de rehabilitación de secuelas. Los instrumentos se diseñan para proporcionar una herramienta que permita al cirujano realizar una maniobra específica, teniendo en cuenta que en toda intervención quirúrgica se precisan los procesos de abrir, ver, explorar, extirpar o reparar y cerrar.

### 5.1. Clasificación del instrumental

Existen varias maneras de clasificar el instrumental quirúrgico, entre las cuales tenemos: de acuerdo a su forma, a su función que desempeñan y de acuerdo a su uso; a continuación, se presenta una tabla resumen.

Tabla 5. Clasificación de instrumental médico.

Clasificación	Tipificación	Descripción	Ejemplos
SEGÚN SU FORMA	De un solo cuerpo	Punta y cuerpo	Bisturí, cánulas de succión.
	Articulado	Punta, cuerpo y articulación	Tijeras y pinzas
	Con cierre	Argolla, articulación, cuerpo, punta y cierre	Pinzas, clamps intestinales
	Con fórceps	Punta, articulación, cuerpo y fórceps	Espéculos, fórceps ginecológicos
	De fibra	constituidos por fibras ópticas de vidrio y recubiertas por un elemento de caucho o con aleaciones de polietileno	Laparoscopios, Gastroscopios, Ureteroscopios, etc.
SEGÚN SU FUNCIÓN	Diéresis	Para cortar, separar o extirpar un tejido y para cortar materiales	Bisturí, tijeras, sierras, etc.
	De Separación	Para separar o retraer una cavidad o un órgano durante el procedimiento	Deavers, Balfour, Senn Miller, etc.
	De Aprehensión	Para tomar tejidos, estructuras u objetos.	Pinzas Allis, y Backhaus

Clasificación	Tipificación	Descripción	Ejemplos
SEGÚN SU FUNCIÓN	De Hemostasia	Para realizar hemostasia en un vaso sangrante o un tejido	Pinzas Rochester, Kelly y Mosquito
	De Síntesis	Para suturar tejidos, afrontar o restablecer su continuidad	Porta agujas, tijera Mayo
	De Drenaje	Para aspirar o succionar líquidos de la cavidad del paciente al exterior	Canúlas Yankawer, Pott, Andrew
SEGÚN SU USO	Básico	Sets de pequeña y mediana cirugía	
	Especializado	Para un determinado procedimiento que requiere equipos especializados	Laparoscopia, Histeroscopios, etc.

## 5.2. Tipo de instrumental a esterilizar

El instrumental utilizado comúnmente en los establecimientos de salud a los que va enfocado la aplicación de este tipo de esterilizador, puede dividirse en instrumental de curaciones, cirugías y toma de citología, a continuación, se detallan.

### 5.2.1. Instrumental para curaciones

- Tijeras especiales para quitar grapas: Tijera metálica fabricadas con acero y una pequeña proporción de níquel, cuyas dimensiones rondan los 20 x 40 cm, para la retirada de grapas cutáneas.
- Tijera para retiro de puntos: Su principal función es la de retirar puntos de sutura en la piel. Son fabricadas con acero inoxidable al igual que la mayoría de los instrumentos quirúrgicos. Las hay de diferentes tamaños, los cuales van desde los 7 cm hasta los 20 cm de longitud.
- Pinzas Murphy: Pinza recta de acero inoxidable para sujetar fuertemente

los tejidos, cuya longitud ronda los 15 a 20 cm.

- Pinzas Kocher: Es una pinza de acero inoxidable corta, recta, su punta posee dientes y el resto de la mandíbula presenta estrías transversas que se complementan con las de la otra mandíbula. Su longitud es de 18 cm.
- Pinzas Rochester: Pinza hemostática curva de acero inoxidable. Es usada para sujetar vasos sanguíneos y fijar objetos sueltos, posee 16 cm de longitud. Las pinzas hemostáticas sirven para evitar o cohibir la hemorragia a través de la presión a los vasos.
- Vasija circular de acero inoxidable para colocación en extracción de tejidos, órganos, huesos etc. Sus dimensiones rondan los 30 cm de diámetro por 10 cm de altura.



Figura 12. Instrumental para curaciones utilizado en establecimientos de salud.

### 5.2.2. Instrumentos que se utilizan en cirugías

- Porta agujas: Pinzas de acero inoxidable utilizadas para la sujeción de las agujas curvas con las que se realizan las suturas, su medida estándar ronda los 12 a 15 cm.

- Bandeja porta pinzas Bandeja de acero inoxidable para transportar instrumental quirúrgico. Medidas aproximadas 30 cm de largo por 15 cm de ancho y 2.5 cm de altura.
- Tijera mayo: Tijera metálica utilizada para seccionar, cortar y separar los tejidos. Posee tamaños que van desde los 13 cm hasta los 27 cm de largo, existen tanto de forma curva como recta.
- Escudilla chicas: Recipiente pequeño metálico circular de 100 uso similar al de una vasija quirúrgica, pero para cirugías menores.

### 5.2.3. Instrumental para toma de citología

Espéculo: El espéculo es un instrumento destinado para explorar las cavidades humanas. Existen espéculos para explorar los oídos, nariz, ojos, ano y la vagina. En este caso el utilizado en este procedimiento, es el espéculo ginecológico, que es un instrumento específico para dilatar la vagina y conocer las alteraciones del cérvix o cuello uterino.



*Pinza porta aguja*



*Bandeja para instrumental quirúrgico*



*Escudilla chica*



*Tijera Mayo para cortar tejidos*



*Espéculo de exploración vaginal ( para uso en citologías )*

Figura 13. Instrumental utilizado para uso en cirugías en establecimientos de salud.

## 6.0. ENERGÍA RENOVABLE

Las energías renovables, se pueden definir, como aquellas que son inagotables desde el punto de referencia del período de existencia de la humanidad, tengan o no su origen en el sol. Fuentes de energía renovables son la radiación solar, la atracción gravitacional de la luna y el sol, y el calor interno de la Tierra.

Cuando se refiere al término renovable, se dice que es cualquier proceso que no altere el equilibrio térmico del planeta, que no genere residuos irre recuperables, y que su velocidad no sea superior a la velocidad de generación de la fuente energética y de la materia prima utilizada en el mismo.

A continuación, se muestra un esquema de la clasificación de las energías renovables según su origen:

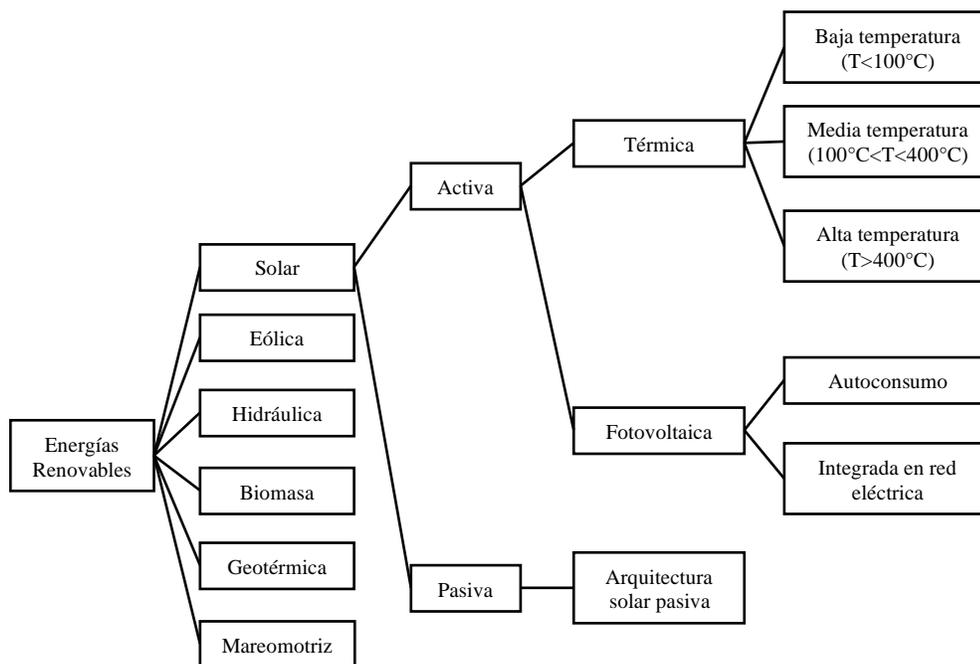


Figura 14. Clasificación de las energías renovables según su origen.

En El Salvador, actualmente se cuenta con una potencia instalada de generación de energías renovables de 355,7 MW, distribuida entre pequeñas

centrales hidroeléctricas, energía solar fotovoltaica, geotérmica, biomasa y biogás, según el Centro Nacional de Energía (CNE), en el año 2018 un 83% de la energía producida en el país es de fuentes de origen renovable.

## 7.0. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. La radiación solar que alcanza la Tierra ha sido aprovechada por el ser humano desde la antigüedad, mediante diferentes tecnologías que han ido cambiando con el tiempo. Hoy en día, el calor y la luz procedentes del sol puede aprovecharse por medio de diversos captadores tales como: células fotoeléctricas para la producción de energía eléctrica o colectores solares generando energía térmica. Es considerada una de las llamadas energías renovables o energías limpias.

### 7.1. El sol y la radiación sobre la tierra

El sol es una fuente inagotable de energía gracias a las reacciones nucleares que se dan en su interior y que consisten en la fusión de átomos de deuterio para dar átomos de helio.

Algunos datos del Sol:

Potencia radiada:  $3,845 \times 10^{26}$  W

Radio:  $6.95 \times 10^5$  km

Radiación emitida en superficie: 63,11 MW/m<sup>2</sup>

Temperatura superficie: 5,777 K

Distancia. Tierra – Sol:  $14.9 \times 10^9$  km

Radiación extraterrestre: 1,367 W/m<sup>2</sup>

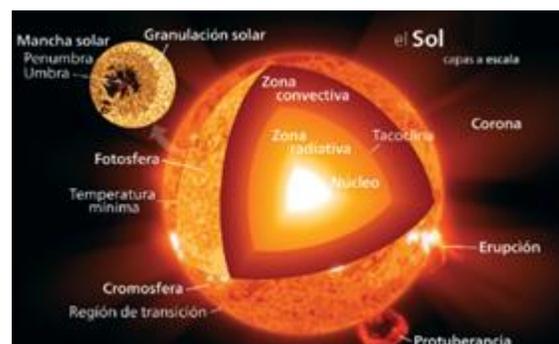


Figura 15. Estructura del sol.

La cantidad de radiación por unidad de área que recibe la Tierra en el tope de la atmósfera es casi una constante, puede variar ligeramente a lo largo del año debido a que la órbita terrestre alrededor del Sol es elíptica, por lo que presenta acercamientos o alejamientos del astro, y también a causa de la actividad solar cuyo ciclo es de 11 años. El valor actualizado y más preciso es de  $1,360.8 \pm 0.5 \text{ W/m}^2$ ; este valor se conoce en la literatura ingenieril como la “constante solar”, pero se sabe que no es precisamente una constante universal en el sentido científico y que esas pequeñas variaciones pueden incidir en el clima terrestre, pero son poco importantes en aplicaciones de energía solar.

La radiación emitida por la superficie del Sol tiene una distribución espectral que se asemeja a la de un cuerpo negro a 5,778 K, como se observa en la figura 16.

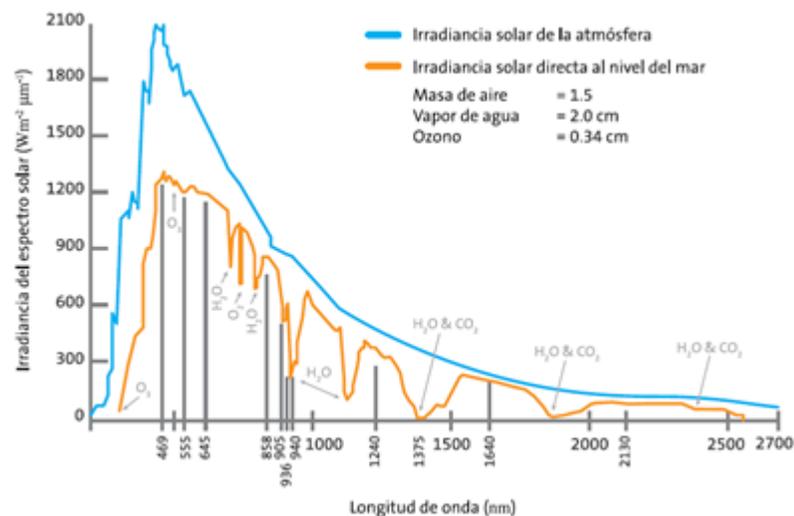


Figura 16. Espectro solar en el tope de la atmósfera y al nivel del mar.

## 7.2. Sistema Sol-Tierra

La Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, casi esférica. El eje de la Tierra está ligeramente desplazado ( $23^\circ 26' 13.7''$ ) cuyos movimientos se describen en la tabla siguiente:

Tabla 6. Movimientos del planeta tierra.

Sistema Sol Tierra		
Movimiento	Duración	Efecto que produce
Traslación	365 días	Estaciones del año
Rotación	24 horas	Día y la noche

De esta forma en el solsticio de diciembre los rayos del Sol caen perpendicularmente en el trópico de Capricornio, y en el solsticio de junio en el trópico de Cáncer. De los trópicos hacia los polos los rayos solares nunca caen perpendicularmente sobre la superficie de la Tierra, de modo que esas regiones reciben menos radiación solar (Figura 17).

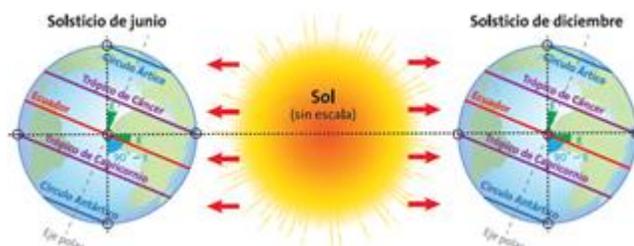


Figura 17. Variación de la dirección de los rayos solares sobre la superficie de la Tierra a lo largo del año.

### 7.3. Conceptos relacionados con la energía solar

Para el estudio de la caracterización del recurso solar, es necesario tener en cuenta conceptos y definiciones básicas que ayuden a la comprensión y naturaleza de la misma. A continuación, se mencionan algunas de ellas.

### 7.3.1. Atmósfera

La cantidad de radiación solar que recibe una determinada región sobre la superficie de la Tierra depende también de las condiciones de la atmósfera. Como se muestra en la figura 18.

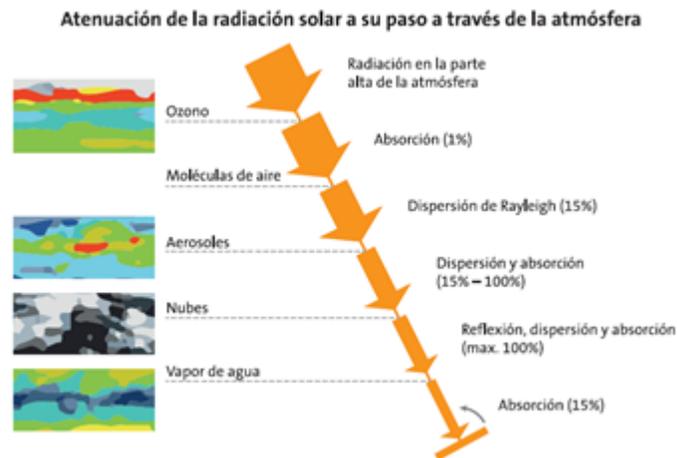


Figura 18. Factores que influyen en la atenuación de la radiación solar incidente.

Los Factores de la atenuación solar son:

- **Dispersión:** Es el fenómeno que ocurre cuando la radiación electromagnética interacciona con partículas o moléculas de los gases presentes en la atmósfera, y una parte de la radiación es redireccionada en forma aleatoria sin cambiar la longitud de onda (dispersión de Rayleigh), y otra parte, considerable, es devuelta al espacio por este fenómeno.
- **La absorción:** Se presenta cuando moléculas de ozono, de vapor de agua o de dióxido de carbono junto con los aerosoles de partículas de polvo, hielo y otras sustancias, reciben radiación solar que aumenta su temperatura (y que se reemite por radiación térmica). Esta fracción de la energía total puede llegar a ser del 15%, dependiendo de las condiciones atmosféricas.

- La reflexión: Las nubes conformadas por aerosoles de agua y de hielo reflejan una gran cantidad de radiación incidente, por lo que bloquean el paso de la misma a la Tierra.

### 7.3.2. Radiación solar

Se conoce como radiación al proceso físico por medio del cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz.

A la tierra solo llega aproximadamente 1/3 de la energía total interceptada por la atmósfera, y de ella el 70% cae en el mar. Aun así, es varios miles de veces el consumo energético mundial.

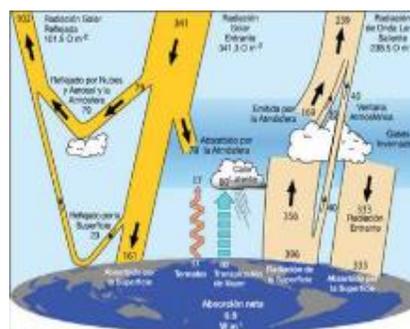


Figura 19. Radiación solar incidente sobre la Tierra.

Tabla 7. Conceptos de la energía solar térmica.

Conceptos de energía solar	
Irradiancia (G)	potencia solar y es la rapidez de incidencia de energía radiante sobre una superficie por unidad de área
Irradiación	cantidad de energía por unidad de área ( $J/m^2$ ) que incide durante un periodo dado
Irradiancia directa normal	sus unidades son $W/m^2$ . Variables que le afectan: la posición, la profundidad óptica o la velocidad de las nubes, con el rayo solar directo.
Irradiancia difusa	Potencia que recibe una superficie de diferentes direcciones producto de la dispersión y reflejo del rayo solar con los elementos con los que interactúa en su recorrido
Irradiancia global	Es la suma de las irradiancia directa más difusa.
Irradiancia global horizontal	Es la suma de la irradiancia difusa más la Componente de la irradiación normal a la superficie en que incide

Componentes de la irradiancia.

DNI: Irradiación directa normal [W/m<sup>2</sup>]

$\theta$ : ángulo de incidencia [°]

DI= irradiancia difusa [W/m<sup>2</sup>]

G= irradiancia global [W/m<sup>2</sup>].

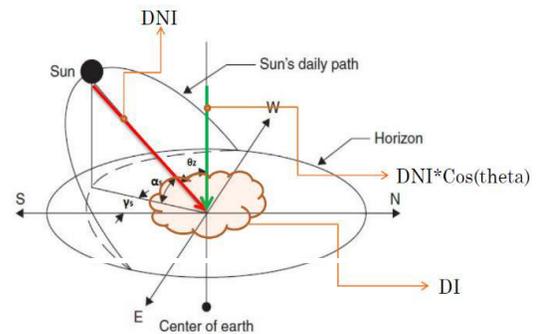


Figura 20. Componentes de la irradiancia.

#### 7.4. Radiación total incidente en El Salvador

El Salvador cuenta con un gran potencial energético en lo que a radiación solar se refiere, esto lo demuestra la siguiente figura, proporcionada por el SNET, identificando el promedio de incidencia solar para cada zona de El Salvador.

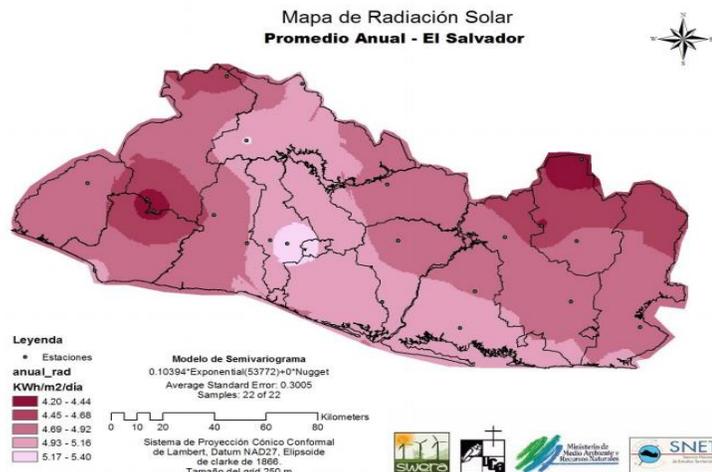


Figura 21. Mapa de Irradiancia solar promedio anual en El Salvador. (2005).

También es importante conocer el número de horas totales de brillo solar de las que se dispone para aprovechar el recurso solar.

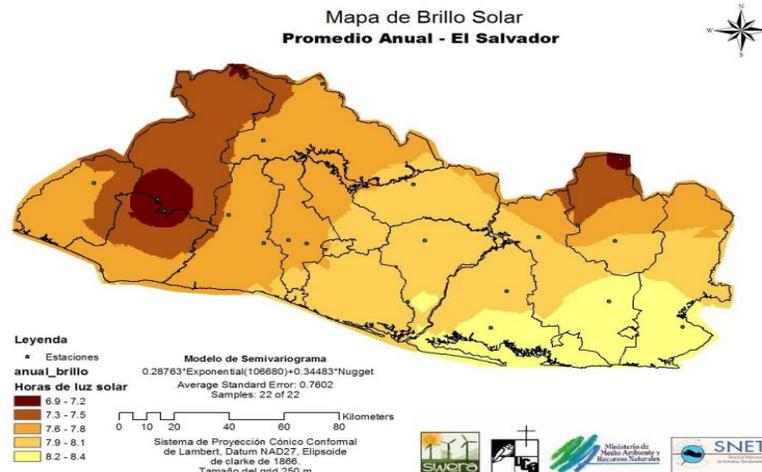


Figura 22. Mapa de brillo solar promedio anual de El Salvador. (2005).

## 7.5. Geometría solar

Determinar la distancia de la tierra con respecto al sol es de suma importancia debido a que la cantidad de radiación que llega a la tierra es inversamente proporcional al cuadrado de esta distancia. La máxima distancia que se puede encontrar es aproximadamente 1.017 U.A. y la mínima es 0.983 U.A. (1 Unidad Astronómica =  $1.496 \times 10^8 \text{ Km}$  ).

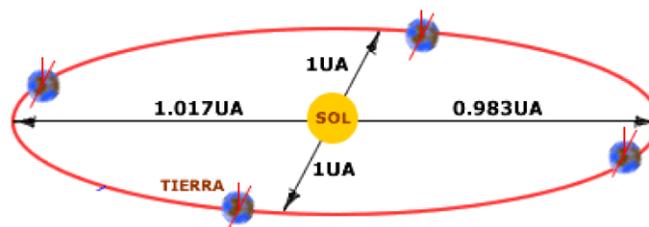


Figura 23. Representación del cambio de la distancia de la tierra con respecto al sol.

### 7.5.1. Coordenadas solares

La posición del Sol en cada instante respecto a una posición o punto de observación en la superficie terrestre viene definida por 2 coordenadas: altura

solar y azimut solar.

La Altura Solar,  $\alpha$ , es el ángulo que forma la línea que une el centro del Sol con el punto de observación y la superficie horizontal.

El Azimut Solar,  $\Psi$ , es el ángulo que forma la proyección horizontal de la línea que une el centro del Sol con el meridiano del lugar (dirección Norte- Sur).

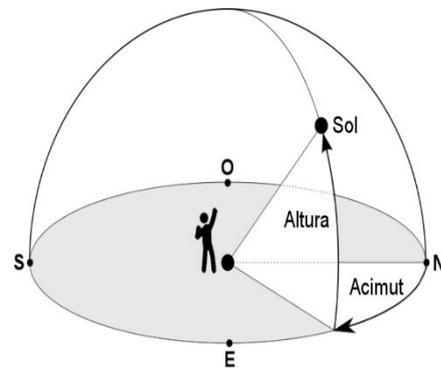


Figura 24. Coordenadas solares.

Con estos ángulos queda definida la posición del sol. Sin embargo, existen algunos otros parámetros que se usan también para definir la posición del sol:

- Declinación ( $\delta$ ): es el ángulo que forma la dirección de los rayos de Sol con el plano del ecuador. La declinación solar varía a lo largo de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, alcanzando valores máximos en los solsticios de verano ( $\delta = 23.45^\circ$ ) y mínimos en invierno ( $\delta = -23.45^\circ$ ), y valores nulos en los equinoccios ( $\delta = 0^\circ$ ). Aunque la declinación varía se puede suponer que permanece constante a lo largo de un día.
- Ángulo cenital ( $\theta$ ): ángulo que forman los rayos solares con una superficie horizontal. El ángulo complementario se denomina altura solar ( $\alpha$ ).
- Ángulo horario solar ( $\omega$ ): desplazamiento angular del sol sobre el plano de la trayectoria solar. Se toma como origen del ángulo horario el mediodía y valores crecientes en el sentido del movimiento del sol.
- Cada hora es igual a  $15^\circ$ .

Todos los ángulos anteriormente descritos, sirven para conocer la posición del

sol en cada instante respecto de una superficie dada. Conociendo esta posición, se podrá orientar los equipos solares para captar la mayor cantidad de radiación directa posible

Hay que tener en cuenta que, dependiendo de la ubicación, es decir, longitud y latitud, los ángulos que definen el posicionamiento del sol varían.

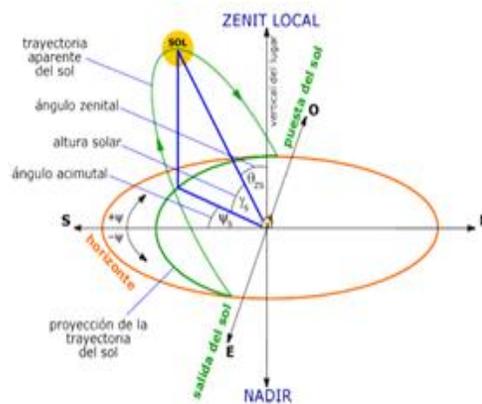


Figura 25. Parámetros de la posición solar.

## 7.6. Aprovechamiento de la energía solar térmica

Consiste en la captación de la energía de la radiación del Sol y su transformación en calor para su aprovechamiento en diversas aplicaciones. Esta transformación se realiza por medio de captadores y colectores solares. La radiación solar se transforma en energía térmica, ya sea en forma de agua caliente, aire caliente, etc., por medio de los llamados captadores solares de temperatura. Ambos dispositivos son capaces de captar la energía que aporta la radiación solar utilizada para calentar algún fluido a una temperatura determinada.

A continuación, se muestra una clasificación de las tecnologías solares térmicas según distintos criterios: concentración, seguimiento y temperatura.

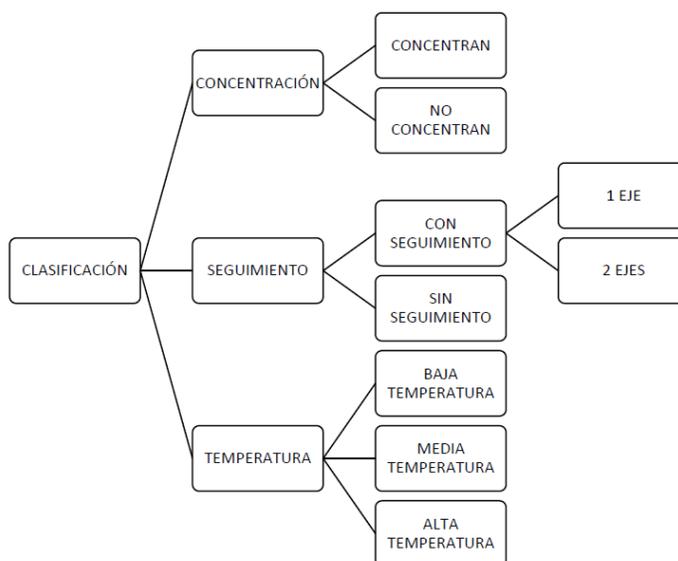


Figura 26. Clasificación de las instalaciones solares térmicas.

Según la clasificación de concentración, se pueden distinguir dos tipos de tecnologías:

Tabla 8. Clasificación según la concentración de energía solar.

Tecnologías Según la clasificación de concentración				
Tecnología	Descripción	Geometría	Proyección	Seguimiento
De Concentración	Cuentan con superficies reflectantes que concentran sobre una superficie más pequeña	parabólica	Foco	2 ejes
		parabólica compuesta	Eje	1 eje
Sin Concentración	Captan la radiación solar sin concentrarla sobre una superficie más pequeña	Plano	Área	Sin seguimiento

En cuanto al seguimiento solar, este es un sistema que genera un movimiento en los dispositivos de captación solares siguiendo la trayectoria del sol durante el día (ver figura 27), buscando así, optimizar el ángulo para la llegada de los rayos solares a estos. Existen dos tipos de seguidores solares:

- De un eje: Su función es permitir el movimiento de este a oeste siguiendo al sol desde la salida hasta su puesta.
- De dos ejes: En este tipo de sistema, uno de los ejes se encuentra alineado de este a oeste y el otro de norte a sur.

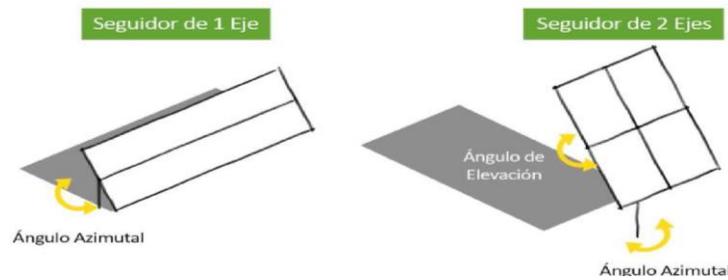


Figura 27. Descripción del seguimiento solar en un eje y en dos ejes.

Según las temperaturas que se alcanzan, se pueden distinguir tres tipos de instalaciones:

- Baja temperatura ( $T < 100^{\circ}\text{C}$ ): estas instalaciones son sin seguimiento y pequeña concentración. Estos colectores podrán ser de concentración o no.
- Media temperatura ( $100^{\circ}\text{C} < T < 400^{\circ}\text{C}$ ): estas instalaciones cuentan con seguimiento continuo del sol en uno de sus ejes y concentración de la energía solar en un eje. El representante más característico de este grupo es el ya referido colector cilíndrico-parabólico (CCP).
- Alta temperatura ( $T > 400^{\circ}\text{C}$ ): estas instalaciones cuentan con seguimiento en dos ejes y foco puntual. En aplicaciones de alta temperatura, se hace necesario incrementar el flujo energético incidente sobre el receptor, así como la reducción de las pérdidas por radiación y convección. Ambos objetivos se consiguen utilizando concentradores de foco puntual.

## 7.7. Tipos de colectores

La escala de temperatura requerida determina el tipo de colector solar que se puede usar y cómo éste se ha de integrar diversos procesos. La eficiencia del colector solar disminuye a medida que la temperatura del fluido que se usa en el proceso, incrementa o cuando la radiación solar disponible disminuye.

### 7.7.1. Colector plano (CP)

Es la forma más sencilla para transformar la energía solar en calor. La superficie captadora está aislada del exterior por uno o un doble tubo de vidrio que crea una cámara al vacío y se dividen dos tipos

- a) Flujo directo (figura b). El fluido circula por los tubos, como en los captadores planos.
- b) Flujo indirecto o Heat pipe (figura c). El calor evapora un fluido en el tubo (tubo de calor), y este transmite su energía al condensarse en el extremo.

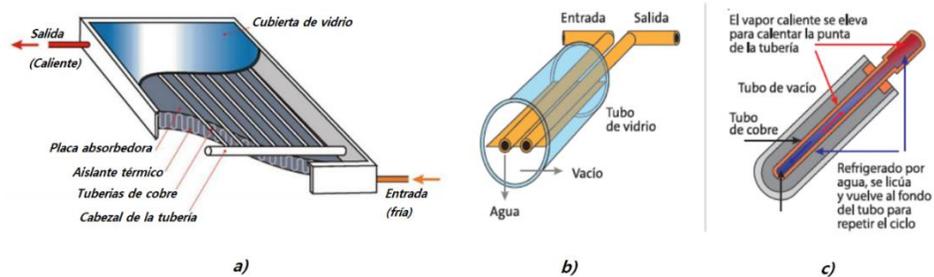


Figura 28. a) Colector Solar Plano. b) y c) Captador de tubos de vacío.

### 7.7.2. Colector parabólico compuesto (CPC)

Está formado por dos superficies parabólicas con el mismo centro. Un tubo de absorción se fija en este centro para transportar en forma de calor la energía solar recibida por la superficie del tubo.

### 7.7.3. Colectores cilindros parabólicos

Los colectores con forma parabólica concentran la radiación solar directa sobre un receptor típicamente agua y aceite térmico, circulan por una tubería

absorbente. El bajo coeficiente de pérdida de calor hace que este colector sea eficiente para aplicaciones que requieren altas temperaturas.

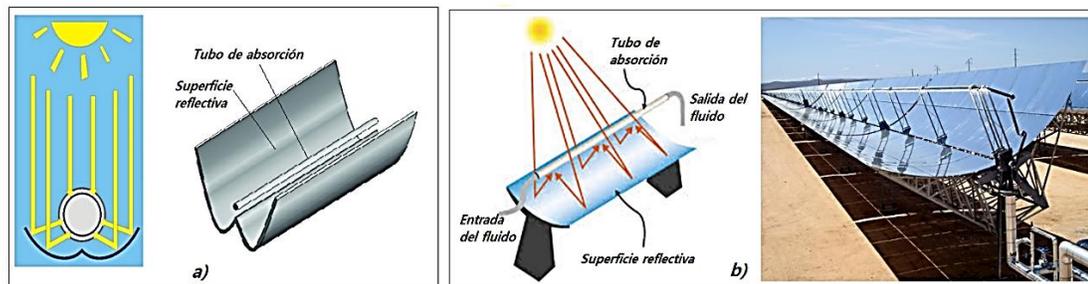


Figura 29. Colectores Solares a) cilíndrico parabólico compuesto CPC, y b) cilíndrico parabólico.

#### 7.7.4. Colector Fresnel

El colector Fresnel de concentración lineal está formado por una matriz de tiras de espejo que realizan un seguimiento uniaxial, el cual permite que estas tiras reflejen la Radiación Directa Normal hacia un receptor estacionario térmico.



Figura 30. a) Fresnel central de torre. b) Fresnel de discos parabólicos. c) Horno solar de Odeillo.

#### 7.8. Aplicaciones de la energía solar térmica al campo de la esterilización

Actualmente la gran mayoría de equipos de esterilización utilizan como fuente de energía para la generación de vapor, la electricidad o bien combustibles. A pesar que hay alta disponibilidad del recurso solar en el país, este no se ha

explotado y la mayoría de aplicaciones son en el área de generación de energía fotovoltaica. A nivel internacional si se han desarrollado este tipo de aplicaciones, las cuales se han implementado en zonas remotas, o con difícil acceso a fuentes de energía tradicionales, un ejemplo de ello es el proyecto Solarclave, realizado por ingenieros de la Universidad de Rice, de Houston; Estados Unidos.

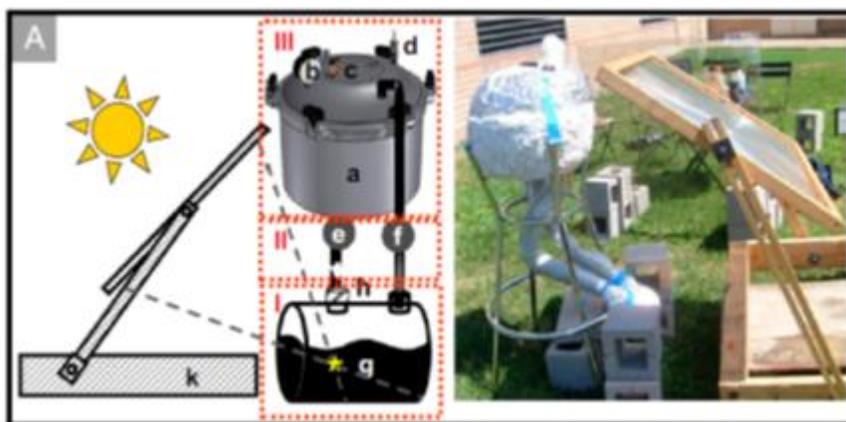


Figura 31. Prototipo de un equipo de esterilización.

### 7.8.1. Esterilizador Solarclave

Fue desarrollado por las ingenieras Oara Neumann y Naomi Halas. A diferencia de las autoclaves que requieren electricidad para producir vapor, Solarclave utiliza la luz solar y nano partículas de metal y carbono que se encuentran dispersas en una solución acuosa [4].

Los ingenieros utilizaron esta tecnología para realizar dos prototipos diferentes: el primero, se trata de un sistema de circuito cerrado diseñado para esterilizar equipos médicos y otros objetos relativamente pequeños para evitar infecciones en el ámbito clínico, mientras que el segundo está diseñado para esterilizar desechos humanos y de animales con el fin de reducir la propagación de enfermedades.

El vapor se genera en el exterior del autoclave, y luego este es conducido

mediante tuberías hacia el recipiente a presión donde se coloca la carga. Un colector se encarga de dirigir los rayos del sol hacia el generador de vapor. Este equipo ha servido de base para la construcción de otras variantes en cuanto al diseño de esterilizadores más simplificados donde se omite el uso de las nanopartículas, pero aun así se obtienen resultados aceptables.

### 7.8.2. Esterilizador con colector parabólico

Este dispositivo utiliza un concentrador solar para calentar una autoclave portátil, Este autoclave trabaja utilizando el mismo principio que una olla a presión. El concentrador cuenta con una estructura metálica que soporta una superficie cóncava compuesta por planchas de aluminio que concentran la radiación y un anillo metálico en el centro de la superficie cóncava para colocar la autoclave.

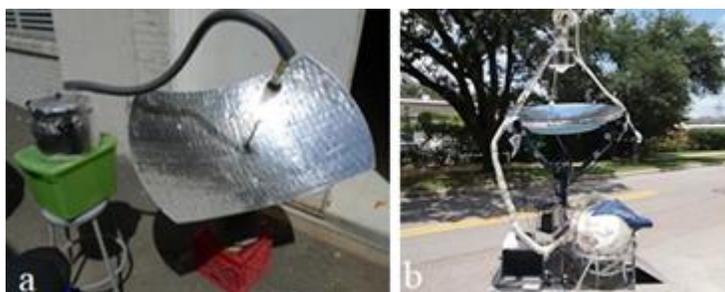


Figura 32. a) Modelo simplificado b) Equipo Esterilizador Solarclave.

### 7.8.3. Esterilizador de tubos colectores

Este equipo está constituido por un concentrador solar cilindro parabólico y un colector tubular negro lleno de agua, donde se genera el vapor. Los rayos de sol son concentrados sobre el colector tubular, aumentando la temperatura de este y del fluido contenido en él. Al calentarse, se genera vapor que

posteriormente es conducido por una tubería hasta una autoclave.



Figura 33. a) Esterilizador con colector solar parabólico. b) Equipo de esterilización mediante tubo colector.

## 8.0. CONCENTRADOR SOLAR PARABÓLICO

Todo colector de forma general, lo componen el concentrador, el receptor o absorbedor, la estructura de soporte y el mecanismo de seguimiento. El concentrador es el elemento que refleja y dirige la radiación solar hacia el receptor y la concentra en una superficie de menor tamaño, que es el elemento donde la radiación es absorbida y aprovechada. El concentrador de tipo parabólico se caracteriza porque la forma de la superficie reflejante es de un paraboloide de revolución donde el receptor se sitúa en el foco del paraboloide. Desde el punto de vista geométrico, una parábola es el conjunto de todos los puntos de un plano que equidistan de un punto llamado foco y de una recta fija llamada directriz. Esta particularidad es la que la hace especial porque con esta geometría se consigue que todos los rayos que inciden en su superficie se reflejen y concentren en un punto, el denominado foco.

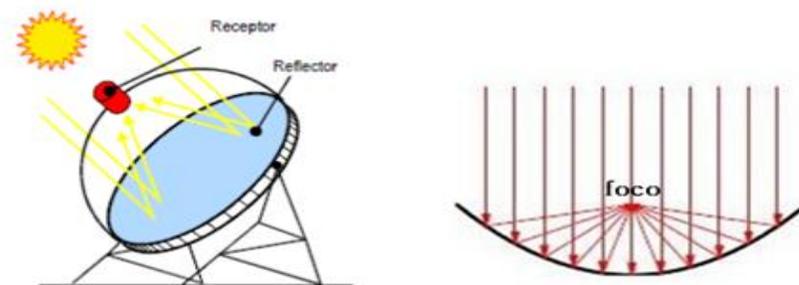


Figura 34. Esquema del principio de operación del colector de plato parabólico.

### 8.1. Parámetros geométricos del concentrador

La parábola está caracterizada por ciertos parámetros, entre los más importantes tenemos:

- Vértice V: es el punto de la intersección del eje y la parábola.
- Eje: es la recta perpendicular a la directriz que pasa por el foco y el vértice. Es el eje de simetría de la parábola.
- El foco f: Es el punto de referencia, que no pertenece a la parábola y que se ubica en el eje, al interior de los brazos de la misma; cualquier punto de la parábola equidista de este y es donde convergen todos los rayos o trazos perpendiculares a su curvatura.
- Directriz D: Es la recta fija, o línea perpendicular al eje que se opone a la parábola. Los puntos de la parábola equidistan de la directriz y el foco.
- Distancia focal p: Es la distancia entre el foco y el vértice.
- Cuerda: Segmento que une dos puntos cualesquiera de la parábola.
- Lado recto LR: Es la longitud de la cuerda que es perpendicular al eje focal y pasa por el foco. Se caracteriza porque su magnitud siempre es igual a cuatro veces el valor de la distancia focal;  $LR = 4p$ .

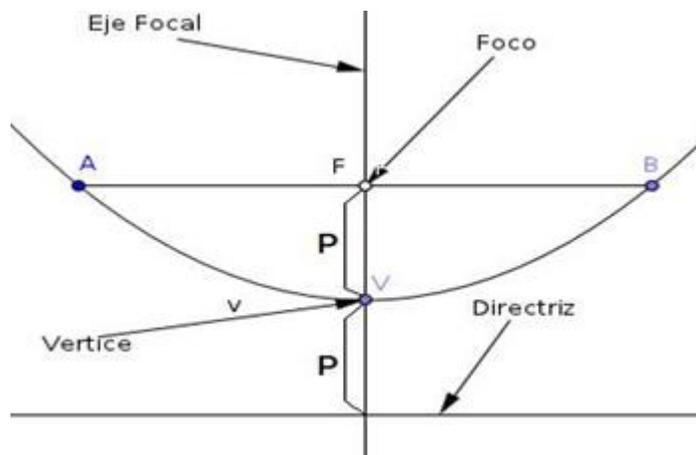


Figura 35. Elementos característicos en la geometría de la parábola.

En la figura 35 se puede observar cómo cada punto de la parábola equidista una distancia  $p$  tanto al foco como a la directriz, el segmento de recta entre los puntos A y B representa el lado recto. La ecuación que caracteriza una parábola orientada hacia arriba, y situada con el vértice en el origen de los ejes coordenados de un plano cartesiano y orientada hacia arriba es:

$$x^2 = 4py \quad (6)$$

Donde  $p$  representa la ya mencionada distancia focal. Con dicha ecuación puede graficarse la totalidad de los puntos para observar el comportamiento de la curva.

## 8.2. Parámetros de diseño del concentrador

Desde el punto de vista del diseño del concentrador de plato parabólico, los parámetros de importancia a tomar en cuenta son los siguientes:

- Diámetro (D): Se refiere al diámetro de apertura, resultante de la sección circular al realizar el corte al paraboloides.

- Profundidad del plato (h): Altura del paraboloide desde su vértice hasta el borde exterior
- Relación  $f/D$  ( $\frac{f}{D}$ ): Es la razón existente entre el valor de la distancia focal “p” y el diámetro “D”. De acuerdo a esto se puede seleccionar el punto focal, así la distancia del punto focal medida desde el vértice depende del diámetro del plato D, entre más cóncavo es el plato, más cerca está el punto focal.
- Ángulo de apertura ( $\phi$ ): Es el ángulo formado desde el eje focal al borde del disco parabólico. Puede definirse por:

$$\phi = 2 \tan^{-1} \left( \frac{1}{4 \left[ \frac{f}{D} \right]} \right) \quad (7)$$

- El radio del borde (r): Distancia desde el punto focal f hasta el borde exterior del plato.

$$r = \frac{2p}{1 + \cos\phi} \quad (8)$$

- El ángulo de aceptación ( $\theta_m$ ): Complemento del ángulo de apertura. El cual se muestra en la figura 36

La distancia focal se relaciona con estos parámetros de acuerdo a la ecuación siguiente:

$$p = \frac{\frac{D}{2}(1 + \cos\theta_m)}{4\text{sen}\theta_m} \quad (9)$$

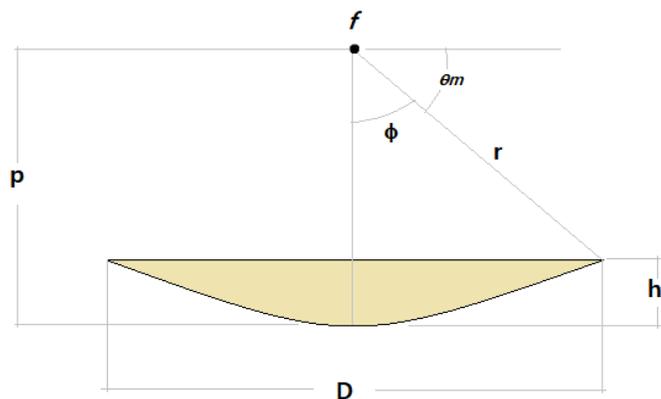


Figura 36. Parámetros de diseño del concentrador parabólico.

