

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGÍA Y MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TÍTULO DEL PROYECTO

**“FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO
DE DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS POR EL CAMAL
DEL GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN SALCEDO.”**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

REALIZADO POR:

**JAVIER EDUARDO CADENA MUESES
DIEGO SEBASTIAN GARCES POVEDA**

**DIRECTOR: ING. JOSÉ GUASUMBA
CODIRECTOR: ING. CARLOS SUNTAXI**

Sangolquí, Septiembre de 2009

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS POR EL CAMAL DEL GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN SALCEDO.” fue realizado en su totalidad por los señores Javier Eduardo Cadena Mueses Y Diego Sebastián Garcés Poveda, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba
DIRECTOR

Ing. Carlos Suntaxi
CODIRECTOR

Sangolquí, 25 de Septiembre de 2009

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS POR EL CAMAL DEL GOBIERNO MUNICIPAL DEL CANTÓN SALCEDO.”

ELABORADO POR:

Sr. Javier E. Cadena M.

Sr. Diego S. Garcés P.

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECÁNICA**

Sangolquí, 25 de Septiembre de 2009

DEDICATORIA

A Dios por darme las fuerzas para seguir día a día en el camino de la vida y siempre indicarme el camino correcto.

A mis padres por su abnegado e incondicional esfuerzo por darme una buena educación, por apoyarme en mis decisiones siendo ellos los principales causores de este triunfo.

A José Guasumba y Carlos Sntaxi por el constante apoyo en nuestro trabajo.

A mi compañero de tesis y amigo Diego por las largas horas de trabajo arduo, que dedico a nuestro proyecto.

En fin a todas aquellas personas que me brindaron en cualquier parte del camino su mano amiga y su ayuda desinteresada.

Javier Cadena M.

Primeramente quiero agradecer a Dios por hacer realidad este sueño tan anhelado por mi, el siempre estuvo en mis momentos buenos y malos en mi vida y supo como sacarme adelante.

A mi Padre que siempre me dio la fortaleza, apoyo incondicional y ánimo suficiente, a mi Madre por ser la ayuda eterna con sus consejos y confianza hacia mí, en fin a los dos por ser tan buenos conmigo y agradecerles que si algo soy, es por ellos.

Mis hermanos Marco y Hernán que estuvieron a mi lado en las buenas y en las malas dándome consejos para seguir adelante.

A mi compañero de tesis Javier que de manera apropiada nos supimos entender siempre con respeto y dedicación, consolidando una amistad para siempre.

Mis amigos Robinson que son mis eternos compañeros, a mis amigos los Chupe-team por compartir conmigo este cruce importante en mi vida y esperando que esta amistad sincera perdure por siempre.

A mis primos, sobrinos, amigos y tíos(as) en general, un agradecimiento especial a mi tía Maria Elena por ser el apoyo importante en esta ciudad que me vio nacer y hoy me ve crecer como persona ya madura.

A la Prestigiosa escuela en la que me eduque, en especial a mis profesores Ing. Jose Guasumba e Ing. Carlos Suntaxi que hicieron realidad esta graduación.

Diego Garcés P.

AGRADECIMIENTO

Queremos agradecer de la forma más sincera a la Escuela Politécnica del Ejército, por forjar nuestros conocimientos y haber contribuido en nuestro desarrollo personal, construyendo en nosotros líderes de carácter para cualquier obstáculo en la vida.

Al Sr. Mario Rodrigo Mata Cepeda, Alcalde de la ciudad de Salcedo y sus colaboradores, por brindarnos la oportunidad de trabajar en su municipio.

Al Sr. Ing. Carlos Naranjo. Director del departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, en general a todas las personas que forman este prestigioso Departamento.

Un especial agradecimiento y reconocimiento al Señor Ing. José Guasumba Director de tesis y al Señor Ing. Carlos Sntaxi Codirector, por su valioso apoyo que ha permitido culminar con éxito el presente proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
TABLAS	xii
FIGURAS.....	xv
NOMENCLATURA	xviii
ANEXOS.....	xxi
RESUMEN.....	xxii
CAPÍTULO 1.....	25
GENERALIDADES.....	25
1.1. ANTECEDENTES.....	25
1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	26
1.3. OBJETIVOS.....	26
1.3.1. GENERAL.....	26
1.3.2. ESPECÍFICOS.....	26
1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.....	27
1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.....	27
CAPÍTULO 2.....	29
MARCO TEÓRICO.....	29
2.1. ORIGEN Y CONCEPTO DE BIOMASA.....	29
2.2. APROVECHAMIENTO POR COMBUSTIÓN DIRECTA.....	29
2.3. DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	30
2.4. ETAPAS TRÓFICAS.....	33
2.5. CONTAMINANTES.....	37
2.5.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.....	37
2.5.1.1. CONTAMINANTES QUE CAMBIAN EL MEDIO FÍSICO.....	38
2.5.1.2. CONTAMINANTES TÓXICOS.....	38
2.5.2. CONCENTRACIÓN.....	39
2.5.3. FORMAS QUÍMICAS O ESPECIES DE LOS COMPUESTOS.....	39

2.5.4. PERSISTENCIA.	39
CAPITULO 3.....	41
IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS	
AMBIENTALES.	41
3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS, ACTIVIDADES, PRODUCTOS Y SERVICIOS.	42
3.2. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES.....	42
3.3. EVALUACIÓN DEL INTERÉS AMBIENTAL.	43
3.4. GESTIÓN AMBIENTAL.....	44
3.5. PROCESOS DE OPERACIÓN DEL CAMAL.	48
3.5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE FAENAMIENTO PORCINO PRODUCIDO POR EL CAMAL MUNICIPAL DE SALCEDO.....	50
3.6. DESARROLLO DE LA MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES.....	57
3.7. SISTEMAS ECOLÓGICOS AFECTADOS.	60
3.8. CONTAMINANTES ESPECÍFICOS.	60
CAPÍTULO 4.....	63
ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA PARA EL MANEJO DE	
DESECHOS ORGÁNICOS.....	63
4.1. TIPOS Y VOLÚMENES DE DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS.	63
4.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS.	64
4.3. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS APLICABLES AL CAMAL.....	64
4.3.1. BIORREACTORES.	64
4.3.1.1. Tipos de Biorreactores.....	65
4.3.2. CAVIDADES DE DESHIDRATACIÓN.....	67
4.3.3. BACTERIAS ACTIVADORAS (ENZICLEAN).	68
4.3.4. INCINERAR LOS DESECHOS ORGÁNICOS.....	70
4.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.	71
4.5. PREINGENIERÍA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.	71
4.6. CONCEPTOS DE IMPORTANCIA PARA LA PREINGENIERIA.....	73
4.6.1. SISTEMA DE CALENTAMIENTO.	73
4.6.1.1. Energía solar.	74

4.6.1.2. Radiación Solar.	76
4.6.1.3. Captadores solares.....	86
4.6.1.4. Colectores solares planos de tubos paralelos.	90
4.6.2. RECIPIENTES A PRESIÓN.	95
4.6.2.1. Esfuerzos en recipientes a presión.....	95
4.6.2.2. Esfuerzos (ASME).	96
4.6.2.3. Cargas.	97
4.6.2.4. Presión interna.....	97
CAPÍTULO 5.....	101
DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE DESECHOS	
ORGÁNICOS.....	101
5.1. BALANCE CARBONO - NITRÓGENO DE LA MEZCLA.....	101
5.2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DE SUSTRATO SEMANAL.	104
5.3. VOLUMEN DEL BIORREACTOR.	106
5.3.1. CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO.	106
5.3.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL BIORREACTOR.....	107
5.4. DETERMINACIÓN DEL BIOGÁS Y METANO QUE PUEDEN PRODUCIR LOS DESECHOS DEL CAMAL.....	109
5.5. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.	109
5.6. DISEÑO MECÁNICO DE LA INSTALACIÓN.	110
5.6.1. DISEÑO DEL BIORREACTOR.....	110
5.6.1.1. Dimensionamiento del biorreactor.	110
5.6.1.2. Presión de diseño.	112
5.6.1.3. Espesor del cuerpo del biorreactor.	112
5.6.1.4. Espesor de cabezas toriesféricas del biorreactor.	112
5.6.1.5. Presión de prueba hidrostática.	113
5.6.1.6. Soporte del biorreactor.	113
5.6.2. DISEÑO DEL TANQUE DE AGUA DE CALENTAMIENTO.....	115
5.6.3. CAPTACIÓN Y CARGA.....	117
5.6.4. EVACUACIÓN DEL BIOL.....	118
5.6.5. EVACUACIÓN Y COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS.....	118
5.6.6. SOPORTE DEL CONJUNTO.	118
5.7. DISEÑO TÉRMICO DE LA INSTALACIÓN.....	118

5.7.1. DISEÑO DE COLECTORES SOLARES PLANOS DE TUBOS PARALELOS.	118
5.7.1.1. Análisis térmico.....	119
5.7.1.2. Determinación del coeficiente global de pérdidas.....	123
5.7.1.3. Determinación del factor de remoción.	132
5.7.1.4. Potencia generada.....	136
5.7.1.5. Determinación del número de colectores.	137
5.7.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL GRUPO DE COLECTORES SOLARES DURANTE UN DÍA.	139
5.7.3. DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR LOCAL.....	141
5.7.3.1. Horas de brillo solar	142
5.7.3.2. Irradiancia disponible	142
5.7.3.3. Radiación disponible en la superficie de la tierra	144
5.7.3.4. Análisis de radiación solar por el método de Amgstrong - Page.....	144
5.7.3.5. Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15 grados.	145
5.7.4. ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE AGUA ENTRE EL TANQUE Y EL BIORREACTOR.	146
5.7.5. DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL.....	148
5.7.6. DETERMINACIÓN DEL CALOR PERDIDO.....	155
5.7.7. DETERMINACIÓN DEL CALOR NECESARIO.	159
5.7.8. ESPESOR DEL AISLAMIENTO.	159
5.8. VALIDACIÓN DEL DISEÑO.....	162
5.8.1. MÉTODOS INFORMÁTICOS PARA CÁLCULO DE RADIACIÓN.....	162
5.8.1.1. Valores de radiación solar local por medio del ISOL.	162
5.8.2. APLICACIÓN DEL SOFTWARE SOLIDWORKS.	164
CAPÍTULO 6.....	173
PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA INSTALACIÓN.	173
6.1. RECURSOS DE FABRICACIÓN.	173
6.2. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	177
6.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	184
CAPÍTULO 7.....	185
SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	185
7.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS INHERENTES AL PROCESO.....	185

7.1.1. RIESGOS FÍSICOS.....	185
7.1.2. RIESGOS QUÍMICOS.....	185
7.1.3. RIESGOS BIOLÓGICOS.....	186
7.2. ACCIONES Y CONDICIONES INSEGURAS.....	188
7.3. MANEJO Y MITIGACIÓN DE RIESGOS.....	189
7.4. NORMATIVAS APLICABLES AL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS. .	189
CAPÍTULO 8.....	191
ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.	191
8.1. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.....	191
8.2. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO.....	192
8.2.1. COSTOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	193
8.2.1.1. COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS.....	193
8.2.1.2. Costos de mano de obra directa.....	195
8.2.1.3. Costos indirectos de fabricación.....	196
8.2.1.4. Otros costos.....	197
8.2.1.5. Costos de operación.....	198
8.2.2. VALOR DE LA ADQUISICIÓN DE UN BIODIGESTOR IMPORTADO.	198
8.2.3. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.....	201
CAPITULO 9.....	203
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	203
9.1. CONCLUSIONES.....	203
9.2. RECOMENDACIONES.....	205
ANEXOS.	
REFERENCIAS.	
1. BIBLIOGRÁFICAS.	
2. PUBLICACIONES NO PERIODICAS.	
3. TESIS CONSULTADAS.	
4. DIRECCIONES DE INTERNET.	