Otro parámetro de importancia, y que resulta de seleccionar los anteriores es la Relación o índice de concentración; que es la razón entre las áreas del concentrador de disco parabólico (receptor) y el área de la imagen (el foco) proyectada en el absorbedor, Se expresa como:

$$C = \frac{A_r}{A_a} = \frac{\text{Area del receptor}}{\text{Area del absorbedor}} \quad (10)$$

Para poder alcanzar mayores temperaturas en un colector, es necesario modificar el sistema de captación, de forma que aumente la concentración. Esto se consigue en los colectores concentradores, que se pueden clasificar según dos características básicas: la geometría del absorbedor (concentración lineal o puntual) y la forma de la concentración (reflexión o refracción). A modo de resumen, se adjunta la tabla 9, donde se muestran los diferentes tipos de colectores y los rangos correspondientes a la razón de concentración y de temperaturas a las que se puede llegar [12].

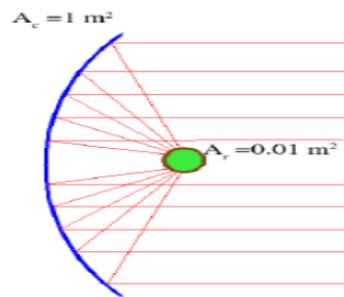


Figura 37. Ejemplo de índice de concentración, para el caso de  $C = 100$ .

La razón de concentración máxima que puede obtenerse depende de la distribución angular de la radiación. En el caso de un haz de rayos perfectamente paralelos, no existe límite a la razón de concentración teórica, ya que si el eje óptico del concentrador es un paraboloide de revolución; es paralelo a la dirección del haz, todos los rayos reflejados pasarán por su punto focal, con lo que el área del receptor puede hacerse tan pequeña como se desee.

Hay que aclarar que esto no es del todo cierto, porque el Sol no es una fuente luminosa puntual, y los rayos de luz no están perfectamente paralelos, así que se puede concentrar con un límite definido. Con respecto a esto, para efectos prácticos se considera a el Sol, visto desde la Tierra como un disco que subtende un arco con un ángulo ( $\alpha$ ) aproximadamente de  $0.534^\circ$ , o su equivalente  $32'$  o bien  $1920''$ . El diámetro de la tierra es de  $12,720 \text{ km}$  y el del Sol de  $1,392,000 \text{ km}$  y existe una distancia de  $149.6$  millones de  $\text{km}$  entre estos.

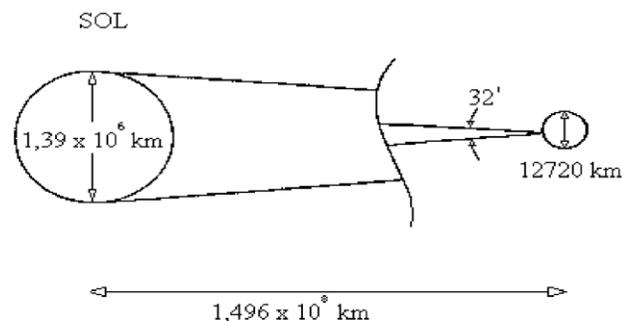
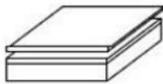


Figura 38. Esquema del sistema Sol y Tierra, bajo la cual se determina el diámetro angular aparente del Sol.

Tabla 9. Rangos de temperatura y de relación de concentración de los diferentes tipos de concentradores solares existentes.

		Nombre	Croquis	Razón de concentración n "C"	Rango Temperatura alcanzada [C°]	
Estacionario	Absorbedor plano	Capatador plano de agua/aire		$C \leq 1$	$30 < T^{\#} < 250$	
		Tubos de vacío		$C \leq 1$	$50 < T^{\#} < 200$	
Seguidores	Seguimiento a un eje	Absorbedores tubulares	Colector Parabólico Compuesto CPC		$1 < C < 15$	$70 < T^{\#} < 300$
			Colector Cilíndrico Parabólico CCP		$15 < C < 40$	$70 < T^{\#} < 350$
	Seguimiento a dos ejes	Absorbedores puntuales	Disco Parabólico		$100 < C < 1000$	$70 < T^{\#} < 1500$
			Torre Central		$100 < C < 1500$	$150 < T^{\#} < 1500$

Fuente: C. Velasco (2012) Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay.

Otro factor a tener en cuenta para determinar la relación de concentración es el ángulo de dispersión ( $\delta$ ) que considera el efecto de las imperfecciones en la curvatura del disco producidas en su fabricación, rugosidades en la superficie o un seguimiento inadecuado. Hechas estas consideraciones, el tamaño mínimo del absorbente ( $w$ ) se determina por [6]:

$$w = \frac{2r \sin\left(0.267 + \frac{\delta}{2}\right)}{\cos\left(\phi + 0.267 + \frac{\delta}{2}\right)} \quad (11)$$

Donde  $r$ ; es el radio de borde del concentrador, el cual se define según la ecuación 8.

El índice de concentración máxima ( $C_{\text{máx}}$ ) que puede ser obtenido considerando el efecto de dispersión, en el que toda la radiación especular reflejada por el disco se encontrara dentro de un cono con amplitud angular de  $0.534^\circ + \delta$ ; se obtiene con la ecuación:

$$C_{\text{máx}} = \frac{\text{sen}^2 \phi \cos^2 \left( \phi + 0.267 + \frac{\delta}{2} \right)}{4 \text{sen}^2 \left( 0.267 + \frac{\delta}{2} \right)} \quad (12)$$

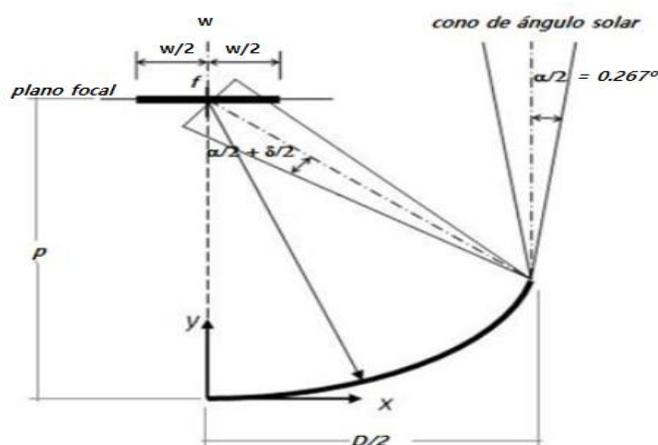


Figura 39. Esquema del dimensionamiento de la imagen generada en el foco.

### 8.3. Transferencia de energía en el colector

La transferencia de energía del colector es una interacción energética de transferencia de calor, que puede transferirse bajo tres mecanismos diferentes, los cuales son: conducción, convección y radiación. Todos los modos de transferencia de calor requieren la existencia de una diferencia de temperatura y todos ellos ocurren del medio que posee la temperatura más elevada hacia uno de temperatura más baja.

La radiación térmica es la forma de radiación que emiten los cuerpos debido a su temperatura, todos los cuerpos a una temperatura superior al cero absolutos emiten radiación térmica. La radiación es un fenómeno volumétrico, y los

sólidos, líquidos y gases, emiten, absorben o transmiten radiación a distinto grado. Un cuerpo negro, es un estándar de emisión de radiación, y se define como un emisor y absorbedor perfecto de la radiación. A una temperatura y longitud de onda específica, ninguna superficie puede emitir más energía que un cuerpo negro. Además, un cuerpo negro puede absorber toda la radiación incidente sin importar la longitud de onda.

También emite energía de radiación de manera uniforme en todas direcciones. La mayoría de las superficies encontradas en la práctica no se comportan como cuerpos negros. Para determinar las características de las propiedades de radiación de superficies no opacas, se utilizan cantidades adimensionales, tales como emitancia, la absorptancia, y la transmitancia a fin de relacionar las capacidades de la emisión.

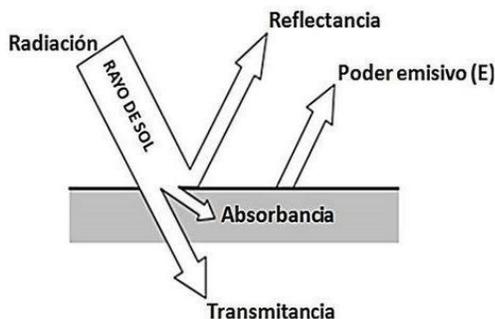


Figura 40. Componentes de la radiación al incidir sobre una superficie.

Cuando la radiación incide sobre una superficie, parte de la irradiación total es absorbida por el material, parte es reflejada por la superficie, y el resto se transmite a través del cuerpo, de esto podemos definir los términos siguientes:

- Absortancia ( $\alpha$ ): Fracción de la radiación incidente sobre un cuerpo que es absorbida por el mismo.
- Transmitancia ( $\tau$ ): Es la fracción de la radiación incidente transmitida de un cuerpo.
- Reflectancia ( $\rho$ ): Se define como la fracción de irradiación reflejada por la superficie.

- Emisividad ( $\mathcal{E}$ ): propiedad cuyo valor está entre 0 y 1, es la medida de que tan cerca se aproxima una superficie a un cuerpo negro.

De gran importancia es para el concentrador del colector la reflectancia, que es la fracción de radiación incidente reflejada por una superficie, mientras mayor sea la reflectancia de un material, más adecuado será para la concentración solar. En general se busca que el material tenga una reflectancia arriba de 0.9 donde el 1 es el valor teórico en el cual toda la radiación incidente se refleja. La luz al transmitirse del aire al vidrio, por ejemplo, sufre una refracción, que no es más que una desviación respecto a la trayectoria que seguía en su propagación a través del aire. La desviación que sufre se rige bajo la Ley de Snell:

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t \quad (13)$$

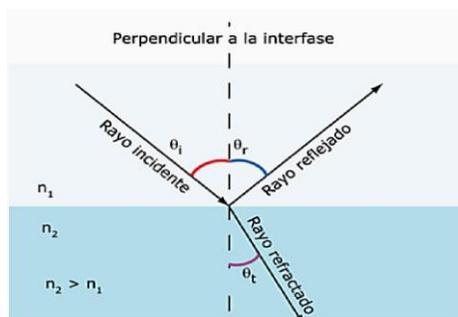


Figura 41. Desviación experimentada por un rayo de luz al atravesar un medio de distinto índice de refracción.

Donde  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción de los medios, y  $\theta_i$  y  $\theta_t$  son respectivamente los ángulos que forman con respecto a la vertical de la interfase que separa ambos medios el rayo incidente y el rayo transmitido refractado. El valor de la refracción está relacionado con el índice de refracción a través de la fórmula de Fresnel.

$$R = \left( \frac{n - 1}{n + 1} \right)^2 \quad (14)$$

La variable R es la reflectividad y n el índice de refracción, este se define como un parámetro adimensional que nos indica cuánto es mayor la velocidad de la luz en el vacío que en el medio en el que se está propagando, y es igual a la relación que hay entre la velocidad de la luz en el vacío ( $C_0$ ), dividido por la velocidad de la luz en el medio ( $v$ ).

$$n = \frac{C_0}{v} \quad (15)$$

### 8.3.1. Eficiencia óptica del colector

La reflexión especular y la transmisión regular, las causantes respectivamente del brillo y la transparencia de los materiales, están relacionadas con el índice de refracción mediante las ecuaciones de Fresnel. La reflectividad mide la relación entre la amplitud del campo electromagnético reflejado respecto a la amplitud del campo incidente, mientras que la reflectancia se refiere a la relación entre la potencia incidente con respecto a la potencia que es reflejada. El índice de refracción de un medio material evidencia sus propiedades ópticas. En este sentido si la luz se propaga por el aire e incide sobre otro medio, por ejemplo, vidrio, se producirá, como consecuencia de este salto de índice, transmisión, reflexión y absorción. Con los parámetros anteriormente definidos, la eficiencia óptica del colector puede ser calculada como:

$$\eta_o = \alpha\tau\rho S \quad (16)$$

Donde:  $\alpha$ : Absortancia,  $\tau$ : Transmitancia,  $\rho$ : Reflectancia y S: Factor de sombra.

## **CAPÍTULO II**

### **9.0. DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN DEL ESTERILIZADOR**

Previo a la fase de diseño, se determinan los parámetros de operación que caracterizan el ciclo de funcionamiento del esterilizador, estos son la temperatura, tiempo y presión. Estos están íntimamente relacionados y la selección de uno de estos parámetros, condiciona el valor de los otros.

Aspectos tales como el tipo de materiales, si son sensibles o estables al calor y la carga a esterilizar, deben tenerse en cuenta también ya que determinan algunas características en cuanto al funcionamiento del esterilizador. En la figura 42 se muestra, un flujograma [8] en el que, de acuerdo a los requerimientos, permite determinar las características que debe tener el equipo de esterilización.

De dicha figura podemos observar que para artículos que no son sensibles al calor, el análisis a utilizar para determinar la duración del ciclo de esterilización es el enfoque por sobreletalidad (overkill), el proceso será completamente por vapor húmedo y se utilizará el método de remoción de aire por desplazamiento por gravedad.

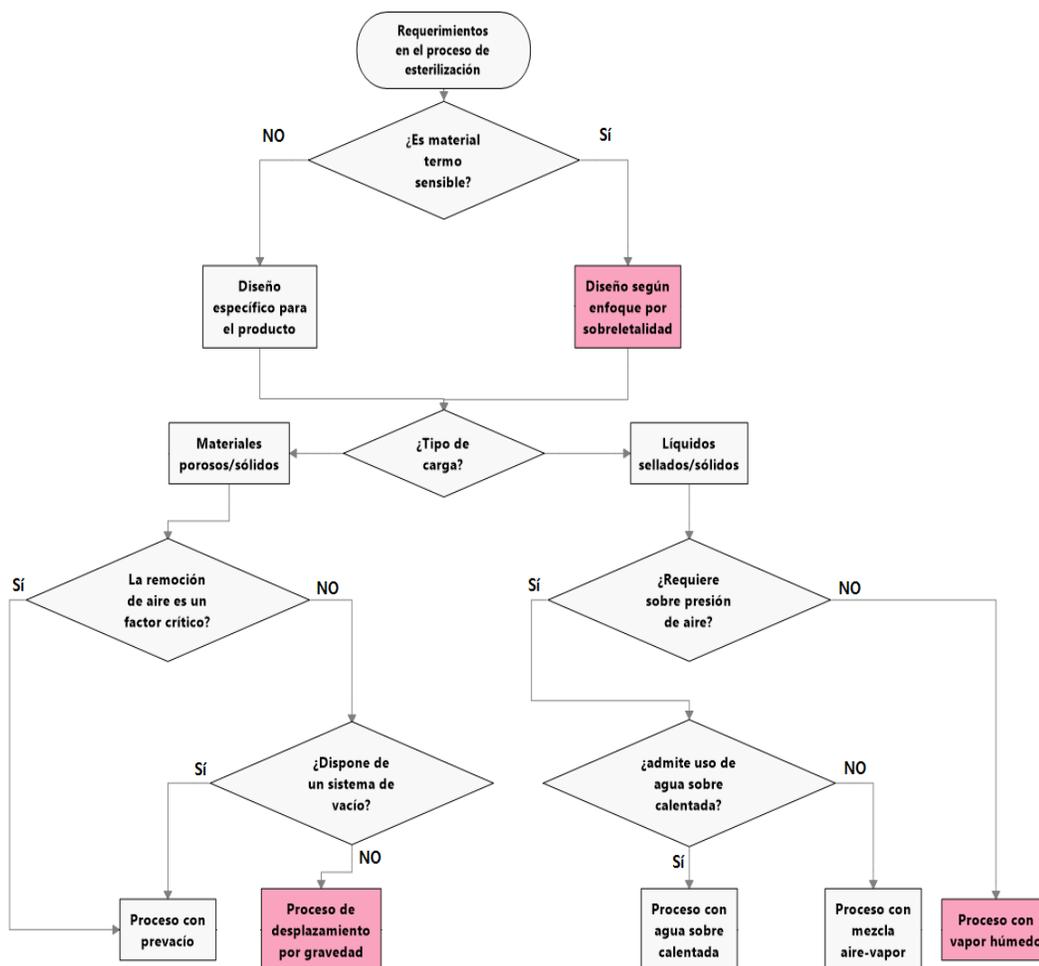


Figura 42. Flujograma para la selección de las características de funcionamiento del esterilizador.

### 9.1. Temperatura de operación

De acuerdo al tipo de artículos a esterilizar seleccionamos la temperatura; en el capítulo anterior se definió que en nuestro caso se trata de instrumental quirúrgico de acero inoxidable, incluyendo bandejas metálicas y frascos de vidrio, todos estos térmicamente estables. Las envolturas usadas en este establecimiento de salud, son papel grado médico y papel Kraft en doble envoltura.

Según las recomendaciones de los lineamientos del Ministerio de salud, en las tablas de los manuales [10] sobre ciclos y cargas de esterilización a vapor se muestra que para materiales difíciles de esterilizar sin envoltura o con envoltura ya sea papel Kraft o de grado médico y con remoción de aire por desplazamiento por gravedad la temperatura indicada, es de 121° C.

A continuación, se muestra dicha tabla:

Tabla 10. Ciclos y cargas de esterilización a vapor.

TIPO DE CARGA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (minutos)	MÉTODO DE ELIMINACIÓN DE AIRE
Paquetes conteniendo telas	121	>40	Desplazamiento por Gravedad
	123	4	
	132		
	135		
Instrumental difícil envuelto en doble empaque	121	>20	Desplazamiento por Gravedad
	123	>10	Pre vacío
	132	>4	
	135		
Instrumental difícil en envoltura sencilla sin lúmenes o artículos porosos	132	>4	Flash
	135		
Instrumental difícil sin envolver	121	>15	Desplazamiento por gravedad
	123		
Instrumental difícil sin envolver sin artículos porosos	132	>3	Desplazamiento por gravedad
	135		
Instrumental difícil sin envolver combinado con artículos porosos	132	>10	Desplazamiento por gravedad
	135		
Instrumental difícil sin envolver sin artículos porosos	132	>3	Pre vacío
	135		

TIPO DE CARGA	TEMPERATURA (°C)	TIEMPO (minutos)	MÉTODO DE ELIMINACIÓN DE AIRE
Instrumental difícil sin envolver combinado con porosos	132	>4	Pre vacío
	135		
Contenedores rígidos	121	>40	Gravedad
	123	>4	Pre vacío
	132	>3	Gravedad
	135		

Fuente: Perkins J. Principles and methods of sterilization in health sciences. 2º ed. 1983 Thomas books, p. 163.

## 9.2. Determinación del tiempo de duración del ciclo

Considerando el método de enfoque por sobreletalidad (conocida también como “overkill”) la carga biológica inicial se asume de:

$$N_0 = 1,000,000 \text{ de microorganismos.}$$

El microorganismo utilizado como indicador biológico para la validación de la efectividad del proceso de esterilización por vapor usualmente es la spora de la bacteria termófila y grampositiva *Geobacillus Stearothermophilus*, cuyo valor de tasa de letalidad (valor D) a 121.1°C se tomó [11] de:

$$D_{121^\circ\text{C}} = 2.5 \text{ min/log}$$

Generalmente, este valor se encuentra ligeramente por encima de 2, por lo que esta es una buena aproximación para evaluar un escenario en el peor caso que pudiese ocurrir. Hay que mencionar que el valor D varía para diferente temperatura, de forma que a mayores temperaturas el valor de D es menor, además es diferente para distintos microorganismos, distintos entornos y

diferentes condiciones fisiológicas. Si aumentamos la temperatura de tratamiento, el valor de D disminuye de forma logarítmica.

El nivel de garantía de esterilización (SAL) usado fue un  $SAL = 10^{-6}$ , que es el requerido para la esterilización de artículos médicos. El tiempo requerido se calculó de la siguiente forma:

$$t = (\text{reducciones logarítmicas requeridas})(D_{121^{\circ}\text{C}})$$

Entonces, con la carga biológica inicial y obteniendo el logaritmo:

$$(\log N_0) = \log (10^6) = 6$$

Y como el SAL requerido es de  $10^{-6}$  a las anteriores 6 unidades logarítmicas hay que añadir otras 6 unidades logarítmicas para lograr llegar a reducir la población de microorganismos hasta 0.000001, que es lo que establece el nivel de garantía SAL de  $10^{-6}$ ; haciendo un total de 12 unidades de reducción logarítmicas.



Figura 43. Curva de microorganismos supervivientes.

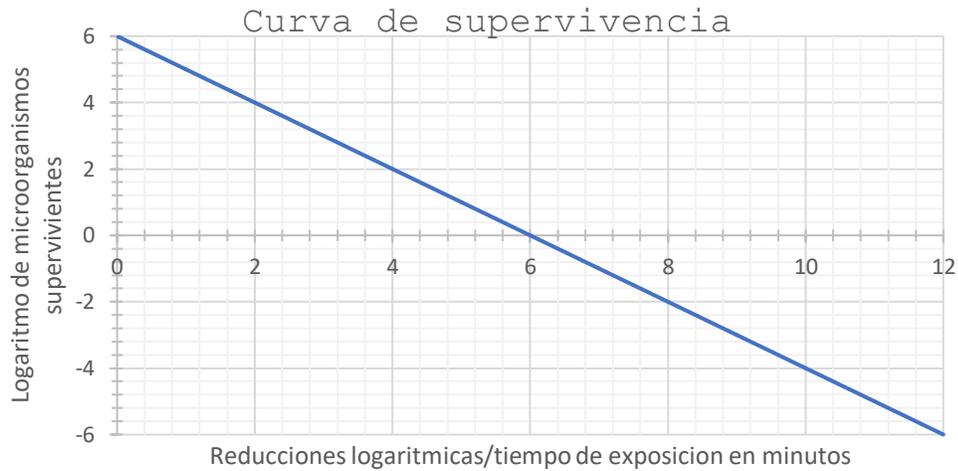


Figura 44. Logaritmo de la curva de microorganismos supervivientes.

Por lo tanto:  $\log(10^{-6}) = -6$ , se toma el valor absoluto; resultando en un total de reducciones logarítmicas de:  $6\log + 6\log = 12\log$

$$t = (12\log) \left( 2.5 \frac{\text{min}}{\log} \right) = 30 \text{ minutos}$$

Tiempos ideales para el ciclo de esterilización

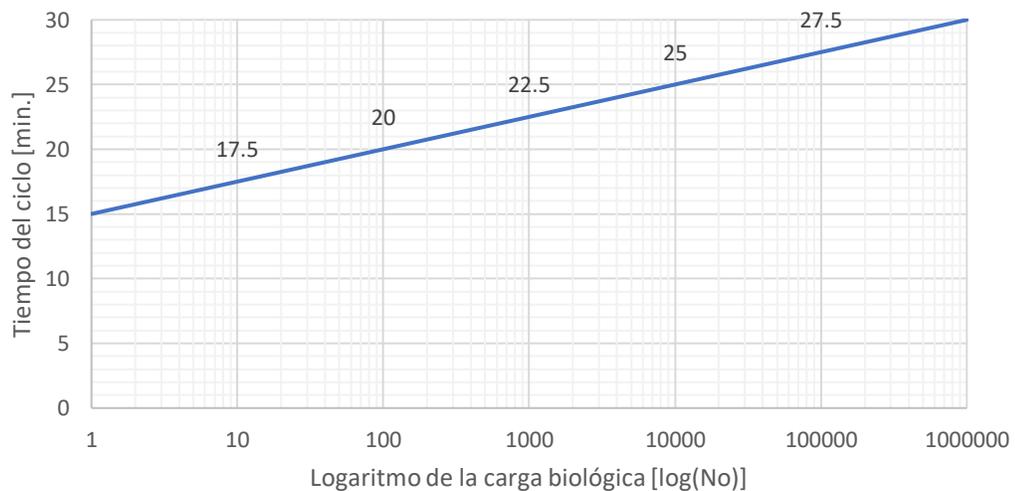


Figura 45. Tiempos ideales para el ciclo de esterilización de acuerdo a diferentes tipos de carga biológica.

El gráfico anterior muestra el resultado obtenido, al evaluar distintas cargas biológicas, usando el mismo valor D seleccionado. Bajo el método de análisis de enfoque por exceso, el cual es nuestro caso se asume el peor escenario, el cual se observa en el extremo derecho de la figura 45.

Hay que mencionar que, bajo la regulación estadounidense se requiere que el ciclo proporcione por lo menos 12 min (a una temperatura de 121°C) a los artículos esterilizados para alcanzar un ciclo “overkill”. Mientras que la regulación europea define como “overkill”, para los productos esterilizados, al proceso por calor húmedo que cumpla la temperatura de 121°C por 15 min.

### 9.3. Determinación de la presión de operación

Como se ha utilizado el valor  $D = 2.5$  min, se predetermina y fija la temperatura, según lo recomendado, de 121.1°C: Resta calcular la presión de trabajo dentro de la cámara del autoclave. Esta puede determinarse ya sea mediante las tablas de vapor saturado del agua o bien gráficamente por medio de las proyecciones del diagrama P-v-T del agua.

En el primer caso utilizando las tablas e interpolando linealmente se tiene:

TEMPERATURA (° C)	PRESIÓN DE SATURACIÓN (KPa)
120.0	198.67
121.1	-----
125.0	232.23

$$\frac{121.1 - 120}{125 - 120} = \frac{P_{\text{sat}} - 198.67}{232 - 198.67}$$

$$P_{\text{sat}} = 206.05 \text{ KPa}$$

Como  $1\text{KPa} = 0.01\text{ Bar} = 0.145\text{ psi}$

$$P_{\text{sat}} = 2.0605 \approx 2.0\text{ Bar}$$

$$P_{\text{sat}} = 29.88\text{ psia} \approx 30\text{ psia}$$

Corroborando gráficamente tenemos en la figura 46:

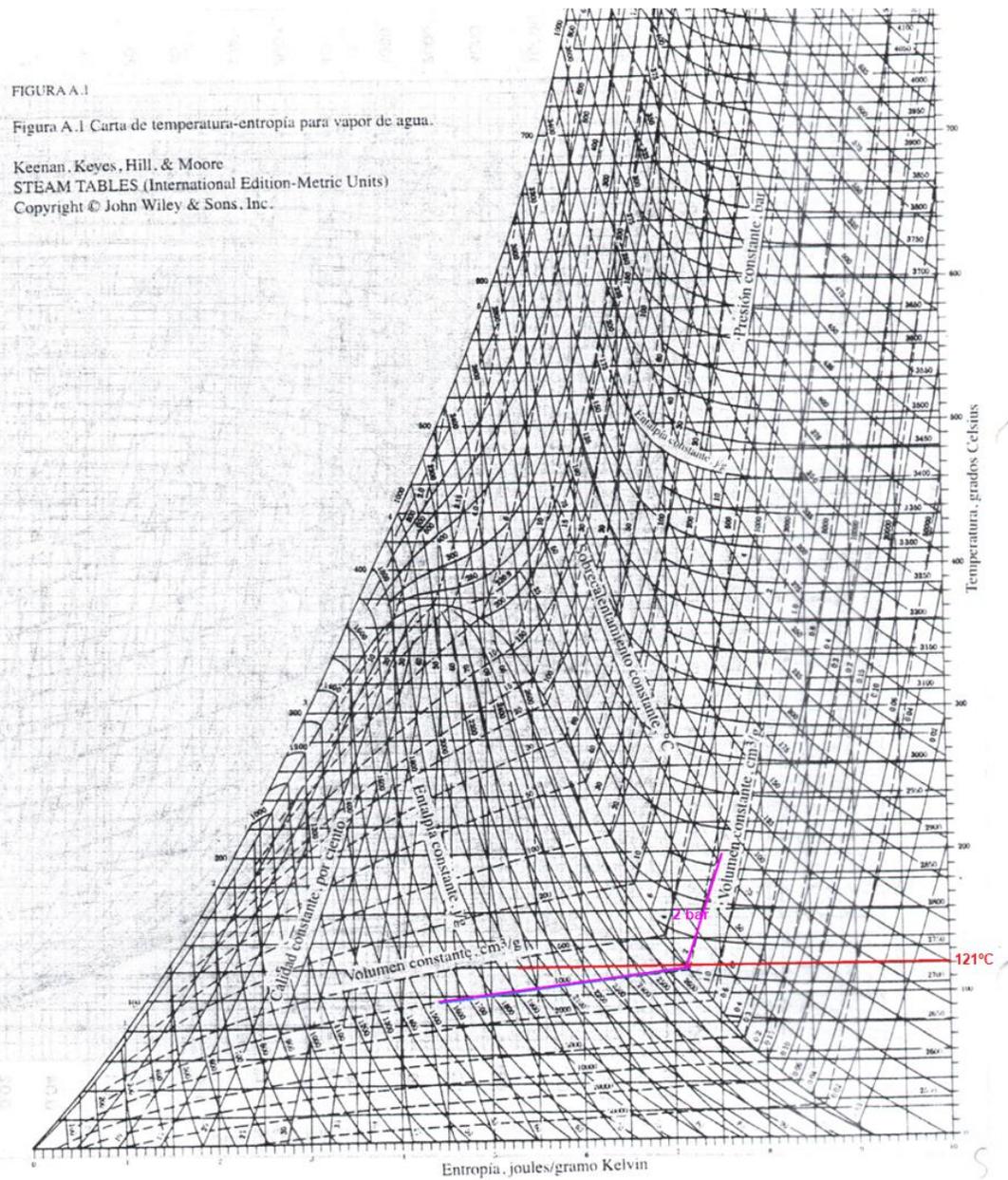


Figura 46. Diagrama temperatura-entropía (T-s) para el agua, donde se obtiene la presión de trabajo dada la temperatura. Tomado de: Principios de termodinámica de Van Wylen.

Para la temperatura de 121 ° C en el diagrama Temperatura-entropía (T-s) del agua, buscamos sobre la línea de vapor saturado, la isobara que intercepta a estas, donde se observa que la presión resulta  $P = 2.0$  bar.

## 10.0. DISEÑO DEL ESTERILIZADOR

Como el esterilizador funcionará a base de energía solar, el diseño de este se dividirá en dos partes: la primera relacionada al recipiente a presión que funcionará como cámara del esterilizador, junto a la selección de sus accesorios; y la segunda sobre el concentrador solar y todos sus parámetros, y partes involucradas.

### 10.1. Dimensiones y geometría de la cámara del esterilizador

La cámara del esterilizador es en esencia un recipiente a presión. La geometría de la cámara del esterilizador será del tipo cilíndrica ya que como estará sometida a presión, esta se distribuye de manera más uniforme sobre la superficie en comparación de otros tipos de geometría como la rectangular o cúbica donde se inducirían grandes esfuerzos en las aristas o esquinas del recipiente.

En cuanto a las dimensiones de este, según observaciones del tamaño del instrumental que típicamente se utiliza en una unidad de salud, se estima que el tamaño de los paquetes rondará como máximo los 15 cm de largo y 10 cm de ancho o diámetro, así que se consideraron las dimensiones para el recipiente, de:

- Diámetro, d: 27 cm
- Altura, L: 33 cm

Resultando con una capacidad volumétrica, de acuerdo a la ecuación:

$$V = \frac{\pi d^2}{4} L;$$

V = 18.89 litros (Para el cuerpo cilíndrico)

En cuanto a la tapa esta será del tipo casquete esférico, con las dimensiones indicadas en la figura 47.

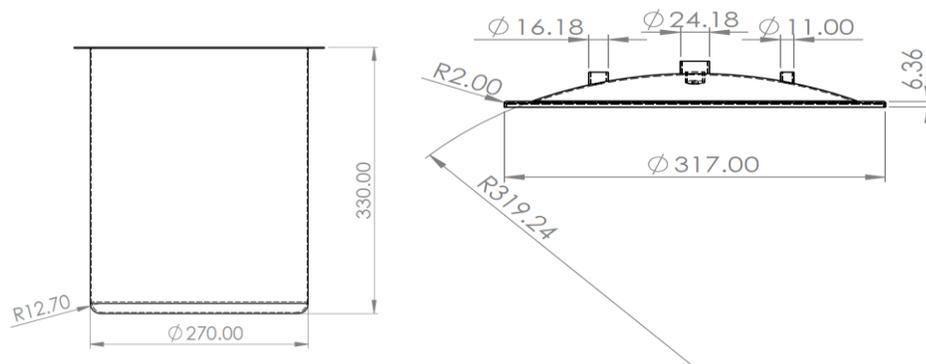


Figura 47. Dimensiones para el recipiente que servirá como cámara del esterilizador (cotas en mm).

Calculando el volumen restante para la tapa, consideramos en forma de casquete ( $V''$ ), tenemos:

$$V'' = \frac{1}{6}\pi h(h^2 + 3r^2) = \frac{1}{6}\pi(0.03)(0.03^2 + 3(0.135)^2) = 0.0008729\text{m}^3$$

$$V'' = 0.8729 \text{ litros}$$

Donde:

h: representa la altura del casquete, y r: el radio interior de la tapa.

Entonces el volumen total que corresponde a la cámara de esterilización es:

$$V_c = 18.89 + 0.87 = 19.76 \text{ litros}$$

## 10.2. Selección del material para la cámara del esterilizador

Para el material a utilizar en su fabricación se selecciona el acero inoxidable AISI 304, ya que es considerado como uno de los materiales más adecuados y de mayor uso para la manufactura de dispositivos médicos para todo tipo de aplicaciones. Una alta resistencia a la corrosión es una de las principales

razones que hacen al acero inoxidable 304 adecuado para las aplicaciones médicas sobre otros grados de acero; es extremadamente trabajable, con la habilidad de ser moldeable sin tener que volver a fundirlo, perfecto para la manufactura de muchos recipientes médicos.

Las propiedades del acero inoxidable 304 ofrecen características materiales únicas haciéndolo la alternativa para las especificaciones de artefactos médicos, entre las cuales tenemos:

- A prueba de óxido, se reduce el riesgo de infección por óxido y otras imperfecciones en la superficie causadas por la oxidación.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Reciclable
- Propiedades antibacteriales
- No se mancha, puede ser limpiado y reutilizado muchas veces en el campo médico.
- No magnético
- Alta resistencia al calor
- Una vez endurecido, el acero inoxidable 304 mantendrá su forma

En cuanto a su composición química promedio, el acero AISI 304 se trata de un acero austenítico de bajo carbono, aleado mayormente con Cromo y Níquel en las siguientes proporciones:

Tabla 11. Composición química del acero inoxidable 304.

<b>Composición química del acero inoxidable AISI 304</b>							
C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N
0.07% máx.	2.0%	0.75%	0.045%	0.015%	18-19.5%	8-10.5%	0.10%

Tabla 12. Propiedades mecánicas y físicas del acero inoxidable 304.

Propiedades físicas										
Densidad a 20°C (Kg/dm <sup>3</sup> )		Conductividad térmica a 20°C (W/m.K)		Calor específico a 20°C (J/Kg.K)			Resistencia eléctrica a 20°C ( $\Omega$ .mm <sup>2</sup> /m)			
7.9		15		500			0.73			
Módulo de elasticidad KN/mm <sup>2</sup>										
20°C		100°C		200°C		300°C		400°C		500°C
200		194		186		179		172		165
Coeficiente de expansión térmica (10 <sup>-6</sup> /K)										
100°C		200°C		300°C		400°C		500°C		
16		17		17		18		18		
Propiedades mecánicas a temperatura ambiente										
Espesores		Límite elástico al 0.2% (N/mm <sup>2</sup> )			Resistencia a la tracción (N/mm <sup>2</sup> )			Elongación (As) mín. %		
Laminado en caliente t ≤ 6 mm		≥230			540-750			≥45		
Laminado en frío t ≤ 6 mm		≥210			520-720			≥45		
Límite elástico al 0.2% (N/mm <sup>2</sup> ) a temperatura variable										
100°C	150°C	200°C	250°C	300°C	350°C	400°C	450°C	500°C	550°C	
157	142	127	118	110	104	98	95	92	90	

### 10.3. Determinación del espesor del recipiente

Para la determinación del espesor del recipiente debe considerarse primeramente la presión de diseño, y no la de operación pues este debe contar con un factor de seguridad. Según recomendaciones de diseño [9], la presión de diseño debe ser al menos la presión de operación incrementada en un 10%,

o bien en  $2.11 \text{ kgf/cm}^2$  (30 psi). Se toma el valor más alto de estos, entonces usando:

$$P_d = P_o + 30 \text{ psi} \quad (17)$$

Donde  $P_d$ : es la presión de diseño; y  $P_o$ : presión de operación.

En el capítulo anterior se determinó la presión de operación, en  $P_o = 2 \text{ Bar} = 200 \text{ KPa}$  (29 psi)

Por lo que se tiene que la presión de diseño es:

$$P_d = 29 + 30 = 59 \text{ psi (406.79 KPa)}$$

En general el espesor mínimo para cuerpos y cabezales de los recipientes a presión según norma ASME (American Society of Mechanicals Engineers) debe ser de 1.5 mm (1/16") excluyendo el sobre espesor por corrosión. Para cuerpos cilíndricos sometidos a presión interna, el espesor requerido por la tensión tangencial es mayor que el doble que el requerido por la tensión longitudinal. El espesor por corrosión, oscila de 1 a 6 mm y se incrementa a los espesores obtenidos para resistir las cargas a las que se encuentran sometidos los recipientes.

Para el cuerpo cilíndrico, el espesor puede ser calculado mediante:

$$t = \frac{PR}{SE - 0.6P} \quad (18)$$

Dónde:

$t$  = Espesor

$P$  = Presión de diseño, psi

$R$  = Radio interior, pulgadas

$S$  = Valor del esfuerzo de fluencia del material

$E$  = Eficiencia de la junta.

La eficiencia de la junta se refiere al efecto que provoca la soldadura, ya que esta puede representar una discontinuidad en el material, que podría producir una intensificación de los esfuerzos a los que se ve sometido el material en esa zona, esto debido los defectos que se pueden producir en el proceso de soldadura, también toma en cuenta el efecto conjunto del calentamiento y enfriamiento rápido de la junta soldada que terminarían por debilitar la resistencia del material en esa zona.

Según la norma ASME los valores de E se asignan de la siguiente manera:

- E=0.85, si las soldaduras se radiografían por puntos
- E=1.0, Si la soldadura se radiografía de forma completa
- E=0.7, si no se realiza ninguna inspección

Entonces para el material seleccionado, acero inoxidable 304, el esfuerzo de fluencia a temperatura ambiente se toma<sup>4</sup> de  $S = 40,000$  psi [3]

Sustituyendo los datos tenemos:  $t = \frac{1}{89.18} = 0.0112$  pulgadas

El espesor obtenido es menor con el que la norma ASME requiere, por lo que debe ser superior a este.

Para la tapa, el espesor puede determinarse con la ecuación:

$$t = \frac{0.885PL}{SE - 0.1P} \quad (19)$$

Dónde:

P = Presión de diseño, psi

L = Radio interior del casquete, pulgadas

---

<sup>4</sup> Este corresponde a un valor proporcionado por la referencia bibliográfica mencionada, pero el valor real es inferior a este, como puede observarse en las especificaciones del proveedor del material (ver anexo A1) que fueron proporcionadas posteriormente. Aun así, hechas las consideraciones de la normativa ASME sobre el espesor mínimo, el material es capaz de operar con toda seguridad.

$S$  = Valor del esfuerzo del material, psi

$E$  = Eficiencia de la junta

Sustituyendo tenemos:

$$t = 0.0235 \text{ pulgadas}$$

Este resultado es inferior al valor mínimo de espesor requerido para recipientes a presión por lo que también debe ser superior a este.

#### 10.4. Análisis de esfuerzos

Generalmente en todo recipiente cilíndrico sometido a presión se desarrollan esfuerzos radiales y tangenciales, pero cuando el espesor de la pared del recipiente se acerca a un décimo de su radio o menos, el esfuerzo radial que resulta de la presurización del recipiente es muy pequeño comparado con el esfuerzo tangencial, por lo que se podría considerar despreciable. En este caso se dice que el recipiente a presión es de pared delgada, y es el modelo bajo el cual aquí se analiza el recipiente.

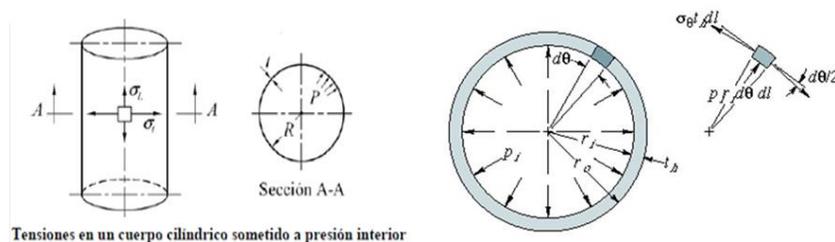


Figura 48. Esfuerzos a los que se ve sometido un recipiente cilíndrico de pared delgada.

En la figura anterior se muestra un elemento diferencial de longitud  $dL$  (sombreado) sujeto a presión interna  $P_i$ , haciendo equilibrio en las fuerzas radiales que actúan sobre el elemento se obtiene, el esfuerzo tangencial:

$$P_i r_i d\theta dL = 2\sigma_t t dL \frac{dL}{2}$$

$$\sigma_t = \frac{P_i R_i}{t} \quad (20)$$

Además, si los extremos del cilindro están cerrados este se encuentra sometido además a un esfuerzo longitudinal distribuido en la periferia del cilindro producto de la presión interna

$$F = P_i A_{int} = P_i \pi R_i^2$$

Esta fuerza distribuida en el área periférica del cilindro determina los esfuerzos longitudinales.

$$\sigma_L = \frac{F}{A} = \frac{P_i \pi R_i^2}{2\pi R_i t} = \frac{P_i R_i}{2t} \quad (21)$$

Bajo este análisis tenemos que, para el cuerpo cilíndrico:

Esfuerzo tangencial:

$$\sigma_t = \frac{P_i R_i}{t} = \frac{(59)(5.315)}{t} = \frac{313.585}{t} \text{ psi}$$

Esfuerzo longitudinal:

$$\sigma_L = \frac{P_i R_i}{2t} = \frac{(59)(5.315)}{2t} = \frac{156.7925}{t} \text{ psi}$$

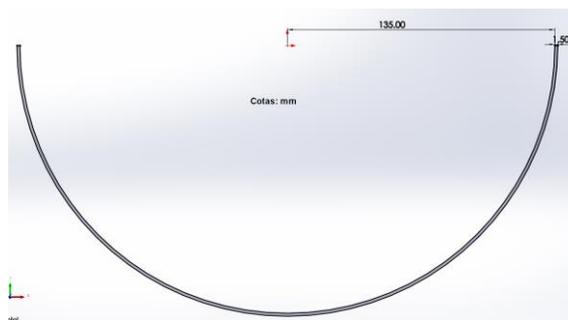


Figura 49. Esquema de la vista transversal de una sección del cuerpo cilíndrico, con cotas en pulgadas.

#### 10.4.1. Evaluando condiciones en el cuerpo cilíndrico

De acuerdo a las teorías de falla para materiales dúctiles, se utiliza la teoría del Esfuerzo cortante máximo para verificar la condición segura del recipiente evaluando para la condición crítica para la cual el factor de seguridad es igual a  $n=1$ .

$$S_{Sy} = \frac{S_y}{2n} = \frac{\sigma_t - \sigma_L}{2} \quad (22)$$

Donde  $S_{Sy}$ : Es el esfuerzo cortante.

Sustituyendo datos para el acero inoxidable AISI 304,  $S_y = 40,000$  psi y suponiendo  $n = 1.0$

$$40,000 = \frac{313.585}{t} - \frac{156.7925}{t}$$

$$t = 0.0039 \text{ pulg.}$$

Bajo este análisis, el espesor de 0.0039 pulgadas es el mínimo que podría utilizarse de forma segura, aunque debemos recordar que, de acuerdo a estándares de fabricación de recipientes a presión, el mínimo recomendado es de 1/16 pulgadas.

Con este espesor, los esfuerzos obtenidos son:

- $\sigma_t = 5,017.36$  psi
- $\sigma_L = 2,508.68$  psi

#### 10.4.2. Evaluando condiciones para la tapa del recipiente

Evaluando para la condición crítica, para la cual el factor de seguridad es igual a  $n=1$  y bajo el análisis de falla por cortante máximo y dado que es un casquete, no presenta esfuerzos longitudinales, entonces:

$$\sigma_2 = \sigma_L = 0$$

$\frac{S_y}{n} = \sigma_1$  , y como  $n = 1$ ; entonces  $\sigma_t = \sigma_1 = S_y = 40,000$  PSI para el acero inoxidable 304.

$$\sigma_t = 40,000 = \frac{313.585}{t}$$

$$t = 0.00784 \text{ pulgadas}$$

Espesor que resulta ser muy inferior al mínimo requerido, en todo caso se utilizara un espesor mayor a este, el mínimo recomendado es de 1/16 pulgadas. Para este espesor el esfuerzo tangencial es:

$$\sigma_1 = \sigma_t = \frac{P_i R_i}{t} = \frac{(59)(5.315)}{\frac{1}{16}} = 5,017.36 \text{ psi}$$

Se observa que los espesores obtenidos aun cuando pueden usarse con seguridad son bastante pequeños e inferiores a los indicados por la ASME tanto con las fórmulas en el apartado anterior, como bajo el análisis de esfuerzos, comparativamente se obtienen valores relativos mayores con el primer método respecto con el segundo; pero en vista que este debe ser un espesor comercialmente disponible y que no dificulte su proceso de conformado, se selecciona el espesor mínimo recomendado de 1/16 pulgadas (1.6 mm) para todo el recipiente, no tomando en cuenta el espesor por corrosión ya que en nuestro caso este aspecto no es significativo.

Con este espesor en ambas piezas se obtienen factores de seguridad mayores a  $n = 1.0$ , por lo que es seguro utilizarlo.

## 10.5. Análisis de los elementos de sujeción de la tapa del recipiente a presión

Para garantizar que la tapa se mantenga en su sitio cuando el recipiente se vea sometido a la presión interna durante su funcionamiento, se analiza a continuación los elementos de sujeción a utilizar. El mecanismo de cierre consta de un grupo de pernos que al enroscarse sobre un par de aros que descansa sobre la tapa y el cuerpo cilíndrico del recipiente, presiona una contra otra estas dos piezas produciéndose el cierre.

### 10.5.1. Análisis y selección de los pernos

El esfuerzo longitudinal en las paredes del recipiente, con el espesor de  $t = 1/16$  pulgadas es:

$$\sigma_L = \frac{P_i R_i}{2t} = \frac{(59)(5.315)}{2\left(\frac{1}{16}\right)} = 2,508.68 \text{ psi}$$

Cálculo de fuerza total:

$$\sigma_L = \frac{F_{\text{tot}}}{2\pi R_i t}$$

$$F_{\text{tot}} = (1672.45)2\pi(5.315)\left(\frac{1}{16}\right)$$

$$F_{\text{tot}} = 5236.11 \text{ lbf}$$

Suponiendo 4 pernos distribuidos a  $90^\circ$  entre ellos alrededor de la tapa, la fuerza ejercida en cada uno es:

$$F = \frac{F_{\text{tot}}}{4} = 1309.03 \text{ lbf}$$

Asumiendo perno de  $\frac{1}{4}$  " - 20 UNF (de tablas, ver anexo A4)

- Diámetro,  $D = \frac{1}{4}$  pulgadas
- 20 hilos/pulg, el paso es  $P = 1/20 = 0.05$
- $A_t = 0.0364$  pulg<sup>2</sup> (área de esfuerzo de tensión)

Para pernos con longitud,  $L \leq 6$ " la longitud roscada es:  $L_R = 2D + \frac{1}{4}$  "

Entonces:

$$L_R = 2(\frac{1}{4} \text{ "}) + \frac{1}{4} \text{ "} = 0.75 \text{ pulgadas}$$

La longitud lisa, en este caso no presentaría por lo que:  $L_d = 0$  pulg

La longitud roscada en la unión es:  $L_t = 1/8$  pulg

La rigidez del perno  $K_b$ :

Para acero al carbono, el módulo de elasticidad  $E = 30$  Mpsi

$$K_b = \frac{A_t A_d E}{A_t L_d + A_d L_t}$$

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \left(\frac{1}{4}\right)^2}{4} = 0.0491 \text{ pulg}^2$$

Sustituyendo:

$$K_b = 8.736 \text{ MPsi}$$

La rigidez del material del recipiente; para acero inoxidable  $E = 27.6$  Mpsi

$$K_1 = \frac{0.577\pi E d}{\ln \ln \left( \frac{5(0.0577L + 0.5d)}{0.577L + 2.5d} \right)} = 36.12 \text{ Mpsi}$$

Como los materiales a unir son iguales en espesor y composición la rigidez total es:

$$K_m = \frac{K_1}{2} = \frac{36.12 \times 10^6}{2} = 18.06 \text{ Mpsi}$$

Constante de rigidez:

$$C = \frac{K_b}{K_b + K_m} = \frac{8.736}{8.736 + 18.06} = 0.32$$

Probando con un perno grado SAE 8 la resistencia mínima del perno es  $S_p = 120$  Kpsi y  $k = 0.9$  el factor para rosca fina y calculando la precarga del perno resulta:

$$F_i = kA_t S_p = (0.9)(0.0364)(120000) = 3931.2 \text{ lbf}$$

Evaluando la condición segura del perno:  $\frac{S_p}{n} = \frac{F_i + CP}{A_t}$

Con la carga por cada perno de  $P = 1309.03$  lbf

$$\frac{120000}{n} = \frac{3931.2 + (0.32)(1309.03)}{0.0364}$$

$$n = 1.0$$

En este caso se obtiene la condición límite de seguridad, como el factor de seguridad obtenido es  $n=1.0$ , esta es la cantidad mínima de pernos que debe colocar para asegurar la tapa, y ya que no existe otro grado SAE mayor, el factor de seguridad se puede incrementar aumentando el número de pernos de sujeción para la tapa o bien colocar siempre cuatro pernos de un diámetro inmediato superior a este (5/16 pulgadas).

Finalmente se opta por incrementar el número de pernos a 12 en total, de ¼ pulgadas de diámetro de los ya mencionados, si bien basta con incrementar a 5 o 6, el objetivo de utilizar esta cantidad es garantizar que no existan fugas ya que la presión de cierre sobre la tapa es más uniforme con esta configuración.

### 10.5.2. Mecanismo de cierre

El mecanismo de cierre o sujeción, consta de dos aros metálicos con brazos salientes a su alrededor sobre los que se practican agujeros roscados sobre los que se enrosca cada uno de los pernos, estos aros se unen a la tapa y el otro al cuerpo cilíndrico tal como se observa en la figura 50 de manera que al enroscar los pernos los aros presionen las caras de las dos piezas, produciéndose el cierre.



Figura 50. Mecanismo de cierre del recipiente esterilizador.

Realizando el análisis, el brazo de sujeción es un elemento con sección transversal rectangular, se determina la altura  $h$  requerida, asumiendo una base rectangular de la sección de  $b=1/2$  pulgada y un largo de,  $l=1.0$  pulgada, y el cual experimentará una fuerza (la de cada tornillo) que produce a su vez un momento flector  $M$

La fuerza en cada elemento ya que ahora serán 12 pernos es:

$$5236.11\text{ lbf}/12 = 436.34\text{ lbf}$$

Entonces el momento flector experimentado en cada brazo de sujeción es:

$$M = 436.34\text{ lbf} * 1.0\text{ pulg} = 436.34\text{ lbf. pulg}$$

En este caso no existen esfuerzos axiales, por lo que  $\sigma' = \frac{P}{A} = 0$ , mientras que el esfuerzo flexionante causado por el momento  $M$  es  $\sigma'' = \frac{Mc}{I}$ , donde  $c$  es la distancia desde la superficie exterior hasta el eje neutro, e  $I$  es la inercia de la sección rectangular, respecto al eje neutro.

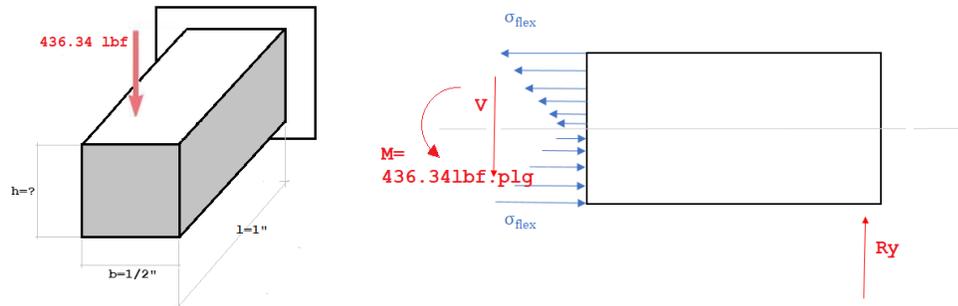


Figura 51. Esquema de las cargas y esfuerzos a los que se ve sometido el elemento.

Entonces:

$$I = I_{EN} = \frac{bh^3}{12}$$

Sustituyendo  $I$ , y  $c = h/2$ , en  $\sigma''$  resulta:

$$\sigma'' = \frac{6M}{bh^2} = \frac{5236.08}{h^2} \text{ psi}$$

El esfuerzo total es  $\sigma = \sigma_x = \sigma' + \sigma'' = \frac{P}{bh} + \frac{6M}{bh^2} = 0 + \frac{5236.08}{h^2}$

Y además en este caso  $\sigma_y = 0$

El esfuerzo por cortante sobre la sección es:  $\tau' = \frac{V}{A}$  mientras esfuerzos a cortante por torsión no existen  $\tau'' = 0$ . Entonces:

$$\tau' = \tau_{xy} = \frac{436.34}{0.5h} = \frac{872.68}{h} \text{ psi}$$

Determinando los esfuerzos principales  $\sigma_1$  y  $\sigma_2$  mediante el círculo de Mohr, se tiene:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \mp \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2} \quad (23)$$

- $\sigma_1 = \frac{5236.08}{h^2} + \frac{872.68}{h}$  psi
- $\sigma_2 = \frac{872.68}{h}$  psi

Evaluando de acuerdo a la teoría de falla por esfuerzo cortante máximo ( $S_{Sy}$ ); para un factor de seguridad de  $n=1.0$  y usando como material acero 1020 CD con un esfuerzo de fluencia de  $S_y=57$  Kpsi, resulta:

$$S_{Sy} = \frac{S_y}{2n} \geq \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

$$h = 0.30 \text{ pulgadas (7.3 mm)}$$

Entonces se elige un valor superior, por conveniencia de  $h=0.5$  pulg resultando una sección cuadrada de  $0.5 \times 0.5$  pulgadas.

### 10.5.3. Análisis de la soldadura

Para sujetar los brazos a los aros se aplicará soldadura en dos lados de uno de los extremos de la sección cuadrada, el elemento se ve sometido a carga a flexión debido al mismo momento  $M$  calculado anteriormente.

El área de la garganta para las soldaduras de filete es (ver anexos, tabla A5)  $A = 1.414hd$ , en este caso  $h$  es el ancho del cordón de soldadura a determinar y  $d=0.5$  pulgadas, sustituyendo:

$$A = 0.707h$$

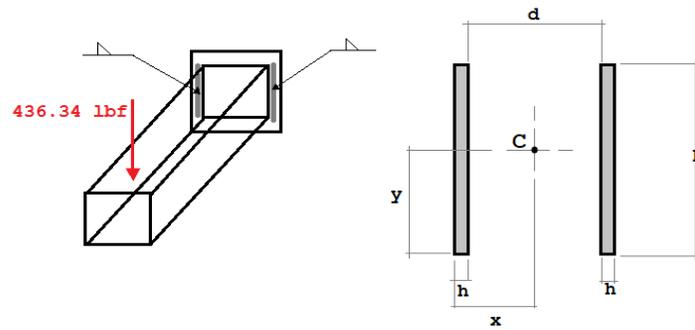


Figura 52. Esquema del patrón de la soldadura.

El segundo momento unitario de área de la soldadura es  $I_u = \frac{d^3}{6} = \frac{1}{48}$

Y el total es  $I = I_u h \cos 45^\circ$ , entonces  $I = 0.01473h \text{ pulg}^4$

El esfuerzo cortante al que se ve sometido es  $\tau = \frac{F}{A} = \frac{436.34}{0.5h} = \frac{872.68}{h} \text{ psi}$

El esfuerzo flexionante es  $\sigma = \frac{Mc}{I}$ , en este caso  $c = 0.25$  pulgadas, sustituyendo:

$$\sigma = \frac{7405.63}{h} \text{ psi}$$

De la misma manera como se determinó anteriormente con la Ecuación 23, los esfuerzos principales son:

- $\sigma_1 = \frac{13938.58}{h} \text{ psi}$
- $\sigma_2 = \frac{872.68}{h} \text{ psi}$

Y evaluando con la teoría del esfuerzo cortante máximo (Ecuación 22), con las mismas condiciones anteriores, y factor de seguridad de  $n=1.0$  se tiene que el ancho del cordón es:

$$h = 0.23 \text{ pulgadas (5.84 mm)}$$

## 10.6. Sello de la tapa

Para garantizar la estanqueidad de la cámara de esterilización, esta debe contar con un sello. El sello se coloca de manera circunferencial sobre el borde

saliente del cuerpo cilíndrico del recipiente, sobre el cual se coloca la tapa presionando contra el sello.

La geometría del sello es plana, con perfil rectangular (tipo WR2) con dimensiones de 280 mm de diámetro interior, 318 mm de diámetro exterior y un espesor de 3.5 mm. De acuerdo a los parámetros de funcionamiento del esterilizador se seleccionó como material más adecuado el silicón S-102, que es capaz de resistir temperaturas desde los  $-55^{\circ}\text{C}$  hasta los  $210^{\circ}\text{C}$  y vapor hasta  $150^{\circ}\text{C}$ , además cumple con las regulaciones de grado alimenticio de la FDA.<sup>5</sup>

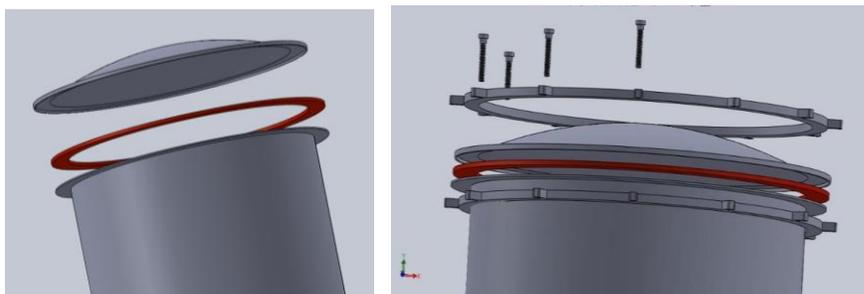


Figura 53. Detalle de la colocación del sello de la cámara de esterilización.

Tabla 13. Propiedades físicas y mecánicas del material S-102.

Densidad	1525 g/cm <sup>3</sup>
Dureza (a 23°C)	85 Shore A
Resistencia a la tensión	7.7 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia al desgarre	24.2 KN/mm <sup>2</sup>
Alargamiento a la rotura	121.1%

En la figura siguiente se muestra el rango de resistencia de algunos materiales comúnmente utilizados en la fabricación de sellos, la designación es PU:

<sup>5</sup> Food and Drugs Administration (EE.UU.) Code of Federal Regulations 21CFR 177.1680

poliuretanos, NBR: Caucho de Nitrilo, FPM: Vitón, EDPM: Caucho de etileno-propileno, AFLAS o Fluoro elastómero de tetrafluoroetileno-propileno, POM: Poliacetal, PA: Poliamida, PTFE o Teflón, PEEK y SIL para los silicones el cual fué el material seleccionado.

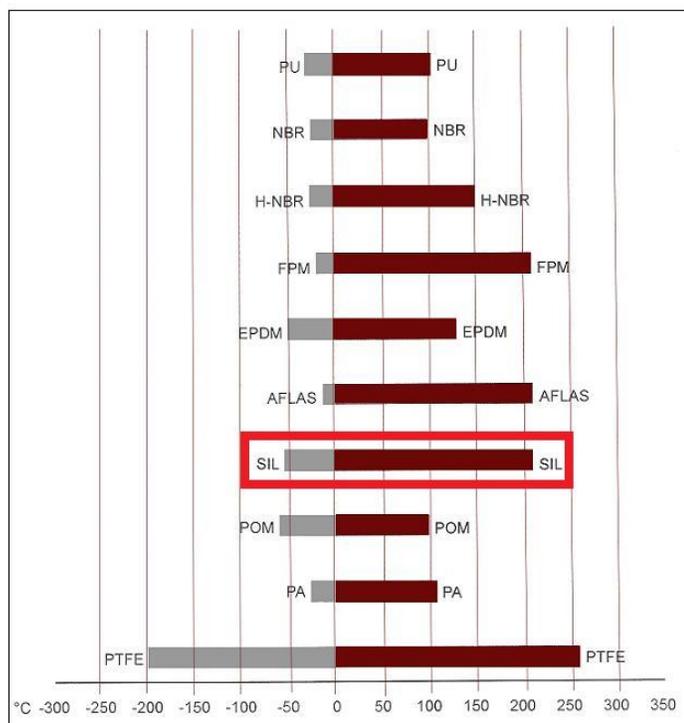


Figura 54. Rangos de temperatura de trabajo de materiales para la fabricación de sellos.

### 10.7. Análisis de soldadura del cuerpo cilíndrico

La soldadura se realizará como una costura a lo largo del cilindro de acero inoxidable, se considera que el elemento está sometido a carga transversal, para ello este análisis se tienen los esfuerzos:

$$\tau = \frac{F}{LH}; \sigma = \frac{F}{LH}$$

Donde:

$\tau$ : Esfuerzo cortante

$\sigma$ : Esfuerzo tangencial

F: Fuerza aplicada a la soldadura

L: Longitud de la soldadura

H: altura del cordón de soldadura

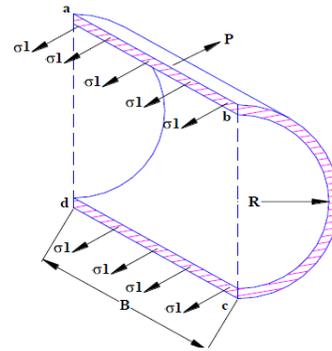


Figura 55. Esfuerzos tangenciales desarrollados en el cuerpo cilíndrico.

El esfuerzo tangencial calculado en el interior del cilindro es:

$$\sigma = \sigma_t = \frac{PR}{t} = \frac{59(5.315)}{\frac{1}{16}} = 5,017.36 \text{ psi}$$

Considerando que la fuerza actúa a lo largo del área del cordón de soldadura, el área del cordón tiene 33 cm de longitud (13 pulgadas) por 1/16 pulgadas de altura.

Entonces la fuerza ejercida en la soldadura es:

$$F = \sigma A = 5,017.36 * \left(13 * \frac{1}{16}\right) = 4,076.61 \text{ lbf}$$

Para una soldadura sometida a carga transversal los dos esfuerzos son iguales, se determina bajo condiciones críticas utilizando un factor de seguridad de  $n = 1$ , la altura mínima que debe poseer el cordón para que la soldadura sea segura.

$$\sigma = \tau = \frac{F}{LH} = \frac{4,076.61}{13H} = \frac{313.585}{H}$$

Utilizando las ecuaciones del círculo de Möhr (Ecuación 23) para el cálculo de los esfuerzos principales y sustituyendo, resulta:

- $\sigma_1 = \frac{507.392}{H}$
- $\sigma_2 = \frac{193.806}{H}$

Utilizando teoría de falla por cortante máximo (Ecuación 22) y tomando  $n = 1.0$ , el esfuerzo de fluencia para el acero AISI 304 es  $S_y = 40,000$  psi

$$S_y = \sigma_1 - \sigma_2 = 40,000 = \frac{507.392}{H} + \frac{193.806}{H}$$

Se obtiene un H de

$$H = 1/57.04 = 0.01752995 \text{ pulgadas}$$

Dado que la altura del cordón de soldadura se realizará con electrodo de 1/16 pulgadas el Factor de seguridad de la soldadura a aplicar es:

$$n = \frac{\frac{1}{16}}{\frac{1}{57.04}} = 3.57$$

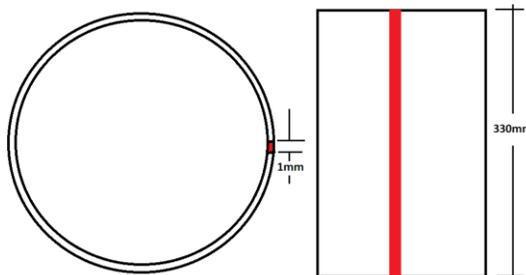


Figura 56. Esquema de la soldadura a realizar en el recipiente.

De igual manera el cordón de soldadura aplicado en la tapa inferior es a todo alrededor con electrodo de 1/16 pulgadas.

## **10.8. Selección de válvulas e instrumentos indicadores**

Estos elementos nos permiten controlar el proceso hasta cierto punto, a la vez que nos muestran los valores de las variables involucradas para corroborar y tener certeza de que el equipo está funcionando bajo los parámetros establecidos. Las válvulas de control de presión de vapor son aquellas que abren, cierran o regulan el paso de vapor en un proceso en general. Existe una gran variedad de diseños y materiales apropiados de acuerdo a su uso y aplicación particular.

### **10.8.1. Válvula de purga seleccionada**

En nuestro caso se instala una válvula de bola para permitir la expulsión del aire durante el proceso de precalentamiento, esta se operará de forma manual. Se utilizará este tipo porque resulta adecuado para uso exclusivo en posición totalmente abierta o cerrada. Las válvulas de bola ofrecen muy buena capacidad de cierre y son prácticas porque para abrir y cerrar la válvula es tan sencillo como girar la manivela 90°. Se pueden hacer de paso completo, lo que significa que la apertura de la válvula es del mismo tamaño que el interior de las tuberías y esto resulta en una muy pequeña caída de presión. Otra característica principal, es la disminución del riesgo de fuga en el sello, que resulta debido a que el eje de la válvula solo se tiene que girar 90°.

Tabla 14. Características de la válvula de purga seleccionada.

	Marca: GENE BRE
	Válvula de bola de ¼" de pulgada de diámetro interno
	Capacidad de trabajo desde: -25°C hasta 180°C
	Presión máxima de trabajo: 1000 psi
	Construida en acero inoxidable AISI 316
	Empaques de politetrafluoretileno (PTFE)
	Palanca con forro de goma dura

### 10.8.2. Válvulas de seguridad

Al utilizar sistemas que operan a presión, el sistema puede verse sometido a presiones superiores a la de diseño, con el riesgo de explosión, pudiendo causar graves consecuencias tanto para las personas como para las instalaciones cercanas. Para prevenir este riesgo se instalan en los equipos válvulas de seguridad, que permitan por medio de la descarga del fluido contenido, aliviar el exceso de presión.

La válvula a seleccionar debe cumplir que opere a una presión del 3 al 10% de la presión de operación, de acuerdo a esto corresponde a una presión de actuación de 30 psi y 32 psi, respectivamente. Se debe considerar que la presión máxima crítica es de 59 psi, en todo caso debe colocarse una válvula de seguridad que opere a una presión inferior a esta.

Tabla 15. Características de la válvula de seguridad seleccionada.

	Marca: Kingston, Modelo: 115P
	Elaborado bajo norma ASME, para uso con vapor
	Cuerpo de Latón
	Entrada de: ¼ de pulgada, rosca NPT
	Presión de ajuste: hasta 40 psi
	Rango de temperatura: -25°F a 400°F
	Resorte de acero inoxidable, con junta tórica de Vitón
	Capacidad de flujo: 85 Lb/h (@ 40 psi)

### 10.8.3. Selección de instrumentos indicadores

Para monitorear la temperatura de la cámara del esterilizador se utiliza un termómetro bimetálico con espiga, con un rango de medición de 0 a 150°C o mayor, mientras que para la lectura de la presión se utiliza un manómetro Bourdon cuyo rango de medición sea de 0 a 60 psi o superior.

Tabla 16. Termómetro y manómetro del tipo a instalar.

	Termómetro bimetálico, Marca: WINTERS
	Modelo: TBM 30060B10
	Rango de medición: 0°C a 200°C
	Construido en acero inoxidable AISI 304
	Vástago de 6", Carátula de 3", rosca NPT de ½" conexión posterior
	Manómetro Bourdon; Marca: Simmons
	Modelo: Y50T-100
	Rango de medición: 0-100 psi
	Conexión NPT de ¼"

## 11.0. DISEÑO DEL CONCENTRADOR

La geometría elegida para el concentrador es la de tipo de plato parabólico y para su diseño se parte de la relación existente [6] que involucra el índice de concentración máximo “C” y el ángulo de apertura “ $\phi$ ”, la cual es:

$$C_{\text{máx}} = \frac{\text{sen}^2 \phi \cos^2 \left( \phi + 0.267 + \frac{\delta}{2} \right)}{4 \text{sen}^2 \left( 0.267 + \frac{\delta}{2} \right)} - 1 \quad (24)$$

Donde el término  $\delta$  hace referencia al ángulo de dispersión que experimentan los rayos solares al incidir y luego reflejarse en el concentrador debido a imperfecciones de este, tomándose en  $3.0^\circ$  su valor, mientras que el ángulo con que los rayos solares inciden sobre el colector, como ya se mencionó se considera de  $\alpha = 0.534^\circ$ , por lo que  $0.267^\circ$  corresponde a la mitad del ángulo del cono que forman los rayos al incidir sobre el colector. Evaluando para distintos valores de ángulo de apertura desde los  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , se obtuvo el gráfico mostrado en la fig.16, donde se puede observar que con un ángulo de apertura de  $\phi=44^\circ$  resulta el valor máximo de índice de concentración de:

$$C_{\text{máx}} = 60.74$$

Fijado este valor, se evaluó la conveniencia de las dimensiones del colector en cuanto a diámetro y profundidad del plato parabólico, mediante las ecuaciones:

$$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{8(f/D)}{16(f/D)^2 - 1} \right) \quad (25)$$

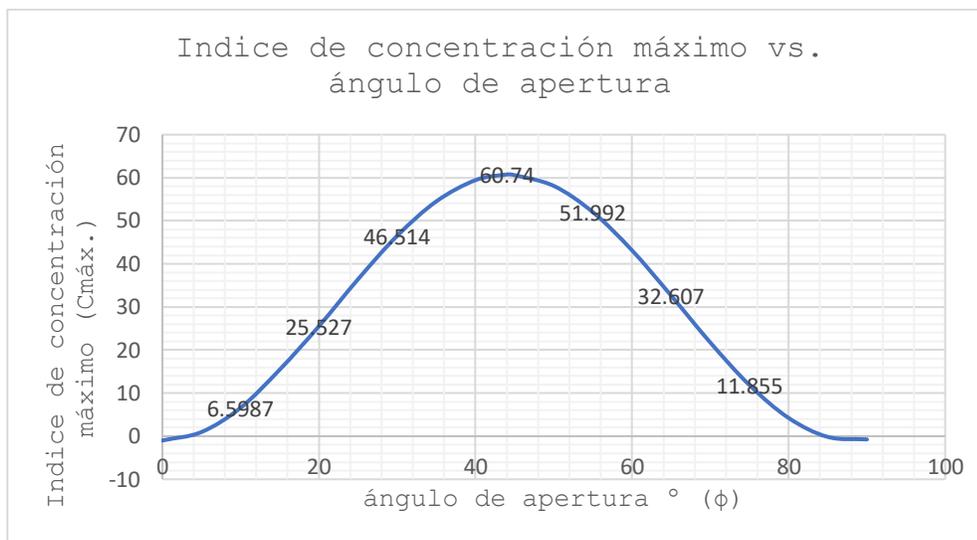


Figura 57. Gráfico para la obtención del ángulo de apertura óptimo.

Para el ángulo de apertura, con la que se obtiene la distancia focal asumiendo un diámetro, donde el término “f/D” se refiere a la relación entre la distancia focal entre el diámetro, y para la profundidad del plato:

$$h = \frac{D^2}{16f} \quad (26)$$

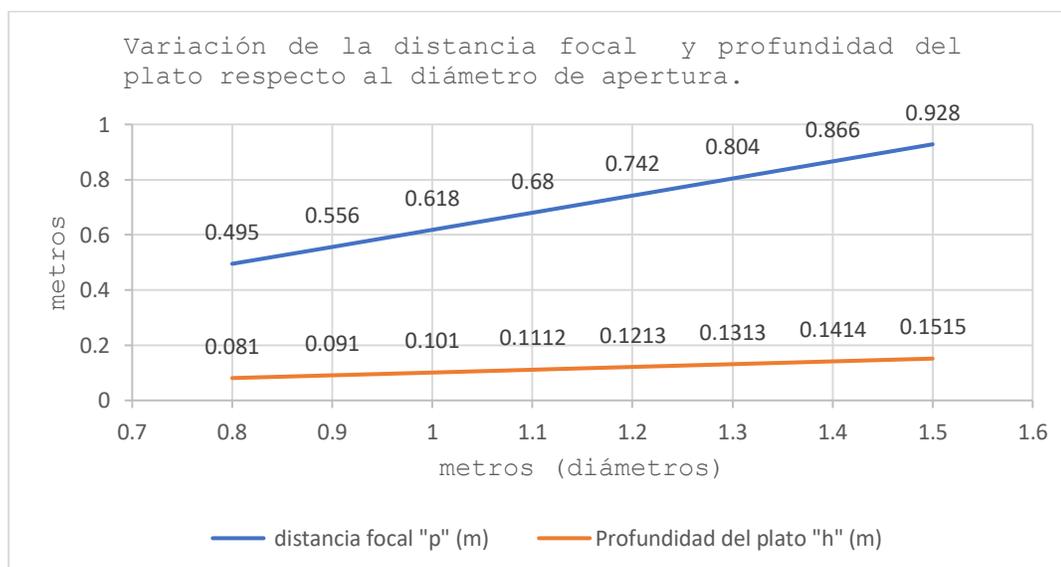


Figura 58. Distancia focal y profundidad vs. Diámetro del concentrador.

Como puede observarse en la gráfica de la Figura 58 se probó con diámetros que van desde los 80 centímetros hasta los 1.5 metros, ya que valores fuera de este rango resultan imprácticos para la aplicación requerida. A medida que el diámetro del concentrador se incrementa, la distancia focal también aumenta, así como su profundidad. Valores superiores a 1.5 metros de diámetro resultan en distancias focales mayores a un metro, lo que dificulta el manejo del colector puesto que debe existir cierta altura razonable para que se pueda colocar y retirar de forma cómoda el recipiente que servirá de autoclave sobre el foco, que estaría demasiado alto, además de que el tamaño sería demasiado grande y su peso se incrementaría, y hay que recordar que su orientación será de forma manual. En contraposición, tamaños menores a un metro, no permitirían aprovechar al máximo la irradiancia solar incidente, puesto que la sombra que proyecta el recipiente disminuye el área efectiva de captación del concentrador.

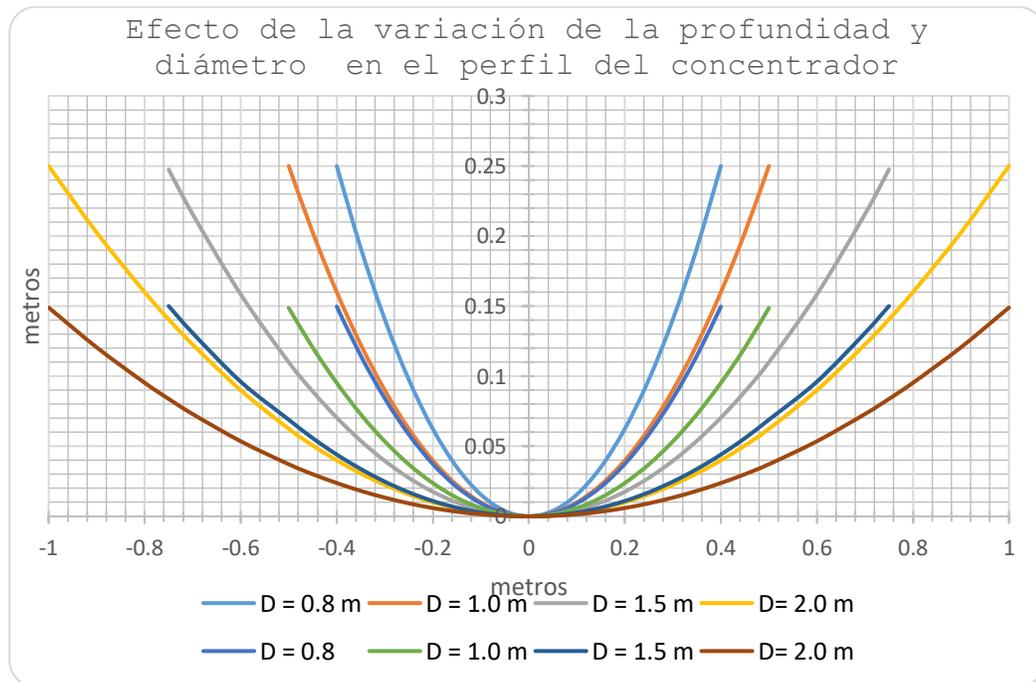


Figura 59. Variación del perfil del concentrador para diversos diámetros y profundidades.

Otro aspecto importante es que, para un diámetro fijo en particular, el incremento o decremento de la profundidad modificaría la curvatura del perfil

parabólico y conlleva a alterar el ángulo de apertura  $\phi$ , y por lo tanto el índice de concentración, así que este debe mantenerse constante. Finalmente, de todo lo observado anteriormente se concluye que la configuración más favorable es la de diámetro:  $D = 1.2$  m y profundidad de:  $h = 12.1$  cm, por tener dimensiones bastante conservadoras en cuanto a diámetro y distancia focal, y se procedió a calcular los parámetros restantes.

- El radio de borde;  $r = \frac{2f}{1+\cos\phi} = 0.863$  m
- Distancia focal,  $f = \frac{D}{4\tan(\frac{\phi}{2})} = 0.742$  m
- La relación distancia focal a diámetro de apertura;  $\frac{f}{D} = 0.62$

El ancho de la imagen proyectada en el foco, se calculó mediante:

$$W = \frac{2r\text{sen}\left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\delta}{2}\right)}{\cos\left(\phi + \frac{\alpha}{2} + \frac{\delta}{2}\right)} = 7.63 \text{ cm}$$

Luego se obtuvo la ecuación que caracteriza el perfil parabólico del concentrador en un plano con coordenadas “x” e “y”, de acuerdo a la ecuación 6:

$$x^2 = 4fy$$

Con la distancia focal obtenida, resulta ser:

$$y = 0.3378x^2$$

El área de apertura del concentrador es:

$$A_a = \frac{\pi D^2}{4} = 1.13 \text{ m}^2$$

Y el área superficial, de acuerdo al método de superficies de revolución, considerando los límites de  $a = 0$ ,  $b = 0.6$  y diferenciado la función  $y = 0.3378x^2$  la cual resulta en  $\frac{dy}{dx} = 0.6756x$ ; se obtiene:

$$A_s = 2\pi \int_a^b r(x) \sqrt{1 + \left[\frac{dy}{dx}\right]^2} dx = 1.18 \text{ m}^2$$

Sobre esta superficie debe colocarse un material reflejante, como opciones disponibles para ello se consideraron tres: Espejos, Mylar y ReflecTech. El Mylar es una película de poliestireno con una fina capa de aluminio depositada sobre ella, y que tiene diversas aplicaciones. Se opta por usar el ReflecTech el cual es un material reflectante, hecho de una película de plateada irrompible, sin vidrio, altamente reflectante, flexible, a base de polímero usada para concentrar la luz solar en aplicaciones propiamente de energía solar.

## 12.0. ANÁLISIS DE ENERGÍA

Realizando un balance de energía puede calcularse cuál es la potencia disponible para realizar el proceso de esterilización y poder determinar la tasa de generación de vapor, entre otros parámetros. Considérese la Figura 60 de la cual se plantea que:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{entra}} &= \dot{Q}_{\text{sale}} \\ \dot{Q}_{\text{entra}} &= \dot{Q}_{\text{abs}} + \dot{Q}_{\text{perd}} = (\dot{Q}_{\text{recep}} + \dot{Q}_{\text{disp}}) + (\dot{Q}_{\text{conv}} + \dot{Q}_{\text{rad}}) \end{aligned}$$

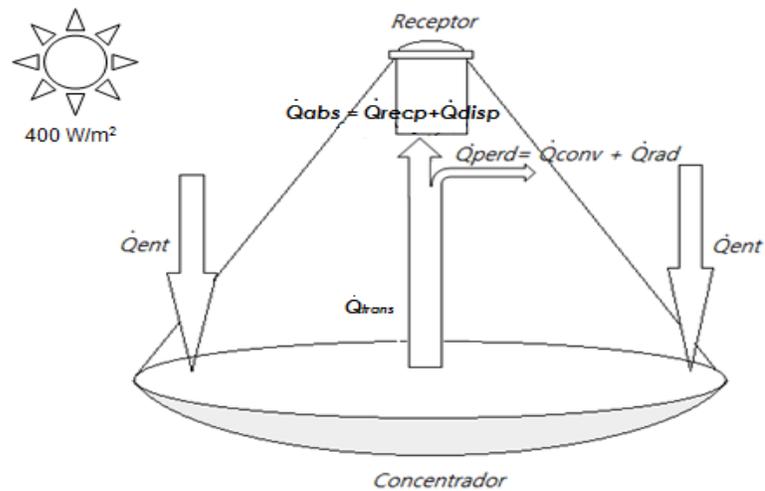


Figura 60. Balance de energía en el sistema concentrador-cámara de esterilización.

Es decir que de la potencia captada por el colector que proviene del sol ( $\dot{Q}_{entra}$ ), al incidir y reflejarse en el concentrador sufrirá inicialmente una pérdida de acuerdo a las características ópticas de la superficie de este. Luego esta potencia se dirige al receptor (cámara de esterilización) donde también se presentarán pérdidas por transferencia de calor tanto por conducción, radiación y convección, de lo que resta parte se disipa en calentar el recipiente y el resto es lo que realmente estará disponible para calentar el agua y generar el vapor.

La potencia de irradiancia solar tomada para este análisis es de  $G = 400\text{W/m}^2$ , menor que la obtenida durante la toma de datos, para considerar el peor de los escenarios; y cabe aclarar que durante la en condiciones normales de operación los valores serán superiores a estos.

Para obtener el área neta de captación del concentrador, hay que descontar al área de apertura  $A_a$ , el área de sombra proyectada por el receptor, el cual en su base tiene 28 cm de diámetro, por lo que tiene un área de:

$$A_r = \frac{\pi * D_r^2}{4} = 0.057 \text{ m}^2$$

El área neta de captación en el concentrador es:

$$A_{\text{net}} = A_a - A_r = 1.13 - 0.057 = 1.073 \text{ m}^2$$

La potencia total captada por el colector es:

$$\dot{Q}_{\text{ent}} = A_{\text{net}} * G = 1.073 * 400 = 429.2 \text{ W} \quad (27)$$

Entonces la potencia transmitida por el concentrador hacia el receptor es:

$$\dot{Q}_{\text{trans}} = A_a \rho \alpha_r S G \quad (28)$$

Donde:

$\rho=0.94$ ; Reflectividad del material (ReflecTech)

$\alpha=0.91$ ; Absorbitividad del receptor, superficie con pintura color negro (marca: Rust Oleum highheat)

S; Factor de sombra

G; Irradiancia

Tabla 17. Reflectancias de algunos materiales.

Material	Reflectancia $\rho$
ReflecTech®	0.94
Vidrio con sustrato plateado de baja reflectancia	0.94
Plata galvanizada, nueva	0.96
Aluminio de alta pureza, nuevo y limpio	0.91
Reflector óptico de aluminio pulverizado	0.89
Aluminio procesado, alta pureza	0.89
Placa de vidrio plateado, nuevo y limpio	0.88
Capa de Al, SiO, limpia	0.87
Hoja de aluminio, 99.5% de pureza	0.86

Material	Reflectancia
Acrílico 3M con sustrato aluminizado, nuevo	0.85
Mylar	0.83
Espejo de vidrio de 2 mm	0.79
Espejo de vidrio de 3 mm	0.75
Espejo de vidrio de 4 mm	0.71
Chapa galvanizada	0.58
Acero inoxidable	0.57

Fuente: Solar engineering of thermal processes 4ªEd. Pag 198. (Duffie y Beckman) y Estudio de materiales reflectivos para concentradores solares (R. Echazú, C. Cadena y L. Saravia)

El factor de sombra se determina según:  $S = \frac{A_a - A_r}{A_a} = 0.95$

Entonces:

$$\dot{Q}_{\text{trans}} = 1.13 * 0.94 * 0.91 * 0.95 * 400 = 367.31 \text{ W}$$

### 12.1. Pérdidas por transferencia de calor

En el recipiente de esterilización, en este caso el absorbedor del colector, ocurren pérdidas hacia el ambiente debido a que toda superficie expuesta se ve afectada por los mecanismos de transferencia de calor, por radiación, así como por convección. Los efectos de la convección y radiación pueden modelarse bajo un símil termo-eléctrico como un par de resistencias en paralelo por las que transita el flujo de energía (calor) impulsado por una diferencia de temperaturas.

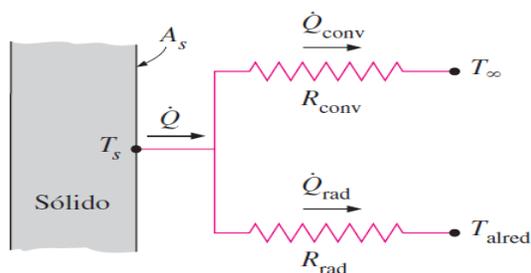


Figura 61. Analogía termo-eléctrica de los efectos de la radiación y convección; como un par de resistencias en paralelo.

La resistencia de convección es la resistencia térmica de la superficie (A) contra la convección de calor, y viene dada por:

$$R_{\text{conv}} = \frac{1}{h_{\text{conv}}A} \text{ (K/W)}$$

Mientras que la resistencia por radiación es la resistencia térmica de una superficie (A) contra la radiación, esta se expresa mediante:

$$R_{\text{rad}} = \frac{1}{h_{\text{rad}}A} \text{ (K/W)}$$

Para poder calcular estas pérdidas se hace necesario calcular el coeficiente global de pérdidas por calor que combina ambos efectos. Los términos anteriores;  $h_{\text{rad}}$  y  $h_{\text{conv}}$  son los coeficientes de transferencia de calor por radiación y convección respectivamente.

La potencia que se pierde en la cámara de esterilización, se calcula de acuerdo:

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = A_r U_L [T - T_a] \quad (29)$$

Donde:

$A_r$ : Es el área del receptor

$U_L$ : Coeficiente global de pérdidas por transferencia de calor

T: Temperatura de funcionamiento

$T_a$ : Temperatura ambiente

Para poder calcular estas pérdidas se hace necesario calcular el coeficiente global de pérdidas por calor  $U_1$  que combina los efectos de convección y radiación de acuerdo a:

$$U_1 = \left[ \frac{1}{h_{\text{conv}} + h_{\text{rad}}} \right]^{-1} \quad (30)$$

El coeficiente de transferencia de calor por radiación es:

$$h_{\text{rad}} = 4\sigma\varepsilon_r T_a^3 = 6.31 \frac{W}{m^2K}$$

Donde:

$\sigma$ : Constante de Steffan Boltzmann ( $\sigma = 5.6697 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$ )

$\varepsilon_r$ : Emisividad del receptor

$T_a$ : Temperatura del aire ambiente.

En este caso  $\varepsilon_r = 0.91$ , suponiendo una capa de pintura negra y  $T_a = 30^\circ\text{C}$  (303.15 K). El coeficiente de transferencia de calor por convección:

$$h_{\text{conv}} = \frac{k_{\text{aire}}}{D_s} * Nu$$

Donde

$k_{\text{aire}}$ : es la conductividad térmica del aire

$D_s$ : el diámetro de la superficie expuesta

$Nu$ : es el número de Nusselt

Para determinar el número de Nusselt, primero hay que determinar el número de Reynolds ya que está en función de este, de acuerdo a [6]:

- $Nu = 0.4 + 0.54Re^{0.52}$ ; Si  $0.1 < Re < 1000$ ;
- $Nu = 0.3Re^{0.6}$ ; Si  $1000 < Re < 50000$ ;

El número de Reynolds es:

$$Re = \frac{V_{\text{aire}} * D_s}{\gamma_{\text{aire}}} \quad (31)$$

Donde:

El diámetro de la superficie expuesta es;  $D_s = 0.27 \text{ m}$

La velocidad del viento;  $V_{\text{aire}} = 2.13 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  ( $7.6 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ ) (de registros meteorológicos)

La viscosidad cinemática del aire a  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\gamma_{\text{aire}} = 1.608 * 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$

Sustituyendo, resulta:  $Re = 35,765$ .