TABLAS

2.1 Desechos utilizados en la digestión anaeróbica.....	32
3.1 Valores considerados para la frecuencia de impacto ambiental.	43
3.2 Valores considerados para cuantificar la magnitud de impacto ambiental.	44
3.3 Determinación del límite ambiental.	44
3.4 Lista de aspectos e impactos ambientales.....	45
3.5 Formato para la matriz de identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales.	47
3.6 Matriz de identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales.....	57
4.1 Cantidad de desechos producidos por el camal.....	63
4.2 Características de los desechos orgánicos producidos por el camal de Salcedo.	64
4.3 Resultados después de aplicar bacterias activadoras (enziclean).	69
4.4 Propiedades de algunos materiales usados para cubiertas transparentes.	91
4.5 Valores de transmisividad para diferentes materiales usados en cubiertas transparentes.....	91
4.6 Incremento de temperatura deseado en función del número de cubiertas transparentes.	92
4.7 Valores de conductividad térmica de materiales que pueden ser utilizados como placa colectora.	93
4.8 Valores de absorción de algunos materiales usados en diferentes tipos de placas colectoras.	94
4.9 Valores de conductividad térmica y máxima temperatura de servicio de varios materiales aislantes.....	95
4.10 Valores considerados para eficiencia de la junta.	98
5.1 Relación carbono - nitrógeno de cada uno de los desechos que produce el camal.....	102
5.2 Relación carbono – nitrógeno total, de los desechos que produce el camal.	103
5.3 Relación carbono – nitrógeno de cada uno de los desechos que deben ser adicionados.	103
5.4 Relación carbono - nitrógeno total, de los desechos que deben ser adicionados.....	104

5.5 Relación carbono – nitrógeno de la mezcla.	104
5.6 Masa seca y cantidad de agua a retirar de cada una de las sustancias.	105
5.7 Masa húmeda, seca y cantidad de agua a retirar total.....	106
5.8 Masa de sustrato y volumen de biorreactor para un TRH de 26 días.	108
5.9 Gas total y metano que pueden producir los desechos del camal.	109
5.10 Valores de datos técnicos considerados para el diseño de colectores.	122
5.11 Valores considerados para hallar el coeficiente de pérdidas superiores.	125
5.12 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas superiores.	126
5.13 Valores considerados para encontrar el coeficiente de pérdidas posteriores.	127
5.14 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas posteriores.	127
5.15 Valores considerados para encontrar el coeficiente de pérdidas laterales.	128
5.16 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas laterales.	128
5.17 Valores considerados para hallar el factor de remoción.	135
5.18 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas laterales.	136
5.19 Resumen de valores para realizar un análisis del comportamiento del grupo de colectores.....	139
5.20 Análisis del comportamiento del grupo de colectores.	140
5.21 Resumen de temperaturas y dimensiones consideradas para el análisis de transferencia de calor.....	146
5.22 Resumen de valores considerados para el cálculo de h_i	150
5.23 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de h_i	151
5.24 Resumen de valores considerados para el cálculo de h_{io}	152
5.25 Propiedades físicas del agua a la temperatura de película necesarias para el cálculo.	153
5.26 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de h_{io}	153
5.27 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de U_{o1}	154
5.28 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de $Area_1$	155
5.29 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de U_{o2}	158
5.30 Valores de resistencias obtenidas para el cálculo de T_3	161

5.31	Valores ingresados al ISOL.....	162
6.1	Listado de materiales.	173
7.1	Manejo y mitigación de riesgos.	189
8.1	Costos de materiales directos.	193
8.2	Costos de mano de obra directa.	196
8.3	Costo de materiales indirectos.	196
8.4	Costo de mano de obra indirecta.	197
8.5	Otros costos.	197
8.6	Costo de operación.	198

FIGURAS

3.1	Proceso de faenamiento del ganado vacuno.	48
3.2	Proceso de faenamiento del ganado porcino.	49
3.3	Recepción y estancia.	50
3.4	Pesaje.	51
3.5	Duchado.	51
3.6	Noqueo.	52
3.7	Izado.	52
3.8	Desangrado.	53
3.9	Escaldado.	53
3.10	Depilado.	54
3.11	Desollado.	54
3.12	Eviscerado.	55
3.13	Fisurado.	55
3.14	Inspección Veterinaria.	56
3.15	Transporte.	56
3.16	Contaminación del río Cutuchi.	61
3.17	Contaminación del suelo en el Camal.	62
4.1	Digestor de mezcla completa.	66
4.2	Esquematización de un digestor de flujo de pistón.	67
4.3	Esquematización de un digestor de contacto.	67
4.4	Incinerador del camal.	70
4.4	Preingeniería del sistema seleccionado.	72
4.5	Movimiento de la tierra alrededor del sol.	75
4.6	Distribución espectral de la radiación solar.	77
4.7	Variación de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre.	79
4.8	Declinación Solar.	80
4.9	Variación anual de la declinación del Sol.	81
4.10	Altura del sol y zenit.	83
4.11	Colector de placa plana.	86
4.12	Colector de serpentín.	87
4.13	Colector de de tubos paralelos.	87
4.14	Distribución de presión en tubos colectores.	89

4.15	Métodos de conectar bancos de colectores.....	89
4.16	Representación del esfuerzo longitudinal y circunferencial.....	96
5.1	Esquema de cabeza toriesférica.....	111
5.2	Esquema del soporte del biorreactor.....	114
5.3	Balance energético de colector solar.....	120
5.4	Transferencia de calor hacia el fluido de proceso.....	121
5.5	Esquema eléctrico equivalente del colector.....	123
5.6	Representación de parámetros técnicos de la placa colectora y tubería secundaria.....	134
5.7	Representación de r_1 y r_2	149
5.8	Representación de r_3 , r_4 , r_5 y r_6	157
5.9	Analogía eléctrica.....	160
5.10	Presentación del programa ISOL.....	162
5.11	Ingreso de datos.....	163
5.12	Grafica de intensidad de la radiación solar.....	164
5.13	Valores obtenidos a partir del ISOL.....	164
5.14	Factor de seguridad – Cuerpo y cabezas del biorreactor.....	166
5.15	Esfuerzo de Von Mises – Cuerpo y cabezas del biorreactor.....	167
5.16	Valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises – Cuerpo y cabezas del biorreactor.....	167
5.17	Factor de seguridad - Planchas bases del soporte conjunto.....	168
5.18	Esfuerzo de Von Mises - Planchas bases del soporte del conjunto.....	169
5.19	Valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises - Planchas bases del soporte del conjunto.....	169
5.20	Factor de seguridad - Soporte del conjunto.....	170
5.21	Esfuerzo de Von Mises - Soporte del conjunto.....	171
5.22	Valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises - Soporte del conjunto.....	172
6.1	Proceso de fabricación del cuerpo del biorreactor.....	177
6.2	Proceso de fabricación de la cabeza toriesfrica superior del biorreactor.....	178
6.3	Proceso de fabricación de la cabeza toriesférica inferior del biorreactor.....	179
6.4	Proceso de fabricación del sello del biorreactor.....	180
6.5	Proceso de fabricación del tanque de agua.....	181
6.6	Proceso de fabricación del soporte conjunto.....	182

6.7 Proceso de fabricación del colector solar plano.	183
8.1. Condiciones geográficas y climatológicas del camal.	191
8.2. Ubicación de todo el sistema biorreactor.	192
8.3. Camal Metropolitano de Quito.....	198
8.4. Planta de tratamiento de aguas residuales.	199
8.5. Biodigestor del Camal Metropolitano de Quito.	200
8.6. Harina de sangre.....	200

NOMENCLATURA

h_{cuerpo}	Altura de cuerpo de biorreactor.
$Volumen_{\text{biorreactor}}$	Volumen de biorreactor.
δ_{sustrato}	Densidad del sustrato.
$Masa_{\text{sustrato}}$	Masa del sustrato.
$Volumen_{\text{sustrato}}$	Volumen de sustrato.
Pd	Presión de diseño.
Ph	Prueba hidrostática.
t_{cuerpo}	Espesor del cuerpo del biorreactor.
$Dext$	Diámetro exterior del biorreactor.
t_{cabeza}	Espesor de la cabeza toriesferica.
h_{soporte}	Altura total del soporte del biorreactor.
σ_{eq}	Esfuerzo equivalente.
$D_{int_{\text{Tanque}}}$	Diámetro interior del tanque de agua.
μ	Coefficiente de poisson.
τ_{max}	Esfuerzo cortante máximo.
Pf	Presión que ejerce el sustrato en el biorreactor.
Po	Presión de operación.
R_{int}	Radio interno del biorreactor.
CA	Corrosión admisible.
δ_{acero}	Densidad del acero.
ε_p	Emisividad de la placa colectora.
ε_c	Emisividad de la cubierta transparente.
β	Angulo Beta.
T_p	Temperatura de la placa colectora.
T_c	Temperatura de la cubierta transparente.
ξ	Gravedad.
σ	Constante de Stefan - Boltzmann.
k_{aire}	Conductividad térmica del aire.