Cuyo valor se encuentra en el rango de los 1,000 a 50,000 por lo que se utiliza la segunda ecuación:

$$N_u = 0.3R_e^{0.6} = 161.88 \quad (32)$$

Tomando de tablas, la conductividad térmica del aire a  $30^\circ\text{C}$ :

$$K_{\text{aire}} = 0.02588 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}}$$

Finalmente, el coeficiente de transferencia por convección es:

$$h_{\text{conv}} = \frac{K_{\text{aire}} * N_u}{D_s} = 15.52 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Entonces, sustituyendo; el valor del coeficiente de pérdidas por calor es:

$$U_L = \left[ \frac{1}{h_{\text{rad}} + h_{\text{conv}}} \right]^{-1} = 21.83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Teniendo el valor del coeficiente de pérdidas por calor, la temperatura de trabajo es 121°C y la temperatura ambiente de 30°C, las pérdidas de energía del colector serían:

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = A_r U_L [T - T_a]$$

$$\dot{Q}_{\text{perd}} = 0.057 \text{ m}^2 * 21.83 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} [394.15\text{K} - 303.15 \text{ K}] = 112 \text{ W}$$

## 12.2. Potencia absorbida por el cuerpo del recipiente

Parte de la energía que llega al receptor (recipiente) será absorbida por el material del cual está fabricado, entonces tenemos:

$$Q_{\text{recep}} = m C_p \Delta T$$

Donde:

m: Masa del recipiente

$C_p$ : Calor específico es 477J/Kg-K para el acero inoxidable 304

$\Delta T$ : El delta de temperatura es: 121.1°C – 30°C = 91.1°C (ó K)

La masa del recipiente puede calcularse de acuerdo a la relación entre la densidad del material, su masa y volumen:  $\rho = \frac{m}{V}$

Por lo que se hace necesario calcular el volumen del recipiente, este puede dividirse en tres partes para esto: fondo; cuerpo cilíndrico y tapa. El espesor de la lámina a utilizar es de  $t = 1.5 \text{ mm}$

Volumen del cilindro:

$$V_c = 2\pi r L t = 2\pi * 0.135 * 0.33 * 0.0015 = 4.2 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

Volumen del fondo:

$$V_f = \pi r^2 h = \pi * 0.135^2 * 0.0015 = 8.58 * 10^{-5} \text{ m}^3$$

Volumen de la tapa:

$$V_t = \frac{1}{6} \pi h(h^2 + 3r^2) = 7 * 10^{-5} \text{m}^3$$

Volumen total del recipiente:

$$V_t = V_c + V_f + V_t = 4.2 * 10^{-4} + 8.58 * 10^{-5} + 7 * 10^{-5} = 5.758 * 10^{-4} \text{m}^3$$

La densidad del acero inoxidable 304 es  $\rho = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$

Y la masa del recipiente es:

$$m = \rho V_t = 7900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 5.76 * 10^{-4} \text{m}^3 = 4.55 \text{ kg (10 libras)}$$

La energía absorbida por el recipiente es:

$$Q_{\text{recep}} = m C_p \Delta T = 4.55 \text{kg} * 477 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} * 91 \text{ K} = 197,501.85 \text{ J}$$

Como el proceso total de esterilización tendrá una duración de 1 hora con 30 minutos, la potencia absorbida por el recipiente será:

$$\dot{Q}_{\text{recep}} = \frac{197,501.85 \text{ J}}{5400 \text{ s}} = 36.57 \text{ W}$$

### 12.3. Potencia disponible para el proceso

Retomando el balance de energía

$$\dot{Q}_{\text{trans}} = \dot{Q}_{\text{abs}} + \dot{Q}_{\text{perd}}$$

Despejando, obtenemos la energía absorbida por el receptor, al descontar las pérdidas:

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = \dot{Q}_{\text{trans}} - \dot{Q}_{\text{perd}} = 367.31 - 112 = 255.31 \text{ W}$$

A esta cantidad hay que descontar también lo que absorbe el recipiente, resultando finalmente la potencia disponible para calentar el agua de la cámara:

$$\dot{Q}_{\text{abs}} = \dot{Q}_{\text{disp}} + \dot{Q}_{\text{recep}}$$

$$\dot{Q}_{\text{disp}} = \dot{Q}_{\text{abs}} - \dot{Q}_{\text{recep}} = 255.31 - 36.57 = 218.74\text{W}$$

#### 12.4. Tasa de evaporación

Con la potencia disponible para el proceso puede calcularse la tasa de evaporación:

$$\dot{Q}_{\text{disp}} = \dot{m}C_p\Delta T + \dot{m}h_{\text{fg}}$$

Despejando:

$$\dot{m} = \left( \frac{\dot{Q}_{\text{disp}}}{C_p\Delta T + h_{\text{fg}}} \right)$$

Donde:

$h_{\text{fg}} = 2198.24 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ ; es la entalpía de evaporación del agua a 121°C.

$C_p = 4.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}}$ ; es el calor específico a presión constante, para el agua

$\Delta T = (121.1 - 30) = 91.1^\circ\text{C}$  (K); cambio de temperatura

$\dot{Q}_{\text{disp}} = 0.21874 \frac{\text{kJ}}{\text{seg}}$ ; la potencia disponible

Sustituyendo tenemos:

$$\dot{m} = 8.43 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Por lo que en el periodo de 1 hora y 30 minutos que dura el proceso se generarían una cantidad de vapor de:

$$m = 8.43 * 10^{-5} \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 5400\text{s} = 0.45522 \text{ kg}$$

## 12.5. Temperatura y eficiencia estimada

Con los parámetros anteriormente definidos, puede calcularse la eficiencia térmica instantánea del sistema:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{sal}}{A_a G} * 100$$

En este caso  $\dot{Q}_{sal}$  se refiere a la potencia ya libre de pérdidas que está disponible para realizar el proceso, es decir el término  $\dot{Q}_{sal} = \dot{Q}_{disp} = 218.74$  W, el área de apertura del concentrador  $A_a = 1.13\text{m}^2$  y G es la irradiancia solar tomada para estos cálculos de  $400 \text{ W/m}^2$ , sustituyendo resulta:

$$\eta = 48.35\%$$

Mientras que la eficiencia óptica del sistema, combina las propiedades ópticas del concentrador y el receptor, y está dada por la ecuación:

$$\eta_o = \alpha\rho\tau S$$

Donde:

$\alpha = 0.91$ ; es la absorptancia del receptor (capa de pintura negra)

$\rho = 0.94$ ; Es la reflectancia del material de la superficie del concentrador (Reflec-Tech)

$\tau = 1$ ; Es la transmitancia de la capa que recubre el material reflectante del concentrador, en caso de existir. (en este caso no existe, por lo que toma el valor de 1)

$S=0.95$ ; es el factor de sombra

Sustituyendo:

$$\eta_o = 0.812 \text{ ó } 81.2\%$$

Ahora haciendo uso de la siguiente ecuación empírica [2] puede determinarse la temperatura promedio estimada a alcanzar:

$$T_{\text{prom}} = \frac{T_{\text{amb}} + T_{\text{sol}} \left[ (1 - \eta) * \frac{\eta_o C_{\text{máx}}}{46311 * \epsilon_r} \right]}{2} \quad (33)$$

Donde:

$T_a$ : Es la temperatura ambiente, en este caso de toma 30°C (303.15 K)

$T_{\text{sol}}$ : Es la Temperatura aproximada del sol (5727°C = 6000 K)

$C_{\text{máx}}$ : Relación de concentración máximo (Considerando la desviación especular de los rayos del sol, tomando  $\delta = 3^\circ$ ,  $C_{\text{máx}} = 61$ )

$\eta_o$ : La eficiencia óptica del colector

$\eta$ : Eficiencia del colector (El rango de eficiencia en este tipo de colectores, está entre 0.4 a 0.6)

$\epsilon_r$ : Emisividad del absorbedor, (Se considera de 0.91)

Sustituyendo, resulta:  $T_{\text{prom}} = 153.35^\circ\text{C}$

### 13.0. VOLUMEN DE OPERACIÓN DE LA CÁMARA DE ESTERILIZACIÓN

De acuerdo a recomendaciones y observaciones realizadas en algunos modelos de esterilizadores del tipo de cámara cilíndrica vertical sin generador de vapor externo, se consideró un volumen de operación de agua correspondiente al 6% del volumen total de la cámara. Anteriormente ya se determinó el volumen total de la cámara en 22.5 litros.

Entonces corresponde:  $V_{6\%} = 19.76(0.06) = 1.19$  litros

Esta es la cantidad de líquido que debe agregarse al interior de la cámara, lo que sobre el cuerpo cilíndrico principal correspondería a una altura  $h$  que se determina a partir del volumen del cilindro:

$$V = \pi r^2 h$$

Despejando, y convirtiendo este volumen a metros cúbicos:

$$1.19 \text{ l} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} = 0.00119 \text{ m}^3$$

$$0.00119 = \pi(0.135)^2 h$$

$$h = 2.07 \text{ cm}$$

Sin embargo, hay que tener en cuenta la tasa de evaporación de esta cantidad de líquido durante el tiempo que dure el proceso. Descontando la masa anteriormente que se ha proyectado que se evapore y teniendo en cuenta que para el agua:

$$m = \rho V = \frac{1000 \text{ kg}}{\text{m}^3} * 0.00119 \text{ m}^3 = 1.19 \text{ kg}$$

1.35 litros de agua líquida equivale a 1.35 kg de agua, se tiene:

$$\Delta m = 1.19 - 0.45522 = 0.735 \text{ kg}$$

Entonces 0.735 kg de agua es lo que quedará al final del proceso, se verifica la altura de agua (o nivel) con que contaría en ese entonces haciendo la misma consideración que  $0.735 \text{ kg} = 0.735 \text{ l}$ .

$$V = \pi r^2 h'$$

$$h' = \frac{V}{\pi r^2} = \frac{(7.35 * 10^{-4})}{\pi * 0.135^2} = 1.28 \text{ cm}$$

Y la diferencia de alturas del nivel del agua entre el inicio y el final es:

$$\Delta h = 2.07 - 1.28 = 0.79 \text{ cm}$$

Hay que tener en cuenta que cierta cantidad de vapor se perderá, al momento de la evacuación del aire del interior de la cámara y que la tasa de evaporación será mayor a esta, ya que la irradiancia en la mayoría de veces será mayor a los  $400 \text{ W/m}^2$  que se han utilizado para estos cálculos. Así que se agregara un poco más de agua de la que inicialmente se mencionó, tras un análisis similar finalmente se determinó que el volumen de operación de la cámara sería de:

$$V_{\text{cámara}} = 1.5 \text{ litros}$$

Y que corresponde a un nivel de agua de 2.5 cm de altura dentro de la cámara, produciéndose una diferencia de volumen de 0.45 litros al final del proceso y que se convertiría en un descenso del nivel del agua de 0.8 cm.

Hecha esta corrección este volumen de agua corresponde en realidad a:

$\%V = \frac{1.5}{19.76} * 100\% = 7.6\%$  del volumen total de la cámara, ligeramente superior al porcentaje previsto inicialmente de 6%.

## **14.0. ESTRUCTURA Y MECANISMO DE SEGUIMIENTO**

El equipo de esterilización formado por el concentrador y la cámara de esterilización, necesitan de una estructura de soporte, que al mismo tiempo permita ajustar su posición para el óptimo aprovechamiento de la energía solar. El mecanismo de seguimiento elegido para el concentrador es del tipo manual, ya que se busca que este sea sencillo de operar y no incurrir en altos costos en su fabricación, logrando así que además no dependa de fuentes de energía adicionales para su operación tales, como motores eléctricos, baterías, dispositivos hidráulicos, electrónica para su control, etc. En cuanto a su estructura, comprende tres partes: la estructura de soporte principal (de todo el conjunto), la estructura o armazón para el concentrador parabólico y la estructura de soporte de la cámara de esterilización.

### **14.1. Estructura de soporte principal**

Soporta todo el conjunto: concentrador parabólico, cámara de esterilización, y el mecanismo de seguimiento. Está formado por dos marcos metálicos en forma de "A" unidos por su parte inferior a ambos lados, utilizando como material para todo esto tubo estructural cuadrado de 1 pulgada, chapa 14.

Las dimensiones de la estructura son las siguientes: largo 1.77 m, alto 1.4 m y ancho 0.6 m. En la parte superior de los marcos se colocan dos placas de  $\frac{1}{4}$  pulgada de espesor soldadas al contorno del marco, sobre la que se perforan un agujero de  $\frac{1}{2}$  pulgada en cada una de ellas, para sujetar el concentrador mediante pernos y lo que le permite pivotar sobre estos puntos. Además, en una de las placas contará con un canal en forma de arco que sirve de guía para el movimiento del concentrador parabólico y a la vez de indicador de cuántos grados se ha girado este.

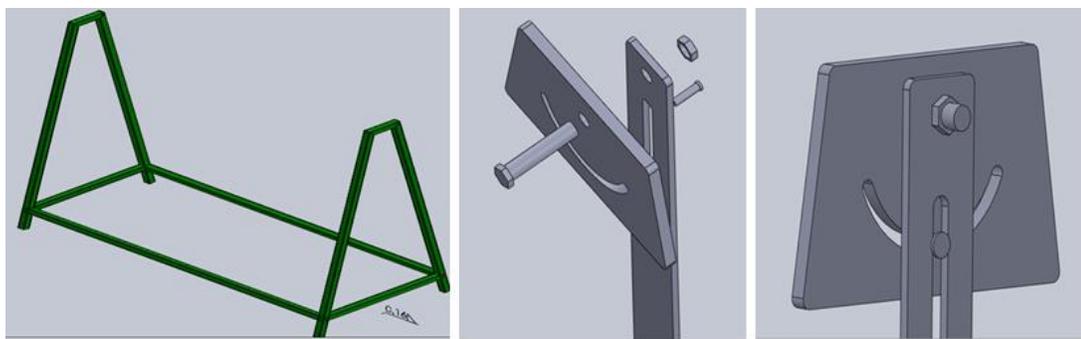


Figura 62. Esquema de la estructura de soporte principal y detalle de una de las placas de soporte.

Para soportar la estructura de la cámara de esterilización, en la cara interior de la parte superior de los marcos se suelda a cada una, un platina en ángulo sobre la que se perforará un agujero acanalado para que pueda ser fijada mediante pernos y permita tener margen de ajuste sobre el punto focal proyectado por el concentrador, al momento de instalar la cámara de esterilización.

## 14.2. Estructura del concentrador

El concentrador parabólico estará soportado por una armazón de tubo metálico redondo de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro, constituido de un aro de 1.2 metros de

diámetro y ocho brazos con el perfil parabólico determinado según la ecuación obtenida, todo unido mediante soldadura.

En dos de sus extremos opuestos, se unen mediante soldadura dos platinas de 60 cm de largo y espesor de 3/16 pulgadas, a manera de brazos donde se perforan agujeros de ½ pulgada en su parte superior, para poder sujetarlo a la estructura de soporte principal mediante pernos colocados en las placas que se mencionaron en el apartado anterior. Sobre el aro se coloca un asa, que servirá para manipular el concentrador ya sea con las manos o con el mecanismo de movimiento, también se coloca sobre un extremo del aro, una pequeña placa con un pin perpendicular a ésta, de manera que funcione como indicador visual para el posicionamiento del colector, así cuando el pin no arroje ninguna sombra sobre la placa se sabrá que la orientación del concentrador es la correcta.

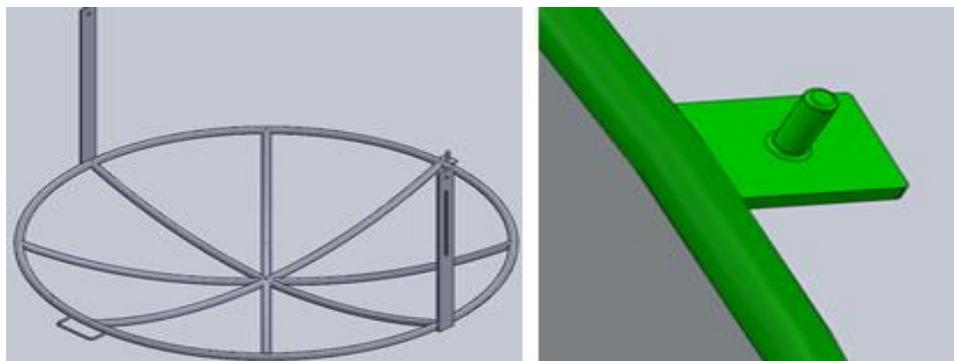


Figura 63. Estructura de soporte del concentrador y detalle del indicador de posición.

### 14.3. Estructura de soporte de la cámara de esterilización

Esta estará constituida en sí de dos partes: una canasta sobre la que descansa el recipiente y dos brazos que se acoplan a la canasta, y estos a la vez a la estructura de soporte principal. La canasta está formada por dos aros de 28 cm de diámetro unidos por cuatro varillas de 13 cm de longitud. En dos de estas

varillas se colocan dos pares de pernos de  $\frac{1}{4}$  de pulgada para unirlos a los brazos de sujeción.

Los brazos de sujeción se fabrican con tubo estructural cuadrado de 1 pulgada, chapa 14, estos tendrán forma de "L". En uno de sus extremos se perforan agujeros de  $\frac{1}{4}$  pulgadas de diámetro para poder sujetarlo mediante pernos a los ángulos de la estructura principal. Mientras que en el otro extremo un corte en ranura permite sujetar la canasta y tener también margen de ajuste sobre el punto focal, al momento de la instalación del equipo.

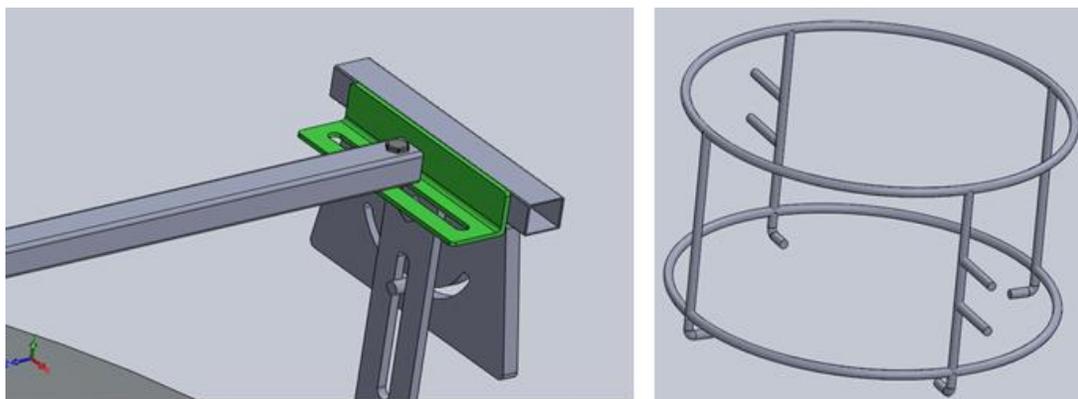


Figura 64. Esquema de la platina y de la canasta de soporte de la estructura para la cámara de esterilización.

#### 14.4. Mecanismo de seguimiento

El colector necesitará ajustar su posición con el tiempo, para el correcto aprovechamiento de la energía solar, el posicionamiento del movimiento aparente del sol sobre la superficie de la tierra puede definirse por dos coordenadas angulares: el azimut y la altura. Entonces el equipo debe poder posicionarse de acuerdo a estos ángulos.

Para esto el concentrador parabólico se sujeta por medio de dos brazos en sus extremos que se acoplan a la estructura de soporte del equipo mediante pernos, de manera que le permitan pivotar con respecto a su punto de sujeción, logrando modificar su posición a medida que varía la altura del sol a lo largo del día. Por otra parte, para ajustar la posición del colector en el plano azimutal, la estructura de soporte del colector dispone de rodos giratorios en sus patas permitiendo girar todo el conjunto, a medida que también se corrige la altura.

En sí el mecanismo de seguimiento está conformado por un tubo que hace de rodillo sobre el que se enrolla una cuerda que en uno de sus extremos se ata a la manecilla instalada a la estructura del concentrador parabólico. Para hacer girar el tubo se le acopla una manivela, el tubo apoyado en sus extremos sobre dos piezas de tubo en las que calza interiormente el rodillo permiten realizar el movimiento, estas piezas están unidas a la estructura de soporte principal en la parte inferior. Para el aseguramiento de la posición, cuenta con un sistema de bloqueo de trinquete que evitará que el concentrador se mueva debido a su propio peso.

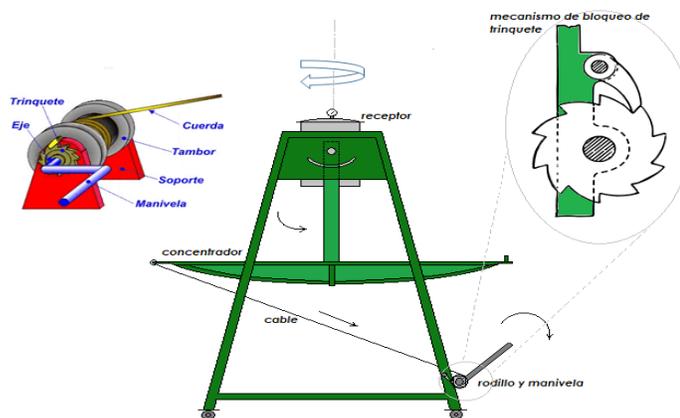


Figura 65. Esquema del principio de funcionamiento del mecanismo de seguimiento a usar.

### 14.4.1. Movimiento

Se tomaron en cuenta las posiciones en el horario de funcionamiento estimado para el esterilizador, de 8:00 am a 2:00 pm, y en las fechas de máximos y mínimos valores de posición, estas son: el Solsticio de invierno, el 21 de diciembre; el equinoccio de primavera el 20 de marzo; el solsticio de verano, el 21 de junio; y el equinoccio de otoño, el 23 de septiembre (denominaciones para el hemisferio norte), obteniéndose los datos mostrados en las figuras 66 y 67.

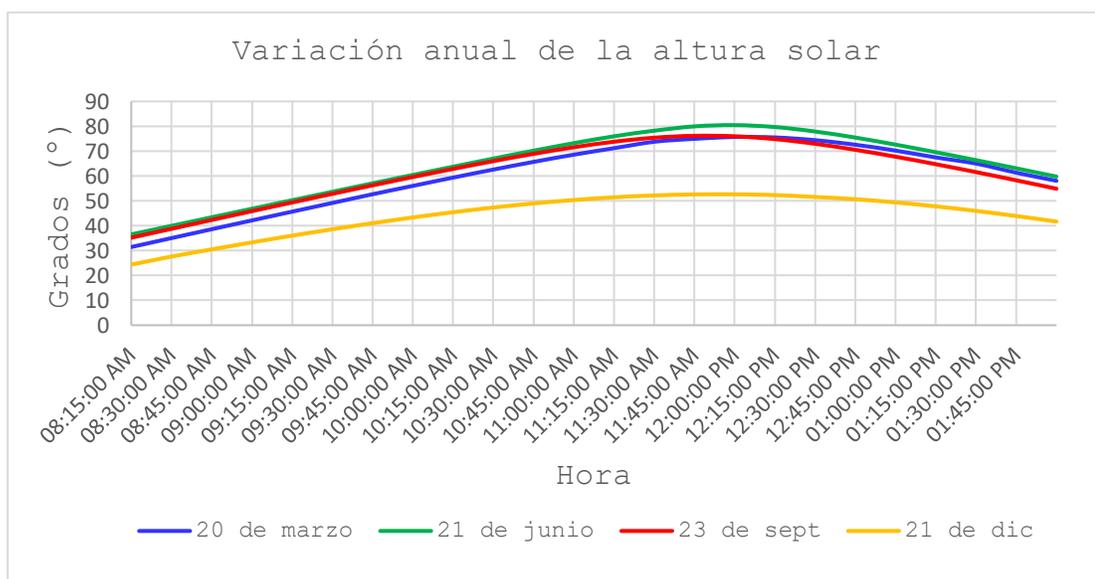


Figura 66. Variación anual de la altura solar.

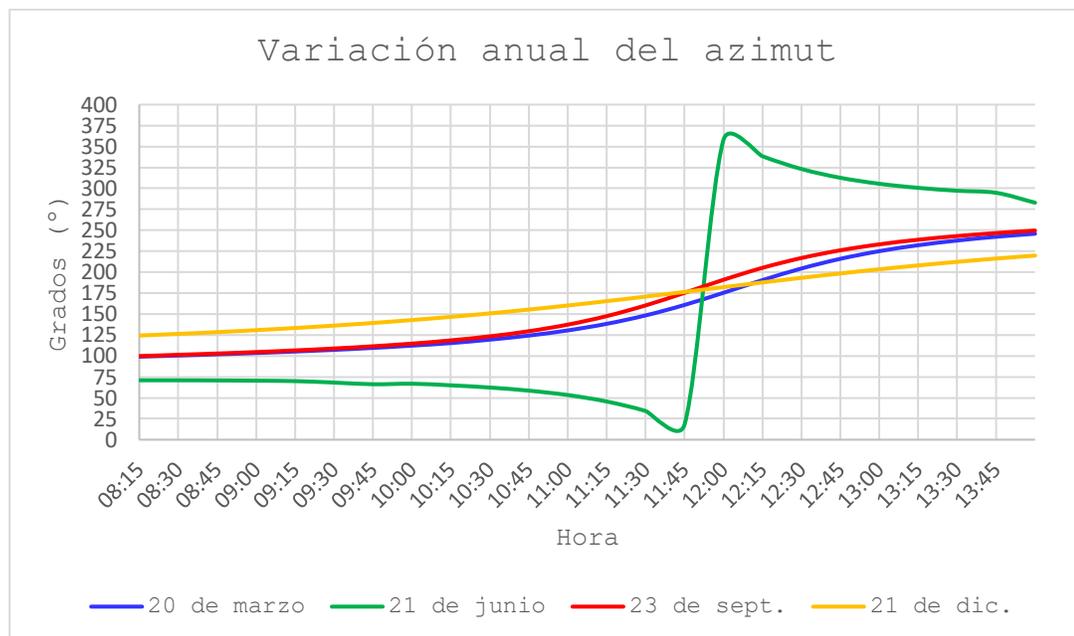


Figura 67. Variación anual del azimut.

Las posiciones más bajas de altura durante el año, en el lapso de estudio se dan el día 21 de diciembre a las 8:15 AM, con  $24.36^\circ$ , mientras que a las 2:00 PM está situado a  $41.68^\circ$ , mientras que la mayor altura se da el 21 de junio con  $36.52^\circ$  y  $59.76^\circ$  para las mismas horas ya mencionadas. Las posiciones más bajas de altura durante el año se dan el día 21 de diciembre a las 8:15 AM, con  $24.36^\circ$ , mientras que a las 2:00 PM está situado a  $41.68^\circ$ , mientras que la mayor altura se da el 21 de junio con  $36.52^\circ$  y  $59.76^\circ$  para las mismas horas ya mencionadas.

Los valores de azimut están tomados desde el norte como referencia con ángulo  $0^\circ$  en sentido horario, la variación máxima observada se da para el 23 de septiembre con un recorrido angular de  $149.74^\circ$  en el periodo previsto que funcione del equipo y el menor se da también el 21 de diciembre coincidiendo con el menor valor de altura solar, presentando en este caso un recorrido angular de  $95.4^\circ$  en el mismo periodo de tiempo. Aparte de estas fechas también, mención especial merecen las fechas 26 de abril y 15 de agosto donde se da el posicionamiento del sol sobre el zenit en nuestros cielos y donde se

alcanza en realidad la máxima altura a  $90^{\circ}$ , en este caso el concentrador estaría orientado horizontalmente a  $0^{\circ}$ , estas posiciones se observaron a las 11:55 a.m. y las 12:01 m respectivamente con las fechas durante el año 2019.

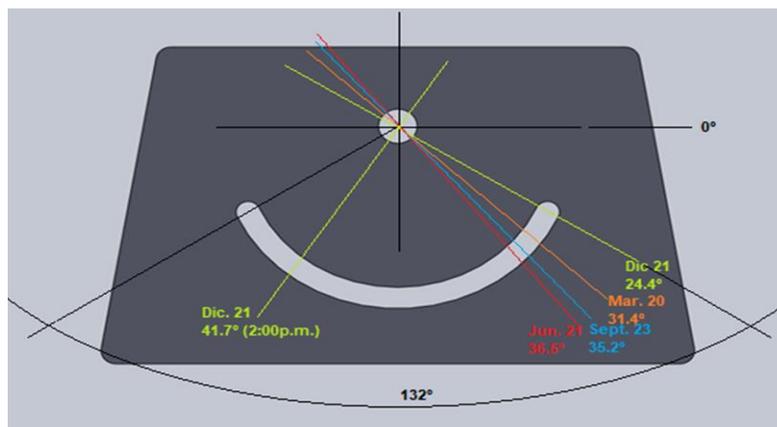


Figura 68. Esquema de las posiciones angulares trazadas para la generación del canal guía en la placa de soporte.

En base a estos datos se trazó el canal en forma de arco sobre la placa lateral de la estructura de soporte que servirá de guía para el movimiento para el ajuste de la altura, tomándose como posición crítica la observada el 21 de diciembre a las 8:15 a.m. ya que es la menor y todas las otras posiciones quedarían cubiertas tomando estos puntos como referencia, quedando restringido al movimiento a un arco de  $132^{\circ}$ , como se observa en la figura 66. El comportamiento en la variación angular instantánea de ambas coordenadas se tratará más adelante.

Para el movimiento azimutal también se demarcaron las posiciones y recorridos según estas fechas, vale mencionar que el ajuste de este ángulo se hará completamente manual girando todo el equipo. A manera de facilitar esta operación, al momento de la instalación definitiva del equipo en su sitio se sugiere que sería bastante conveniente demarcar sobre el piso un círculo con dichas posiciones y también instalar un pasador en el centro del círculo sobre

el que se acople la estructura principal para facilitar su rotación (como se muestra en la fig.70) y no tener movimientos laterales indeseados.

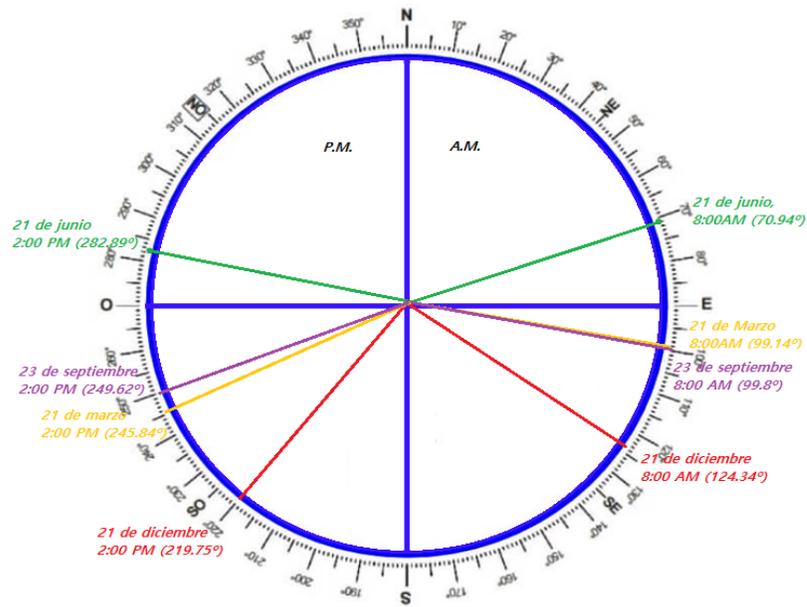


Figura 69. Posiciones y recorridos angulares máximos y mínimos en el plano azimutal previstos durante el año.

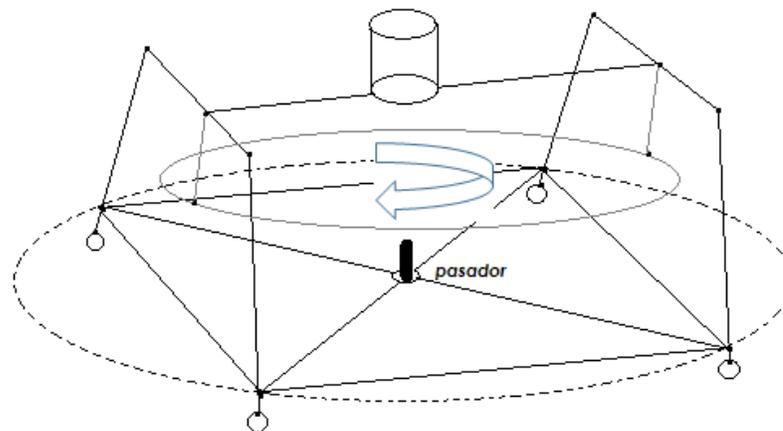


Figura 70. Esquema de alternativa para la fijación del equipo de esterilización.

## CAPÍTULO III

### 15.0. PROCESOS DE FABRICACIÓN UTILIZADOS

Los principales procesos utilizados en la fabricación del equipo de esterilización fueron los siguientes:

- Soldadura eléctrica de arco
- Soldadura oxiacetilénica
- Doblado
- Rolado
- Conformado en frío

#### 15.1. Soldadura eléctrica de arco con electrodo revestido

Este es un proceso de unión de masa en la que ocurre fusión gracias a la alta temperatura debida al establecimiento de un arco eléctrico entre las piezas metálicas a unir y el material de aporte, en este caso un electrodo. El calor necesario para fundir el electrodo y las piezas se genera por la resistencia eléctrica de ambos al paso de la corriente eléctrica al formar un circuito el equipo de soldadura con las piezas de trabajo.

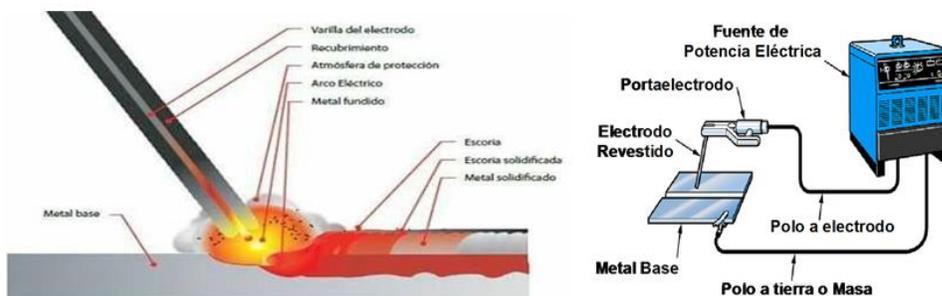


Figura 71. Esquema del proceso de soldadura eléctrica de arco con electrodo revestido y del circuito de trabajo.

Los electrodos revestidos son varillas metálicas forradas con un material compuesto de diversos productos químicos, minerales, ferroaleaciones, óxidos

metálicos, que sirven como elementos del circuito eléctrico para formar un arco entre su extremo y el metal base, y a la vez generan una atmósfera protectora a partir de la combustión de ciertos compuestos del revestimiento, evitando la oxidación de la unión soldada y que esta se enfríe bruscamente, entre otras cosas.

Para establecer un circuito de soldadura se debe contar con una fuente de energía eléctrica, una máquina de soldar que, aunque pueden existir de varios tipos y configuraciones básicamente es esencialmente un transformador eléctrico que regula la corriente que entra a la máquina de la red eléctrica, y eleva el amperaje en sus bornes de salida; además se requieren dos cables, uno para conectar el porta electrodo a una de los terminales de la máquina y el otro para conectar la pinza de tierra (polo a tierra) con las piezas y con el otro terminal.

## **15.2. Soldadura oxiacetilénica**

Este proceso de unión consiste en el uso de una llama dirigida por un soplete, obtenida por medio de la combustión de los gases oxígeno y acetileno, el intenso calor producido por la llama con una temperatura aproximada de 3500°C funde la superficie del metal base para formando una poza fundida, a medida que la llama se mueve a lo largo de la unión el metal base y el de aporte se solidifican para producir un cordón de soldadura entre las piezas. Este método de soldadura tiene como característica que en algunas ocasiones no hace falta utilizar material de aporte para unir las piezas, y también puede utilizarse para realizar cortes.

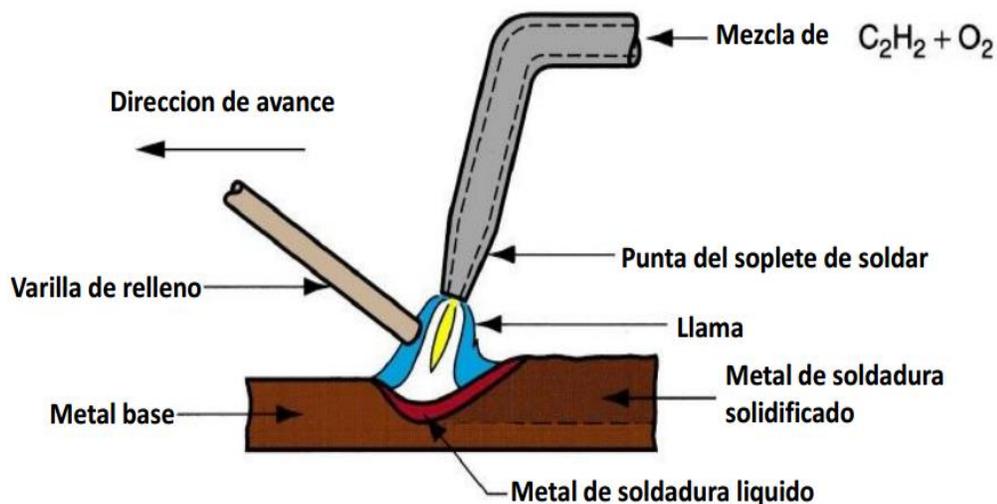


Figura 72. Esquema del proceso de soldadura oxiacetilénica.

El equipo de soldadura consta de una fuente de suministro de gas y oxígeno contenidos en tanques cilíndricos, reguladores para el control de la presión del gas, mangueras y soplete, este último es la parte más importante del equipo; este, mezcla y controla el paso de los gases para producir la llama requerida, un soplete está formado por un cuerpo con dos válvulas de admisión, las que permiten el paso de los gases hacia una cámara de mezclado, donde luego son conducidos por una boquilla hacia el exterior donde se produce la llama. Los reguladores de control son válvulas de reducción y cumplen dos funciones básicas que son: Reducir la presión de los tanques cilíndricos a un nivel aceptable para los sopletes y mantener una presión constante en estos.

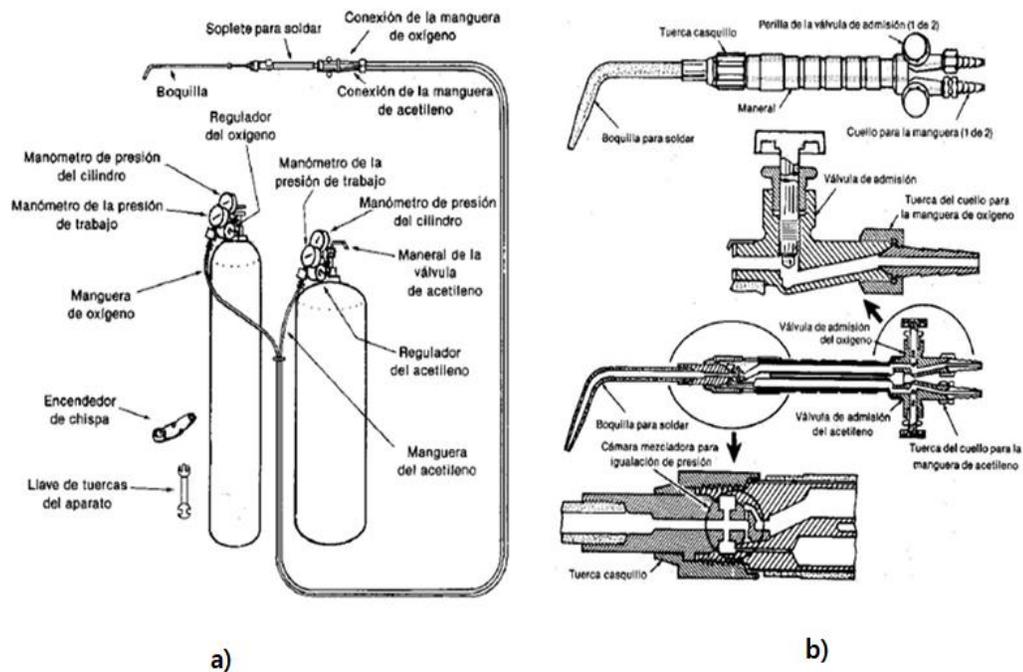


Figura 73. a) Equipo de soldadura oxiacetilénica y b) Detalle de un soplete para soldadura oxiacetilénica.

### 15.2.1. Oxicorte

La técnica de soldadura oxiacetilénica también puede utilizarse para realizar cortes de metales mediante su combustión local y en presencia de un chorro de oxígeno continuo, esto se logra cambiando el soplete convencional por uno especial. En condiciones normales, a temperatura ambiente, el acero en la atmósfera sufre un proceso de oxidación, que es lento y no combustible, dado que la proporción de oxígeno en la atmósfera se encuentra aproximadamente en un 20%. No obstante, si esta oxidación se realiza bajo una atmósfera de oxígeno (superior al 88%) y a temperatura que alcance la de combustión del acero este se hace combustible. Por lo tanto, para que exista oxicorte al metal se le debe calentar bajo una atmósfera adecuada, esto es una proyección de oxígeno puro, con lo que se consigue su quemado violento, y por tanto dará lugar al oxicorte.

La técnica del oxicorte comienza con un precalentamiento, para ello, con el soplete utilizando parte del oxígeno y el gas combustible crea una llama de precalentamiento formada por un anillo perimetral en la boquilla de corte. Acercando la llama de precalentamiento a la pieza, ésta se calienta hasta alcanzar la temperatura de combustión de aproximadamente 870°C. Una vez alcanzada la temperatura de ignición en la pieza, se actúa sobre el soplete para permitir la salida por el orificio central de la boquilla del chorro de oxígeno puro, con lo que se consigue enriquecer en oxígeno la atmósfera que rodea la pieza precalentada, y así, utilizando la llama de precalentamiento como agente iniciador, dar lugar a la combustión.

El óxido resultante de la combustión fluye por la ranura del corte, a la vez que sube la temperatura de las paredes, ayudando a mantener el proceso. La acción física del chorro de oxígeno ayuda a evacuar el óxido fundido y parte del acero de la pieza originando la ranura del corte. El equipo empleado para los procesos de oxicorte es muy similar al equipo de soldadura oxiacetilénica. La boquilla del soplete tiene una disposición especial de tal forma que permite canalizar el oxígeno por un lado con una válvula accionada por una palanca y la mezcla de oxígeno-acetileno por el otro.

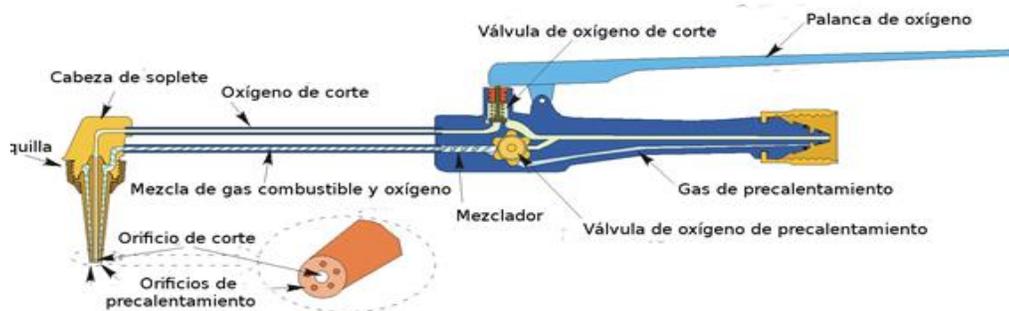


Figura 74. Soplete especial para oxicorte manual.

### 15.3. Doblado de tubos

El doblado o curvado de tubos es un proceso de conformado que consiste en realizar una deformación plástica a un tubo. Normalmente para esta operación se utilizan tubos de sección circular, aunque también es posible doblar perfiles rectangulares, cuadrados, sólidos o extruidos para adecuarse a las especificaciones del trabajo. Como el metal se deforma plásticamente, el doblado toma una forma permanente al remover los esfuerzos que lo causaron y durante la operación de doblado, el metal dentro del plano neutral se comprime, mientras que el metal por fuera del plano neutral se estira.

Para lograrlo se hace pasar el tubo por una máquina que consta de un conjunto de tres rodillos con arreglo piramidal, el rodillo superior puede moverse hacia arriba y abajo, con el fin de ajustar el radio de curvatura aplicando presión sobre el tubo, este ajuste se realiza por medio de un tornillo que actúa sobre el rodillo superior, mientras que los rodillos inferiores permiten conducir el movimiento a medida que giran, como se muestra en la figura 6. El movimiento de la máquina puede ser de manera manual o automática accionada por un motor

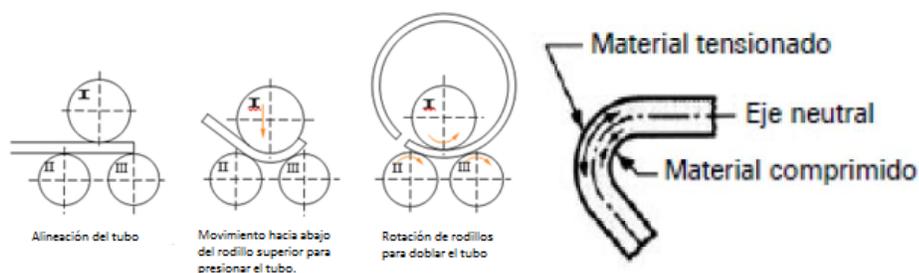


Figura 75. Proceso de doblado de tubos.