P_r	Numero de Prand.
k_{acero}	Conductividad térmica del acero.
k_{aisl}	Conductividad térmica de la lana de vidrio.
T_s	Temperatura superficial.
T_f	Temperatura de película.
λ_{agua}	Peso específico del agua.
ν	Viscosidad cinemática.
β_1	Coefficiente de expansión de gases.
Ra	Número de Raleigh.
N_V	Número de Nusselt.
U_t	Coefficiente de pérdidas superiores.
ε_b	Emisividad base colector.
T_b	Temperatura base colector.
k_{aisl}	Conductividad del aislamiento.
U_b	Coefficiente de pérdidas posteriores.
$A_{colector}$	Área de colector.
U_e	Coefficiente de pérdidas laterales.
U_L	Coefficiente de pérdidas globales.
C_p	Capacidad calorífica.
W_{tubos}	Distancia entre centros de tubería secundaria.
A_c	Área de colección.
δ_{agua}	Densidad del agua.
Re	Numero de Reynold.
F'	Factor eficiencia del colector.
F_r	Factor remoción de calor.
τ_c	Transmitancia de la cubierta transparente.
α_p	Absortancia de la placa colectora.
S_{media}	Irradiancia media.
Qu	Potencia de cada colector.

G_{SC}	Constante Solar.
ϕ	Latitud.
δ	Declinación.
ω	Angulo horario.
θ_z	Angulo de Zenit.
G_o	Radiación fuera de la atmósfera terrestre.
ω_s	Angulo de ocaso.
H_o	Irradiación solar por unidad de superficie.
N	Duración astronómica del día.
n_{real}	Heliofanía.
H_{real}	Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra.
kt	Indice de claridad.
Gr	Numero de Grashof.

ANEXOS

- A.1 Determinación de la densidad del sustrato.
- A.2 Resistencia a la fluencia de aceros al carbono.
- A.3 Diseño del biorreactor.
- A.4 Diseño del soporte del biorreactor.
- A.5 Diseño del tanque de agua de calentamiento.
- A.6 Volumen de agua resultante en el tanque de calentamiento.
- A.7 Peso ejercido sobre el soporte del conjunto.
- A.8 Diseño de las ménsulas del biorreactor.
- A.9 Cálculo del coeficiente de pérdidas superiores del colector solar plano.
- A.10 Cálculo del coeficiente de pérdidas posteriores, laterales y globales.
- A.11 Cálculo del factor de remoción.
- A.12 Mapa de irradiación solar ecuatoriano.
- A.13 Determinación del número de colectores y potencia generada.
- A.14 Determinación de la radiación solar local.
- A.15 Factores de corrección.
- A.16 Análisis de transferencia de calor del sistema.
- A.17 Heliofanía efectiva mensual para Rumipamba – Salcedo.
- A.18 Cálculo de áreas de refuerzo.
- A.19 Análisis de tensiones efectuado en SolidWorks.
- A.20 Cálculo de potencia requerida por la bomba de recirculación.
- B.1 Cronograma de actividades.
- D.1 Manual de operación y mantenimiento.
- E.1 Diagrama de fuerza y control de bomba de recirculación.
- E.2 Conexión de sensores de temperatura.
- E.3 Proceso de rotoformado.

RESUMEN

Este proyecto se lo realizo en base a la necesidad del camal municipal del cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi a cargo del Sr. Alcalde Rodrigo Mata, debido a la contaminación del lugar dada por los desechos orgánicos que se producen a diario y que se descomponen a la intemperie en las instalaciones del camal, contaminando suelo, agua, aire del lugar y el río Cutuchi que se encuentra ubicado en las cercanías del lugar. Las consecuencias del no tratamiento de los desechos son la contaminación del medio ambiente, mal olor, proliferación de enfermedades y la creación de cultivos de bacterias.

En la actualidad plantear soluciones encaminadas al cuidado del medio ambiente por este tipo de problemas es de vital importancia. Ahora el dar soluciones que satisfagan una necesidad no es suficiente, sino que además hay que buscar soluciones que no amenacen el medio ambiente.

Un biorreactor es la alternativa seleccionada para el aprovechar los desechos orgánicos generados por el camal debido a que las instalaciones del lugar son muy limitadas siendo esta solución la que ocupa un menor espacio en comparación a otros sistemas. EL biorreactor desarrollado es una solución integral, transformando los desechos orgánicos que contaminan el lugar en un tipo de abono orgánico denominado biol. El biol obtenido a partir de los desechos orgánicos, esta destinado a las personas aledañas del lugar para mejorar sus cultivos. Por medio de la implementación del sistema de biorreacción se logra disminuir el impacto ambiental de las operaciones del camal, y mejorar la calidad de vida de los trabajadores.

El sistema de biorreacción que se desarrollo tiene una capacidad máxima de 1144 kg de desechos orgánicos preparados y que deben ser ingresados en un periodo de 20 días, el tiempo de retención hidráulico considerado es de 26 días. El biorreactor está diseñado para soportar una presión de operación de 60 psi.

Para obtener una proliferación óptima de bacterias se diseñó un sistema de calentamiento basado en el aprovechamiento eficiente de la energía solar por medio de captadores solares. El número de colectores solares planos de tubos paralelos estimado para mantener la temperatura del agua en el tanque de calentamiento en 42 °C es de 10 colectores conectados en paralelo, la potencia generada por cada colector es de 469 W y la circulación es forzada por medio de una bomba de 1 hp.

El biogás que se produce a partir de los desechos orgánicos será quemado, debido a la poca generación.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES.

1.1. ANTECEDENTES.

El Gobierno Municipal del Cantón Salcedo es una institución de servicio público sin fines de lucro, que se encuentra empeñado en mejorar la calidad de vida de su comunidad. Una de sus necesidades prioritarias consiste en la recuperación de su camal municipal, el mismo que genera desechos orgánicos que al no ser debidamente tratados o procesados, contaminan al medio ambiente circundante como: agua, aire y el suelo.

Una de las acciones correctivas que la administración municipal de Salcedo ha empezado a tomar es la pronta recuperación del camal, por lo que ha dado a conocer a la comunidad la necesidad de implementar un proceso de tratamiento adecuado para los desechos orgánicos. Como paso previo esta, realizar los estudios técnicos y económicos con el apoyo de las universidades en este caso concreto de la Escuela Politécnica Del Ejército.

Es preocupante manifestar que la mayoría de desechos orgánicos producidos por el camal son enterrados y otros arrojados al río Cutuchi, generando un foco de contaminación que afecta en gran medida a la salud de los moradores de la zona y a los trabajadores del camal.

Por otra parte como sustento para el desarrollo del presente proyecto se dispone de los siguientes estudios realizados acerca del aprovechamiento de desechos orgánicos ejecutados por el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica:

- Optimización de un Biodigestor de 0.5m³ para determinar las características de carga para desecho vegetal y orgánico elaborado por Santiago Vaca Arcentales. (2007)
- Sistema de Biodegradación acelerada para la reutilización de desechos vegetales elaborado por Ramón Rodríguez y Freddy Vega. (2005)

Con los antecedentes escritos, se tiene los conocimientos y la experiencia para el desarrollo de la factibilidad técnica y económica del proyecto aquí expuesto.

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.

El Gobierno Municipal del Cantón Salcedo al no contar con un mecanismo apropiado para deshacerse de los desechos orgánicos producidos por su camal, busca una solución viable, eficiente y amigable con el medio ambiente que satisfaga su necesidad en forma prioritaria.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. GENERAL.

Determinar la factibilidad técnica y económica para la implementación de un sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos producidos por el camal municipal del cantón Salcedo, los mismos que en la actualidad al no ser procesados adecuadamente generan graves efectos ambientales y afectaciones a la salud de las personas que habitan en sus alrededores.

1.3.2. ESPECÍFICOS.

- Determinar los efectos ambientales originados por el no tratamiento de los desechos orgánicos del camal municipal.
- Determinar las posibilidades de aprovechamiento de los residuos orgánicos y líquidos producidos por el camal.

- Desarrollar el estudio técnico y económico de una instalación para el aprovechamiento de residuos orgánicos.
- Analizar los riesgos inherentes al proceso de conversión de biomasa y proponer alternativas de solución.

1.4. ALCANCE DEL PROYECTO.

Fomentar el uso de los recursos energéticos renovables mediante la concepción de una instalación de conversión de energía que permita procesar de una forma adecuada los desechos orgánicos que se generan en el camal municipal del cantón Salcedo que en la actualidad contaminan el ambiente y además es un foco de infección que afecta a la salud de las personas del sector.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO.

Necesidad:

El Gobierno Municipal del Cantón Salcedo, a través de su Alcalde Sr. Mario Rodrigo Mata Cepeda, considera como prioridad encontrar una solución para resolver la problemática ambiental y de salud que originan los residuos orgánicos que se generan en el camal municipal del cantón Salcedo.

Recursos humanos:

Para la realización del presente estudio de factibilidad técnica y económica sobre el desarrollo de una instalación para el aprovechamiento de residuos orgánicos se cuenta con la participación de las siguientes personas:

- Sr. Javier Cadena.
- Sr. Diego Garcés.
- Ing. José Guasumba.
- Ing. Carlos Sntaxi.
- Ing. Patricio Andrade.

Tecnología:

En el Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica se han desarrollado importantes estudios sobre el aprovechamiento energético de la biomasa, que sustentan las bases técnicas y tecnológicas para el desarrollo del presente proyecto de cooperación con la comunidad del cantón Salcedo.

Infraestructura:

Para la ejecución del presente proyecto se cuenta con instalaciones tanto del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica así como también del camal municipal del cantón Salcedo.

Aspecto Económico:

Los gastos que incurran en el desarrollo de este estudio están a cargo de los proponentes del tema.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO.

2.1. ORIGEN Y CONCEPTO DE BIOMASA.¹

El sol es el origen principal de los fenómenos físicos y físico – químicos, naturales o desarrollados por el hombre, implicados en la generación de energía potencial ya sea térmica, química, gravitatoria y de energía cinética.

La energía de radiación solar es la que alimenta la vida del planeta por lo tanto es fundamental, y la podemos aprovechar para nuestro beneficio energético sin provocar daños ambientales.

Por ejemplo las plantas aprovechan la energía solar para su metabolismo, lo hacen a través de la fotosíntesis que es la transformación de la energía solar en energía química.

2.2. APROVECHAMIENTO POR COMBUSTIÓN DIRECTA.²

La forma más primitiva de aprovechamiento de la energía contenida en la biomasa vegetal es su combustión directa. La combustión es una reacción de oxidación en la que interviene el oxígeno como agente oxidante; pero para que sea propiamente una combustión debe ser rápida y exotérmica, con aumento elevado de temperatura y más de la veces con emisión de luz.

¹ ORTEGA, M. RODRIGUEZ. Energías Renovables. Madrid. 2000. p 193.

² ORTEGA, M. RODRIGUEZ. Energías Renovables. Madrid. 2000. p 198.

Esto es lo que ocurre cuando se usa materia orgánica como combustible. La biomasa reacciona con el oxígeno, arde produciendo suficiente energía como para auto alinearse (vencer la energía de activación de toda reacción química), la reacción cede calor al medio, por lo que es exotérmica, y los productos de la combustión alcanza tal temperatura que se ponen incandescentes en su origen, mostrándonos el fenómeno que llamamos fuego o llama.

2.3. DIGESTIÓN ANAEROBIA.³

La degradación en la naturaleza de la biomasa residual procedente tanto del metabolismo animal como vegetal la realizan las bacterias, el proceso es complejo y, dependiendo del tipo de sustrato biodegradable, y de otros factores que intervienen diferentes especies bacterianas, existiendo una perfecta especialización en cuanto al tipo de materia a degradar por cada familia de organismos, de tal modo que los catabólicos de una especie son utilizados por otras en una concatenación de fases perfectamente organizada.

Cuando esta degradación se realiza en condiciones aerobias (en presencia de oxígeno), los productos finales son anhídrido carbónico, agua, sulfato y nitrógeno inorgánico en forma de nitritos, de nitratos y de sales de amonio.

Sin embargo en condiciones rigurosas de ausencia de oxígeno la biodegradación se lleva a cabo por otros organismos procarióticos en un proceso que se llama digestión anaerobia. Los productos finales de este proceso son un residuo húmedo de sólidos de difícil degradación y un gas inflamable. A este gas combustible lo llamamos biogás, y tiene una composición que, dependiendo del origen de la materia orgánica biodegradable oscila entre los valores siguientes:

- Metano CH_4 : 50 a 70%.
- Anhídrido carbónico CO_2 : 30 a 40%
- Acido sulfhídrico SH_2 , hidrogeno H_2 , y otros:< 5%

³ ORTEGA, M. RODRIGUEZ. Energías Renovables. Madrid. 2000. p 209.

El biogás es conocido y descrito desde mediados del siglo XVII como gas de pantanos, en realidad se produce en la naturaleza siempre que haya humedad, materia orgánica y ausencia de oxígeno. Así, se da en el intestino de los mamíferos, en el suelo de los pantanos donde se acumulan células vegetales, animales y microorganismos muertos, en capas profundas de los suelos de bosques y selvas donde no hay oxígeno, en los pozos ciegos donde se acumula excrementos, etc.

La digestión anaerobia ha sido y es muy aprovechada para obtener energía para cocinar y calentarse en países como la China y la India por amplias capas desfavorecidas de la población, aunque con técnicas muy rudimentarias que tienen bajos rendimientos. El poder calorífico del biogás depende de la concentración de metano y esta alrededor de las 5000 Kcal/m^3 . Por otro lado, el residuo o efluente sólido húmedo tiene un importante contenido de sales minerales de N, P, K, Ca, Mg, proteínas, grasas, celulosa, lignina, etc., puede servir como fertilizante o como alimento animal, aunque a veces es necesario proceder previamente a una nueva fermentación aerobia, para bajar aun mas el contenido en materia orgánica sin degradar.

Tabla 2.1 Desechos utilizados en la digestión anaeróbica.

DESECHOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACION ANAEROBICA EXISTENTES EN EL MEDIO RURAL.					
Características	Humedad (%)	Sólidos Totales (%)	Carbono* (%) (seco)	Nitrógeno* (%) (seco)	C/N
Vacunos	79	21	32	1.5	21
Ovinos	73	27	60	3.7	16
Equinos	75	25	47	2.4	20
Porcinos	69	31	73	2.6	28
Gallinazas	44	56	70.2	3.7	12
Auquénidos	57	43	42	2.22	11
Cuyes	32	68	37.2	2.02	17
Conejos	20	80	47.2	0.7	23
Chala de maíz	15	85	39	0.7	56
Paja de arroz	8	92	41.2	0.7	59
Paja de cebada	7	93	42.0	0.88	48
Paja de trigo	8	92	46	0.53	87
Totorales	35	65	41	0.23	178
Hojas de plátano	89	11	42	1.10	38
Pastos	67	33	40	2.52	16
Hierbas y hojas secas	50	50	41	1	41
*Base seca					

2.4. ETAPAS TRÓFICAS.⁴

Es el proceso biológico de la generación de metano, cada una de las cuales intervienen un grupo de bacterias específico, estas tres etapas tróficas son:

1. **Hidrólisis:** donde intervienen las cepas bacterianas hidrolíticas que degradan las macromoléculas orgánicas, ya sean hidratos de carbono, lípidos, proteínas, etc., a ácidos grasos, polisacáridos y otros productos neutros.
2. **Acidogénesis:** de la que se encarga las bacterias cetogénicas y homoacetogénicas, produciendo ácido acético, hidrógeno H_2 y CO_2 , partiendo del sustrato hidrolizado.
3. **Matanogénesis:** en ella el CO_2 , H_2 , y el ácido acético son transformado en CH_4 , por las bacterias metanogénicas.

Otros microorganismos degradan el azufre hasta $SO_4^{=}$, del cual, las bacterias sulforeductoras, aprovechan la energía química del sulfato degradándolo hasta ácido sulfhídrico SH_2 , que es un componente nativo, no deseado, del biogás, pues es un ácido que causa corrosión en las conducciones y en las instalaciones de combustión, especialmente en los motores, donde con el oxígeno y el agua contenida en el gas o formada como producto de la combustión de ácido sulfúrico SO_4H_2 .

⁴ ORTEGA, M. RODRIGUEZ. Energías Renovables. Madrid. 2000. p 210.

Tabla 2.2 Gas total y metano producido por diversas materias primas.

Materia prima	Gas total m3/Kg de materia seca	Metano m3/Kg de materia seca
Lodos de aguas residuales urbanas	0,43	0,34
Basuras urbanas	0,61	0,38
Desechos de fabricación de papel	0,23	0,14
Desechos de mataderos:		
- Contenido intestinal	0,47	0,35
- Vísceras	0,09	0,04
- Sangre	0,16	0,08
Lodos residuales de industria Láctea	0,98	0,74
Lodos residuales de papeleras	0,25	0,15
Residuos cerveceros	0,43	0,33
Estiércol de vacuno	0,4	0,9
Estiércol de porcino	0,26	0,21
Hojas de patatas	0,53	0,40
Hojas de maíz	0,49	0,41
Hojas de remolacha	0,46	0,39

La degradación de la materia orgánica por especies bacterianas que realiza un metabolismo en condiciones rigurosas de ausencia de oxígeno es lo que se llama digestión anaerobia.

En la digestión anaerobia se produce un gas compuesto de metano, dióxido de carbono y pequeñas cantidades de ácido sulfhídrico e hidrógeno, y un residuo húmedo de compuestos lignocelulósicos y otros no biodegradables en condiciones anaerobias. Dependiendo de la temperatura a la que se desarrolle el proceso de digestión intervienen unas especies bacterianas u otras, variando la velocidad del proceso y el rendimiento en cuantía de metano del gas sintetizado. Existen tres rangos de trabajo según la temperatura:

- Psicofilico: con máximo rendimiento a los 25 °C.
- Mesofilico: con un rendimiento mayor que el anterior sobre los 35 °C.
- Termofilico: con mayor rendimiento que los anteriores sobre los 60 °C.

El mantenimiento de las condiciones termofilicas requiere un aporte de calor extraído de la combustión del propio gas generado que hace que no compense la utilización de este rango. Cuando mantenemos la temperatura de digestión entorno a los 32 °C obtenemos mayores rendimientos.

Tabla 2.3 Rendimientos aproximados en residuos de animales y plantas.

RENDIMIENTOS APROXIMADOS EN RESIDUOS DE ANIMALES Y PLANTAS	
RESIDUOS - FRESCOS	RENDIMIENTOS
Estiércol de vacunos	10 kg húmedos animal día.
Estiércol de equinos	8 kg húmedos animal día.
Estiércol de porcinos	2.6 kg húmedos animal día.
Estiércol de caprinos	2.2 kg húmedos animal día.
Estiércol de ovinos	2.2 kg húmedos animal día.
Estiércol de aves	0.1 kg húmedos animal día.
Desechos del cultivo del maíz	9988 kg residuo Ha cultivada.
Desechos del cultivo del arroz	3379 kg residuo Ha cultivada.
Desechos del cultivo del trigo	3360 kg residuo Ha cultivada.
Desechos del cultivo de la cebada	3382 kg residuo Ha cultivada.
Excreta humana	0.60 kg húmedos Per capita - día.

Otros factores físico – químicos que intervienen en el proceso es el pH y el contenido en sólidos. En cuanto al primero solo decir que hay que mantenerlo entre 6.5 y 7.5, intervalo de máxima actividad metabólica de las bacterias metanogénicas. Por otro lado, los sólidos totales *ST*, contenidos en el influente orgánico que entra en el digestor pueden ser minerales y orgánicos, los primeros son llamados fijos *SF*, y los segundos sólidos volátiles *SV*. La concentración de sólidos volátiles da una idea de la materia orgánica biodegradable, aunque no sean digeribles en su totalidad.

Su determinación se hace por diferencia de pesadas entre la muestra sin secar, y la muestra tratada en un horno durante dos horas a 105 °C para los *ST*, y durante 4 horas a 550 °C para los *SF*. Los sólidos volátiles se calculan:

$$SV = ST - SF \quad (2.1)$$

En principio, es susceptible de aplicársele un tratamiento anaerobio para obtención de biogás cualquier tipo de biomasa vegetal o animal, pero son especialmente interesantes los residuos ganaderos, los lodos y espumas de depuradoras urbanas, la parte orgánica de la basuras urbanas, los efluentes orgánicos de industrias alimentarias como las cerveceras, las lácteas, papeleras, desechos de mataderos, algunos tejidos vegetales como las hojas de patata, de remolacha, etc., y en general aquellos residuos orgánicos de bajo contenido celulósico lignocelulósico.

2.5. CONTAMINANTES.⁵

El movimiento de contaminantes y componentes tóxicos a través del medio es muy similar al movimiento de energía y nutrientes por el ecosistema y a mayor escala por la biosfera. Estos productos químicos (conocidos habitualmente como contaminantes) pueden producir daños a los seres vivos y al ambiente. El estudio del movimiento de contaminantes a través del medio se conoce como ecotoxicología. Sin embargo, antes de estudiar los procesos relacionados, se define primero un contaminante.