### 15.4. Rolado de lámina

Es una operación en la cual generalmente se forman piezas grandes de lámina metálica en secciones curvas por medio de rodillos. Cuando la lámina pasa entre los rodillos, éstos se colocan uno junto al otro en una configuración que

forma el radio de curvatura deseado en el trabajo, de manera similar al proceso anteriormente mencionado. Por este método se fabrican componentes para grandes tanques de almacenamiento y recipientes a presión, en el proceso de rolado uno de los materiales más utilizados es el acero inoxidable.

Las características que definen el producto que sale del rolado, son el diámetro del tubo y su espesor de pared. Una vez obtenida la forma tubular, los bordes son soldados para formar una sección cerrada.

El principio de operación de la máquina es idéntico a la máquina de doblado de tubos e igualmente se utilizan tres rodillos dispuestos en forma de pirámide por la que se hace pasar la lámina.

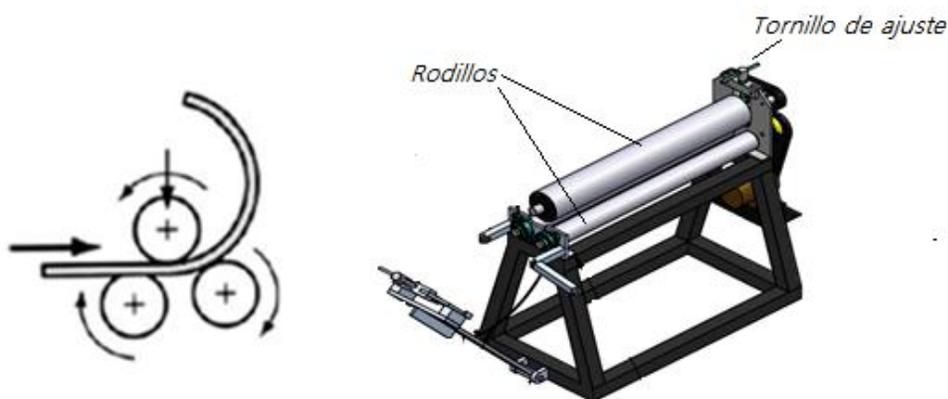


Figura 76. Esquema del proceso de rolado y esquema de una máquina típica de rolado.

### 15.5. Taladrado

El taladrado es un proceso de mecanizado que tiene por objeto producir agujeros cilíndricos en una pieza cualquiera. Se realiza mediante el taladro, que es una máquina en la cual la herramienta gira y está perpendicular a su mesa en la cual se sujeta la pieza a trabajar, la herramienta girando avanza colineal a su eje y penetra en el material.

Tienen dos movimientos: El de rotación de la broca que lo genera el motor eléctrico de la máquina a través de una transmisión por poleas y engranajes, y

el de avance de penetración de la broca, que puede realizarse de forma manual sensitiva o de forma automática.

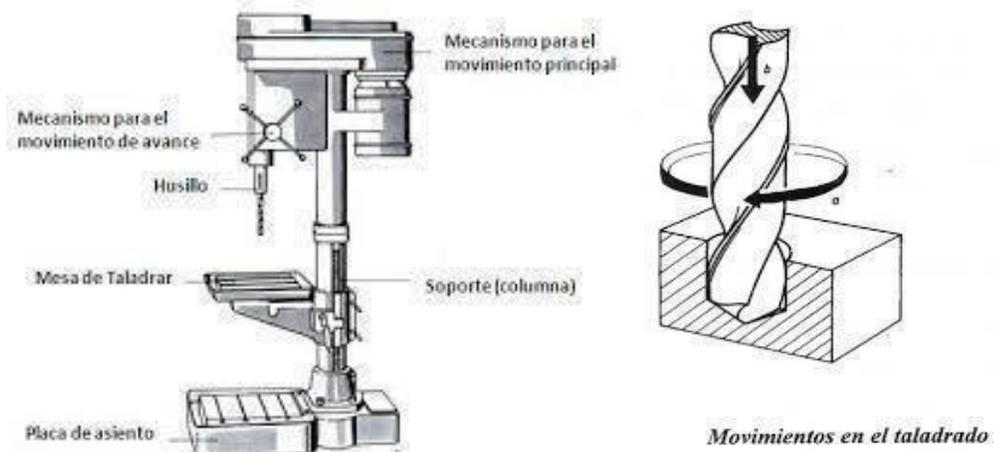


Figura 77. Partes de un taladro y esquema de operación del proceso de taladrado mediante la broca.

Otras operaciones relacionadas con el proceso de taladrado son:

- Roscado; que es la operación que consiste en abrir una rosca por medio de un machuelo, para realizar esta operación es necesario que el taladro pueda girar en ambos sentidos o en su defecto montarle un mecanismo de retroceso.
- Avellanado; Consiste en abrir en forma cónica el extremo del agujero, esto nos sirve para alojamiento de la cabeza de tornillos de cabeza cónica, para la realización correcta de un roscado o simplemente para matar el filo para evitar daños u obstrucciones posteriores.
- Refrentado; Se realiza cuando es necesario que la parte superior del agujero quede perpendicular a éste y nos sirva como asiento para cabezas de tornillos o tuercas, la herramienta consiste de una barra y un buril con filos longitudinales.

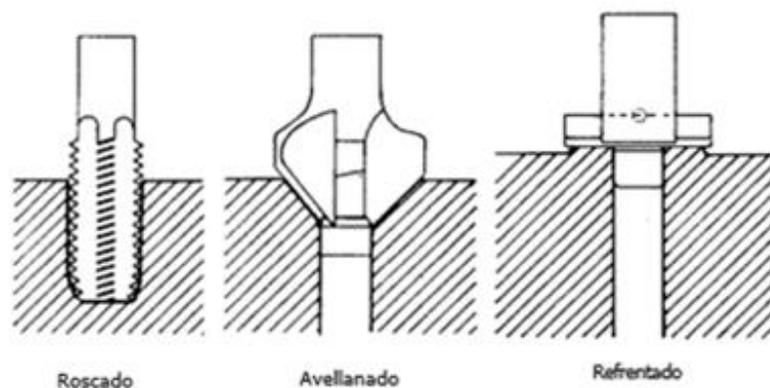


Figura 78. Esquema de los procesos de roscado, avellanado y refrentado.

## 15.6. Embutido

Consiste en transformar una lámina de metal en un cuerpo hueco tridimensional en una o varias pasadas, a través de la deformación plástica de un material. El proceso se inicia a partir de un disco metálico el cual es empujado por un punzón dentro de una matriz hueca. El troquel a utilizar se debe lubricar para dar mayor fluidez al material y proteger las partes contra el rozamiento.

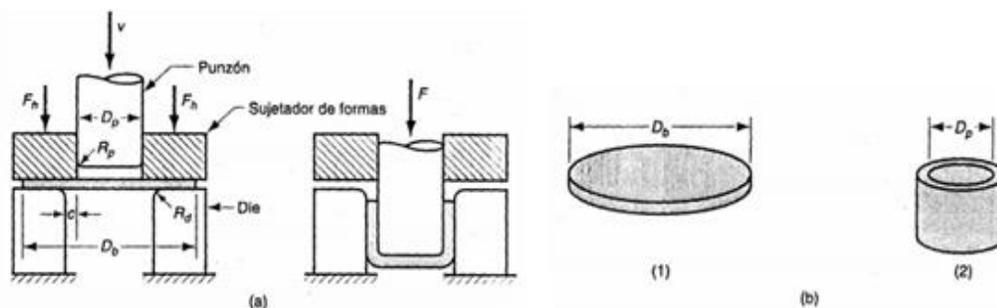
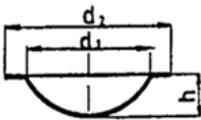
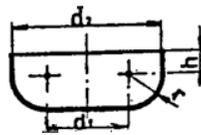


Figura 79. a) Esquema del proceso de embutido y b) piezas de trabajo: forma inicial (1) y pieza embutida (2).

El moldeo del metal se logra por medio de una prensa hidráulica, que es una máquina herramienta que tiene como finalidad lograr la deformación permanente o incluso cortar un determinado material mediante la aplicación de

una carga. Las prensas hidráulicas se basan en el principio de pascal alimentando un pistón de gran diámetro con fluido a alta presión y bajo caudal consiguiendo altísimas fuerzas resultantes, la entrega de energía es controlada en cada momento tanto en fuerza como en velocidad lo que permite tener el constante control del proceso

Tabla 18. Desarrollo de las piezas embutidas.

Forma de la pieza	Diámetro del disco D
	$D = \sqrt{d_2^2 + 4h^2}$
	$\sqrt{d_2^2 + 2.28rd_2 - 0.56r^2 + 4d_2h}$

## 16.0. FABRICACIÓN DEL EQUIPO

El equipo de esterilización diseñado, puede dividirse en tres grandes partes: concentrador, cámara de esterilización (recipiente) y estructura de soporte. Se presenta entonces a continuación la descripción de los procesos seguidos en la fabricación de cada uno de ellos.

### 16.1. Fabricación del concentrador de disco parabólico

El concentrador consta de una armazón metálica a manera de esqueleto, sobre la que se colocó una matriz de malla metálica como soporte y sobre la que se

depositó masilla plástica para generar la superficie en la cual se pegó una película de material reflejante.

El armazón está formado por un aro circular de 1.2 metros de diámetro y 8 brazos con el perfil parabólico diseñado de acuerdo a la ecuación obtenida en el capítulo anterior, Todas estas piezas se construyeron con tubo industrial negro de  $\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro, fueron moldeadas con una máquina dobladora de tubos y unidas entre sí mediante soldadura oxiacetilénica.



Figura 80. Obtención del molde con el perfil parabólico y uno de los brazos del concentrador.

Para obtener la forma parabólica deseada con la dobladora se hizo también necesario la previa fabricación de un molde de madera con el perfil. Este fue graficado mediante el software Solidwork e impreso a escala natural mediante un plotter, para su posterior calcado y corte en madera. El colector se sostiene sobre la estructura de soporte principal, mediante dos platinas que se soldaron sobre los extremos del aro, esto permite al mismo tiempo mover de un lado a otro el colector para corregir la orientación de este según cambie el ángulo de la altura del sol a medida que transcurre el día.



Figura 81. Doblado del aro, y unión de los brazos mediante soldadura.



Figura 82. Armazón del concentrador y colocación de la malla.

Para permitir el manejo del colector mientras se orienta se colocó en uno de los extremos del aro una manecilla, a la cual va atado una cuerda para el mecanismo de orientación, y al extremo opuesto se añadió un pin de forma perpendicular a la superficie para que sirva de indicador, de manera que cuando el pin no arroje ninguna sombra su superficie de apoyo, indique que la orientación es la correcta.

Para formar la superficie del colector, se colocó malla metálica galvanizada 8x8x36 que fue sujeta al armazón mediante remaches tipo pop de 1/8x3/8" de aluminio. Una vez totalmente cubierta por la malla se aplicó sobre esta, masilla plástica flexible de uso automotriz "Jet Bond" D2A123 del tipo pesada. Con la ayuda del molde de madera del perfil poco a poco se fue moldeando la superficie con la forma un tanto aproximado, posteriormente luego de sucesivas etapas de lijado y aplicación de nuevas capas de masilla se obtuvo la superficie parabólica con el perfil deseado, que luego fue lijada con lija #36.



Figura 83. Aplicación de la masilla para la generación de la superficie (a,b,c). Corrección y acabado final de la superficie (d,e,f).

Posteriormente, le siguió una etapa de corrección y pulido de la superficie, para eliminar rugosidades e imperfecciones aún presentes, para lo que se aplicó una nueva capa de masilla esta vez del tipo liviana, la cual fue luego suavizada con lija #150, a lo que siguió la aplicación de una capa de laca base, que después de secarse fue lijada otra vez, para después aplicar una nueva capa de laca sobre la superficie y para el acabado final se utilizó lija #400. Finalmente, sobre la superficie se colocó como material reflectivo la película adhesiva Reflectech, que es comercializada en la presentación de forma de rollo.

Dicha película reflectiva debe tratarse con cuidado durante su manipulación ya que al doblarse es quebradiza y los bordes son afilados. Para no desperdiciar material primero se hicieron los moldes de sección en papel bond, teniendo la matriz de corte, se procedió al corte de 16 sectores circulares de  $22.5^\circ$  que se repartieron equitativamente y pegaron sobre la superficie del concentrador.



Figura 84. Colocación de la película reflectiva Reflectech.

Al colocar la película reflectiva se tuvo el cuidado de no dejar burbujas de aire atrapadas entre las superficies, de igual manera que las capas de película reflectiva no quedaran montadas unas sobre otras. Debido a que en ambos casos se generará distorsión en el punto focal.

Finalmente se cortó el excedente de material que sobresalía sobre el borde del concentrador y se aplicó silicón para evitar que dicha tira se desprendiera por su manipulación y para impedir que el borde afilado pudiese producir alguna lesión.

## 16.2. Fabricación de la estructura de soporte

La estructura principal del colector además de brindar el soporte, permite su orientación para aprovechar eficientemente la captación de la energía solar, para su construcción se utilizó tubo estructural cuadrado de 1 pulgada, chapa 14. La totalidad de las piezas fueron unidas mediante soldadura eléctrica de arco. El colector podrá balancearse, haciendo pivote sobre la estructura de soporte mediante las patinas soldadas al aro de este y que se aseguran con un par de pernos, controlando así la posición de elevación del sol.

Este movimiento angular del colector será guiado por un canal en forma de arco que fue labrado mediante oxicorte, en una placa que fue soldada a uno de los lados de la estructura de soporte y que indicará con una escala su posición angular, también se taladraron agujeros de  $\frac{1}{2}$  pulgada sobre esta placa y la del otro externo para permitir ensamblar el colector a la estructura. Con el objetivo de lograr el movimiento azimutal, a las patas de la estructura se le instalaron cuatro rodos giratorios metálicos de hierro fundido, los cuales se soldaron y son los que permiten girar todo el conjunto.

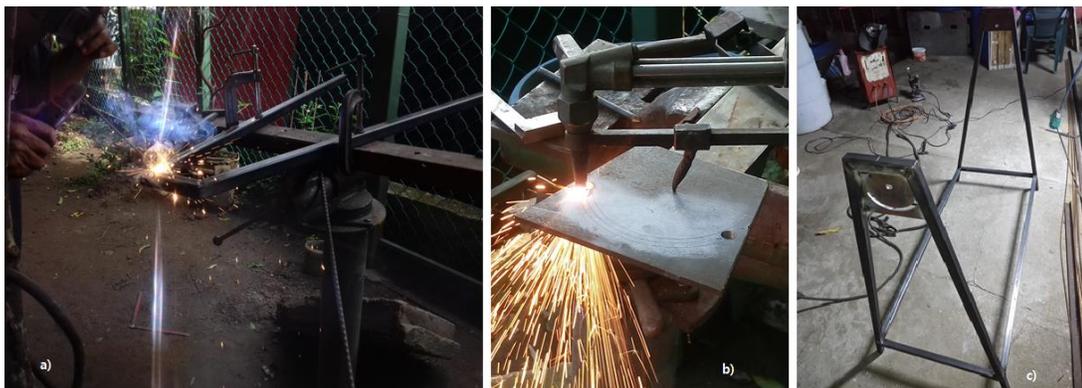


Figura 85. a) Soldadura de las piezas de la estructura de soporte, b) Elaboración del canal guía y c) Estructura principal finalizada.

La estructura de soporte del recipiente esterilizador también se construyó usando tubo cuadrado de 1 pulgada formando dos brazos en forma de “L” a los que se les practicó una ranura en uno de sus extremos para permitir el ajuste del recipiente sobre el foco del concentrador y se soldaron dos platinas a la estructura de soporte principal sobre el que se apoyan los brazos en “L” a los que en su otro extremo se les taladro un agujero para permitir fijarlos mediante pernos a dichas platinas. Mientras que para fabricar la canasta que sostendrá el recipiente esterilizador, se utilizó la dobladora para formar los aros que posteriormente fueron soldados y se colocaron cuatro pernos para sujetarlo a los brazos de soporte.



Figura 86. Canasta de soporte del recipiente, soldado de las platinas y montaje de los brazos de soporte sobre la estructura de soporte principal.

### 16.2.1. Mecanismo de orientación

Para la fabricación del mecanismo de orientación, se utilizó un tramo de tubo negro de  $\frac{1}{2}$  pulgadas de diámetro que funciona como rodillo enrollando una cuerda atada al concentrador, este rodillo se apoya encajando al interior de dos piezas de tubo cuadrado soldadas a la estructura principal; y por medio de una manivela fabricada del mismo tubo permite girarlo, la cual puede ser desensamblada. Para permitir la fijación de una determinada posición se instaló un sistema de bloqueo de trinquete, para ello se fabricó una rueda dentada de

32 dientes, la cual se le aplicó un tratamiento de cementado para evitar el desgaste excesivo de los dientes por el rozamiento con el gatillo.



Figura 87. Rueda dentada para el bloqueo de posición y el rodillo.

### 16.3. Fabricación de la cámara de esterilización

La fabricación del recipiente que funciona como cámara de esterilización y que constituye en sí el autoclave se construyó a partir de las siguientes piezas: El cuerpo cilíndrico, fondo, parrilla, tapa y su mecanismo de cierre.

Para conformar el cuerpo cilíndrico se utilizó una máquina manual de rolado en la que se introdujo una pieza de lámina de acero inoxidable AISI 304 de 1.5 mm, se utilizaron un par de aros metálicos que servían de guías, contruidos por medio de la dobladora para verificar la medida del cuerpo cilíndrico y su forma circular. Una vez obtenida la medida y forma correcta se aprisionó la lámina con los aros en sus extremos y se procedió a unir los extremos de la lámina que conforman el cilindro por todo lo largo, mediante soldadura eléctrica de arco.



Figura 88. Secuencia del doblado de la lámina y aprisionamiento con los aros guías para la obtención del cuerpo cilíndrico.

Tanto para la fabricación del fondo del recipiente como para la tapa se utilizó una prensa hidráulica de 8 Toneladas para conformarlas en frío. Previamente de otra pieza de lámina de acero inoxidable se cortaron dos discos que respectivamente formarían estas piezas, además también se recortó de la lámina otra pieza en forma de anillo que se soldó en la parte superior del cuerpo cilíndrico y que serviría de borde de apoyo para el cierre de la tapa, y otro disco que serviría para la parrilla. Haciendo uso de un molde formado por un par de anillos fabricados de varilla de hierro se colocaron entre uno de los discos recortados y se colocaron en la prensa tras lo que se obtuvo el fondo del recipiente.



Figura 89. Trazado, corte de las piezas, conformado y unión del fondo al cuerpo cilíndrico.

De manera similar se procedió con la tapa, aunque para esto se fabricaron dos moldes: uno en positivo con la forma de la tapa, torneado en madera y otro

molde negativo con concreto, auxiliándose también de un anillo metálico de guía, la pieza de lámina se introdujo entre los dos moldes y se aplicó presión con la prensa hidráulica, obteniendo así la pieza con su forma deseada. Para la colocación de los accesorios del esterilizador se realizaron las perforaciones respectivas en la tapa y se utilizaron niples de acero inoxidable, de  $\frac{1}{2}$  pulgada para el termómetro, y de  $\frac{1}{4}$  pulgadas para el manómetro y las válvulas de seguridad y purga.



Figura 90. Secuencia constructiva: a) Molde positivo, b) molde negativo, c) resultado tras el conformado y d) el recipiente finalizado.

El mecanismo de cierre se fabricó a partir de varilla cuadrada de  $\frac{1}{2}$  pulgada la cual se conformó en forma de dos aros (uno superior y otro inferior) mediante la máquina dobladora y que se soldaron a las caras exteriores de la tapa y del borde de apoyo para proporcionarle rigidez a la junta y así evitar fugas, al mismo tiempo que servirían como estructura para colocar los pernos de cierre de la tapa del esterilizador, cada uno de estos, son compuesto a la vez por dos aros colocados de forma concéntrica y soldados entre sí.

Previo a soldar estos aros sobre la tapa y el cuerpo cilíndrico, se les realizó un rectificado superficial para garantizar su correcta planitud cara con cara y evitar imperfecciones que pudieran provocar fugas en la junta. Luego de unirlos al recipiente, a cada uno de estos aros se soldaron 12 soportes salientes distribuidos uniformemente en su circunferencia, estas también se fabricaron de varilla cuadrada.

Los soportes salientes del aro superior o de la tapa se perforaron realizando agujeros pasados de  $\frac{1}{4}$  de pulgada, a los que luego se les practicó un avellanado permitiendo así colocar los pernos.

Por otra parte, los soportes salientes del aro inferior o del cuerpo cilíndrico, además de las operaciones anteriores se les realizó un roscado sobre los agujeros, en los que se enroscan los pernos colocados en la tapa, funcionando como tuercas y logrando el cierre del esterilizador. Se colocaron la cantidad de 12 pernos de  $\frac{1}{4}$  pulgadas de diámetro para el cierre de la tapa solo con el objetivo de eliminar fugas, ya que según análisis anteriores en realidad se necesitaban solo cuatro pernos de  $\frac{5}{16}$  pulgadas para asegurar la tapa a la presión de operación diseñada.



Figura 91. Construcción de los aros, rectificado, colocación del mecanismo de cierre y accesorios y resultado final.

La parrilla interna sobre la que se colocarán los artículos a esterilizar es tipo circular fabricada a partir de una lámina de acero inoxidable y de 1.5 mm de espesor, a la que se le practicaron una serie de agujeros de  $\frac{1}{4}$  de pulgada mediante taladrado. La parrilla se colocará a una distancia de 5 cm de altura con respecto al fondo, bajo la cual se depositará el agua destilada al momento de realizar el proceso de esterilización.

## 17.0. COSTOS DEL PROYECTO

A continuación, se presenta una lista detallada de materiales y costos del proceso de fabricación del autoclave Solar. La realización de este trabajo de graduación no solo implica el aprovechamiento de la energía solar térmica, sino que también tiene su aplicación en el área de esterilización de instrumental médico, así como reducir costo en la compra de un equipo autoclave comercialmente disponible en el país.

### 17.1. Costos del concentrador solar

Los costos en el material utilizado tanto para el concentrador solar como su estructura de soporte se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 19. Costos de materiales para el concentrador.

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio Unit (\$)	Total (\$)
1	2	Caño negro liviano 1/2"	5.90	11.80
2	2	Tubo estructural 1" chapa 14	12.00	24.00
3	2	Yarda zaranda galvanizada 8x8x36	3.75	7.50
4	5	Cuarto Jet bond + catalizador	6.30	31.50
5	1	100 Remaches pop aluminio 1/8x3/8	1.40	1.40
6	4	Rodo G-32C	1.75	7.00
7	1	Lija para hierro #36	1.25	1.25
8	5	Libra cemento CESSA	0.15	0.75
9	2	Perno hexagonal 1/2x1"	0.24	0.47
10	2	Tuerca de seguridad 1/2"	0.18	0.36
11	4	Arandela plana galvanizada 1/2"	0.10	0.40
12	1	3 m Varilla 1/4" acero inoxidable 304	5.00	5.00
13	2	60x100cm de Reflectech	10.00	20.00
<b>Total (\$)</b>				<b>111.43</b>

Los costos del proceso de construcción del concentrador y su estructura de soporte son:

Tabla 20. Costos de fabricación del concentrador.

Proceso	Cantidad	Descripción	Precio (\$)
1	1	Estructura de soporte (Con todo los accesorios)	50.00
2	1	Concentrador parabólico	80.00
3	2	Brazo tipo L de desplazamiento	15.00
4	1	Canasta de apoyo del autoclave	30.00
<b>Total (\$)</b>			<b>190.00</b>

## 17.2. Costos del autoclave

El costo en los materiales y accesorios que componen el autoclave se presentan a continuación.

Tabla 21. Costos de materiales para el recipiente.

Ítem	Cantidad	Descripción	Precio Unit (\$)	Total (\$)
1	1	Lámina lisa de acero inoxidable AISI 304 1.5mm 1x1	54.60	54.60
2	1	Libra electrodo 3/32" para acero inoxidable 308L	10.00	10.00
3	1	Sello grado alimenticio silicón S102	90.00	90.00
4	1	Manómetro 0-100 psi	4.50	4.50
5	1	Anillo acero inoxidable 1/4"	0.95	0.95
6	1	Anillo acero inoxidable 1/2"	1.35	1.35
7	1	Válvula de bola inoxidable 1/4"	11.75	11.75
8	1	Niple acero inoxidable todo rosca	0.65	0.65
9	1	Termómetro 3" 50/400 F/C 10/200 NPT 1/2"	32.78	32.78
10	12	Perno Allen inoxidable 1/4x2.5"	0.55	6.60
11	1	Cuarto anticorrosivo 4000	4.6	4.60
12	1	Válvula de seguridad para vapor	165	165.00
<b>Total (\$)</b>				<b>382.78</b>

Y los costos del proceso de fabricación del autoclave son:

Tabla 22. Costos de fabricación del recipiente.

Proceso	Descripción	Precio (\$)
1	Tapadera del recipiente (Incluyendo todos los procesos de mecanizado)	350.00
2	Conformado del fondo del recipiente	120.00
3	Rolado del cuerpo cilíndrico	75.00
4	Soldadura en acero inoxidable del recipiente	120.00
<b>Total (\$)</b>		<b>665.00</b>

### 17.3. Costo total

Cabe destacar que el material reflectivo Reflectech y la válvula de alivio fueron donados al proyecto por lo que no se incurrió en la compra de ellos. En cuanto a los costos de los procesos de fabricación también se tuvo un ahorro muy importante ya que estos fueron realizados por los integrantes del grupo, aprovechando que se contaba con los equipos, herramientas, habilidad y asistencia profesional para el desarrollo de los mismos.

El costo total de los materiales, accesorios y el proceso de fabricación, para el conjunto concentrador y colector asciende a un monto total de \$1,349.21. Comparado con un autoclave de similares capacidades (23 litros) este tiene un costo en el mercado de \$4500 (sin IVA); de lo que se puede observar una diferencia de \$3,150.79 en el costo respecto a este.

### 17.4. Ahorro por operación.

Tomando como referencia un equipo de esterilización de mesa típico que puede encontrarse en una unidad de salud central especializada, puede determinarse el ahorro en energía eléctrica que se obtendría al operar el autoclave solar. De acuerdo al pliego tarifario vigente (desde el 15 de julio de

2020) para la distribuidora de la DELSUR, se descompone de la manera siguiente; para consumos mayores o iguales a 200 KWh/mes:

- Cargo de comercialización: 0.958559 US\$ / mes
- Cargo de energía: 0.103821 US\$ / KWh
- Cargo de distribución: 0.070778 US\$ / KWh

Como ejemplo se toman los datos de placa del esterilizador de mesa Tuttnauer, modelo 3850M, el cual opera a un voltaje de  $V = 230 \text{ V}$ , con una corriente  $I = 10.4 \text{ A}$ , por lo que la potencia del equipo es:

$$P = VI = (230 \text{ V}) (10.4 \text{ A}) = 2392 \text{ W}$$

La duración del ciclo de esterilización para este equipo es de 1 hora y 45 minutos (1.75 horas), entonces el costo por energía eléctrica mensual resulta en:

- Costo por comercialización mensual: \$0.958559 (\$0.031952 diario)
- Costo por energía:  $0.103821 \$/\text{kWh} \times 2.392 \text{ kW} \times 1.75 \text{ horas} \times 30 \text{ días} = \$13.04$
- Costo por distribución:  $0.070778 \$/\text{kWh} \times 2.392 \text{ kW} \times 1.75 \text{ horas} \times 30 \text{ días} = \$8.88$

Haciendo un costo total mensual de: US\$ 22.88, y diario de \$ 0.76 por cada ciclo de operación que podrían ser ahorrados.

## 18.0. PRUEBAS REALIZADAS

Se realizaron una serie de pruebas para observar el comportamiento real del equipo, aunque de manera independiente para cada uno de los elementos del esterilizador<sup>6</sup>: concentrador y cámara de esterilización.

---

<sup>6</sup> La situación adversa provocada por el COVID-19 impidió la realización de las pruebas en conjunto del equipo y en el lugar de la instalación.

### 18.1. Pruebas al concentrador

Se realizaron en total nueve pruebas al concentrador, seis de estas enfocadas en obtener el tiempo requerido para producir la ebullición sobre cierto volumen de agua, otras dos para observar la cantidad de agua evaporada durante una hora y una prueba más para comprobar la temperatura máxima alcanzada en el punto focal.

Se realizaron experimentos con diferentes cantidades de agua tanto en recipientes cerrados y abiertos, a diferentes horas del día. Para obtener datos consistentes, debido a que la cámara de esterilización se fabricaría en acero inoxidable (en ese momento aún no había sido construida), los recipientes de prueba usados también estaban fabricados de dicho material en espesores de 1.0 mm para el recipiente cerrado y 1.6 mm para el abierto con capacidades de 2.5 y 3.0 litros respectivamente. Las pruebas se realizaron durante los días 15, 19, 20 y 25 de noviembre de 2019 en el periodo de 9:30 a.m. a 1:00 p.m. y los instrumentos utilizados<sup>7</sup> para el registro de los datos fueron:

- Un piranómetro digital Frederiksen modelo 4890.20 para la irradiancia solar global,
- Un termómetro infrarrojo para medir la temperatura en la superficie base del receptor,
- Un termómetro de mercurio para la temperatura ambiente; y
- El apoyo de la aplicación para móviles Sun Locator para registrar la posición del sol, así como también información del servicio meteorológico para otros datos más generales de las condiciones ambientales.

---

<sup>7</sup> Ver anexo A13 y A14 para mayores detalles sobre las especificaciones de cada uno de estos.

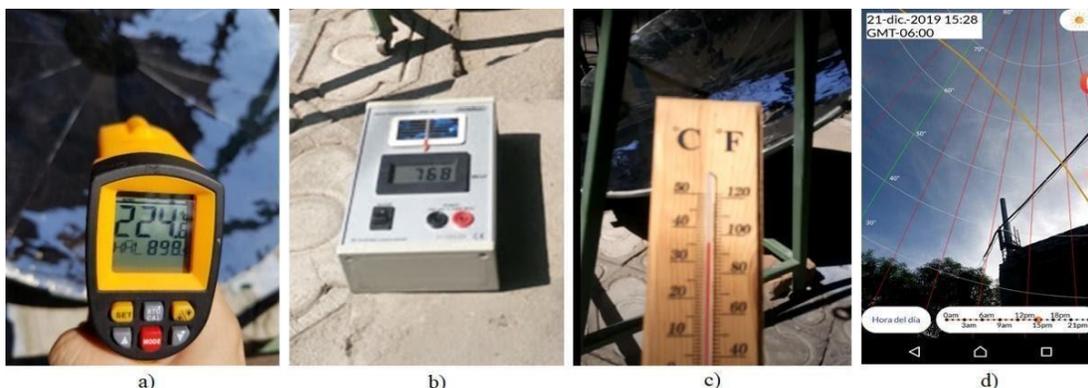


Figura 92. Instrumentos utilizados: a) Termómetro infra rojo, b) Piranómetro digital, c) Termómetro de mercurio y d) Visualización de la aplicación SunLocator.

### 18.1.1. Resultados de las pruebas al concentrador: tiempo de ebullición

De acuerdo a estimaciones realizadas en la etapa de diseño, el volumen de operación del esterilizador será de 1.5 litros por lo que, con el fin de obtener el tiempo que tardaría el agua en entrar en ebullición, se prestó especial atención a este caso y a modo comparativo se realizaron las otras pruebas con un volumen ligeramente inferior y superior, esto es 0.5 y 2.0 litros respectivamente. Todas estas pruebas se realizaron en un recipiente cerrado las cuales se enumeraron según su orden como P1, P2, etc. y son las que aparecen en la figura 93 donde aparece en la leyenda la cantidad en mililitros de cada prueba, también se muestran la irradiancia y temperatura promedio registrada por cada una de estas. De dicha figura podemos destacar dos casos que parecen antagónicos: las pruebas 8 y 9 donde se obtuvo el mayor y menor tiempo, así como buenas temperaturas promedio.

La razón de la diferencia en estos resultados se debe primordialmente a que estos ocurrieron a diferentes horas; para el caso de la prueba 8 esta se realizó entre las 10:30 y las 11:00 a.m. mientras que la prueba 9 se dio de 11:25 a 11:30 a.m. y como bien puede inferirse la irradiancia solar aumenta a medida que transcurre el día obteniéndose los máximos en horas cercanas al medio día estabilizándose en valores altos, para luego decaer.

Esto puede evidenciarse mejor por ejemplo al observarse en la figura 93 y 99 como a tempranas horas con un menor volumen de tan solo 0.5 litros en la prueba 1 tarda 5 minutos más en ebullición que en la prueba 2 con 1.5 litros, habiéndose realizado con una diferencia de tan solo 10 minutos de diferencia entre una y otra prueba.

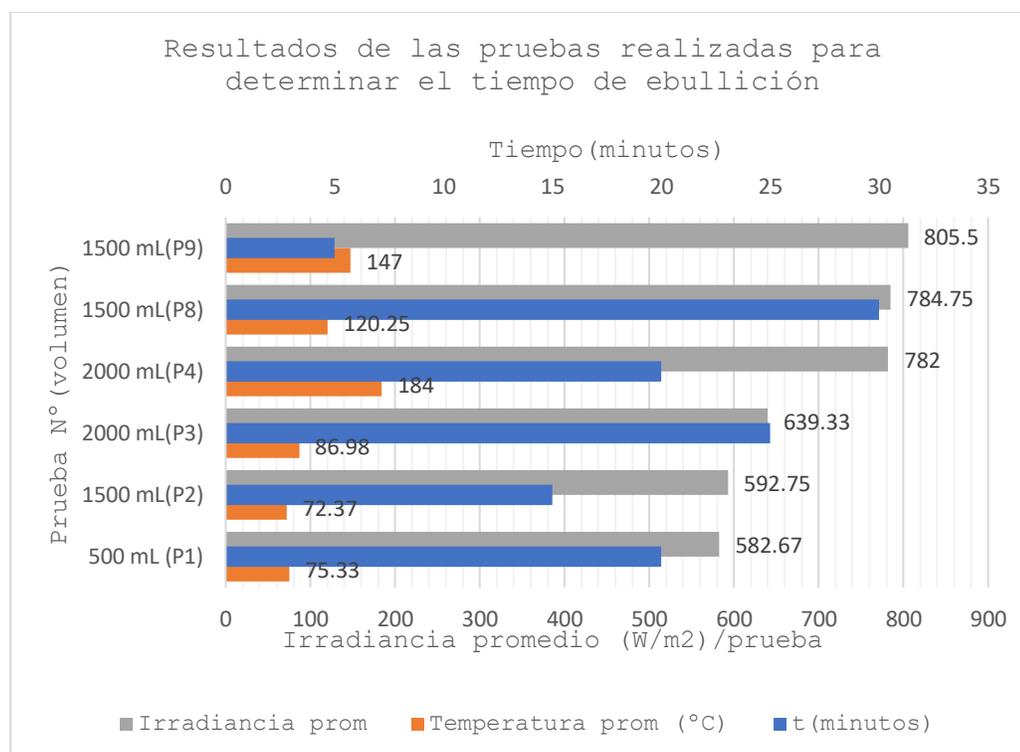


Figura 93. Tiempos de ebullición obtenidos en las pruebas.

Así como también sucede similarmente en las pruebas 3 y 4 que con un mismo volumen de 2.0 litros los tiempos de ebullición difieren en 5 minutos al haberse realizado a horas diferentes, en este caso 20 minutos de diferencia entre la realización de estos dos experimentos. En la figura 99 también se aclara la hora de realización de todas las pruebas.

Otros factores importantes a tener en cuenta son que, a diferencia de las demás pruebas, en la número 8 se utilizó el recipiente de mayor espesor (1.6 mm) y aunque el recipiente estaba cerrado, el cierre no era perfectamente hermético.

También se presentó el problema de una alineación incorrecta del recipiente con el punto focal en los primeros minutos del experimento debido a que la estructura de soporte del colector aún estaba incompleta y este procedimiento resultaba un tanto complicado, sin embargo, este problema fue corregido en el tiempo restante de la prueba.

Un hecho importante a resaltar en estas dos pruebas es que las condiciones meteorológicas fueron altamente favorables teniéndose cielos muy despejados con una nubosidad de apenas 3% y muy poco viento en comparación a las condiciones de las otras pruebas restantes donde se tuvo cielos nublados hasta un 45% y además, se realizaron más temprano antes de las 10:30 a.m.

A continuación, se muestran en la figura 94 el comportamiento de la temperatura y la irradiancia solar global durante todas las pruebas referentes a determinar el tiempo para la ebullición.

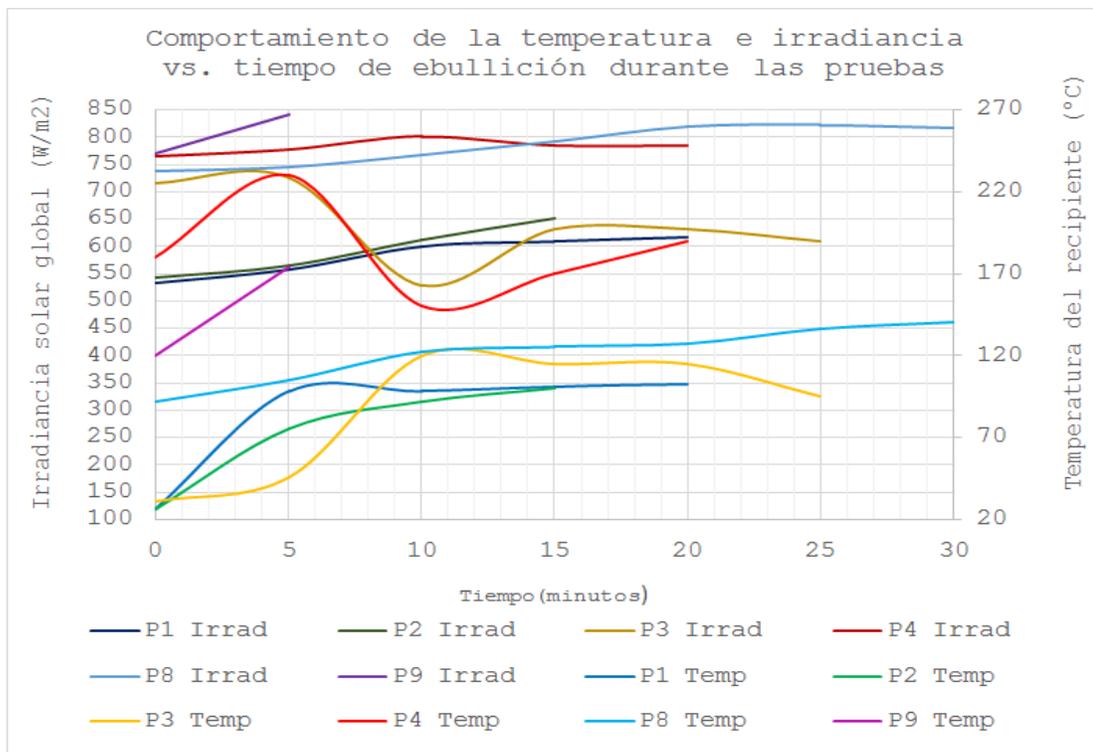


Figura 94. Variación de la temperatura e irradiancia durante las pruebas de tiempos de ebullición.

De lo anterior, se observan temperaturas por encima de los 121°C por mayor tiempo en las pruebas 4 (en rojo) y 8 (celeste), estas tienen en común que se realizaron por encima de las 10:30 a.m. Vistos estos y los demás datos, para un volumen de 1.5 litros el tiempo de proceso de ebullición rondaría en promedio los 15 minutos aproximadamente y teniendo en cuenta que el espesor del recipiente de la cámara de esterilización es de 1.5 mm un tiempo de 15 a 30 minutos parece razonable para la etapa de precalentamiento en el proceso de esterilización con condiciones climáticas favorables.



Figura 95. Toma de datos durante las pruebas realizadas.

Tomando los datos de los valores promedio de la prueba 8 como los más representativos la potencia de salida del colector durante la etapa de ebullición (precalentamiento) obtenida es:

$$\dot{Q} = \frac{Q}{t} = \frac{m_{\text{agua}} C_p \Delta T}{\Delta t}$$

- Cantidad de agua;  $m_{\text{agua}} = 1.5 \text{ kg}$
- Calor específico del agua;  $C_p = 4.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$
- Diferencia de temperaturas;  $\Delta T = 100^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C} = 75^\circ\text{C}$
- Lapso de tiempo;  $\Delta t = 30 \text{ minutos}$

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{\text{sale}} = 263.75 \text{ W}$$

Con una irradiancia promedio para esta prueba de  $G = 785 \text{ W/m}^2$ , se tiene una potencia de entrada captada por el concentrador parabólico de

$$\dot{Q}_{\text{entra}} = A_{\text{net}}G = 842.30 \text{ W.}$$

Lo que resulta en una eficiencia para el colector de:

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{\text{sale}}}{\dot{Q}_{\text{entra}}} = 31.3\%$$

### 18.1.2. Resultados de las pruebas al concentrador: volumen evaporado

En las pruebas 5 y 6<sup>8</sup>, se depositaron 1.5 litros de agua en el recipiente abierto, se colocó en el punto focal y tras una hora de exposición se verificó la cantidad de agua evaporada restando del volumen inicial menos el restante. Esto permite tener una idea de la tasa de evaporación real generada durante el funcionamiento del colector. En los dos experimentos se obtuvieron resultados similares; en la primero resultó que 350 ml se habían evaporado, mientras que en el segundo fueron 200 ml lo que harían un promedio de 275 ml; así que, en base a esto la tasa de vapor promedio generada obtenida fue de: 0.275 kg/h.

Los valores promedio de temperatura e irradiancia solar durante estas pruebas fueron de:

- 120.7°C y 722.91 W/m<sup>2</sup>, para la prueba 5; y
- 127.34°C y 730.31 W/m<sup>2</sup> en la prueba 6.

En la figura 95 se muestra el comportamiento instantáneo de la irradiancia y la temperatura durante la hora en que se desarrollaron estas pruebas. Por otra parte, en una prueba distinta (la número 7) se puso a prueba la capacidad del

---

<sup>8</sup> Se realizaron en días y horas distintas: la prueba 5 el 19 de noviembre de 2019 de 11:50 a.m a 12:50 m. y la número 6 el 20 de noviembre del mismo año, de 10:00 a.m. a 11:00 a.m.

concentrador colocando sobre el punto focal una lámina galvanizada calibre 26 para luego comprobar la temperatura máxima alcanzada sobre esta. Como resultado, al cabo de siete minutos se alcanzó una temperatura máxima de 630°C.

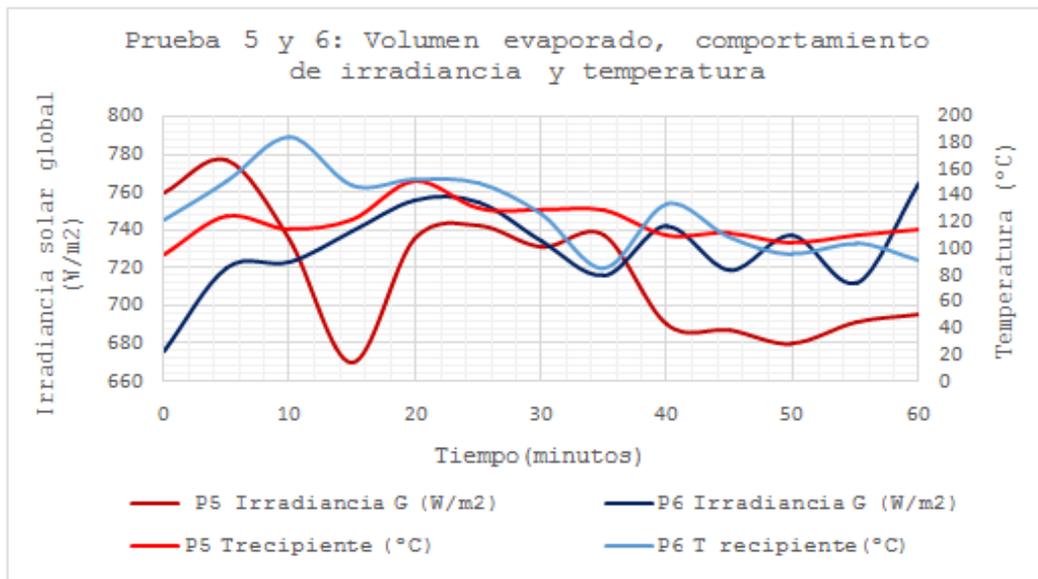


Figura 96. Variación de la temperatura e irradiancia solar durante las pruebas de volumen evaporado.