2.5.1. DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE CONTAMINANTES.

Un contaminante se define como “una sustancia que aparece en el ambiente, al menos en parte, como resultado de las actividades humanas, y que tiene un efecto nocivo sobre el entorno”. Por desgracia hoy día los contaminantes son parte de nuestro entorno como resultado de la industria y de otras actividades. El término “contaminante” es un término amplio y se refiere a una gama de compuestos, desde una superabundancia de nutrientes que dan lugar a un enriquecimiento del ecosistema, a compuestos tóxicos que pueden ser carcinógenos, mutágenos (causan daño a los genes) o teratogénicos (compuestos que causan anomalías a los embriones en desarrollo). Una de las clasificaciones de contaminantes más útiles los divide en dos grandes grupos:

1. Los que afectan al medio físico.

⁵ KIELY. GERARD. Fundamento, tecnología y sistemas de gestión. Madrid. 1999. p 343.

2. Los que son directamente tóxicos a los organismos, incluyendo a la humanidad.

2.5.1.1. CONTAMINANTES QUE CAMBIAN EL MEDIO FÍSICO.

Algunos contaminantes no tienen ningún efecto directo evidente sobre los organismos vivos sino que simplemente cambian el medio físico de tal forma que hacen que las condiciones sean menos adecuadas para la vida o inapropiadas para la comunidad presente en el ecosistema en ese momento.

Las sustancias o las condiciones pueden haber estado siempre presentes, pero ahora sus concentraciones o niveles están alterados.

Un contaminante clásico de este tipo es el contaminante “demasiado de algo bueno”. Hay dos buenos ejemplos de este fenómeno. A escala global, el aumento en los niveles de dióxido de carbono atmosférico, aun cuando se trata de un gas que es esencial para la vida dado su papel en la fotosíntesis, puede dar lugar a cambios globales significativos y puede llevar a un calentamiento global. De la misma forma, cuando los nutrientes de plantas normalmente limitantes como el fósforo y nitrato se vuelven superabundantes en los cursos de agua, puede darse un aumento en la productividad primaria.

Cuando esta materia orgánica primaria muere y comienza a descomponerse, puede sobrevenir la desoxigenación del agua y a continuación hay un deterioro de la calidad ambiental y de la diversidad de especies. En ambos casos, la tasa de cambio de las condiciones está muy por encima de los cambios naturales; así que se dañan los ecosistemas y quedan contaminados.

2.5.1.2. CONTAMINANTES TÓXICOS.

Algunos compuestos, por el contrario, afectan directamente a la salud de los organismos y se les denomina contaminantes tóxicos. Los contaminantes tóxicos incluyen una gama de compuestos desde metales pesados, bifenilos policlorados (PCB) y dioxinas hasta iones radiactivos. Su toxicidad depende de un número de factores.

2.5.2. CONCENTRACIÓN.

Es importante señalar que aunque hay muchos elementos que pueden ser necesarios para los organismos en cantidades traza para el funcionamiento fisiológico normal también pueden ser tóxicos en grandes cantidades: es decir, la toxicidad depende de la concentración. Un buen ejemplo de ello son los metales pesados, como el cobre y el cinc. No todos los metales, sin embargo, han demostrado ser esenciales en concentraciones traza.

El plomo, el aluminio y el mercurio no tienen un papel fisiológico conocido y son altamente tóxicos para los organismos. Es importante señalar que estos compuestos y metales deben estar biodisponibles, es decir, en una forma que pueda ser asimilada por el organismo, antes de que se conviertan en tóxicos. La biodisponibilidad de los compuestos depende mucho de su forma química.

2.5.3. FORMAS QUÍMICAS O ESPECIES DE LOS COMPUESTOS.

La mayoría de los metales pesados sólo se absorben por los organismos individuales y se distribuyen por el ecosistema si están en forma metilada, en que los grupos metilo (CH_3) se añaden al elemento y hacen más fácil que entre a los organismos. De la misma forma, sólo ciertas especies de metales con determinadas cargas son tóxicas para los organismos.

Por ejemplo, la forma concreta de aluminio que es tóxica para los peces en los arroyos es un tipo denominado aluminio monómero lábil, y esta forma sólo aparece a ciertos niveles de pH del arroyo.

Por tanto, debe realizarse un examen completo de la forma y “especie” del metal en cualquier contaminante antes de poder determinar su toxicidad.

2.5.4. PERSISTENCIA.

Algunos compuestos desaparecen muy rápidamente del ambiente y se dice que tiene un periodo de vida media muy corto, es decir, el tiempo para que desaparezca el 50 por 100 del compuesto o para que se descomponga a una forma no tóxica. Los herbicidas modernos entran en esta categoría.

Sin embargo, otros compuestos, como los organoclorados y los bifenilos clorados son enormemente persistentes y se detienen en el entorno durante décadas, y en algunos casos generaciones. El DDT es un ejemplo bien conocido de insecticida organoclorado persistente que permanece ampliamente dispersado por los ecosistemas durante periodos prolongados de tiempo, mucho después de que fuera prohibida su utilización internacional.

CAPITULO 3

IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES.

El objeto de este capítulo es identificar y evaluar en el camal municipal de Salcedo sus aspectos e impactos ambientales en la Matriz de identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales. De acuerdo al procedimiento que se detalla en 3.1, 3.2, 3.3 y 3.4.

Definiciones de importancia:

Aspecto Ambiental (AA).

Elemento de las actividades, productos y servicios del camal municipal de Salcedo, que puedan interactuar con el ambiente.

Medio Ambiente.

Entorno en el cual opera el camal municipal de Salcedo, incluyendo el agua, el aire, la tierra, la flora, la fauna, los seres humanos y su interrelación.

Impacto Ambiental.

Cualquier cambio en el medio ambiente, sea adverso o benéfico, total o parcialmente resultante de las actividades, productos o servicios del camal municipal de Salcedo.

Aspecto Ambiental Significativo (AAS).

Es un aspecto ambiental que tiene o puede tener un aspecto ambiental significativo resultante de las actividades, productos o servicios del camal municipal de Salcedo.

3.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS, ACTIVIDADES, PRODUCTOS Y SERVICIOS.

De acuerdo a las actividades que ejecuta en el camal de Salcedo, se identifica los procesos asociados a ellas, tomando en consideración los siguientes temas:

Definir el nombre del proceso: Proceso donde se realiza la identificación y evaluación del aspecto e impacto ambiental.

Definir las actividades que esta asociada a aspectos ambientales: Acción generada en el proceso principal.

Definir el producto: Resultado de la actividad de un proceso.

Identificar las entradas al proceso: Materiales, materias primas, insumos y demás elementos que ingresan al proceso.

Identificar cuando sea procedente el servicio que genera el proceso: Producto intangible relacionado a actividades del proceso.

3.2. IDENTIFICACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES.

Para la realización de este punto se procede con los siguientes criterios:

- Se evaluará cada una de las actividades en su relación con el medio ambiente, utilizando el listado completo de aspectos ambientales, aplicables al sitio.
- Se evaluará cada uno de los servicios en su relación con el medio ambiente, utilizando el listado aspectos ambientales.
- De cada par constituido por una actividad (producto y servicio), y su aspecto ambiental identificado.

- De ese par se identificarán sus impactos ambientales utilizando el listado de aspectos e impactos ambientales.
- De cada triada constituido por una actividad (producto y servicio), aspecto ambiental e impacto ambiental identificado se evaluará su interés ambiental utilizando los criterios en la matriz de identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales.

Toda esta identificación y análisis se aplicarán para situaciones operativas y de mantenimiento.

3.3. EVALUACIÓN DEL INTERÉS AMBIENTAL.

Para determinar el interés ambiental de los impactos ambientales que se identificaron, se utilizará el método numérico que consiste en cuantificar dos factores, la magnitud que represente y la frecuencia con que se presente el impacto ambiental.

Para evaluar la frecuencia del impacto ambiental identificado se tomará en cuenta la siguiente consideración:

Tabla 3.1 Valores considerados para la frecuencia de impacto ambiental.

VALOR	GRADO	FRECUENCIA
1	Bajo	Cuando el impacto ambiental se presente con una frecuencia mayor a doce meses.
2	Medio	Cuando el impacto ambiental se presente con una frecuencia de uno a doce meses.
3	Alto	Cuando el impacto ambiental se presente con una frecuencia entre uno y treinta días.

Para cuantificar la magnitud del impacto ambiental identificado se tomará la siguiente consideración.

Tabla 3.2 Valores considerados para cuantificar la magnitud de impacto ambiental.

VALOR	GRADO	MAGNITUD
1	Bajo	Cuando el impacto ambiental se presente en el sitio de operación.
2	Medio	Cuando el impacto ambiental se presente dentro de los límites de operación
3	Alto	Cuando el impacto ambiental se presente fuera de los límites de operación

Determinación del límite de interés ambiental.

El interés ambiental es el resultado de la suma de la frecuencia y la magnitud del impacto identificado y tiene un valor entre 2 y 6 por esta razón se necesita establecer un límite de interés para la evaluación cualitativa de los impactos ambientales identificados; entonces el límite de interés es igual o mayor a 4, de acuerdo al siguiente análisis:

Tabla 3.3 Determinación del límite ambiental.

	Frecuencia		
Magnitud	1	2	3
1	2	3	4
2	3	4	5
3	4	5	6

Si una triada (actividad-producto-servicio), aspecto ambiental y su impacto ambiental tienen una valoración de interés ambiental igual o menos a 3 no se procederá con la evaluación de significancia. El aspecto ambiental queda solamente identificado.

3.4. GESTIÓN AMBIENTAL.

Para cada riesgo identificado, se asociará un aspecto ambiental significativo y un impacto y se deberá establecer al menos un mecanismo de gestión y documentarlo en la última columna de la matriz análisis de riesgo, así también para los aspectos e impactos ambientales significativos identificados en la matriz.

Los mecanismos de gestión adoptados son:

- Gestión operativa (reducción en la fuente, procedimientos operativos, rehúso y reciclaje, disposición final, mitigación al receptor, prevención en la fuente);
- Objetivos y metas ambientales;
- Plan de contingencia ambiental Incluye mecanismos para prevenir, enfrentar el peligro ambiental y mitigar el impacto ambiental.

Tabla 3.4 Lista de aspectos e impactos ambientales.