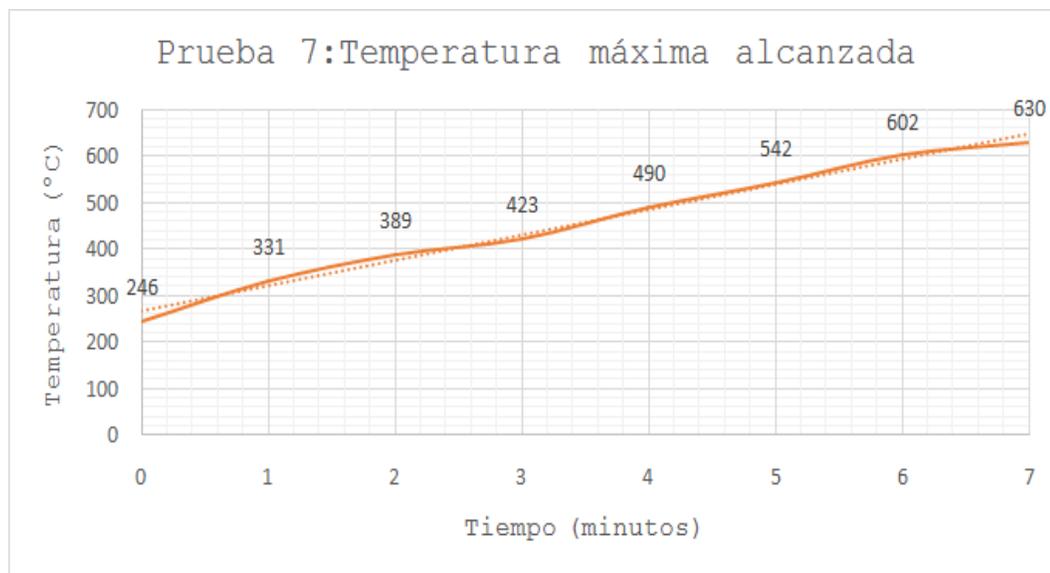


Figura 97. Resultados obtenidos durante la prueba de temperatura máxima.

Se realizaron también pruebas para obtener las dimensiones del foco para calcular el índice de concentración real “C” del colector, obteniéndose una imagen proyectada aproximadamente circular de 7.6 cm de diámetro. Entonces la relación de concentración real es según la ecuación (10):

$$C = \frac{1.2 \text{ m}^2}{0.076 \text{ m}^2} = 249.31$$

Lo cual concuerda con lo visto en la tabla 9 donde el valor de C está comprendido entre los 100 y los 1000 y los rangos de temperatura van de los 70°C a 1500°C.



Figura 98. Prueba de temperatura máxima, ubicación del punto focal y medición de la imagen proyectada.

## 18.2. Movimiento del concentrador

A manera de resumen se muestra el registro de los datos de la irradiancia solar global instantáneos en otra escala para mayor claridad y de la posición solar durante todas las pruebas en las figuras 98 y 99, las discontinuidades observadas son los lapsos entre una prueba y otra.

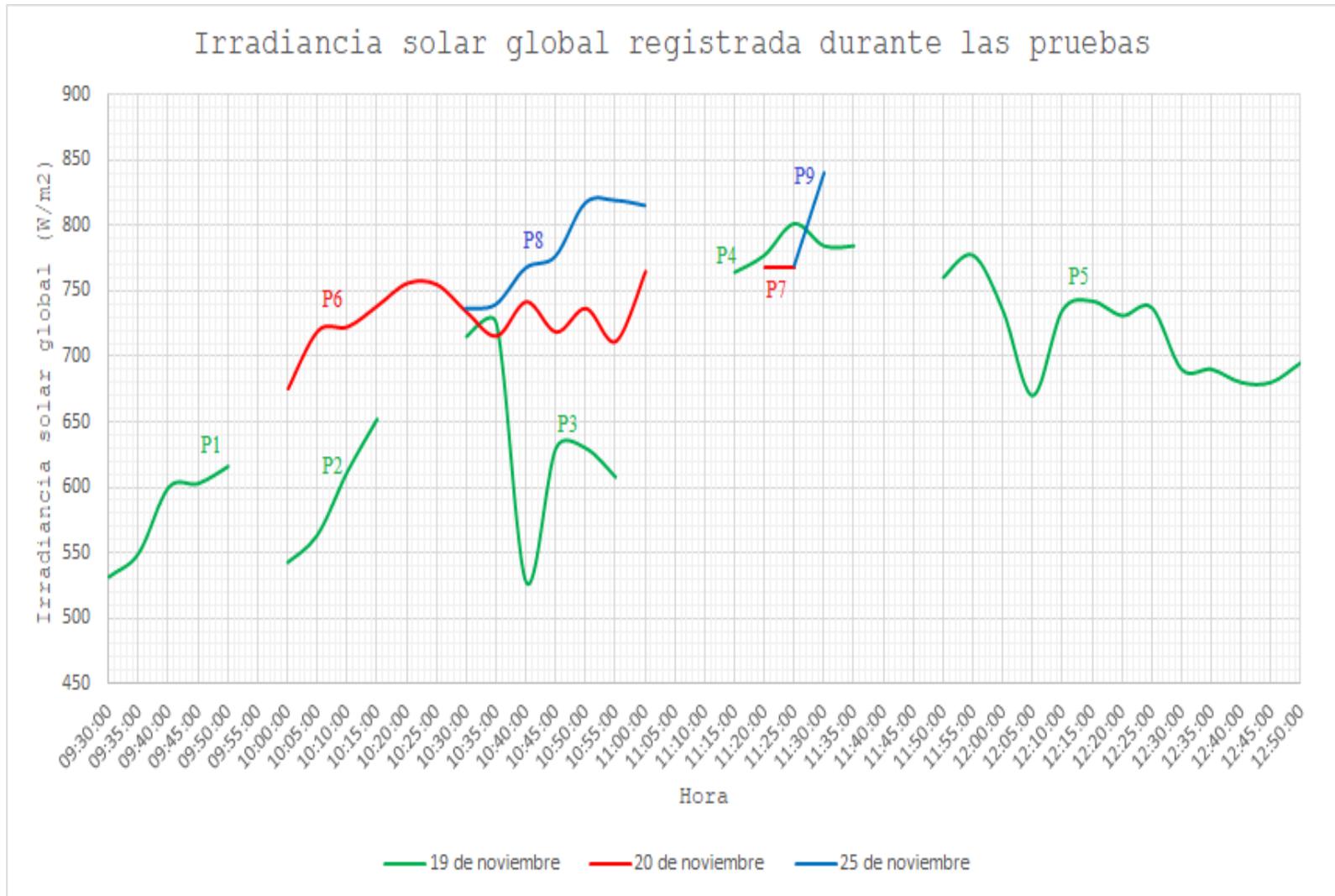


Figura 99. Resumen de la Irradiancia global instantánea registrada durante las pruebas.

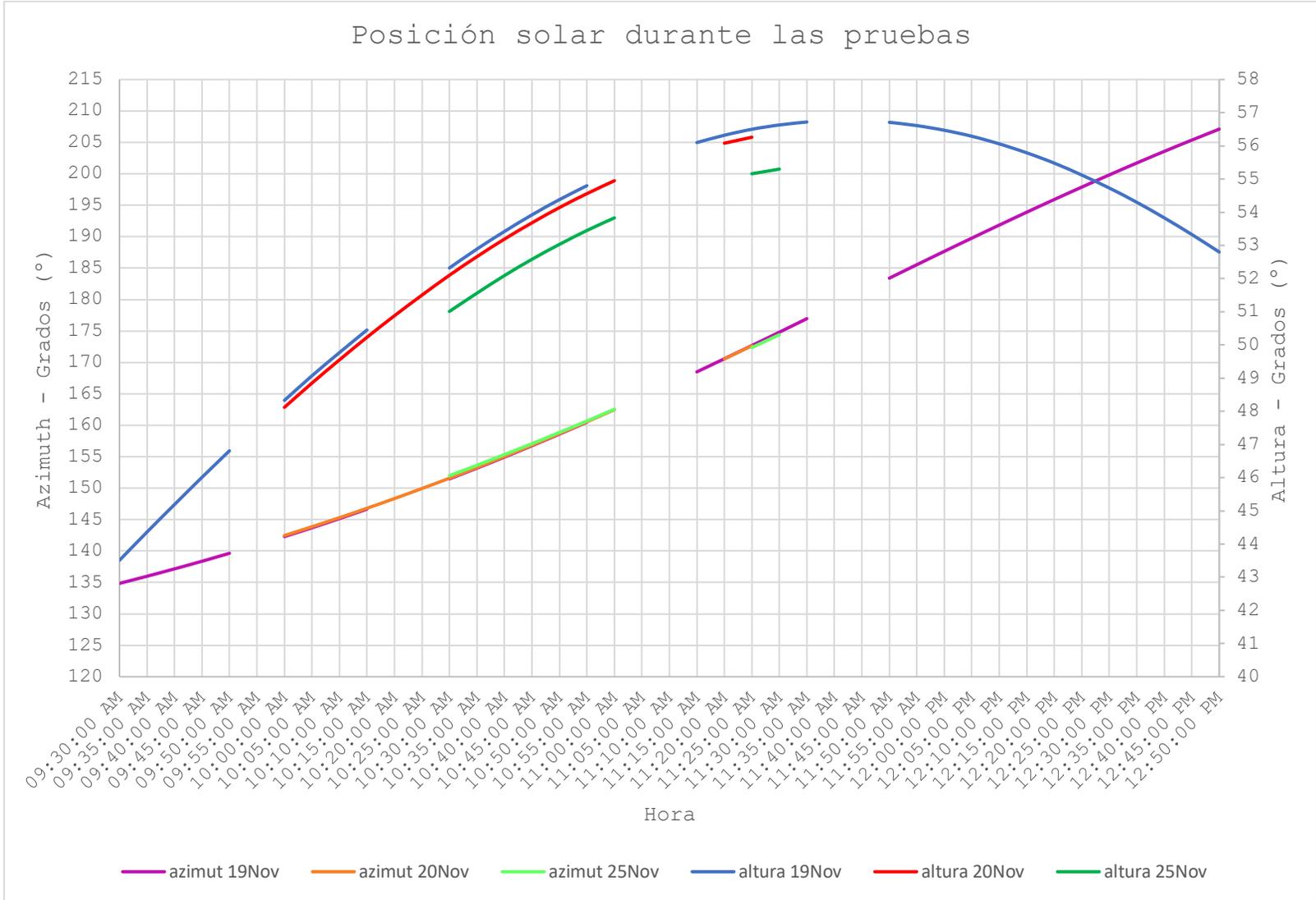


Figura 100. Resumen de la posición solar registrada durante todas las pruebas.

De estas puede notarse como en el último día de las pruebas se obtuvo un mayor valor de irradiancia para el mismo periodo horario, esto debido a las condiciones atmosféricas libre de perturbaciones atmosféricas experimentadas ese día. Se hace evidente en cuanto a la posición solar que la variación en altura, aunque leve, para una misma hora es mayor, en comparación con la variación del azimut de un día para otro, no siendo tan significativo.

Sin embargo, los cambios angulares diarios (por horas, minutos o segundos) experimentan una importante variación que hay que tener cuenta en el seguimiento del colector mientras este se use, ya que dependiendo de la hora del día las tasas de cambio angulares pueden ser bastante diferentes una respecto de la otra para un mismo instante, como se muestra en las dos figuras siguientes.

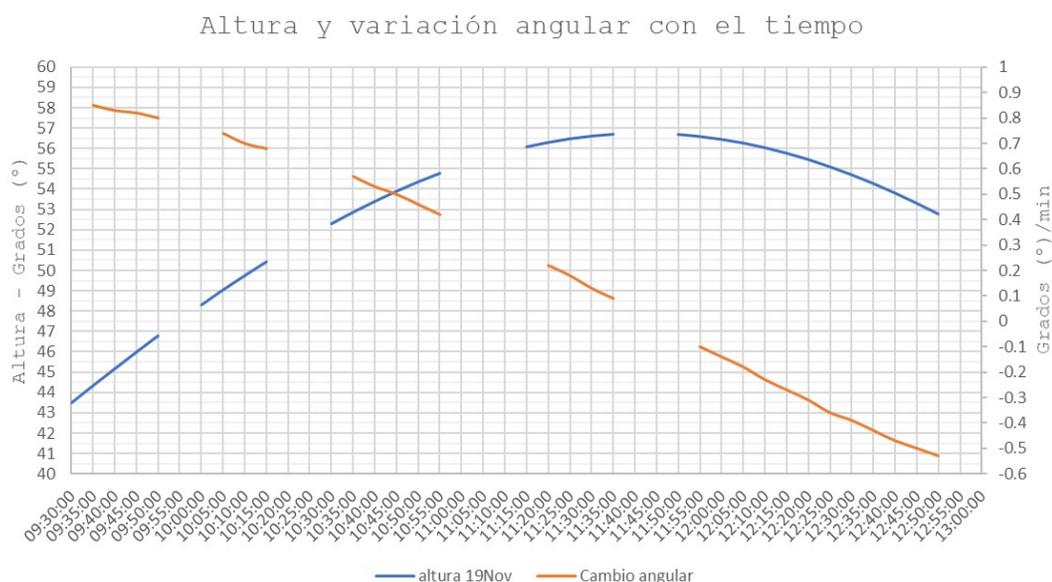


Figura 101. Variación angular diaria en el tiempo en la posición de altura solar.

La tendencia observada es que en altura el cambio angular por minuto ( $^{\circ}/\text{min}$ ) es mucho más rápido a primeras horas de la mañana en posiciones de baja altura y va disminuyendo a medida que el sol se acerca a su punto más alto en el cielo para luego volverse negativo es decir comienza su descenso.

Mientras que por el contrario el cambio angular en el azimut es más suave en las primeras horas del día y se va incrementando en horas cercanas al mediodía para decaer lentamente por la tarde.

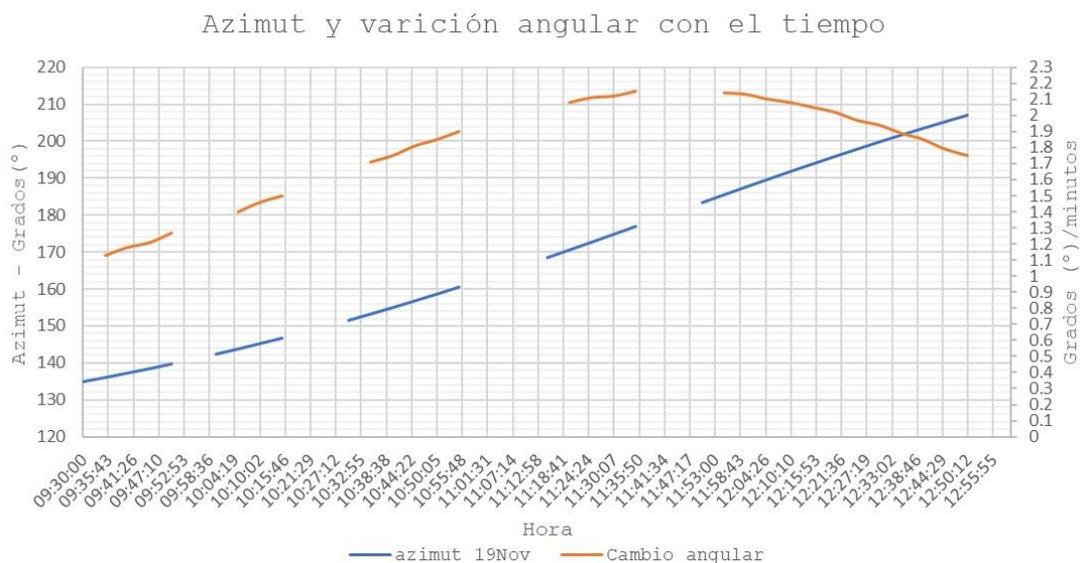


Figura 102. Variación angular diaria en el tiempo en la posición azimutal del sol.

Por ejemplo, según datos del 19 de noviembre de 2019, a primeras hora de la mañana el cambio angular en altura en un lapso de 5 minutos corresponde a un cambio de  $0.84^\circ$  (a las 9:30), mientras que cerca del mediodía el cambio es tan solo de  $0.09^\circ$  (11:30); mientras que, para el azimut a las mismas horas el cambio es de  $1.13^\circ$  y de  $2.15^\circ$  respectivamente, para posteriormente tomar valores menores. Vale mencionar que, aunque en general estas tendencias siempre se mantienen, las tasas de cambio angular si experimentan considerables variaciones a lo largo del año tal como se puede observar en la comparativa mostrada en las figuras 103 y 104. Donde se hace más evidente el hecho de que mientras a una misma hora por un lado la variación en altura aumenta, mientras que en azimut disminuye o viceversa. Un lado la variación en altura aumenta, mientras que en azimut disminuye o viceversa.

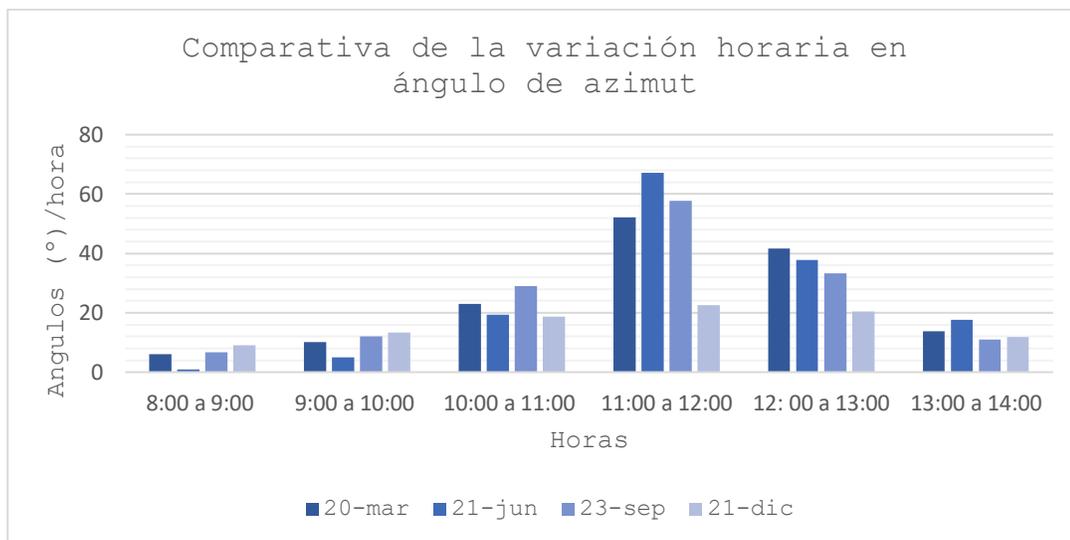


Figura 103. Variación anual de la tasa de cambio angular horaria del azimut.

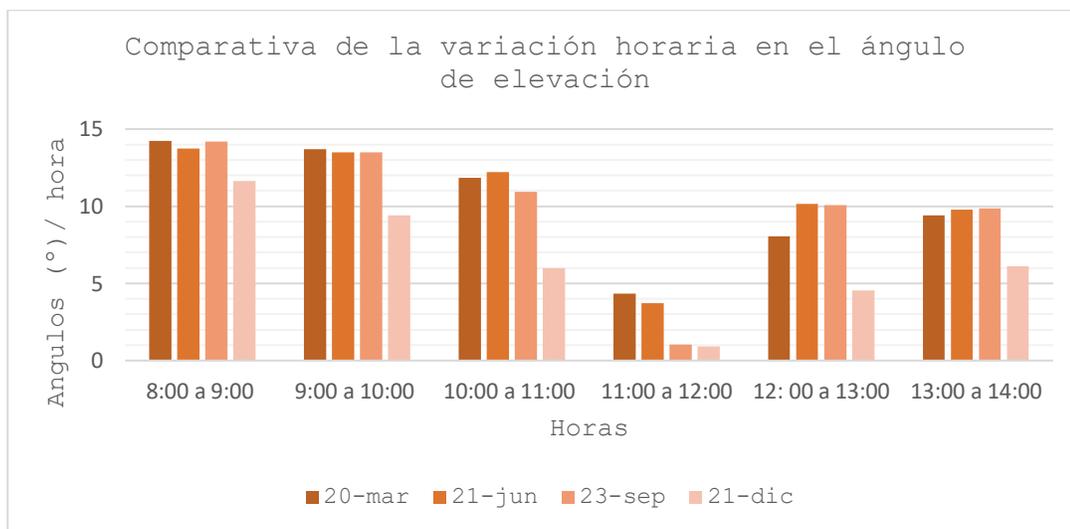


Figura 104. Variación anual de la tasa de cambio angular horaria en altura.

Se puede concluir que el movimiento de corrección para orientar el colector a una misma hora no será el mismo siempre a lo largo del año, y nos indica que al momento de realizar el seguimiento con el colector para mantener una alineación correcta se debe prestar más atención al ajuste del ángulo azimutal que a la altura, si se usa entre las diez de la mañana y la una de la tarde, o por

el contrario si se utiliza entre las ocho y diez de la mañana el ajuste en altura es más crítico.

### **18.3. Pruebas a la cámara de esterilización**

El recipiente que funcionara como cámara de esterilización (El autoclave en sí) se sometió a una serie de pruebas para comprobar la existencia de fugas, la resistencia a la presión y observar el comportamiento de los parámetros de presión y temperatura en su interior. Dada la imposibilidad de realizar estas pruebas en conjunto con el colector, se limitó únicamente a utilizar gas propano como fuente de energía calorífica para ello. Se tomaron lecturas de presión y temperatura cada minuto durante un periodo determinado, los resultados se muestran en la figura 104.

La primera prueba "P1" corresponde a la prueba de verificación de fugas al doble de la presión de operación, a 30 psig la cual resultó exitosa, la segunda prueba "P2" al comportamiento de las variables a la misma presión y la tercera "P3" al comportamiento de las variables en condiciones normales de operación a una presión de 15 psig. Durante las pruebas no se realizaron ajustes para mantener la temperatura establecida de 121°C con el objetivo de verificar el funcionamiento de la válvula de alivio y cómo afecta la caída de presión respecto a la temperatura en su interior.

En la figura 106 se muestran solo los resultados de la prueba 3, donde se evaluó el comportamiento de la presión y temperatura en condiciones normales de funcionamiento (121°C y 15 psig), que es el caso de mayor interés y para lo cual la válvula de alivio fue ajustada para operar a 16 psi.

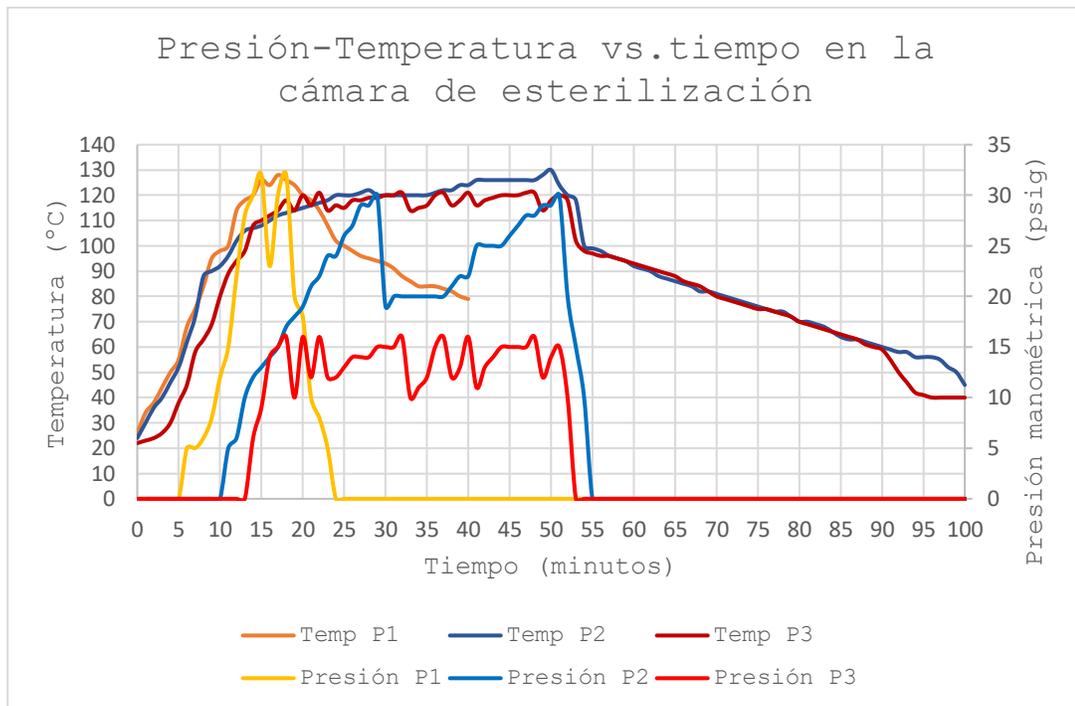


Figura 105. Gráficas del comportamiento de la presión y temperatura al interior del autoclave durante las pruebas.

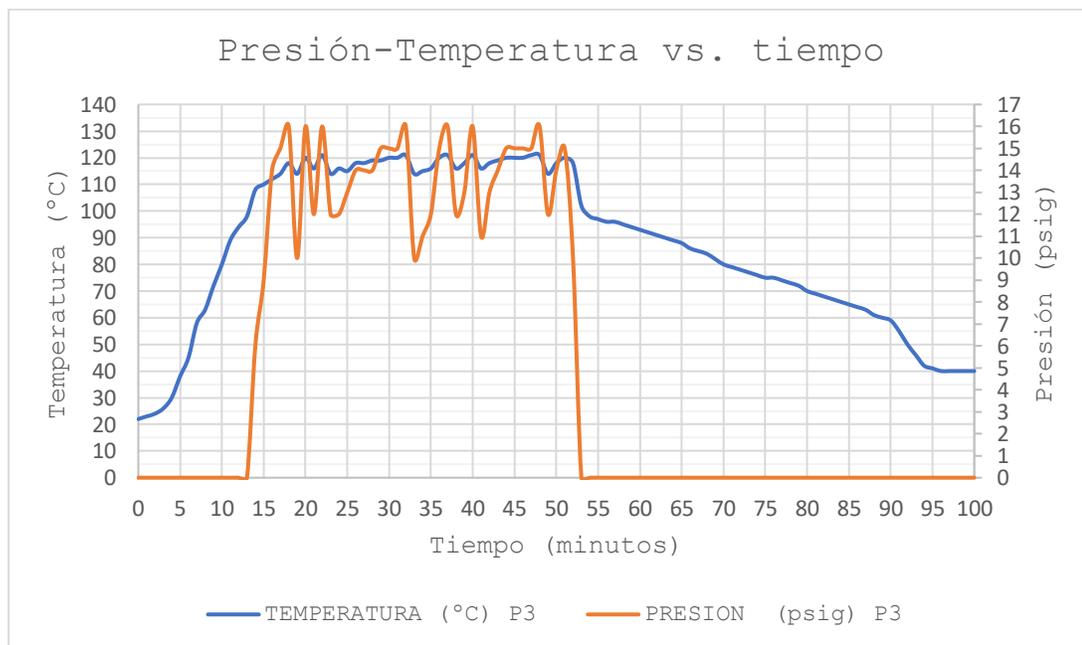


Figura 106. Resultados de la prueba 3 realizada al autoclave.

Se observa cómo inicialmente en la fig. anterior como la temperatura se incrementa rápidamente, según los datos aproximadamente a razón de 2 a 4°C los primeros minutos y después de 5 a 10°C, para luego disminuir y hacerse más lento el cambio justo después de cerrar la válvula de purga. Durante esta prueba, el periodo de evacuación del aire interior tomó 13 minutos, alcanzando en ese momento una temperatura de 98°C tras lo que se cerró dicha válvula, en la gráfica se observa claramente este hecho en un cambio de pendiente del gráfico de temperatura. Un minuto después ya se registraba una presión de 6 psig y una temperatura de 108°C. Alcanzar los parámetros requeridos de 121°C y 15 psig, tomó en total 22 minutos, es decir que este periodo corresponde a la etapa de pre condicionado, y a partir de donde se deben empezar a contar los 30 minutos que dura el proceso de esterilización.

Previo a esto se tuvo la actuación de la válvula de alivio en dos ocasiones con un minuto de diferencia entre estas.



Figura 107. Lecturas registradas durante las pruebas del autoclave.

Las caídas de presión debido a la actuación de la válvula de alivio se observan tanto en la figuras 105 y 106 en las gráficas de presión como un valle entre dos valores pico. Como comparativa en las pruebas 1 y 2 la caída de presión resultó ser mayor que en la prueba 3, así en la prueba 1 la caída de presión fue de 9 psi con 2 minutos de diferencia entre una y otra actuación; en la prueba 2 se registró una caída de 10 a 11 psi con una diferencia de 22 minutos, mientras

que en la última prueba se observó una diferencia de solo 3 a 5 psi luego de activarse la válvula de alivio.

La temperatura se ve levemente afectada tras la liberación de presión ocasionando una caída promedio en la temperatura de 4°C, inicialmente se tuvo la operación de la válvula de alivio sin llegar a alcanzarse los parámetros requeridos cuando se registró una temperatura de 118°C a la que se siguieron continuas liberaciones de sobrepresión, con un minuto de diferencia.

Es importante mantener las condiciones lo más estables posibles ya que en general cualquier perturbación como variaciones en la temperatura y las sobrepresiones o bien las caídas de presión como estas distorsionan las condiciones al interior del autoclave.

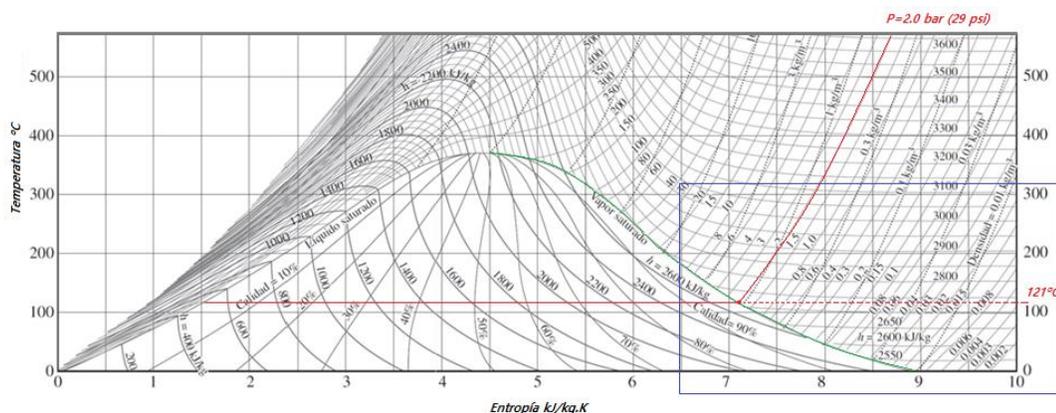


Figura 108. Diagrama Temperatura – entropía del agua, donde se muestran los parámetros de operación del autoclave.

Tomando la figura anterior como referencia en el que se muestra un diagrama temperatura-entropía del agua, donde en rojo se muestran la presión y la temperatura de operación, en verde la línea de vapor saturado y en el recuadro azul las zonas mostradas en las fig. 109 y 110 con mayor amplitud, se sigue el siguiente análisis:

Si estando en las condiciones correctas con temperatura de 121°C y una presión absoluta de 29 psi (en saturación); si se disminuye la presión

considerablemente manteniendo la temperatura; en esos instantes el vapor pasará de saturado a sobrecalentado, lo que afectaría la transferencia de calor hacia los objetos ya que el vapor sobrecalentado no podrá condensarse sobre las superficies de los artículos a esterilizar haciendo ineficiente el proceso, a la vez que impediría la hidratación de los microorganismos, condición clave y necesaria para la destrucción de estos. Por el contrario, si la presión es alta con respecto a la temperatura, el vapor se sobresaturará, y se condensará al hacer contacto con superficies relativamente frías interfiriendo con el proceso de esterilización impidiendo la transferencia de calor hacia los artículos, aunque este caso es menos improbable que suceda ya que la válvula de alivio lo impide.

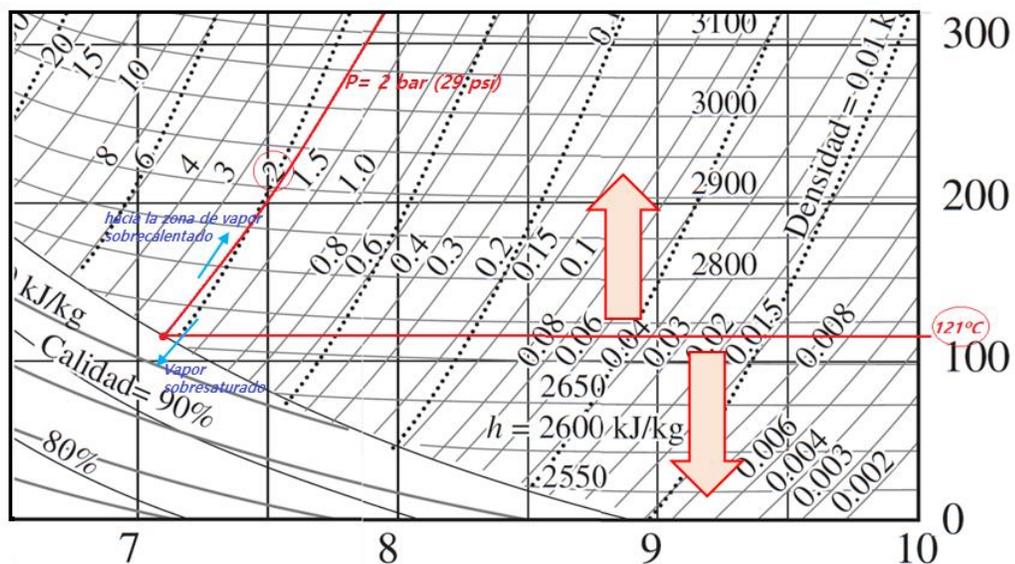


Figura 109. Transición de vapor saturado a sobrecalentado/sobresaturado al variar la temperatura.

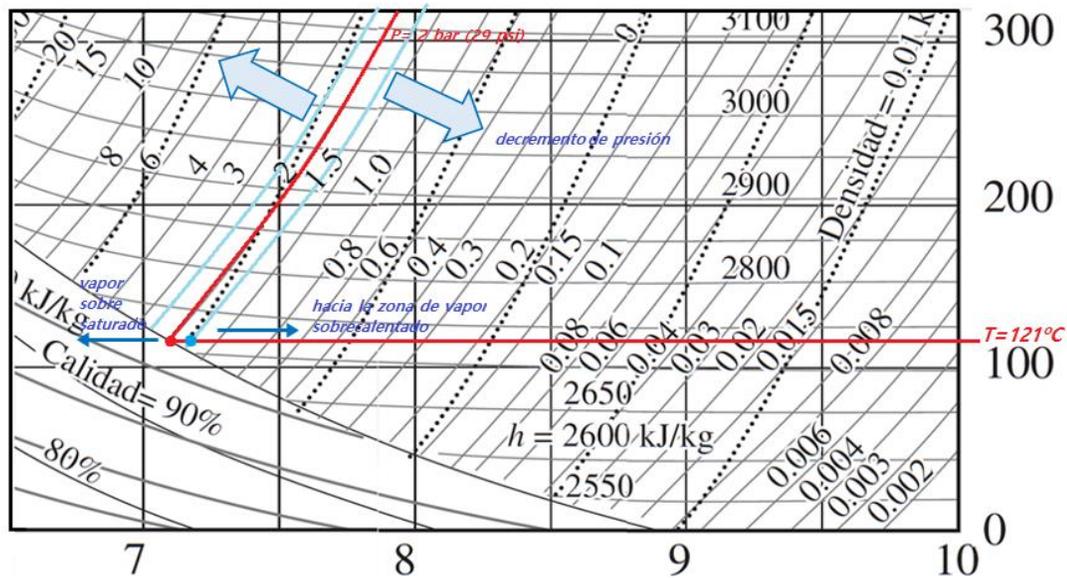


Figura 110. Transición de vapor saturado a sobrecalentado/sobresaturado al variar la presión.

De forma similar el aumento de la temperatura, a una presión constante dará como resultado la transformación del vapor saturado a sobrecalentado; y por el contrario una disminución de la temperatura, con la presión constante llevaría a la sobresaturación del vapor, provocando los problemas ya mencionados. Alcanzados los parámetros requeridos de  $121^\circ\text{C}$  y 15 psig, a partir del cual se contaron 30 minutos que corresponderían a la etapa de exposición ocurrieron tres liberaciones de sobrepresión, esto debido a que la presión de operación a la que fue ajustada la válvula de alivio durante esta prueba fue de 16 psig y la presión de operación era de 15 psig, por lo que el margen de regulación era demasiado pequeño para mantenerse estables durante largo tiempo, por lo que se recomienda ajustar levemente la presión de operación de la válvula de alivio, incrementándola.

Pasados los 30 minutos se procedió a abrir la válvula de purga para liberar el vapor, vale mencionar que la caída de presión producida por esta válvula es bastante abrupta y fácilmente puede llegarse a liberar prácticamente toda la sobrepresión interior en un periodo muy corto, dependiendo de la rapidez con

que se abra, tal como se observa en la gráfica de la figura 106, y por el contrario la disminución de la temperatura es bastante lenta, y aun cuando ya se ha liberado toda la presión el interior se encuentra a temperaturas cercanas a los 100°C en esos mismos instantes.

Luego de 1 hora con 29 minutos desde el inicio de la prueba se procedió a retirar la tapa del autoclave, cuando la temperatura alcanzada en ese momento fue de 60°C que ya puede considerarse segura. En la figura 111 donde solo se muestra el comportamiento de la temperatura es posible demarcar con mayor claridad con zonas coloreadas las etapas del proceso y los puntos importantes de este.

El tramo de A a C comprende la etapa del pre acondicionado, en el punto A se encuentra a temperatura ambiente al inicio, el punto B corresponde al instante del cierre de la válvula de purga de aire, durante el periodo que corresponde el tramo A a B el autoclave se encuentra a presión atmosférica. El punto C indica el inicio de la etapa de exposición, donde se han alcanzado los parámetros requeridos de presión y temperatura.

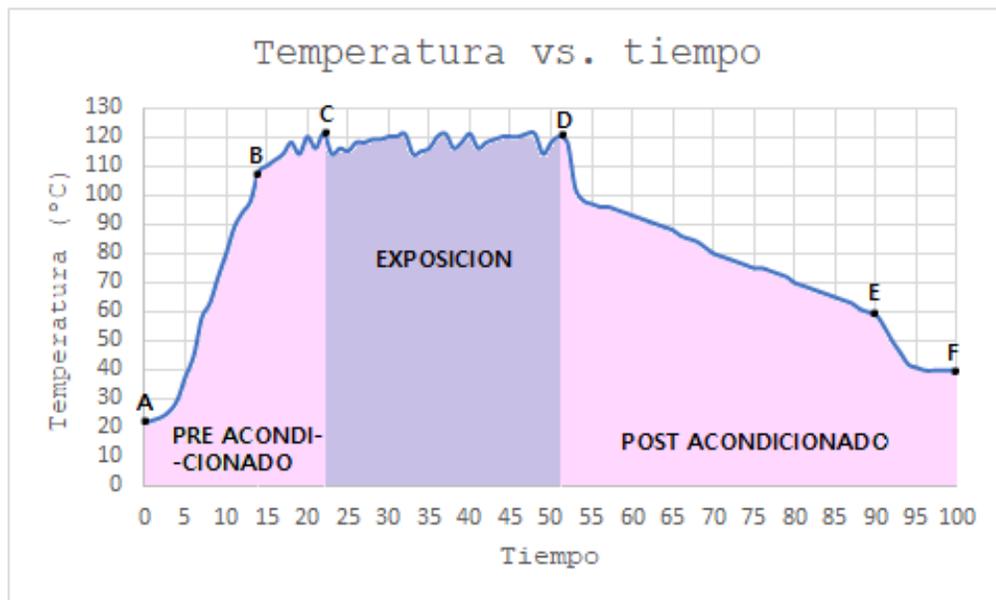


Figura 111. Etapas del proceso de esterilización y sus puntos importantes.

El tramo C a D es la etapa de exposición, es decir a la etapa de esterilización propiamente dicha, es destacable que aquí con la actuación de la válvula de alivio la disminución de temperatura es muy leve, pero aun así en la práctica se busca que en este periodo sea lo más constante posible, cosa que puede mejorarse teniendo el control del flujo de energía haciendo pequeños ajustes en la orientación angular del concentrador, así como también incrementando un poco la presión de operación de la válvula de alivio para tener mayor margen de ajuste de la presión y temperatura.

La parte final de D hasta F corresponde a la etapa del post acondicionado. El punto D es el instante de apertura de la válvula de purga que además indica el final del tiempo de exposición y da paso a esta última etapa. El punto E indica la apertura de la tapa del autoclave, de ahí que se observe una caída más rápida de temperatura para luego estabilizarse y alcanzar el punto F que es el último valor de temperatura medido.

Si bien aquí la etapa de post acondicionado ha tomado 48 minutos tomando desde D hasta F, la duración de este puede ser menor o mayor si se requiere, por ejemplo, en la prueba 2 la etapa de post acondicionado se tomó desde el punto de apertura de la válvula de purga hasta alcanzarse la temperatura ambiente nuevamente, lo que demoró 1 hora 43 minutos.

En todo caso los criterios que deben considerarse para determinar su duración real son en primer lugar; que la temperatura sea segura para su manipulación, ya que la liberación de presión como su contraparte en este periodo es bastante rápida, y en segundo lugar que los paquetes se encuentren bien secos para que el empaque no resulte dañado al momento de retirarlos.

Por último, se realizó una comparativa de la variación de la temperatura exterior respecto con la interior. Los datos presentados aquí corresponden a los recolectados en la prueba 8 del concentrador y los de la prueba 3 del autoclave durante los primeros 30 minutos, es decir aproximadamente el tiempo que

tentativamente duraría la etapa de pre condicionado usando el concentrador solar.

Ya que estas pruebas se realizaron por separado, no fue posible monitorear la temperatura al interior del recipiente de prueba con un termómetro durante la prueba con el concentrador, así que para tener un mejor punto de comparación entre una y otra prueba, se calcularon además, cuáles serían las temperaturas en el interior de la cámara de esterilización partiendo de los datos recolectados durante la mencionada prueba que en este caso corresponden a la temperatura externa del recipiente de prueba.

Para determinar las temperaturas al interior se siguió el análisis de transferencia de calor en el que se consideró que la potencia disponible en forma de calor atraviesa la base del recipiente hecha de acero mediante el mecanismo de transferencia de calor por conducción, y luego por convección atravesando la parte de agua líquida para llegar a la zona gaseosa en forma de vapor. Haciendo un símil termoeléctrico se plantea la situación como el flujo de calor a través de tres resistencias, que representan respectivamente la pared de acero del esterilizador, el agua líquida y el vapor.

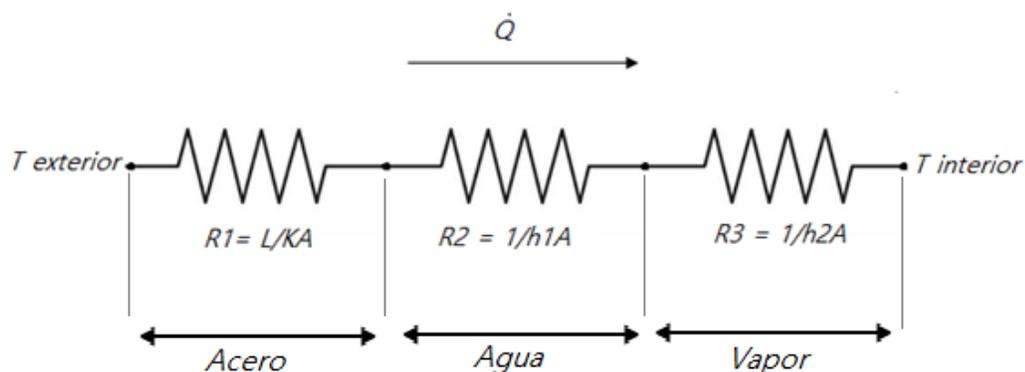


Figura 112. Esquema que representa la situación de transferencia de calor desde la superficie hacia el interior del autoclave.

Resultando la ecuación:

$$\dot{Q} = \frac{\Delta T}{\sum R_i} = \frac{T_{\text{exterior}} - T_{\text{interior}}}{R_1 + R_2 + R_3}$$

Donde:

- $\dot{Q}$ ; es la potencia disponible para el proceso de esterilización (libre de pérdidas)
- $\Delta T$ ; es la diferencia de temperaturas entre la superficie exterior del autoclave y el interior de este
- R, las resistencias térmicas a la conducción de calor de cada medio.

Para el cálculo de las resistencias térmicas se tomaron los valores de:

- Conductividad del acero inoxidable 304 de  $k = 14.9 \text{ W/m} \cdot \text{K}$
- Coeficiente de convección térmica de  $h_1 = 3000 \text{ m}^2\text{K}$ , para el agua y  $h_2 = 6000 \text{ W/m}^2\text{K}$  para el vapor [13].
- Área de la base del autoclave y contacto de  $0.062 \text{ m}^2$
- Espesor de la pared del autoclave de  $L = 1.5 \text{ mm}$

Resultando una resistencia total de  $R_{\text{total}} = \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_1A} + \frac{1}{h_2A} = 0.00921 \text{ K/W}$

En cuanto a la potencia disponible Q, en este punto ya se han tomado en cuenta previamente las pérdidas por radiación, convección, así como por transmisión siguiendo el mismo análisis presentado en el apartado 13, capítulo II; así que evaluando para cada registro de datos de la prueba 8 del concentrador se obtuvieron los resultados que se presentan en la en la tabla 23.