ASPECTO AMBIENTAL	Ejemplos
INTERACCION CON EL SUELO	
Generación de residuos sólidos	Metal, vidrio, papel, cartón, residuos orgánicos, plástico, desechos de construcción, etc.
Generación de residuos contaminados	Wipe con HC, tarros con pintura, envases de químicos, etc
Generación de residuos tóxicos	Fluorescentes, baterías, etc.
Generación de desechos de hidrocarburos	Aceites, trazas de petróleo
Generación de aceites y grasas	
Generación de lodos y parafinas	
Liqueo de combustibles	
INTERACCION CON EL AIRE	
Emisión de gases de combustión	CO ₂ , SO ₂ , NO _x , CO, PM ₁₀
Emisión de gases COV'S	Isopropanos, isobutanos, etc
Emisión de gases HAP'S	Benceno, tolueno, xileno, etc
Emisión de CFC	Refrigerantes y aerosoles
Emisión de radiación ionizante	Soldadura
Emisión calor	
Emisión de particulado PM ₁₀	
Emisión de malos olores	
INTERACCION CON EL AGUA	
Descarga de aguas residuales	Resultado del proceso
Descarga de aguas grises	Resultados del comedor

Tabla 3.4 Continuación.

Descarga de aguas negras	Resultados de sanitarios
Descarga de aguas de formación	
Lixiviados	Escorrentía de residuos sólidos
Residuos de Hidrocarburos	Remanentes de aceites, combustibles y trazas de hidrocarburos
Derrames de químicos	
Derrame de Hidrocarburos	
Generación de Residuos Orgánicos líquidos	
UTILIZACION DE RECURSOS	
Uso de combustible	Aceite, diesel y bunker
Uso de agua	Agua para el proceso, agua para limpieza
Uso de energía eléctrica	Energía eléctrica para el proceso y consumo humano
Uso de desengrasantes	
Uso de químicos	
INTERACCIÓN CON SALUD HUMANA	
Emisión de particulado, COVs	
Generación de ruido	
Manipulación de Químicos	
IMPACTOS AMBIENTALES	
Contaminación al suelo	
Contaminación al aire	
Contaminación al aguas superficiales	
Contaminación a aguas subterráneas	
Daño a la salud humana	
Agotamiento del recursos natural	
Reducción de capa de ozono	
Generación de lluvias ácidas	
Incremento al calentamiento global	
Daño de flora y fauna	
Molestias al hombre	
Impacto visual	
Agotamiento del recursos naturales	

Tabla 3.5 Formato para la matriz de identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales.

N°	ACTIVIDAD, PRODUCTO, SERVICIO	ASPECTO	IMPACTO	C	F	M	I / A	GESTIÓN / CONTROL

C= CONDICIÓN	F= FRECUENCIA	M= MAGNITUD	I / A= INTERÉS AMBIENTAL
N= NORMAL		M= MANTENIMIENTO	

3.5. PROCESOS DE OPERACIÓN DEL CAMAL.

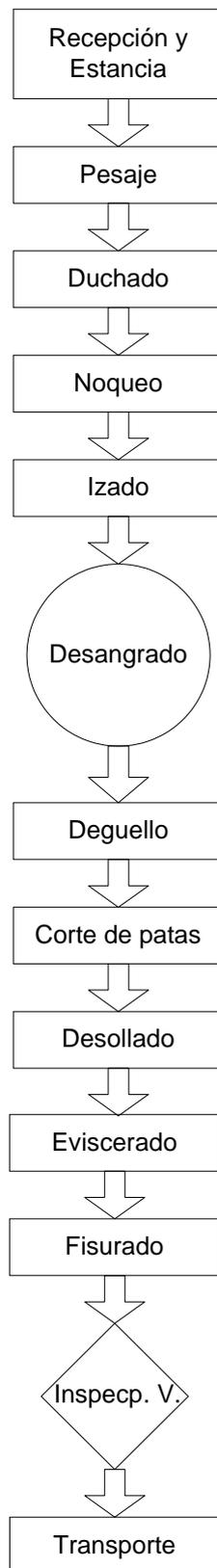


Figura 3.1 Proceso de faenamiento del ganado vacuno.

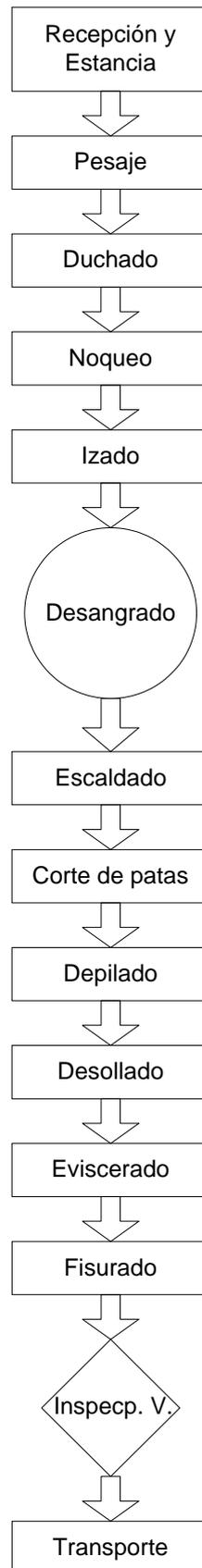


Figura 3.2 Proceso de faenamiento del ganado porcino.

De los procesos de faenamiento obtenidos en el camal, tanto de ganado vacuno como de porcino se puede identificar de manera específica las causas y efectos que producen ciertos procesos en el medio ambiente, a continuación se nombrará los procesos contaminantes.

3.5.1. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE FAENAMIENTO PORCINO PRODUCIDO POR EL CAMAL MUNICIPAL DE SALCEDO.

Recepción y estancia: Consiste en la recepción de las diferentes especies de animales, para ser ubicados en sus respectivos corrales en donde se cumple la cuarentena.



Figura 3.3 Recepción y estancia.

Pesaje: Se encarga de obtener el peso absoluto de los animales.



Figura 3.4 Pesaje.

Duchado: En esta etapa los animales son sometidos a un baño por aspersión en agua potabilizada.



Figura 3.5 Duchado.

Noqueo: Los animales son insensibilizados mediante métodos físicos o eléctricos para facilitar su proceso y evitar sufrimiento animal.



Figura 3.6 Noqueo.

Izado: Los animales son suspendidos a un sistema aéreo de rielería para facilitar las operaciones subsiguientes.



Figura 3.7 Izado.

Desangrado: Consiste en el seccionamiento transversal del paquete vascular a nivel del cuello para producir un sangrado profuso.



Figura 3.8 Desangrado.

Escaldado: Etapa usada para el desprendimiento de pelo y cerdas de los porcinos mediante la utilización de agua caliente por un tiempo determinado.



Figura 3.9 Escaldado.

Corte de Patas: En esta etapa se procede a cortar y separar las extremidades anteriores y posteriores del cuerpo del animal.

Depilado: En esta etapa se procede a desprender la cerda o pelo de los porcinos mediante métodos manuales o mecánicos.



Figura 3.10 Depilado.

Desollado: En esta etapa se desprende la piel del animal mediante métodos manuales o mecánicos.



Figura 3.11 Desollado.

Eviscerado: El operario procede a extraer los órganos internos de cada animal.



Figura 3.12 Eviscerado.

Fisurado: Consiste en la incisión longitudinal del esternón y la columna vertebral mediante una sierra eléctrica, neumática o de forma manual.



Figura 3.13 Fisurado.

Inspección veterinaria post mortem: Los animales y sus vísceras son revisados prolijamente por el veterinario para determinar su integridad orgánica y estado sanitario.



Figura 3.14 Inspección Veterinaria.

Transporte: Los animales y vísceras son transportados hacia los distintos centros de acopio y comercialización.



Figura 3.15 Transporte.

3.6. DESARROLLO DE LA MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE ASPECTOS E IMPACTOS AMBIENTALES.

Tabla 3.6 Matriz de identificación y evaluación de aspectos e impactos ambientales.

N°	ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	C	F	M	I / A	GESTIÓN
1	Recepción y estancia	Excremento emitido por los animales en los corrales del camal	Contaminación del suelo	N	3	3	6	* Almacenar el excremento por unos días y donar a los agricultores de la zona para abonar sus cultivos
2	Duchado	Descarga de aguas residuales	Contaminación del agua (río Cutuchi)	N	3	2	5	*Aplicar desinfectante
3	Desangrado	Descarga de aguas residuales	Contaminación del agua (río Cutuchi)	N	3	1	4	* Almacenar toda la sangre en un sistema biorreactor con el fin de no contaminar el río. * Cabar una zanja en la superficie, introducir la sangre, agregar cal viva para deshidratar y cubrir con tierra.
4	Escaldado (porcinos)	Descarga de aguas residuales	Contaminación del agua (río Cutuchi)	N	3	1	4	* El agua utilizada para el lavado en el proceso no es un contaminante peligroso por lo tanto se puede deshacer directamente, aplicando un desinfectante.

Tabla 3.6 Continuación.

5	Fisurado	Uso de energía eléctrica	Agotamiento del recurso nacional	N	3	1	4	-
N°	ACTIVIDAD	ASPECTO	IMPACTO	C	F	M	I / A	GESTIÓN
6	Inspección veterinaria	Generación de residuos sólidos	Contaminación de suelos	N	3	3	6	<p>* Los órganos animales no aptos para el consumo humano se puede almacenar en un sistema biorreactor con la finalidad de no estar expuestos al medio ambiente y más grave aun alimento para roedores.</p> <p>* Enterrar con cal viva para deshidratar los residuos sólidos</p>
7	Transporte	<p>* Uso de combustible.</p> <p>* Emisión de gases de combustión</p>	<p>* Agotamiento del recurso natural.</p> <p>* Contaminación del aire</p>	N	3	3	6	* Programa de mantenimiento preventivo

Como se observa en la tabla 3.6 existen muchos procesos contaminantes en el camal, el análisis se lo realiza a continuación:

Recepción y estancia:

En este proceso sobre todo en la estancia es donde los animales previos a ser sacrificados pasan ciertas horas o días en el camal, en donde van a contaminar el suelo con su excremento diariamente es por eso que se le ha calificado con un grado de tres en la frecuencia (F), en cuanto a la magnitud (M) de igual manera fue calificada con tres por la razón que la operación es fuera de los límites, pero no es complicado deshacerse del mismo es por eso que la solución más óptima es recolectar estos desperdicios orgánicos en un sitio que no cause problemas y dejar descomponer por unos días.

El excremento de estos animales se descompone de forma acelerada sin necesidad de aplicar ningún tipo de compuesto para que ayude en su degradación, una vez culminado este proceso se puede optar por facilitar esta materia a los agricultores aledaños, debido a que después de un periodo de tiempo se convierte en un excelente abono orgánico que puede ser aprovechado.

Duchado y escaldado:

El agua utilizada en los animales es un contaminante de baja concentración por lo tanto el interés ambiental es considerado como cinco, es por eso que al momento del desfogue al río será prudente agregar un desinfectante común sin perjudicar la existencia de los seres vivos que habitan en él.