Los cálculos anteriores indican que la caída de temperatura a través del recipiente hacia el interior es pequeña, y la diferencia de temperatura entre el exterior e interior al principio es levemente mayor que al final. Esto se muestra en la figura 45 donde aparecen estos resultados como una gráfica con línea punteada.

Tabla 23. Temperaturas estimadas de acuerdo a los datos recolectados en la prueba 8 del concentrador.

t (minutos)	Irradiancia G (W/m <sup>2</sup> )	Q entrada (W)	Q transmitido (W)	Q disponible (W)	T exterior (°C)	T interior (°C)
0	737	832.81	764.75	405.96	92	88.26
10	768	867.84	796.91	264.23	122	119.56
20	818	924.34	848.79	287.13	127	124.35
30	816	922.34	846.96	209.94	140	138.06

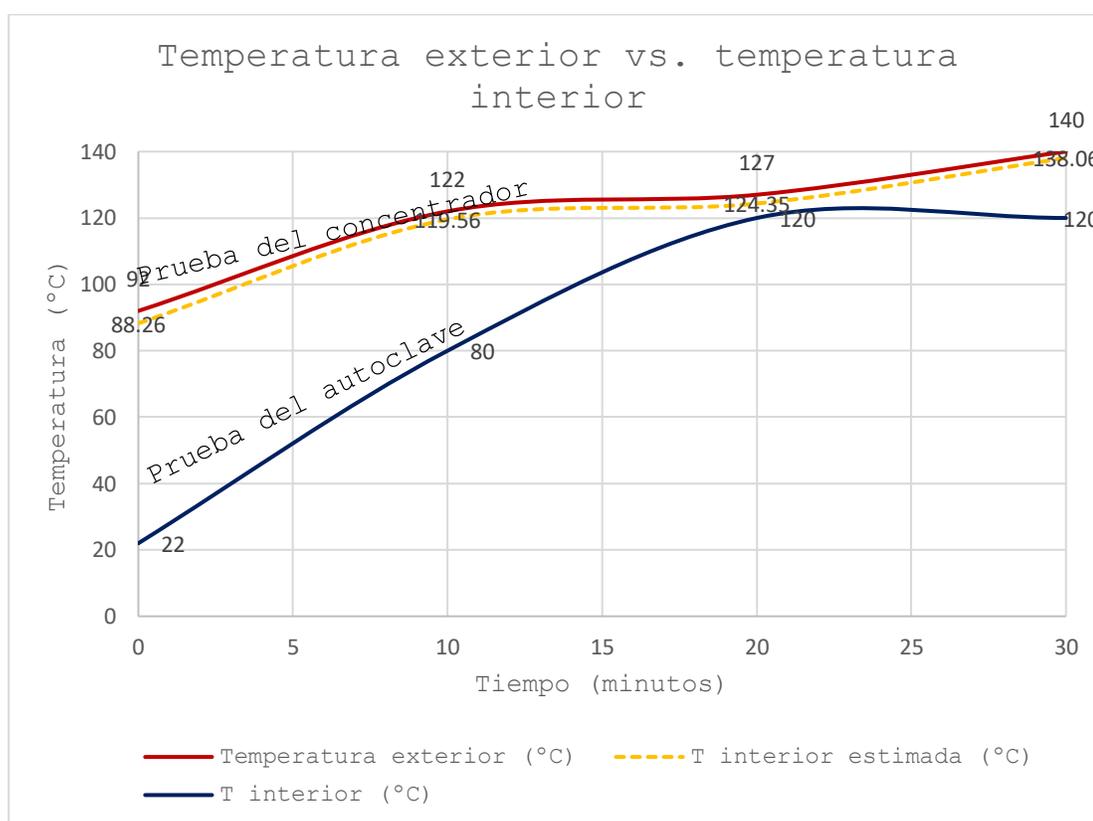


Figura 113. Comparativa de la evolución de la temperatura exterior respecto a la interior del autoclave.

Luego comparando entre las dos pruebas puede notarse como en la figura anterior se alcanza la temperatura requerida más rápido con el concentrador solar (en rojo) que con el gas propano (en azul). Llegar a la temperatura de operación solo le demora 10 minutos, mientras que con este último tarda aproximadamente el doble de tiempo.

Esto contrasta con los resultados obtenidos en la prueba 8 del concentrador en el que el tiempo de ebullición registrado fue de 30 minutos, sin embargo, es probable que el momento de la ebullición haya ocurrido mucho antes, debido a que el tipo de recipiente utilizado en esta prueba impedía visualizar lo que ocurría hasta que el exceso de presión en el interior se hacía evidente.

## **19.0. PRUEBAS DE VALIDACIÓN**

Para tener certeza de que el equipo funciona correctamente al momento de ponerlo definitivamente en operación es necesario someterlo a las respectivas pruebas de validación. La validación consiste en comprobar de forma certificada y suficientemente documentada que un proceso cumple con los requisitos para los que fue diseñado dentro de ciertos límites preestablecidos. Este proceso comprende tres protocolos que deben cumplirse, estos son:

- Validación de la instalación; esta fase va asociada a la instalación por parte del proveedor del servicio e incluirá la calibración de los elementos de medición y control, documentación, planos, instrucciones de trabajo, etc.
- Validación de la operación; esta es la fase crucial de puesta a punto del proceso donde debe probarse su robustez y fiabilidad frente a los peores casos.
- Validación del desempeño; en esta última fase se observa la reproducibilidad del proceso, La formación y calificaciones precisas requeridas para su operación, instrucciones de trabajo definitivas y puestas en marcha.

A continuación, se describen brevemente las actividades y aspectos relacionados en cada uno de ellos.

### 19.1. Validación de la instalación

En esencia la validación de la instalación se sustenta con los manuales de operación y mantenimiento. Los contenidos en cada uno deberán contener básicamente, para el caso del manual de operación:

- Descripción de la aplicación
- Preparación de la carga (cantidad, empaque, disposición en la cámara, y manejo posterior)
- Preparación del equipo (suministro de agua o vapor y parámetros de esterilización)
- Descripción del procedimiento de esterilización.

Mientras que el manual de mantenimiento deberá contener:

- Recomendaciones de cuidado y uso seguro del equipo
- Partes que deben ser revisadas periódicamente
- Historial de las fallas y reparaciones de la autoclave

Otros aspectos a tomar en cuenta por el protocolo son: Las especificaciones del autoclave, descripción del producto, modelos de carga, métodos de monitoreo y control, calibración de sensores y calidad de vapor.

Para la calibración, la verificación se hace comparando el medidor con un patrón certificado en un banco de pruebas. Se deben calibrar los medidores de tiempo, temperatura y presión; los medidores de temperatura y presión deben ser retirados del autoclave para la calibración.

Respecto a la calidad del vapor, todas las normas de validación establecen que el vapor usado en la esterilización debe ser evaluado periódicamente para probar que sea de alta pureza, sin minerales, carga orgánica ni gases no condensables (menores que 3.5%) y saturado con 5 a 8 % de fase líquida, es decir con calidad entre 92-95%. No deberá de utilizarse nunca agua potable, solamente destilada.

En cuanto a los indicadores de control de la esterilización; estos son dispositivos que se utilizan como muestra para corroborar la validez de los parámetros de esterilización, estos pueden ser del tipo:

- Físico: son los instrumentos de medición propios incorporados al esterilizador, tales como termómetros, manómetros de presión, cronómetros, válvulas y sistemas de registro de parámetros, entre otros y que permiten visualizar directamente si el equipo ha alcanzado los parámetros exigidos para el proceso.
- Químico: son sustancias que pueden tener diversas presentaciones ya sea en forma de cintas adhesivas, tiras, etc. y que reaccionan al calor cambiando de color a partir de cierta temperatura u otros parámetros.
- Biológico: Son preparados que contienen una carga suficiente de microorganismos de alta resistencia a la esterilización y cuya destrucción, al ser sometidos a un ciclo determinado, indica que ésta se ha desarrollado satisfactoriamente. En la esterilización por vapor húmedo usualmente se utiliza como indicador biológico una ampolla conteniendo bacterias de *Geobacillus Stearothermophilus*.

## **19.2. Validación de la operación**

Consiste en comprobar que los diferentes elementos de medida y control que equipan el esterilizador funcionan correctamente y dentro de los rangos especificados por el fabricante. Asimismo, se pretende comprobar que la distribución de temperaturas en la cámara es homogénea y dentro de cierto rango establecido. Comprende las siguientes actividades:

- Calibración de los elementos de regulación y control.
- Realización del ciclo de Test de vacío (solo en autoclaves con pre vacío)
- Realización del ciclo de Bowie-Dick (solo en autoclaves con pre vacío).

- Realización de tres pruebas termométricas con la cámara de esterilización vacía para la obtención del perfil de temperaturas en todos los puntos de la cámara.

Aquí el punto más importante a tener en cuenta es el mapeo de temperatura de la cámara vacía, con el objetivo de demostrar la uniformidad y la estabilidad de la temperatura; para autoclaves la variación permitida es de  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  cuando la temperatura de la cámara no es menor de  $121^{\circ}\text{C}$ .

### **19.3. Validación del desempeño**

Aquí se realiza el análisis de la penetración de calor con la carga máxima, normal y mínima además se estudia el efecto de la carga (comparando la penetración con carga máxima y mínima); y la eficacia microbiológica de la esterilización.

Los estudios de penetración de calor se realizan para verificar que cada posición dentro de la carga esté expuesta al calor suficiente para una esterilización adecuada. Estas pruebas se realizan de manera similar a las pruebas de cámara vacía, excepto que los termopares se colocan dentro de la carga en lugar de las extremidades de la cámara.

Por su parte, las pruebas de desafío o control biológico se realizan al mismo tiempo que los estudios de penetración, mediante indicadores biológicos los cuales se pueden obtener en una variedad de tipos diferentes, ya sea en ampollas, tiras de esporas, discos y suspensiones. Se debe tener en cuenta que el microorganismo de prueba tenga resistencia elevada al método de esterilización previsto en comparación a la resistencia de todos los microorganismos patógenos y de los que pueden producir contaminación en los artículos, además no debe ser patógeno (agente que no produzca enfermedad o daño a la biología de un huésped) y debe poder cultivarse con facilidad.

## 20. CONCLUSIONES

- Se concluye que los parámetros de operación determinados en la etapa de diseño son alcanzables y reproducibles en el equipo fabricado. Fácilmente puede llegarse a la temperatura objetivo de 121°C, e incluso superarse la temperatura de funcionamiento estimada. Por su parte la cámara de esterilización soportó satisfactoriamente la presión de operación, así como también la prueba al doble de esta presión y la válvula de alivio operó correctamente a la presión configurada, y así también los instrumentos indicadores lo hicieron.
- El recurso solar disponible en el país es adecuado para poder realizar este tipo de aprovechamientos, como lo demuestra este trabajo y que es posible la diversificación de aplicaciones en materia de energía solar.
- El ajuste angular de la posición del colector no siempre será el mismo, dependiendo de la hora y del día del año en que se utilice se debe prestar más o menos atención a la corrección de uno u otro ángulo de orientación. La tendencia general es que si se utiliza entre las ocho y diez de la mañana el cambio angular es mayor en altura comparado con el azimut. Por el contrario, entre diez de la mañana a una de la tarde es el azimut el que presenta mayor cambio angular con respecto a la altura.

## 21.0. RECOMENDACIONES

- Si bien se ha comprobado el funcionamiento de los elementos de este equipo y que puede operar con los parámetros de diseño estimados, se recomienda encarecidamente realizar las pruebas suficientes en conjunto del equipo para recabar la mayor cantidad de datos que permitan tener un mejor panorama del comportamiento del mismo, ya

que por la situación extraordinaria que se vive a causa de la pandemia del COVID-19 fue imposible realizar más y mejores pruebas aparte de las que se han presentado en este trabajo.

- Como complemento se deberán realizar los respectivos procesos de validación del equipo, previo a la puesta en funcionamiento final en el sitio de emplazamiento al que sea destinado el equipo.
- Realizar la recalibración de los instrumentos de medición y válvula de alivio del autoclave con un patrón de referencia. Para obtener un mejor control de la temperatura de operación, se recomienda ajustar la válvula de alivio a 18 psi.
- Según los resultados obtenidos en las pruebas se recomienda como periodo más favorable para utilizar el equipo entre las diez de la mañana y una de la tarde, teniendo en cuenta que a medida que el sol se encuentre más alto en el cielo mayor irradiancia solar hay disponible.
- Para mejorar la eficiencia óptica del conjunto, se recomienda siempre recubrir la base de la cámara de esterilización con pintura negra mate resistente a la alta temperatura.
- El lugar de instalación del equipo deberá ser plano, libre de irregularidades en el terreno y de obstáculos tales como árboles, muros, techos, etc. que puedan arrojar sombra sobre el concentrador.
- Si se desea mayor facilidad de movimiento de la estructura al rotar para corregir el ángulo de azimut, una vez se instale definitivamente en el sitio de operación, puede modificarse la estructura para que su base encaje sobre un pin empotrado al piso que permita girar el conjunto, tal como se menciona en el apartado 15.4.1 del capítulo II.

## 22.0. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Acosta, S. y Andrade, V. (2008). Manual de esterilización para centros de salud, Organización Panamericana de la Salud. Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la Organización Mundial de la Salud; Washintong, D.C. OPS.
- [2] Alarcón J., Hortúa A. y López A. (2013) Diseño y construcción de un colector solar parabólico de disco para zonas rurales en Colombia. Universidad Distrital Francisco José de Caldos, Bogotá, Colombia. Recuperado de: <http://tecciencia.ecci.edu.co/index.php/TECCIENCIA/article/view/25>
- [3] Budynas, Richard G. y Nisbett, J. Keith (2012). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley. 9° Edición, Editorial Mc Graw-Hill - Interamericana editores, México.
- [4] Compact solar autoclave based on steam generation using broadband light-harvesting nanoparticles. Fuente: <https://www.pnas.org/content/110/29/11677>
- [5] Dion, Marcel. y Parker, Wayne. (2013). Steam Sterilization Principles. Pharmaceutical engineering, Publicado por Sociedad Internacional de ingeniería farmacéutica (ISPE).
- [6] Duffie, Jhon A. y Beckman, William A. (2005). Solar Engineering of thermal processes. Hoboken, New Jersey: Jhon Willey & Sons Inc.
- [7] Echazú, R. Cadena, C. y Saravia, L. (2013). Estudio de materiales reflectivos para concentradores solares. Universidad Nacional de Salta, República Argentina.
- [8] Finger, Mike y Brew, Don (2007). Steam sterilization and the 2007 revision of the PDA (Parenteral Drug Association) technical report 1.
- [9] Megyesy, Eugene F. (1992). Manual de recipientes a presión: Diseño y cálculo. 1° Edición, Editorial LIMUSA S.A. de C.V., Grupo NORIEGA editores, México
- [10] Ministerio de Salud de El Salvador, Viceministerio de Salud de Políticas Sectoriales, Dirección de Regulación. Viceministerio de Servicios de Salud,

- Dirección de Apoyo a la Gestión y Programación Sanitaria, Dirección Nacional de Hospitales (2011). Lineamientos técnicos para la descontaminación de material médico quirúrgico en los establecimientos de las RIIS. 1ª. Edición, Ministerio de Salud, San Salvador, El Salvador, C.A.
- [11] Raymond G. Lewis (2002). Practical guide to autoclave validation. Publicado por Pharmaceutical engineering, Sociedad Internacional de ingeniería farmacéutica (ISPE).
- [12] Velasco C. (2012). Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay. Escuela técnica superior de ingenieros y minas. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/148662489.pdf>
- [13] [http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection\\_Topics/Convection\\_Heat\\_Coefficient.htm](http://help.solidworks.com/2011/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/AnalysisBackground/ThermalAnalysis/Convection_Topics/Convection_Heat_Coefficient.htm)

### **23.0. BIBLIOGRAFÍA**

- Garrido Abate, Nicolás (2015). Manual básico del uso de autoclaves. Arica, Chile, Universidad de Tarapacá, Facultad de ciencias, Depto. de Biología.
- Ginjuame, A. y Torre, F. (2005) Ejecuciones de proceso de mecanizado, conformado y montaje. 2º edición, Editorial Paraninfo, Madrid.
- Groover, Mikell P. (2007). Fundamentos de manufactura moderna. 3º edición, Editorial Mc Graw Hill, México.
- Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Dirección de regulación, unidad de enfermería (2006). Manual organizativo y de funcionamiento de una central de esterilización hospitalaria. San Salvador, El Salvador: Ministerio de Salud.
- Murray, Patrick R., Rosenthal Ken S., y Pfauer, Michael A. (2005). Microbiología médica. Madrid, España: Editorial ELSEVIER Inc. España.

- Robilotti, Silvia y Couso, Andrea (2011). Procesos de esterilización. San Miguel, Buenos Aires, Argentina: Control de infecciones y epidemiología CODEINEP.
- Yunus A. Çengel (2007). Transferencia de calor y masa, un enfoque práctico. 3ª Edición, Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana editores, México.
- Yunus A. Çengel y Michael A. Boles (2012). Termodinámica. 7ª Edición, Editorial Mc Graw-Hill/ Interamericana editores, México.

#### **OTRAS FUENTES:**

- Control de microorganismos: Esterilización. Fuente:  
<http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/microgeneral/wpcontent/uploads/2017/02/03-b-ESTERILIZACIÓN-2017.pdf>
- El instrumental quirúrgico. Algo de su historia. Fuente:  
<https://www.linkedin.com/pulse/el-instrumental-quir%C3%BArgico-algo-de-su-historia-albarracin-miranda>
- El hilo dorado: La energía solar. Fuente:  
[http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec\\_6.htm](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/htm/sec_6.htm)
- Manual de instrumental quirúrgico. Fuente:  
<https://www.studocu.com/es/document/universidad-europea-de-madrid/medicina-legal-y-forense/trabajo-tutorial/manual-de-instrumental-quirurgico/3053337/view>
- Programa de formación WFHSS Nivel 1: El reprocesamiento de dispositivos médicos.  
Fuente: <http://www.wfhss.com/html/educ/educ.php>
- ¿Qué es un autoclave? Fuente:

[https://tuttnauer.com/blog/esterilizacion-por-autoclave/que-es-un-autoclave?fbclid=IwAR02y\\_VF3njgGQMU8cacwAOIkMBz4ToBNCT2\\_upMcyWp8xG1pZ5zOer2YVo](https://tuttnauer.com/blog/esterilizacion-por-autoclave/que-es-un-autoclave?fbclid=IwAR02y_VF3njgGQMU8cacwAOIkMBz4ToBNCT2_upMcyWp8xG1pZ5zOer2YVo)

## 24.0. ANEXOS.

### A1.- CERTIFICACIÓN DEL PROVEEDOR SOBRE LAS PROPIEDADES DEL ACERO AISI 304.



**¡Sólidos como el Acero!**

**Materiales en Acero Inoxidable**

- Láminas, Tubería, Ángulos, Barillas, etc
- Abrasivos para Acero inoxidable
- Fabricación de Muebles, Pasamanos y gradas en Acero inoxidable
- Otros Materiales

- LOS MEJORES PRECIOS COMPROBADO
- VENTAS DE MATERIALES EN MEDIDAS QUE NECESITAS
- SERVICIO DE CORTE: TUBOS Y SOLDADURA

#### MILL TEST CERTIFICATE

No. AS-20190826

Date:  
Nov 10, 2019

Customer: ESMERALDA MEJIA

FACT: 03971 (27/11/2019)

Product: COLD ROLLED STAINLESS STEEL TYPE-AISI304 ASTM A240, 2B WITH PE

ITEM	SIZE				PCS	QTY/KGS	HEAT No.	GRADE AISI	FINISH			
1	1.5mm x 1.00mt x 1.00mt				01	12.0	9Q385	304	2B/PVC			
CHEMICAL COMPOSITION (%)												
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	N	HARDNESS HV	ELONG% MIN 40	T.S. Mpa MIN 520	Y.S. Mpa MIN 205
1	0.024	0.39	1.38	0.030	0.004	8.05	18.22	0.050	183	52.0	678	314

We hereby certify that material described herein has been manufactured and tested with satisfactory results and in accordance with specifications above.

**Sucursal Central**  
Tel. (503) 2222-6911, 2562-4741  
1a Avenida Nte. #530, San Salvador.

**Sucursal San Miguel**  
Tel. (503) 2639-2211, 2639-2269  
Carretera Panamericana Km. 134, San Miguel.

acerosinoxidables@gmail.com  
Facebook.com/ainoxidables  
[www.AcerosInoxidablesdeCA.com](http://www.AcerosInoxidablesdeCA.com)

Fuente: Aceros Inoxidables de Centro América S.A. de C.V. (AICA)

## A2.-PROPIEDADES MECÁNICAS DE ALGUNOS METALES.

Número	Material	Condición	Resistencia (a la tensión)					Resistencia a la deformación, exponente m	Resistencia a la fractura $\sigma_f$
			Fluencia $S_y$ MPa (kpsi)	Última $S_u$ MPa (kpsi)	A la fractura, $\sigma_f$ MPa (kpsi)	Coficiente $\sigma_0$ MPa (kpsi)			
1018	Acero	Recocido	220 (32.0)	341 (49.5)	628 (91.1) <sup>†</sup>	620 (90.0)	0.25	1.05	
1144	Acero	Recocido	358 (52.0)	646 (93.7)	898 (130) <sup>†</sup>	992 (144)	0.14	0.49	
1212	Acero	HR	193 (28.0)	424 (61.5)	729 (106) <sup>†</sup>	758 (110)	0.24	0.85	
1045	Acero	TyR 600°F	1520 (220)	1580 (230)	2380 (345)	1880 (273) <sup>†</sup>	0.041	0.81	
4142	Acero	TyR 600°F	1720 (250)	1930 (210)	2340 (340)	1760 (255) <sup>†</sup>	0.048	0.43	
303	Acero inoxidable	Recocido	241 (35.0)	601 (87.3)	1520 (221) <sup>†</sup>	1410 (205)	0.51	1.16	
304	Acero inoxidable	Recocido	276 (40.0)	568 (82.4)	1600 (233) <sup>†</sup>	1270 (185)	0.45	1.67	
2011	Alcación de aluminio	T6	169 (24.5)	324 (47.0)	325 (47.2) <sup>†</sup>	620 (90)	0.28	0.10	
2024	Alcación de aluminio	T4	296 (43.0)	446 (64.8)	533 (77.3) <sup>†</sup>	689 (100)	0.15	0.18	
7075	Aluminum aluminio	T6	542 (78.6)	593 (86.0)	706 (102) <sup>†</sup>	882 (128)	0.13	0.18	

\* Los valores se toman de una o dos coladas y se considera que pueden obtenerse usando especificaciones de compra. La deformación por fractura puede variar hasta en 100%.

<sup>†</sup> Valor derivado.

Tomado de: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (3<sup>o</sup> Edición)

## A3.-FRAGMENTO DE LA TABLA DE PROPIEDADES FÍSICAS Y TÉRMICAS DE ALGUNOS TIPOS DE ACEROS INOXIDABLES.

TABLA A-3											
Propiedades de metales sólidos (continuación)											
Composición	Punto de fusión, K	Propiedades a 300 K				Propiedades a varias temperaturas (K), k(W/m · K)/c <sub>p</sub> (J/kg · K)					
		$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$c_p$ J/kg · K	$k$ W/m · K	$\alpha \times 10^6$ m <sup>2</sup> /s	100	200	400	600	800	1000
Aceros inoxidables:											
AISI 302	8 055	480	15.1	3.91				17.3	20.0	22.8	25.4
AISI 304	1 670	7 900	477	14.9	3.95	9.2	12.6	512	559	585	606
AISI 316	8 238	468	13.4	3.48		272	402	16.6	19.8	22.6	25.4
AISI 347	7 978	480	14.2	3.71				515	557	582	611
								15.2	18.3	21.3	24.2
								504	550	576	602
								15.8	18.9	21.9	24.7
								513	559	585	606

Tomado de: Transferencia de calor y masa, de Yunus A. Çengel (3<sup>o</sup> Edición)

#### A4.- DIÁMETROS Y ÁREAS DE ROSCAS UNIFICADOS DE TORNILLOS UNC Y UNF.

Designación de tamaño	Diámetro mayor nominal	Serie gruesa-UNC			Serie fina-UNF		
		Roscas por pulgada, <i>N</i>	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>	Roscas por pulgada, <i>N</i>	Área de esfuerzo de tensión $A_t$ , pulg <sup>2</sup>	Área del diámetro menor $A_r$ , pulg <sup>2</sup>
0	0.0600				80	0.001 80	0.001 51
1	0.0730	64	0.002 63	0.002 18	72	0.002 78	0.002 37
2	0.0860	56	0.003 70	0.003 10	64	0.003 94	0.003 39
3	0.0990	48	0.004 87	0.004 06	56	0.005 23	0.004 51
4	0.1120	40	0.006 04	0.004 96	48	0.006 61	0.005 66
5	0.1250	40	0.007 96	0.006 72	44	0.008 80	0.007 16
6	0.1380	32	0.009 09	0.007 45	40	0.010 15	0.008 74
8	0.1640	32	0.014 0	0.011 96	36	0.014 74	0.012 85
10	0.1900	24	0.017 5	0.014 50	32	0.020 0	0.017 5
12	0.2160	24	0.024 2	0.020 6	28	0.025 8	0.022 6
$\frac{1}{4}$	0.2500	20	0.031 8	0.026 9	28	0.036 4	0.032 6
$\frac{5}{16}$	0.3125	18	0.052 4	0.045 4	24	0.058 0	0.052 4
$\frac{3}{8}$	0.3750	16	0.077 5	0.067 8	24	0.087 8	0.080 9
$\frac{7}{16}$	0.4375	14	0.106 3	0.093 3	20	0.118 7	0.109 0
$\frac{1}{2}$	0.5000	13	0.141 9	0.125 7	20	0.159 9	0.148 6
$\frac{9}{16}$	0.5625	12	0.182	0.162	18	0.203	0.189
$\frac{5}{8}$	0.6250	11	0.226	0.202	18	0.256	0.240
$\frac{3}{4}$	0.7500	10	0.334	0.302	16	0.373	0.351
$\frac{7}{8}$	0.8750	9	0.462	0.419	14	0.509	0.480
1	1.0000	8	0.606	0.551	12	0.663	0.625
$1\frac{1}{4}$	1.2500	7	0.969	0.890	12	1.073	1.024
$1\frac{1}{2}$	1.5000	6	1.405	1.294	12	1.581	1.521

\* Esta tabla se compiló de la norma ANSI B1.1-1974. El diámetro menor se determinó mediante la ecuación  $d_r = d - 1.299\ 038p$  y el diámetro de paso a partir de  $d_p = d - 0.649\ 519p$ . Para calcular el área de esfuerzo de tensión se usaron la media del diámetro de paso y el diámetro menor.

Tomado de: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, tabla 8.2 (9º Edición)

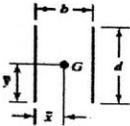
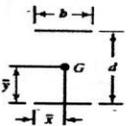
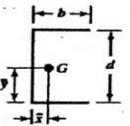
## A5.- ESPECIFICACIONES SAE PARA PERNOS DE ACERO.

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ a $\frac{3}{4}$ $\frac{7}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	55 33	74 60	57 36	Acero de bajo o medio carbono	
4	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ a 1 $1\frac{1}{8}$ a $1\frac{1}{2}$	85 74	120 105	92 81	Acero de medio carbono, T y R	
5.2	$\frac{1}{4}$ a 1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ a $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ a 1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

\* Las resistencias mínimas son resistencias que exceden 99 por ciento de los sujetadores.

Tomado de: Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, tabla 8.2 (9º Edición)

## A6.- PROPIEDADES FLEXIONANTES DE LAS SOLDADURAS DE FILETE

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$

## A7.- TABLA DE PROPIEDADES DEL AIRE A LA PRESION DE 1 ATMOSFÉRA

TABLA A-15

Propiedades del aire a la presión de 1 atm

Temp., $T, ^\circ\text{C}$	Densidad, $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico, $c_p, \text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica, $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica, $\alpha, \text{m}^2/\text{s}^2$	Viscosidad dinámica, $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática, $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl, Pr
-150	2.866	983	0.01171	$4.158 \times 10^{-6}$	$8.636 \times 10^{-6}$	$3.013 \times 10^{-6}$	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	$8.036 \times 10^{-6}$	$1.189 \times 10^{-5}$	$5.837 \times 10^{-6}$	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	$1.252 \times 10^{-5}$	$1.474 \times 10^{-5}$	$9.319 \times 10^{-6}$	0.7440
-40	1.514	1 002	0.02057	$1.356 \times 10^{-5}$	$1.527 \times 10^{-5}$	$1.008 \times 10^{-5}$	0.7436
-30	1.451	1 004	0.02134	$1.465 \times 10^{-5}$	$1.579 \times 10^{-5}$	$1.087 \times 10^{-5}$	0.7425
-20	1.394	1 005	0.02211	$1.578 \times 10^{-5}$	$1.630 \times 10^{-5}$	$1.169 \times 10^{-5}$	0.7408
-10	1.341	1 006	0.02288	$1.696 \times 10^{-5}$	$1.680 \times 10^{-5}$	$1.252 \times 10^{-5}$	0.7387
0	1.292	1 006	0.02364	$1.818 \times 10^{-5}$	$1.729 \times 10^{-5}$	$1.338 \times 10^{-5}$	0.7362
5	1.269	1 006	0.02401	$1.880 \times 10^{-5}$	$1.754 \times 10^{-5}$	$1.382 \times 10^{-5}$	0.7350
10	1.246	1 006	0.02439	$1.944 \times 10^{-5}$	$1.778 \times 10^{-5}$	$1.426 \times 10^{-5}$	0.7336
15	1.225	1 007	0.02476	$2.009 \times 10^{-5}$	$1.802 \times 10^{-5}$	$1.470 \times 10^{-5}$	0.7323
20	1.204	1 007	0.02514	$2.074 \times 10^{-5}$	$1.825 \times 10^{-5}$	$1.516 \times 10^{-5}$	0.7309
25	1.184	1 007	0.02551	$2.141 \times 10^{-5}$	$1.849 \times 10^{-5}$	$1.562 \times 10^{-5}$	0.7296
30	1.164	1 007	0.02588	$2.208 \times 10^{-5}$	$1.872 \times 10^{-5}$	$1.608 \times 10^{-5}$	0.7282
35	1.145	1 007	0.02625	$2.277 \times 10^{-5}$	$1.895 \times 10^{-5}$	$1.655 \times 10^{-5}$	0.7268
40	1.127	1 007	0.02662	$2.346 \times 10^{-5}$	$1.918 \times 10^{-5}$	$1.702 \times 10^{-5}$	0.7255

Tomado de: Transferencia de calor y masa, de Yunus A. Çengel (3º Edición)

## A8.- PROPIEDADES TERMODINÁMICAS DEL AGUA (Fragmento)

TABLA A-4

Agua saturada. Tabla de temperaturas

Temp., $T ^\circ\text{C}$	Pres. sat., $P_{\text{sat}} \text{ kPa}$	Volumen específico, $\text{m}^3/\text{kg}$		Energía interna, $\text{kJ/kg}$			Entalpía, $\text{kJ/kg}$			Entropía, $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$		
		Liq. sat., $v_f$	Vapor sat., $v_g$	Liq. sat., $u_f$	Evap., $u_{fg}$	Vapor sat., $u_g$	Liq. sat., $h_f$	Evap., $h_{fg}$	Vapor sat., $h_g$	Liq. sat., $s_f$	Evap., $s_{fg}$	Vapor sat., $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6601
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265

Tomado de: Termodinámica, de Yunus A. Çengel / Michael Boles (7º Edición)

## A9.- TABLA DE PROPIEDADES RELATIVAS A LA RADIACION SOLAR DE ALGUNOS MATERIALES

Propiedades relativas a la radiación solar de los materiales				
Descripción/composición	Absortividad solar, $\alpha_s$	Emisividad, $\varepsilon$ , a 300 K	Relación, $\alpha_s/\varepsilon$	Transmisividad solar, $\tau_s$
Aluminio				
Pulido	0.09	0.03	3.0	
Anodizado	0.14	0.84	0.17	
Con capa adicional de cuarzo	0.11	0.37	0.30	
Hoja	0.15	0.05	3.0	
Ladrillo rojo (Purdue)	0.63	0.93	0.68	
Concreto	0.60	0.88	0.68	
Lámina metálica galvanizada				
Limpia, nueva	0.65	0.13	5.0	
Oxidada, con acción de la intemperie	0.80	0.28	2.9	
Vidrio, espesor de 3.2 mm				
Flotado o templado				0.79
Tipo al bajo óxido de hierro				0.88
Mármol, ligeramente blancuzco (no reflector)	0.40	0.88	0.45	
Metal, con chapa				
Sulfuro negro	0.92	0.10	9.2	
Óxido negro de cobalto	0.93	0.30	3.1	
Óxido negro de níquel	0.92	0.08	11	
Cromo negro	0.87	0.09	9.7	
Mylar, espesor de 0.13 mm				0.87
Pinturas				
Negra (Parsons)	0.98	0.98	1.0	
Blanca, acrílica	0.26	0.90	0.29	
Blanca, óxido de zinc	0.16	0.93	0.17	
Papel blanco	0.27	0.83	0.32	
Plexiglas, espesor de 3.2 mm				0.90
Porcelana, losetas de porcelana, blancas (superficie vidriada reflectora)	0.26	0.85	0.30	
Tejas para techo, rojo brillante				
Superficie seca	0.65	0.85	0.76	
Superficie mojada	0.88	0.91	0.96	
Arena seca				
Blancuzca	0.52	0.82	0.63	
Roja mate	0.73	0.86	0.82	
Nieve				
Partículas finas, recién caídas	0.13	0.82	0.16	
Gránulos de hielo	0.33	0.89	0.37	
Acero				
Acabado de espejo	0.41	0.05	8.2	
Intensamente herrumbroso	0.89	0.92	0.96	
Piedra (rosa claro)	0.65	0.87	0.74	
Tedlar, espesor de 0.10 mm				0.92
Teflón, espesor de 0.13 mm				0.92
Madera	0.59	0.90	0.66	

Fuente: V. C. Sharma y A. Sharma, "Solar Properties of Some Building Elements", *Energy* 14 (1989), págs. 805-810, y otras fuentes.

Tomado de: Transferencia de calor y masa, de Yunus A. Çengel (3<sup>o</sup> Edición)

## A10.-MATERIALES Y RESISTENCIAS PARA LA FABRICACION DE SELLOS

TIPO DE MATERIALES	COLOR	TEMPERATURA		PROPIEDAD FISICA	
		MÍNIMA °C	MÁXIMA °C	DUREZA A 20 °C	
POLIURETANOS	*PUR-ROJO		-30	105	SHORE A 95 +/- 2
	*PUR-AZUL		-30	90	SHORE D 57 +/- 2
	*PUR-GRIS 57		-30	90	SHORE D 57 +/- 2
	*PUR-NATURAL		-30	105	SHORE A 95 +/- 2
	PUR- VERDE		-30	105	SHORE A 95 +/- 2
	PUR-NATURAL		-30	105	SHORE A 95 +/- 2
	PUR-GRIS MoS		-30	105	SHORE A 95 +/- 2
	PUR-LIGHT BLUE		-30	105	SHORE A 95 +/- 2
ELASTOMEROS	*RUBBER		-25	100	SHORE A 85 +/- 5
	*H-RUBBER		-25	150	SHORE A 85 +/- 5
	*SOLU		-50	130	SHORE A 85 +/- 5
	*VITON		-20	210	SHORE A 85 +/- 5
	*AFLAS		-15	210	SHORE A 85 +/- 5
	RUBER 95		-25	100	SHORE A 95 +/- 5
	RUBER-BLANCO		-22	100	SHORE A 85 +/- 5
	VITON		-20	210	SHORE A 85 +/- 5
	SOLU		-50	100	SHORE A 85 +/- 5
	SOLU KTW		-40	120	SHORE A 85 +/- 5
	SILICON-ROJO		-55	210	SHORE A 85 +/- 5
	SILICON-AZUL		-55	180	SHORE A 85 +/- 5
	VITON		-25	210	SHORE A 85 +/- 5
	PLÁSTICOS	*ARTELON		-60	100
*FLON			-200	2600	SHORE D 55-60
*TEFLON VIRGEN			-200	260	SHORE D 51-65
PA NATURAL			-30	105	-
FLON-40%			-200	260	SHORE D 62-67
FLON-60%			-200	260	SHORE D 65-70
PEEK NATURAL			-50	250	SHORE D 90
*FLON CARBON			-200	260	SHORE D 62-67
*FLON BRONCE			-200	260	SHORE D 62-67

\*=- En existencias

Fuente: Central hidráulica S.A. de C.V.

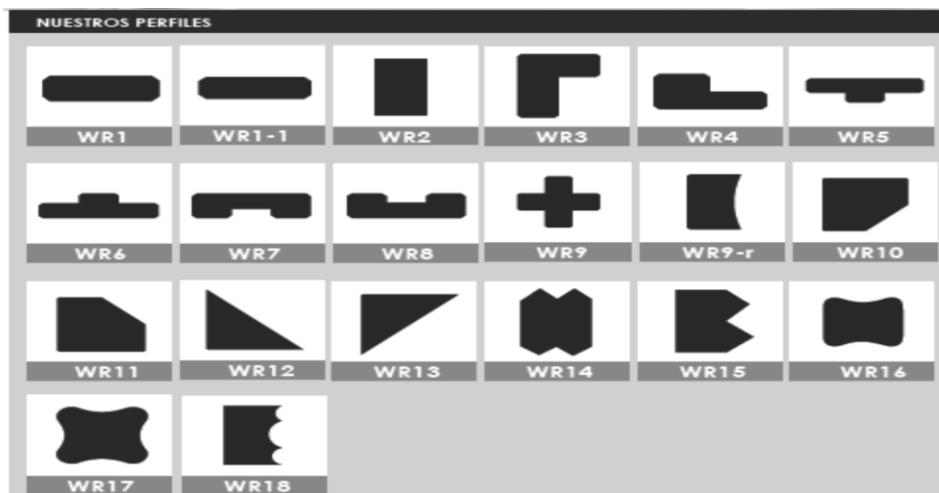
### A11.- MATERIALES RECOMENDADOS PARA SELLOS SEGÚN SU APLICACIÓN

RESISTENCIAS QUÍMICAS	POLIURETANOS				ELASTOMEROS					PLASTICOS				
	*PUR-RED	*PUR-BLUE	*PUR-GREY 57	*PUR-NATURAL	*RUBBER	*H-RUBBER	*SOLU	*VITON	*AFIAS	*ARTELON	*FLON-F	*FLON-P	*FLON CARBÓN	*FLON BRONCE
CERTIFICADO FDA	✓	-	-	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	-	-
AIRE HASTA 100 °C	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
AGUA HASTA 90 °C	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
AGUA DE MAR	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
VAPOR HASTA 140 °C	N	N	N	N	N	A	R	N	R	N	R	R	R	R
ACEITE Y GRASA MINERAL	R	R	R	R	R	R	N	R	R	R	R	R	R	R
ASTM 1 ACEITE PARA MOTORES Y TRANSMISIONES	R	R	R	R	R	R	N	R	R	R	R	R	R	R
HIDROCARBUROS ALIFÁTICOS (PROPANO, BUTANO, GAS NATURAL)	R	R	R	R	R	R	N	R	R	R	R	R	R	R
COMBUSTIBLES DIESEL	A	A	A	A	R	R	N	R	R	R	R	R	R	R
FLUIDO HIDRÁULICO A BASE DE ACEITE MINERAL	R	R	R	R	N	R	N	R	R	R	R	R	R	R
LIQUIDO DE FRENO A BASE DE GLICOL	N	N	N	N	N	N	R	R	R	N	R	R	R	R
ACEITE Y GRASA A BASE DE SILICONA	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
ACEITE ANIMAL Y VEGETAL	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R
ALCOHOL	N	N	N	N	A	A	R	A	R	R	R	R	R	R
DISOLVENTES POLARES (ACETONA, MEK)	N	N	N	N	N	N	R	N	N	R	R	R	R	R
ÁCIDO ALCALINO Y DILUIDO	R	R	R	R	A	A	R	R	R	A	R	R	R	R
SOLUCIÓN SALINA	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R	R

R= Resiste      A= Aplicable      N= No resiste

Fuente: Central hidráulica S.A. de C.V.

### A12.- PERFILES PARA SELLOS TIPO WR (WIDE RING)

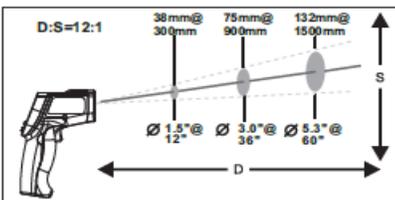


Fuente: Central hidráulica S.A. de C.V.

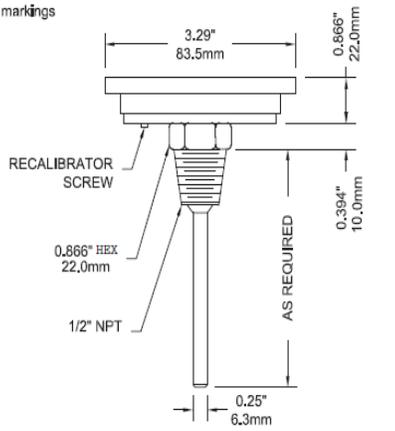
## A13.-ESPECIFICACIONES DEL PIRANÓMETRO USADO EN LAS PRUEBAS

	Frederiksen	Modelo 4890.20
	Dimensiones	185x108x56 mm
	Rango de medición	0 - 1999 W/m <sup>2</sup>
	Resolución	1 W/m <sup>2</sup>
	Exactitud	± 5%

## A14.-ESPECIFICACIONES DEL TERMÓMETRO INFRARROJO USADO EN LAS PRUEBAS

	Benetech	Modelo GM900
	Dimensiones	175x100x49 mm
	Rango de medición	-50°C – 900°C
	Resolución	0.1°C ó 0.1°F
	Exactitud	0°C – 900°F: 1.5% -55°C – 0°C: 3%
	Respuesta espectral	8 -14 μm
	Tiempo de respuesta	500 ms
	Distancia al tamaño del punto	12:1

## A15.-ESPECIFICACIONES DEL TERMÓMETRO BIMETÁLICO SELECCIONADO

	WINTERS	TBM 30060B10
	Rango de medición	0°C – 200°C
	Temperatura operativa	75% de la escala
	Exactitud	± 1%
	Presión operativa máxima	125 psi (861kpa)
	Índice de protección	IP68
	Conexión	1/2" NPT estándar
	Elemento sensor	Bimetálico en espiral
	Carcasa	Acero AISI 304
	Carátula	Aluminio
	Aro	Acero AISI 304
	Vástago	Acero AISI 304
Lente	Vidrio sellado	
Tornillo re calibrador	Estándar	

## 25.0. GLOSARIO

**Acero austenítico:** Son aquellos que tienen configuración metalográfica austenítica, son esencialmente no magnéticos y pueden ser magnéticos después de que ser tratados en frío. Estos aceros se obtienen adicionando elementos, tales como níquel, manganeso y nitrógeno. El contenido de cromo generalmente varía del 16 al 26% y su contenido de carbono se mantiene siempre muy bajo, en el rango de 0,03 a 0,08%.

**Altura:** También se le conoce como elevación, es el ángulo medido en el plano vertical formado por los rayos del sol con respecto a la horizontal.

**Austenita:** Solución sólida intersticial de carbono disuelto en hierro cúbico centrado en la cara (FCC).

**Azimut:** Es el ángulo formado en el plano horizontal entre la dirección de referencia (norte para el hemisferio sur, y el sur para el hemisferio norte) y una línea entre el observador y un punto de interés previsto en el mismo plano que la dirección de referencia.

**Bacteria Grampositiva:** Es aquella que posee una pared celular gruesa que, consta de varias capas y está formada principalmente por peptidoglicano (que es un exoesqueleto con forma de malla, cuya función es semejante a la del exoesqueleto de los insectos) que rodea la membrana citoplásmica. Se distinguen especialmente por teñirse de azul oscuro o violeta por la prueba de tinción de Gram aplicada en bacteriología para analizar muestras de laboratorio.

**Bacteria Termófila:** Las bacterias termófilas son aquellas que se desarrollan a temperaturas superiores a 45°C, pudiendo superar incluso los 100°C siempre que exista agua en estado líquido, lo que se consigue si la presión es elevada como ocurre en las profundidades oceánicas, por ejemplo.

**Calor latente:** es la energía que un cuerpo o sustancia requiere para cambiar su estado, alude al calor que, al ser recibido por un cuerpo no incrementa su temperatura, sino que es utilizado para que se produzca un cambio de estado.

**Carga biológica:** Es la cantidad inicial de microorganismos vivos presentes en un objeto a esterilizar.

**Citoplasma:** Es una solución ubicada en el interior de la membrana de una célula, Una sustancia gelatinosa compuesta principalmente por agua, sales y proteínas que localiza en su interior el núcleo de esta.

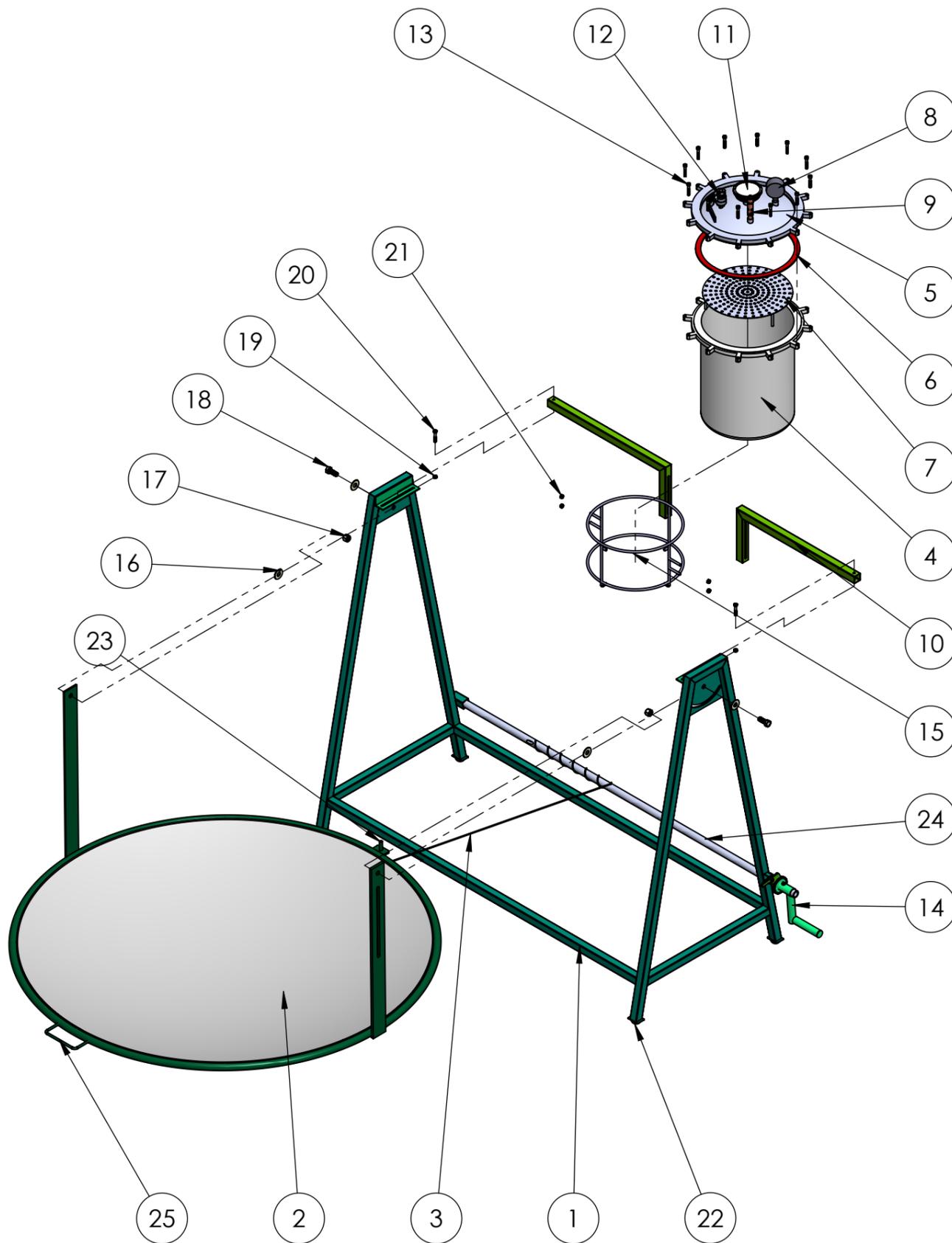
**Desnaturalización:** En bioquímica, la desnaturalización es un cambio estructural de las proteínas o ácidos nucleicos, donde pierden su estructura nativa.

**Espora:** Consiste en una metamorfosis experimentada por algunas bacterias y que es generada por condiciones desfavorables para su sobrevivencia como pueden ser falta de nutrientes. Está formada por una cubierta gelatinosa gruesa que genera resistencia al calor, deshidratación, radiación y sustancias químicas, por lo que la hace difícil de eliminar.

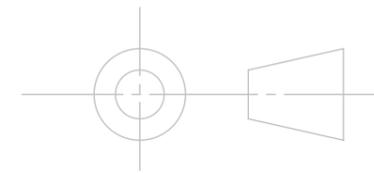
**SAL:** Sterilization Assurance Level o Nivel de garantía de esterilización, este valor representa la probabilidad que un microorganismo viable haya sobrevivido y esté presente en un artículo u objeto esterilizado.

**Vapor saturado (Húmedo):** es el vapor que se presenta a presiones y temperaturas en las cuales el vapor y el agua en estado líquido pueden coexistir juntos.

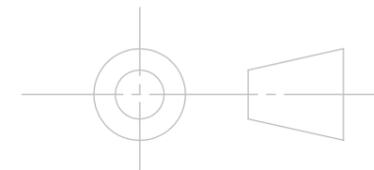
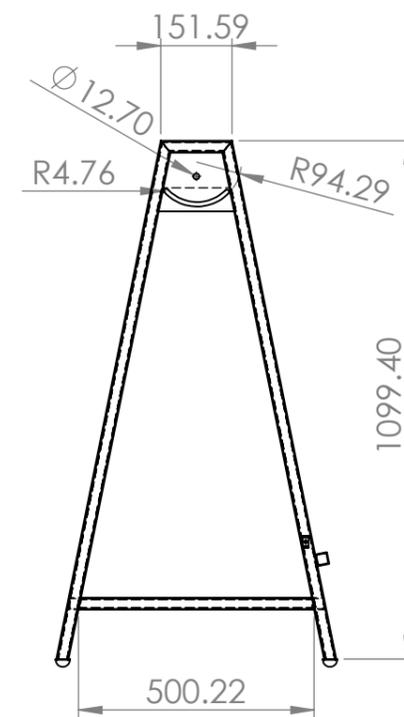
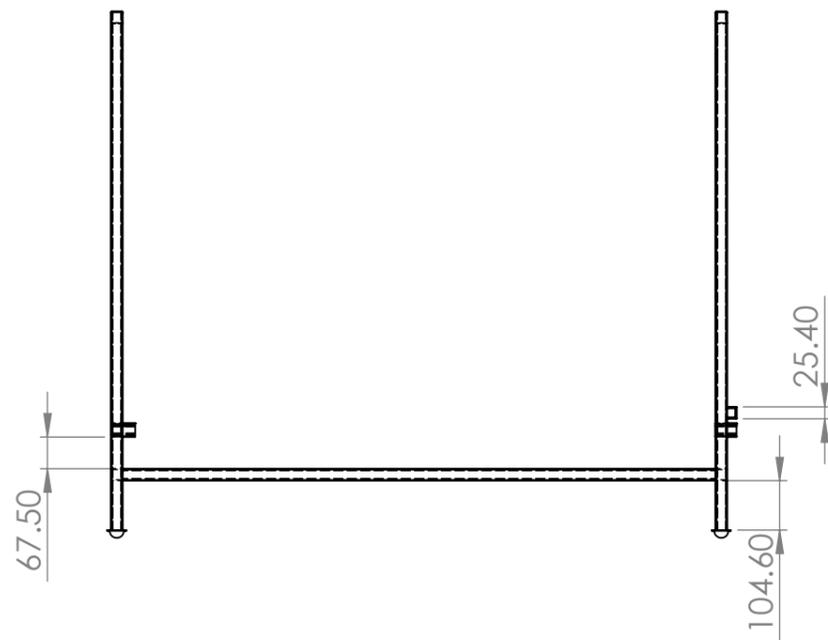
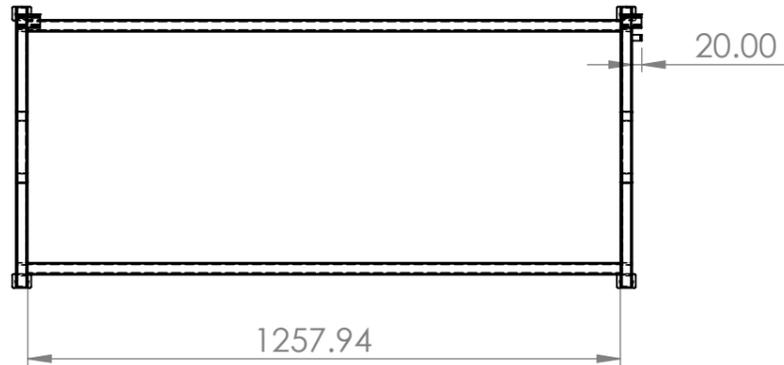
**Zenit:** Es el punto de la esfera celeste que se encuentra directamente por encima de la cabeza de un observador.



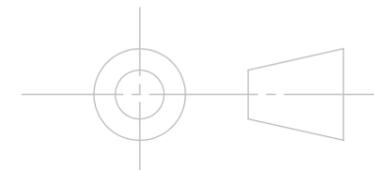
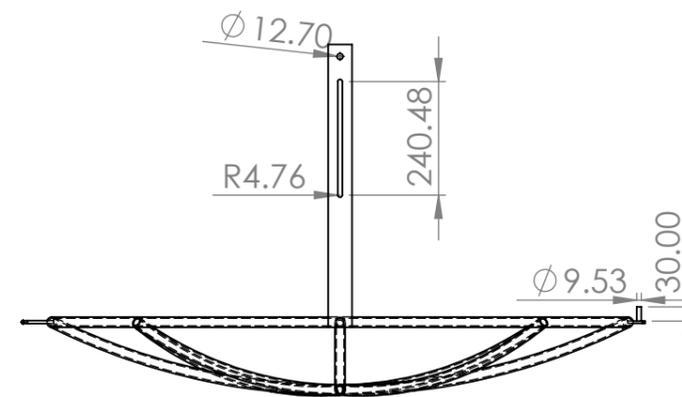
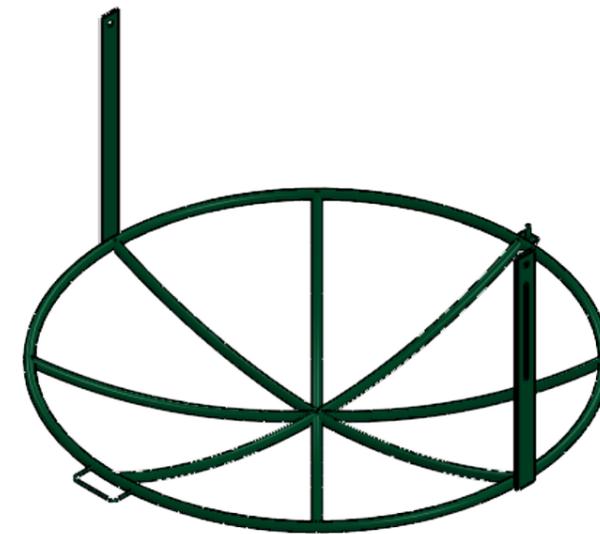
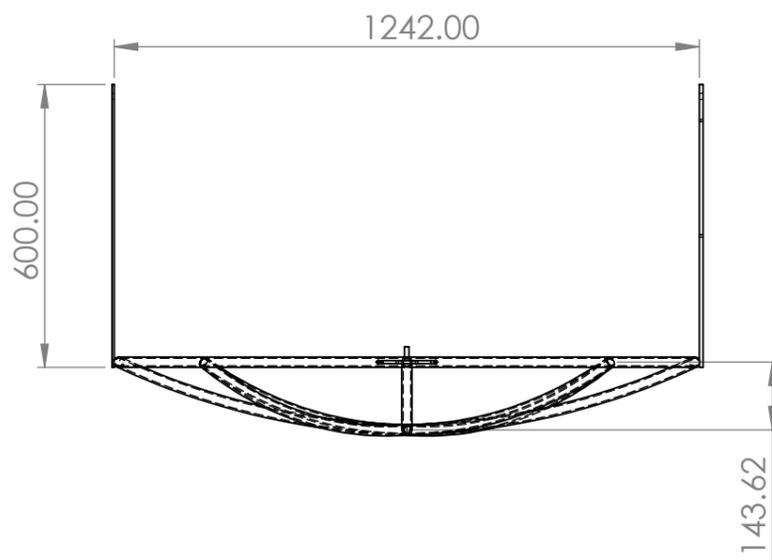
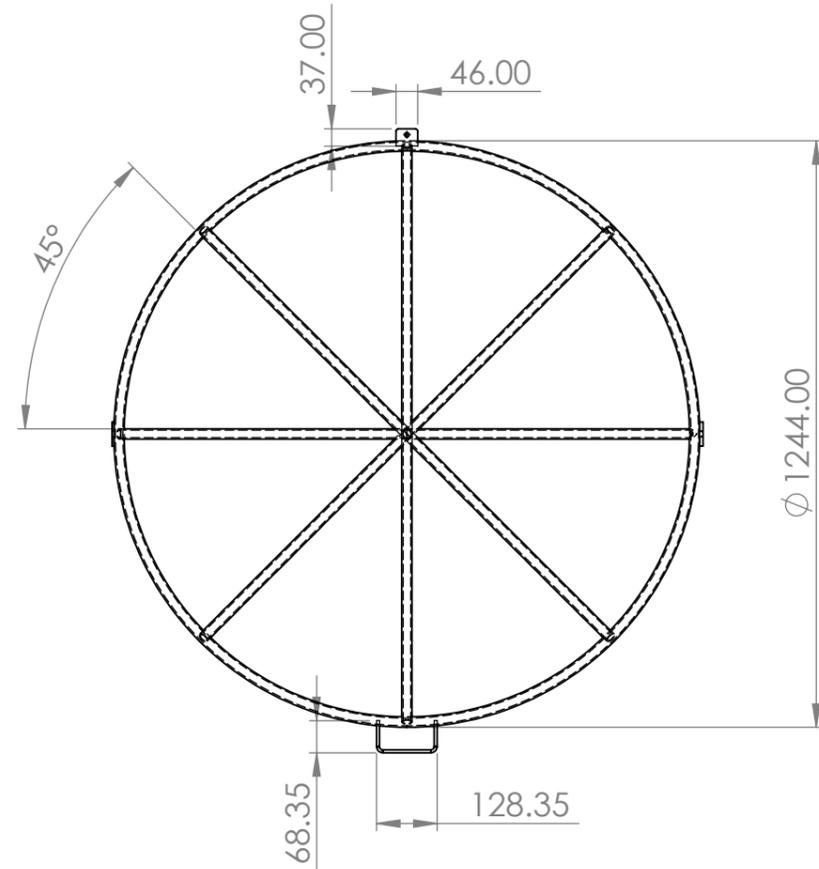
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base	Tubo cuadrado industrial 1 pulgada	1
2	Colector	Tubo redondo de 1/2 pulgada, reflectante Refletech.	1
3	Cuerda	Cuerda de nailon	1
4	Cámara de esterilización	Lámina acero inoxidable 1.5 mm, rolada en frío	1
5	Tapadera	Lámina acero inoxidable 1.5 mm, troquelada en frío.	1
6	Empaque	Sello Silicon S-102, grado alimenticio.	1
7	Rejilla	Lámina acero inoxidable 2.5 mm, agujeros de 1/4 pulgada.	1
8	Manómetro	Simmons 0 - 100 psi 1/4 pulgada	1
9	Válvula de seguridad	Kingston 1/4" NPT, 25 - 300 psi, Temperatura máxima: 300 °F	1
10	Brazo	Tubo cuadrado industrial 1 pulgada	2
11	Termómetro	Winters 3" NPT 1/2" 10 - 200 °C	1
12	Válvula de purga	Válvula de bola inoxidable, 1/4"	1
13	Pernos de cierre	Perno llave Allen, acero inoxidable, diámetro 1/4 pulgada	12
14	Manecilla	Tubo redondo 1/2 pulgada	1
15	Canasta	Varilla acero inoxidable 1/4 pulgada	1
16	Arandela	Arandela plana, galvanizada 1/2 pulgada	4
17	Tuerca de seguridad	Tuerca de seguridad 1/2 pulgada	2
18	Perno	Perno hexagonal galvanizado 1/2 pulgada	2
19	Tuerca	Tuerca galvanizada 1/4 pulgada.	2
20	Perno de brazo	Perno hexagonal galvanizado 1/4 pulgada	2
21	Tuerca de la canasta	Tuerca galvanizada 1/4 pulgada.	4
22	Rodos	Rodo giratorio.	4
23	Indicador de posición	Indica la posición correcta del colector	1
24	Eje	Tubo redondo de 1/2 pulgada	1
25	Maneral	Varilla redonda de 3/8 pulgada	1



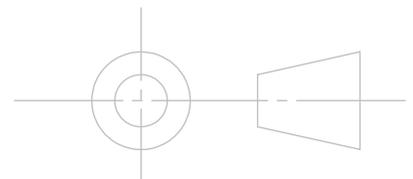
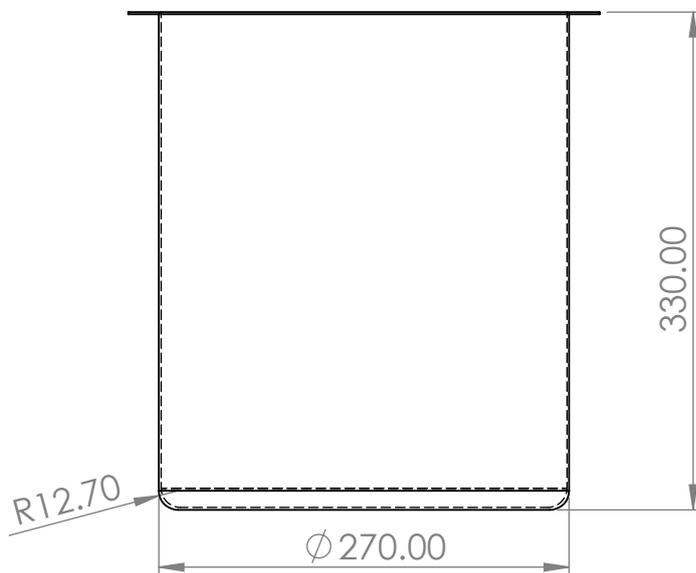
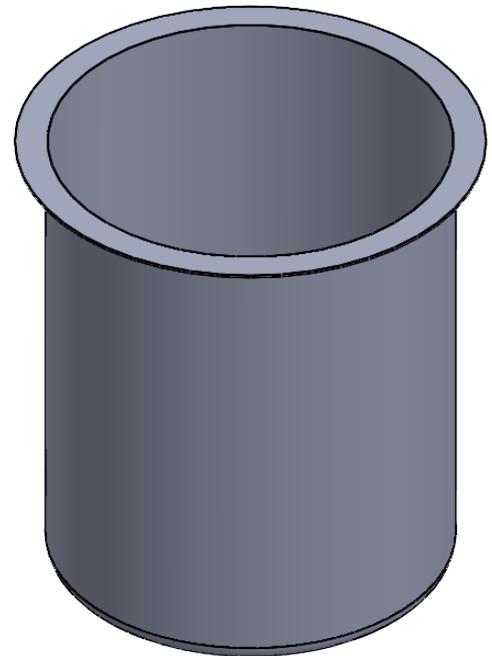
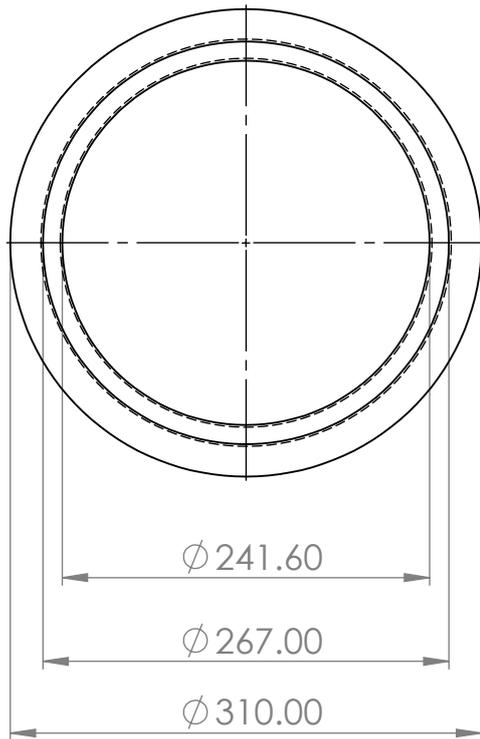
DIBUJADO	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO DE INGENIERÍA MECÁNICA	
	15/08/2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:15	Autoclave Solar				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 1 DE 11



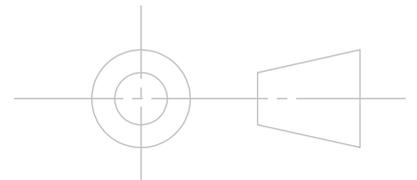
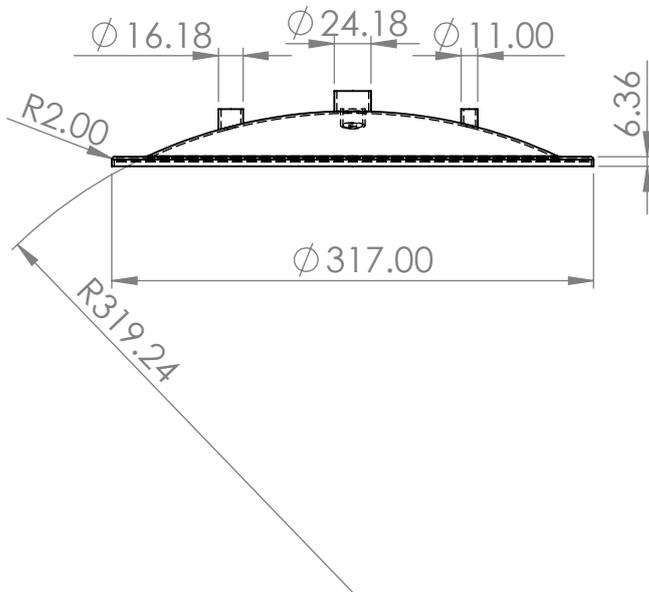
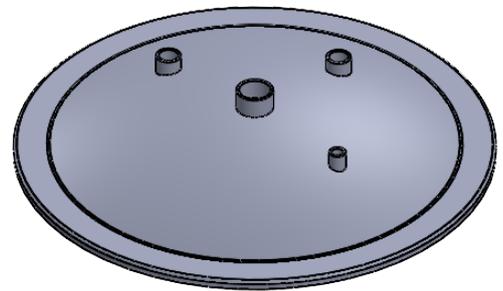
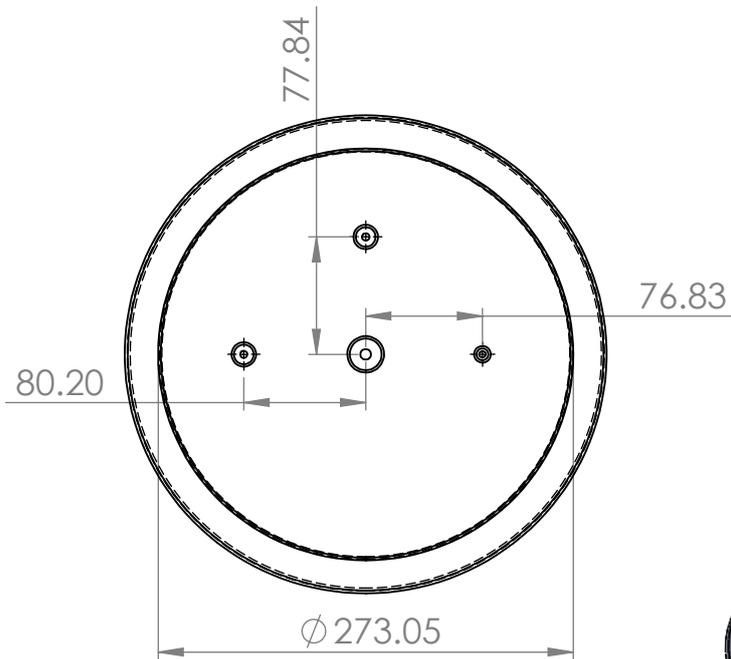
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15/08/2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:15	Base				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 2 DE 11



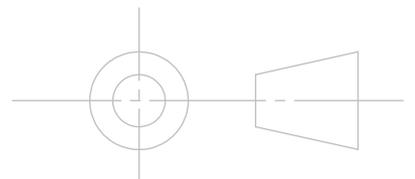
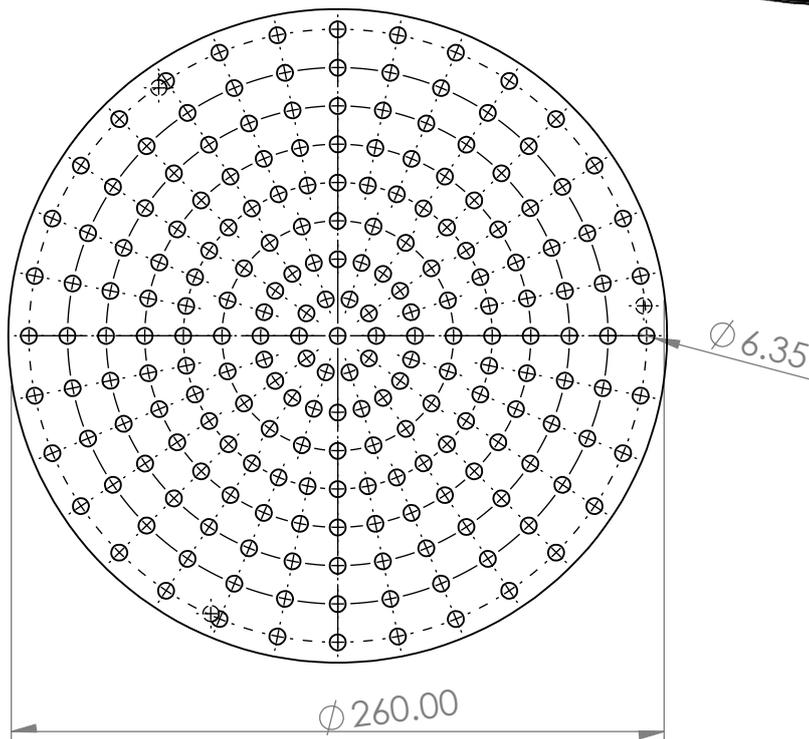
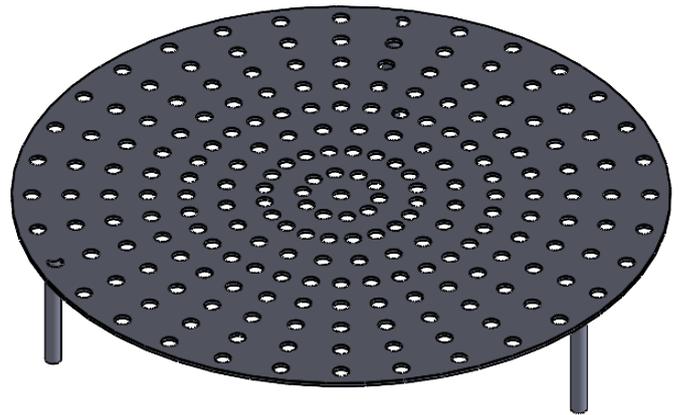
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA PROYECTO DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15/08/2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:15	Estructura de Colector				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 3 DE 11



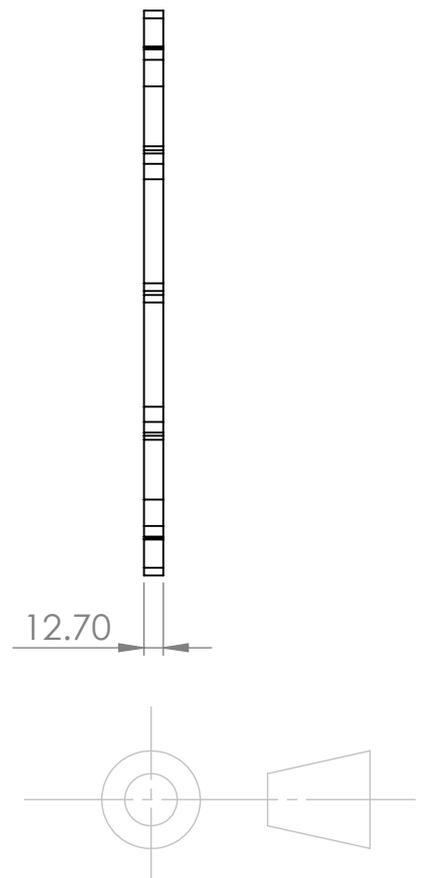
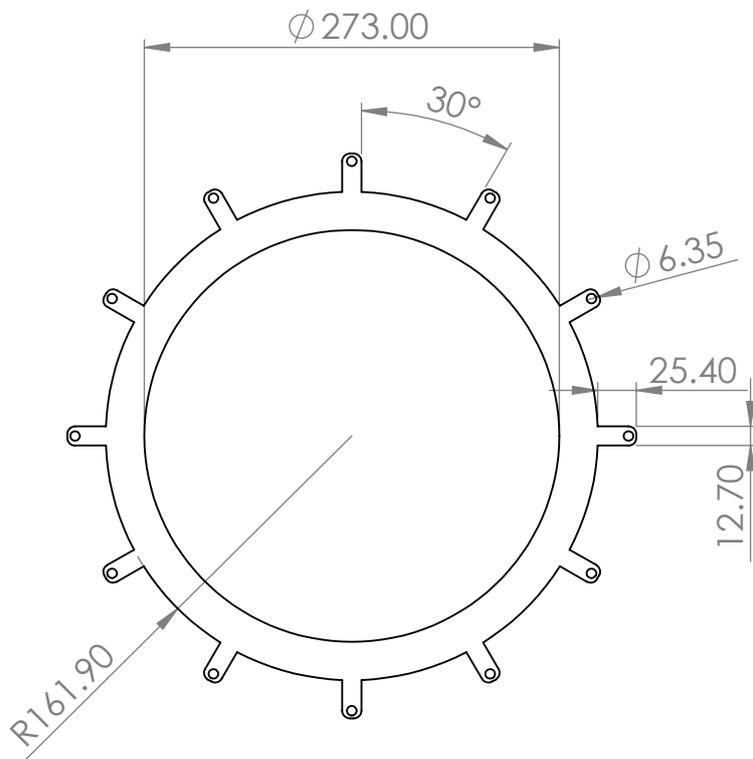
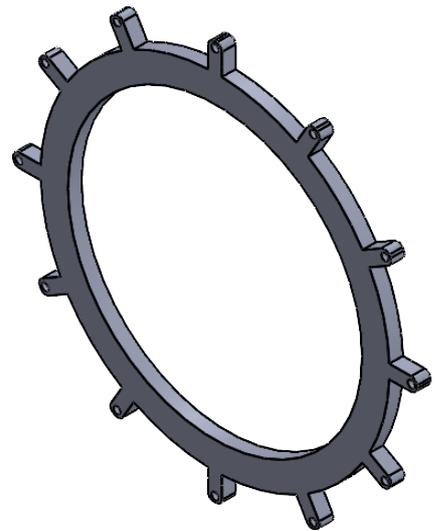
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:5	Cámara de Esterilización				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 4 DE 11



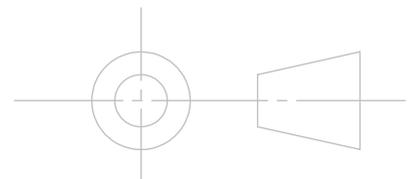
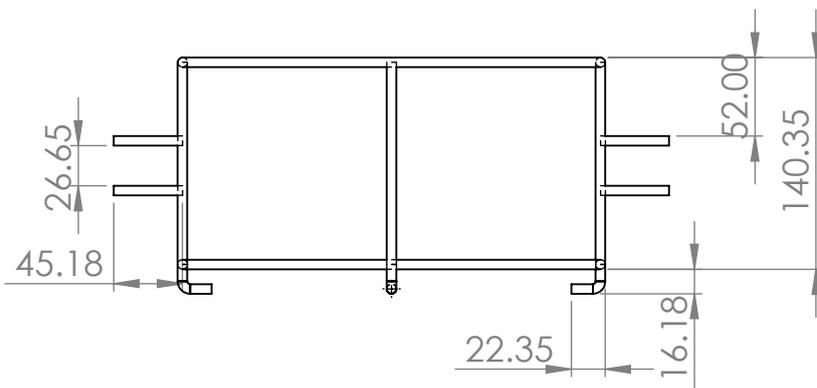
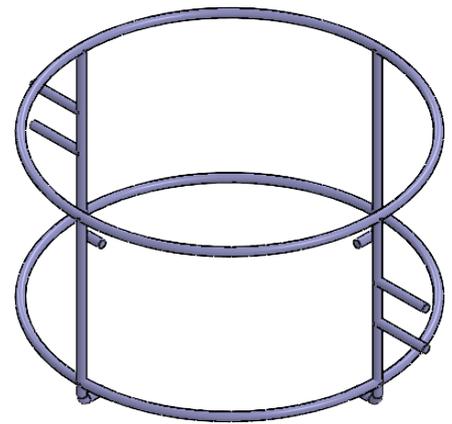
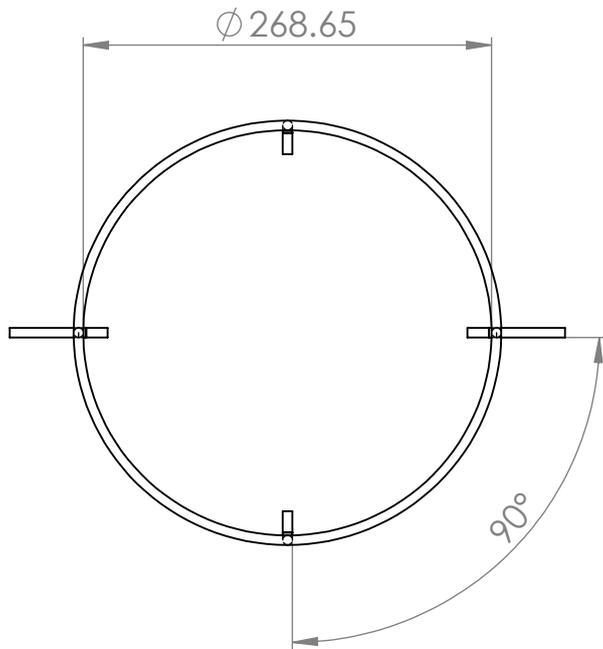
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:5	Tapadera				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 5 DE 11



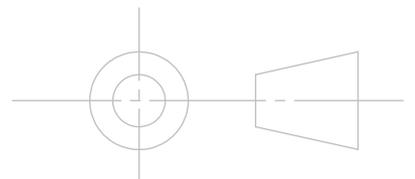
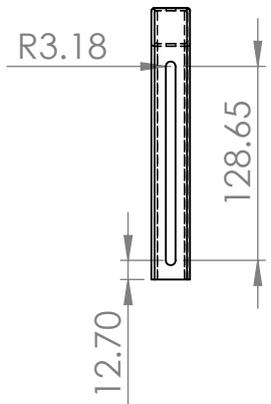
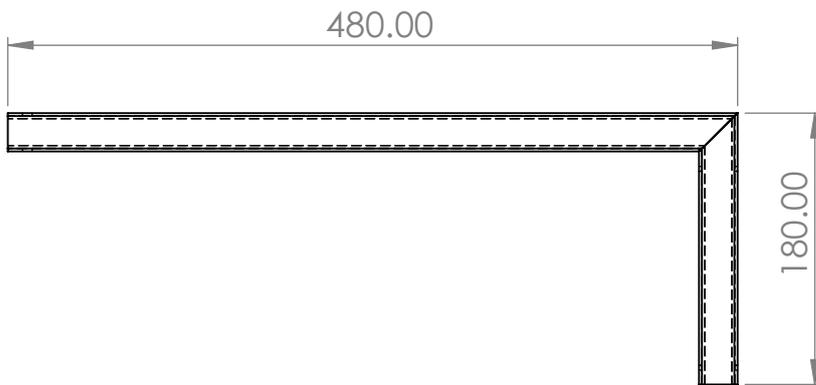
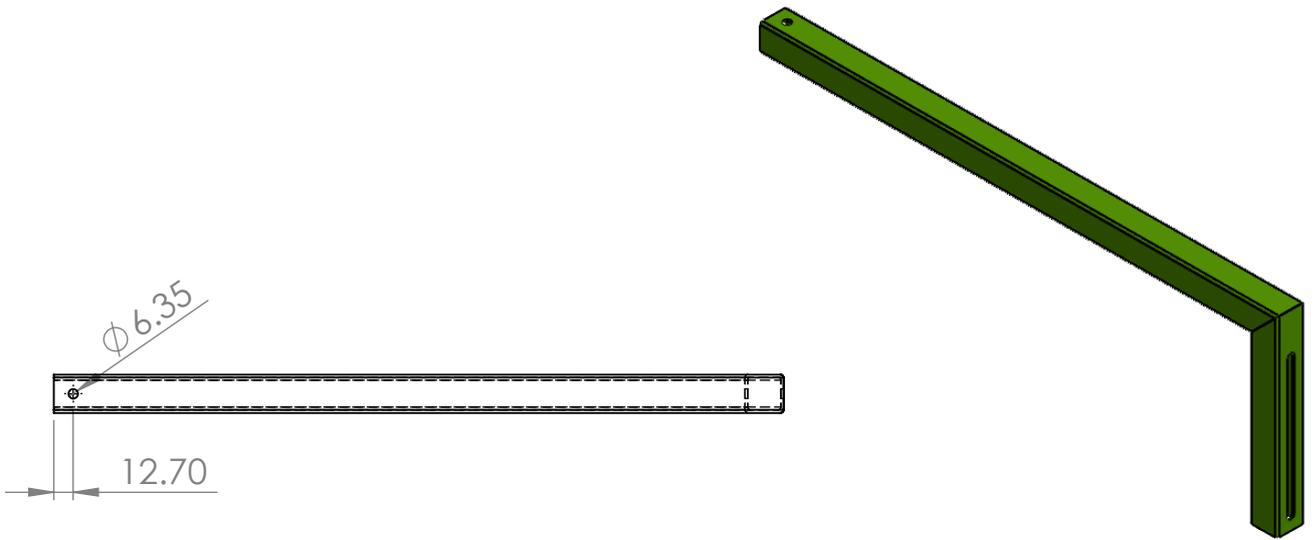
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:3	Rejilla				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 6 DE 11



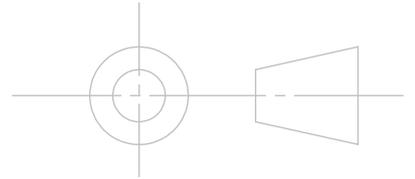
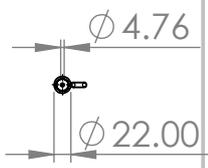
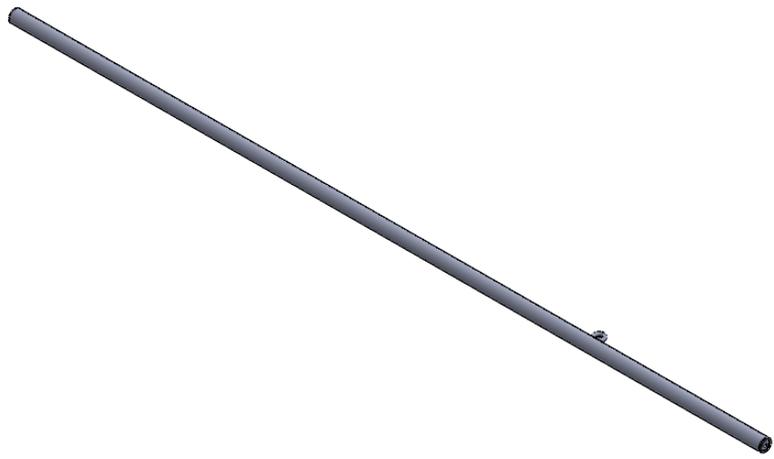
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:5	Aro				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 7 DE 11



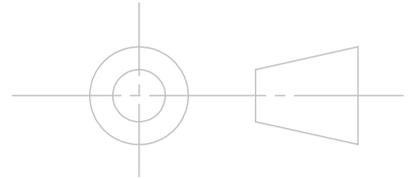
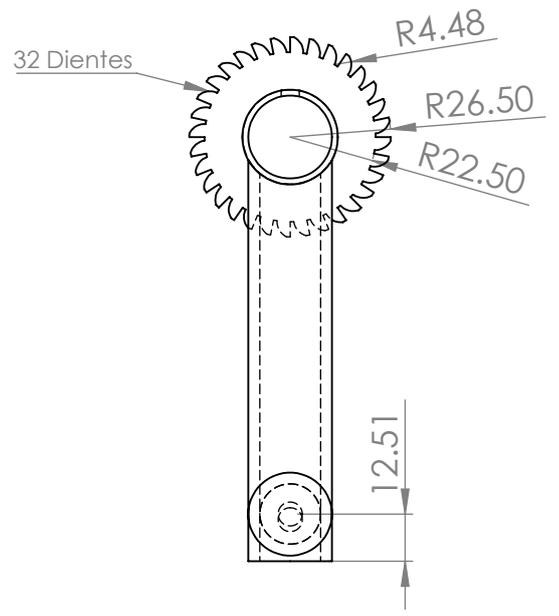
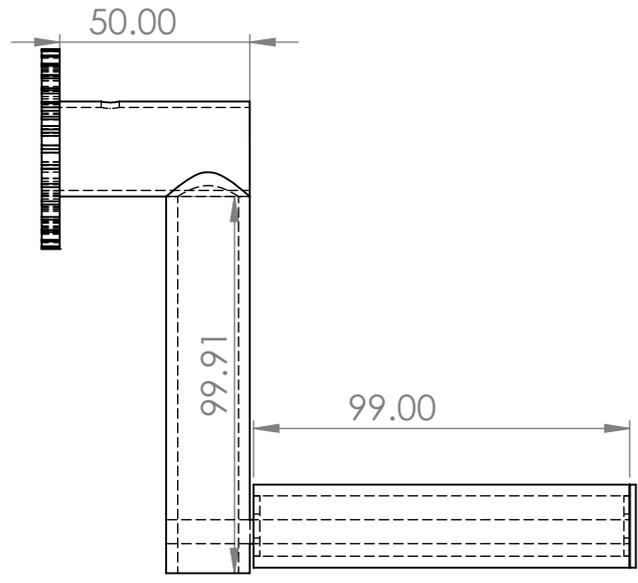
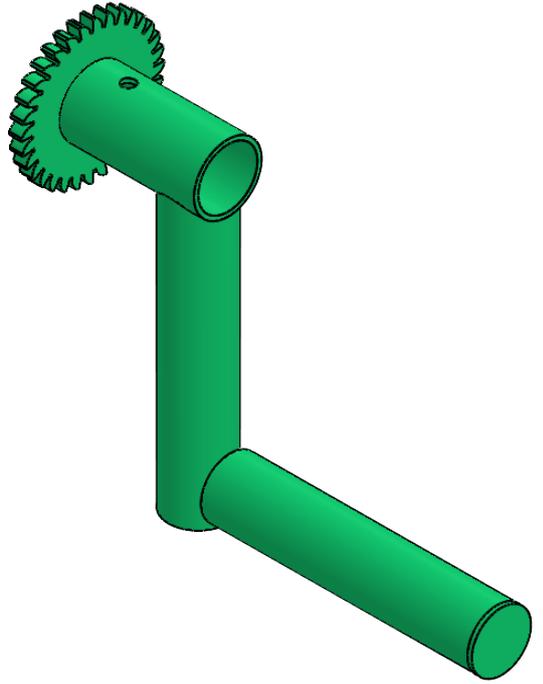
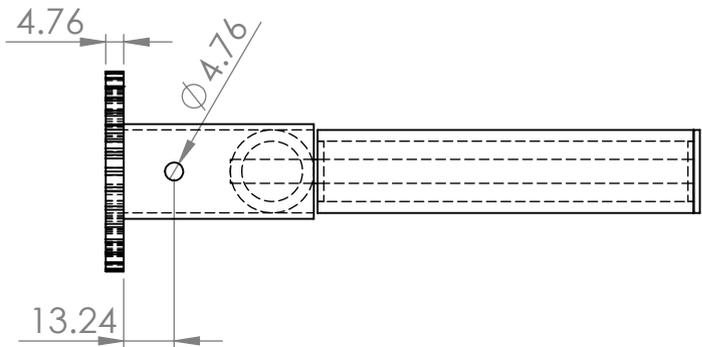
	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:5	Canasta				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 8 DE 11



	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:5	Brazo				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 9 DE 11



	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:10	Eje de trinquete				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 10 DE 11



	FECHA	CARNET	FIRMAS	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DIBUJADO	15 SEP. 2020	AB08011			
		AR09060			
		MP10033			
COMPROBADO		ING. SALOMON TORRES			
ESCALA	TÍTULO:				
1:2	Manecilla				
				MEDIDAS EN MM	DIBUJO 11 DE 11