Desangrado:

La sangre que se origina en este proceso es un fuerte contaminante como se lo puede mostrar en el análisis anterior que llega a un interés ambiental de cuatro, por lo cual es importante aprovechar de manera satisfactoria la sangre por que si se estanca en alguna parte va a formar cultivos de bacterias que vayan en contra de los seres humanos, ya que es una sustancia muy rica en organismos vivos, por lo tanto sería mayor la proliferación.

Inspección veterinaria:

Este es el proceso más importante por el motivo que el veterinario a cargo decide que partes del animal es apto para el consumo humano, en el caso de

que no tenga inconvenientes se los transporta a los puntos de comercialización, caso contrario son desechos muy peligrosos ya que el animal puede estar contaminado.

En este caso cabe recalcar que el interés ambiental es seis y para buscar una solución adecuada no va a ser tan fácil, es por eso que hay que analizar y buscar el procedimiento más acertado para deshacerse de este problema, en donde cumpla con toda satisfacción la situación muy crítica en la que está viviendo el camal.

3.7. SISTEMAS ECOLÓGICOS AFECTADOS.

En los países en vías de desarrollo, incluido Ecuador, las descargas orgánicas provenientes de la actividad de los mataderos generan altos niveles de contaminación en importantes fuentes ambientales.

Esta situación es especialmente difícil de controlar en los municipios pequeños como es en este caso de Salcedo, donde las limitaciones técnicas y económicas no permiten poner en funcionamiento medidas de manejo ambiental complejas que solucionen el problema de forma definitiva. Sin embargo, la implementación de medidas preventivas simples y poco costosas como el manejo ambientalmente sano de los residuos orgánicos hace viable abordar el problema de forma eficiente en cuanto a requerimientos y resultados, al exigir pocos recursos y generar valor agregado a los residuos manejados.

Siendo los sistemas ecológicos afectados el río Cutuchi, el suelo y aire del camal.

3.8. CONTAMINANTES ESPECÍFICOS.

El Camal Municipal de Salcedo, cuenta con una central de sacrificio que procesa semanalmente cerca de doscientos reses de ganado vacuno, además de alrededor de doscientos cerdos.

El matadero no implementa en la actualidad ningún sistema de control ambiental que disminuya los impactos que se generan en el entorno debido a su funcionamiento.

A pesar de que el lavado de las instalaciones no es exhaustivo desde el punto de vista de la asepsia, demanda grandes cantidades de agua pues es realizado de manera continua en las jornadas de sacrificio y faenado en donde se contamina los pisos y paredes dentro de las instalaciones del camal debido a la gran cantidad de sangre que termina en el río Cutuchi que es donde converge estos desperdicios, esto ocasiona un impacto ambiental delicado debido a que la sangre está formada de organismos vivos que afectarían al mezclarse con el agua en donde existen seres vivos.



Figura 3.16 Contaminación del río Cutuchi.

Otro aspecto importante de contaminación son los desperdicios orgánicos que provienen de los animales enfermos tanto vacuno como porcino que son hígados y vísceras. A través de un control de calidad realizado por el personal técnico se determinó que no son aptos para el consumo humano debido a que no reúnen los aspectos físicos (forma, color) para salir al mercado.

De esta forma el personal no tiene donde deshacerse de esta materia y recurre a enterrar a pocos metros del matadero sin tomar en cuenta que al descomponerse de forma natural estos residuos sólidos proporciona una fuente permanente de olores ofensivos para ellos mismos y los habitantes de la zona, peor aún es que está sometido a que vengan roedores a alimentarse con esta

materia contaminada y por medio de ellos contaminar la población ya que los mismas son cultivos de bacterias y están en todas partes.



Figura 3.17 Contaminación del suelo en el Camal.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVA PARA EL MANEJO DE DESECHOS ORGÁNICOS.

4.1. TIPOS Y VOLÚMENES DE DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS.

En el camal municipal de Salcedo se despostan alrededor de cuatrocientos animales entre vacunos y porcinos, generándose sangre, vísceras e hígados que no son aptos para el consumo humano. El horario de trabajo del camal es de martes a sábado de 04:00 am a 12:00 pm, la tabla 4.1 muestra la cantidad de desperdicios producidos por el camal diaria y semanalmente.

Tabla 4.1 Cantidad de desechos producidos por el camal.

Desechos del Camal	Cantidad diaria kg	Cantidad semanal kg
Sangre	14	70
Hígado Vacuno	9	45
Hígado Porcino	9	45
Vísceras	2	10

Se ha estimado tan solo 70 kg semanales de sangre debido a la existencia de perdidas en el momento de la recolección.

La cantidad total de desperdicios generados por el camal es de 170 kg semanales.

4.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS DESECHOS ORGÁNICOS PRODUCIDOS.

La tabla 4.2 presenta características de importancia de los desechos orgánicos que servirán para determinar en lo posterior la masa total de sustrato y el volumen del biorreactor.

Tabla 4.2 Características de los desechos orgánicos producidos por el camal de Salcedo.

Desechos del Camal	Densidad kg/m³	% humedad inicial (xw_i)	% humedad final (xw_f)
Sangre	1052.00	82	8
Hígado Vacuno	1085.71	72	6
Hígado Porcino	1085.71	72	6
Vísceras	1085.71	72	6

4.3. ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS APLICABLES AL CAMAL.

Los sistemas de aprovechamiento de desechos orgánicos aplicables al camal son los siguientes.

4.3.1. BIORREACTORES.⁶

En el campo de la ingeniería ambiental con el objeto de producir una reacción, se utilizan diversos métodos físicos (sedimentación, filtración, igualación, etc.), químicos (precipitación, coagulación, ablandamiento, etc.) y bioquímicos (lodos activados, digestión anaerobia, etc.), generalmente efectuados dentro de un tanque, para descomponer los desperdicios en forma adecuada.

Cuando una reacción de naturaleza química o bioquímica se verifica en un tanque, este se describe por lo común como un biorreactor.

⁶ ORTEGA, M. RODRIGUEZ. Energías Renovables. Madrid. 2000. p 209.

Un biorreactor es un dispositivo o tanque en el cual se deposita biomasa con el objeto de producir una reacción de naturaleza química o bioquímica para descomponer los desperdicios en forma apropiada.

4.3.1.1. Tipos de Biorreactores.

Los tipos de biorreactores y su tamaño dependen del objetivo principal del proceso, que puede ser la obtención de la máxima cantidad de biogás, la disminución de la carga contaminante de los efluentes a tratar, la obtención de compost, etc. Básicamente los digestores se clasifican en discontinuos y continuos.

Discontinuos.

Aquí se aporta la biomasa, se deja fermentar durante unos días (de 20 a 50 días), recogiendo el gas en un gasómetro, luego se vacía el sólido no digerido y se vuelve a llenar el digestor con materia orgánica fresca. Este proceso es arcaico y propio en la actualidad de poblaciones poco desarrolladas.

Continuos.

Este proceso es más avanzado, consiguiendo excelentes rendimientos; en ellos el biorreactor está siempre en permanente actividad, se introduce la materia a digerir con un caudal constante o variable, extrayendo biogás y efluente sólido de modo permanente. Para estos digestores se denomina tiempo de residencia hidráulico *THR*, el tiempo que permanece la materia a digerir dentro del mismo, y tiempo de residencia biológico *TRB*, al que permanece en el la materia viva activa, en digestores con sistema de recirculación de parte del lodo efluente el tiempo de residencia hidráulico es menor que el biológico. Las topologías de los digestores continuos son muy variadas, así tenemos entre otras:

1. Los que mantienen los microorganismos en suspensión dentro del digestor:
 - a. Mezcla completa: es simple, TRH superiores a 10 días.

- b. Flujo pistón: se asemeja al intestino de un mamífero, de tipo tubular, con el efluente sólido se escapa gran cantidad de microorganismos activos, por lo que solo son adecuados cuando se tratan excrementos de animales que contienen el inóculo de nuevas bacterias. El tiempo de residencia es como el anterior.
 - c. Contacto: El efluente de sólidos pasa por un decantador que devuelve parte del mismo al tanque digestor, de este modo se recircula la materia viva, pudiendo disminuir los tiempos de residencia. El *TRH* es de 2 a 6 días, menor que el *TRB*.
 - d. Lecho expandido: El influente muy acuoso entra al digestor por abajo, la parte sólida va decantándose y es degradada por floculos de bacterias mantenidas en suspensión por el movimiento ascendente del biogás producido. Es apto para lodos muy decantables. El *TRH* es de 1 o 2 días.
2. Los que contienen superficies en las que se fijan los microorganismos, las superficies pueden estar orientadas y no orientadas, el *TRH* es de 0.5 a 3 días.

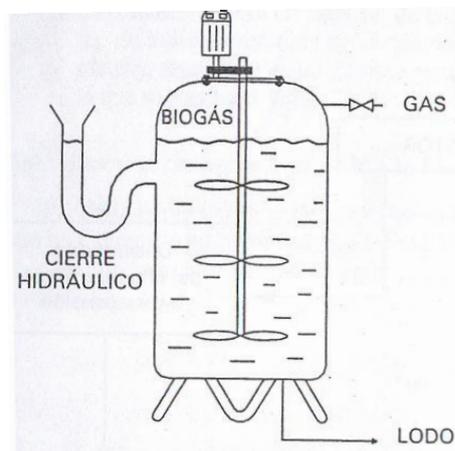


Figura 4.1 Digestor de mezcla completa.

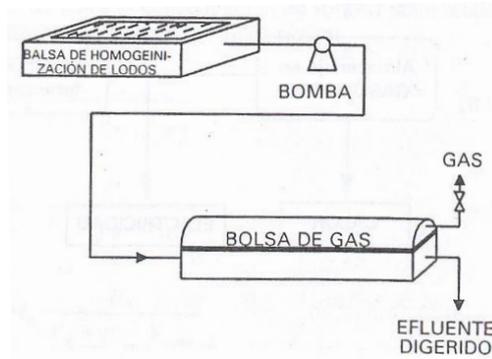


Figura 4.2 Esquematación de un digester de flujo de pistón.

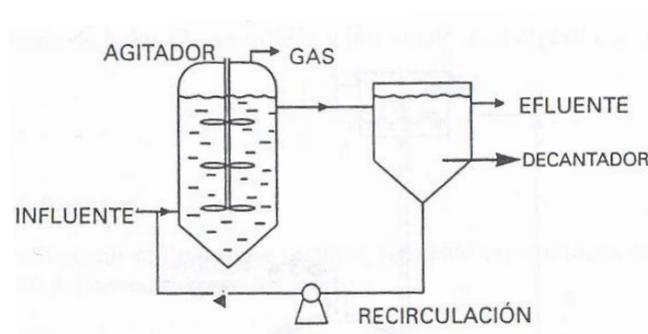


Figura 4.3 Esquematación de un digester de contacto.

El biorreactor es donde se desarrolla la digestión anaerobia en condiciones controladas de temperatura, pH, humedad y concentración de materia activa. Es necesario preparar un sustrato o lodo con un contenido en humedad superior al 85% para que la digestión se lleve a cabo en buenas condiciones.

4.3.2. CAVIDADES DE DESHIDRATACIÓN.

Aquí se realiza una cavidad en la tierra con una longitud y profundidad de acuerdo a la cantidad de desechos existentes, para introducirlos, esparcirlos de manera homogénea y agregar cal orgánica con el objeto de deshidratarlos.

Este procedimiento es muy sencillo y de buenos resultados pero cabe mencionar que se necesita de un espacio físico considerable para realizarlo de manera indefinida.

4.3.3. BACTERIAS ACTIVADORAS (ENZICLEAN).

Últimamente se han usado con gran éxito bacterias activadoras en el proceso de descomposición de los residuos orgánicos.

Uno de tales productos biológicos es el conocido comercialmente como enziclean, que es una combinación de bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas que compiten contra las bacterias no deseables, es aplicable a todo tipo de desecho orgánico.

Ventajas de usar enziclean en granjas y camales.

- Hidroliza y licua desechos orgánicos como heces fecales de cerdo, aves, ganado o humanos.
- Reduce la mortalidad en los animales de granja, particularmente la diarrea, en recién nacidos y animales jóvenes al mejorar el medio ambiente y controlar las bacterias patógenas.
- Reduce la producción del amoníaco y otros gases tóxicos.
- Una mayor conversión alimenticia.
- Reduce la tos y enfermedades respiratorias al optimizar el medio ambiente.
- Mejora el crecimiento de los animales al prevenir enfermedades.
- Un ambiente más sano para los animales y trabajadores de la granja.

Como actúan las bacterias activadoras (enziclean).

Con la aplicación de enziclean se produce una competencia por los sustratos, provocando la eliminación de bacterias no deseables como la E. coli y al mismo tiempo un sinergismo con bacterias degradativas naturales. Por este proceso de exclusión competitiva se produce drástica eliminación de bacterias generadoras de ácido sulfhídrico proveniente de la descomposición de los aminoácidos azufrados (cistina, metionina y otros)

En el ciclo de producción del amoníaco proveniente del estiércol de los animales, las bacterias benéficas existentes en la fórmula de enziclean, aceleran el proceso, es decir, la transformación del amoníaco de la urea en

nitrate, and it prevents the release of that toxic compound. Ammonia is highly irritating, affects the respiratory system of pigs, predisposing them to the development of respiratory diseases. Therefore, the reduction of ammonia is one of the main benefits of applying enziclean.

In a healthy environment, animals will be less exhausted, eat better and have a faster development, improving in a noticeable way the conversion Ratio/Weight.

When implementing a regular work program with enziclean, the flow of water carries a large amount of beneficial bacteria that will act in the manure pits avoiding the accumulation of organic matter and solid waste, avoiding bad odors, flies and birds of prey.

The following table illustrates the benefits of the use of enziclean measured in indicators of contamination.

Tabla 4.3 Resultados después de aplicar bacterias activadoras (enziclean).

Indicador de contaminación	Unidades	Antes de usar enziclean	Después de usar enziclean
Sulfuros	mg/L	210	0.63
DB05/20	mg/L	12754	715
DQO	mg/L	20130	2207
Escherichia Coli	Col/100ml	1432	173
Coliformes (NMP)	Col/100ml	11564	554

Como usar el enziclean.

- El tratamiento comienza en los chiqueros, poniendo en un tanque de agua 1 gramo de enziclean por animal o por metro cuadrado.
- La mezcla de enziclean se rocía por todo el espacio contaminado existente. El sólido de la mezcla que queda en el fondo del recipiente se echa en los canales o directamente en los estercoleros o fosas sépticas.
- Los animales pueden ingerir la mezcla de enziclean sin riesgo alguno.

4.3.4. INCINERAR LOS DESECHOS ORGÁNICOS.

En el camal municipal existe un incinerador el cual puede ser rehabilitado con el objeto de quemar los desechos orgánicos usando como combustible biomasa (leña) que se tiene de la zona.



Figura 4.4 Incinerador del camal.

Análisis de cada opción planteada.

- El camal municipal de Salcedo cuenta con un espacio pequeño para solucionar este problema, entonces puede ser factible implementar un sistema biorreactor.
- Las cavidades de deshidratación son una manera muy optima de deshacerse de los desechos orgánicos, pero se necesita de un espacio extenso. El camal tiene una superficie de 14000 m², la mayor parte esta ocupado por las instalaciones, existiendo poco espacio libre para poder implementar esta alternativa.
Otra de las desventajas para implementar esta alternativa es la mano de obra frecuente, lo cual implica un aumento de costos.
- La alternativa de aplicar bacterias activadoras para acelerar la descomposición no es una solución integral, ya que elimina las bacterias

no deseables pero no descompone los desechos en su totalidad para que sean aprovechables.

- La alternativa de incinerar los desechos orgánicos es un proceso muy fácil de realizarlo pero no es recomendable su implementación, ya que como resultado de quemar los desperdicios se producen toxinas que van en deterioro del medio ambiente y son perjudiciales para las personas que trabajan en el camal y que habitan en la zona.

4.4. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA.

La alternativa más apropiada de acuerdo al análisis realizado es la implementación de un sistema biorreactor, debido al poco espacio físico que tiene el camal, menor tiempo de degradación de la materia para aprovechar de manera eficaz los desechos orgánicos y la ventaja de poder introducir todo tipo de residuos sean sólidos o líquidos para que sean descompuestos en su totalidad en el biorreactor.

Otra de las razones que hace que sea viable la implementación de un sistema biorreactor es el menor impacto ambiental que produce en comparación a las demás alternativas revisadas, además que por medio de un biorreactor se puede obtener biol a partir de los desechos orgánicos introducidos en él. El biol es un abono orgánico que puede ser utilizado en las plantaciones aledañas del camal.

4.5. PREINGENIERÍA DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA.

El biorreactor a desarrollar es del tipo continuo de mezcla completa. Se ha seleccionado este tipo de biorreactor debido a que el tiempo de retención hidráulico necesario es relativamente corto y por su simpleza.

Básicamente la preingeniería del sistema de aprovechamiento de desechos orgánicos es como se muestra en la figura 4.4.

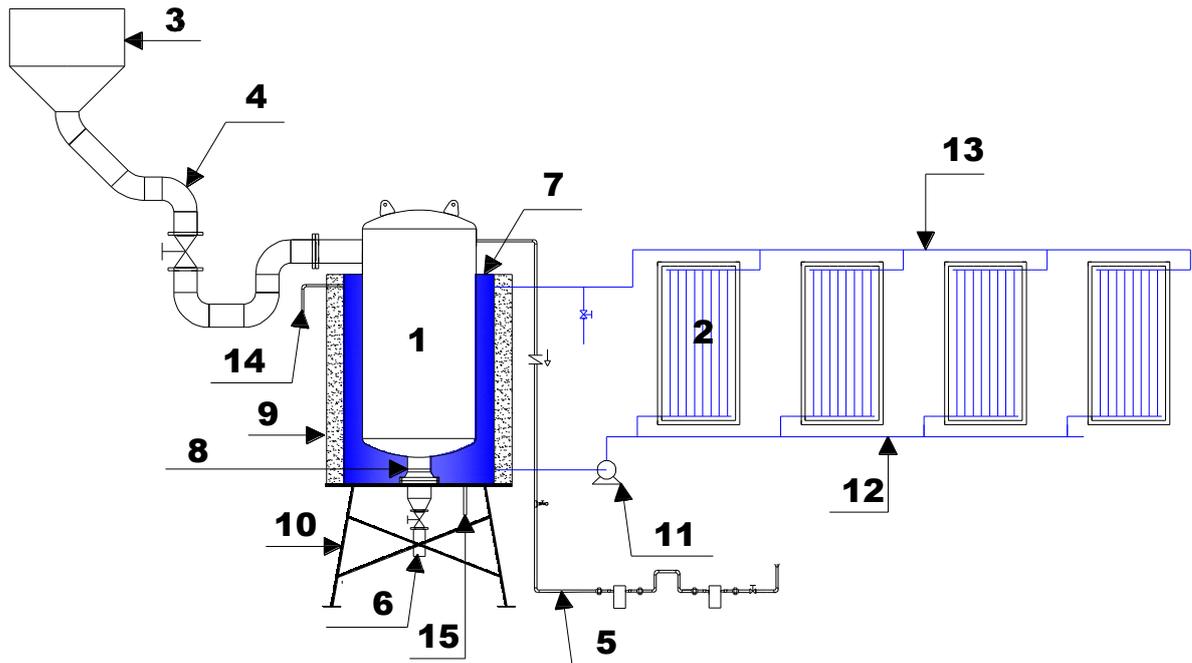


Figura 4.4 Preingeniería del sistema seleccionado.

Donde:

1. Biorreactor.
2. Grupo de colectores solares.
3. Tanque de prefermentación.
4. Sistema de captación y carga.
5. Sistema de evacuación de biogas.
6. Sistema de evacuación de productos aprovechables.
7. Tanque de agua de calentamiento.
8. Soporte del biorreactor.
9. Aislamiento.
10. Soporte del sistema.
11. Bomba de recirculación.
12. Línea de salida de agua desde el biorreactor.
13. Línea de entrada de agua desde los paneles solares.
14. Línea de entrada de agua al sistema.
15. Línea de evacuación de agua.

El biorreactor estará sumergido en un tanque de agua de calentamiento con el objeto de mantener la temperatura necesaria para que se de la fermentación anaerobia. El agua será calentada a través de un grupo de colectores solares planos de tubos paralelos. El biorreactor estará soportado por una brida que a su vez servirá para desalojar el biol producido a partir de la fermentación. Todo el conjunto estará sobre 4 soportes anclados al piso.

La captación y carga del sistema de biorreaccion consta de un tanque prefermentador, con lo cual se facilita la preparación e ingreso del sustrato al biorreactor. El prefermentador debe tener una capacidad de almacenamiento respecto al del biorreactor de al menos de una tercera parte.

Se va a obtener dos tipos de sustancias en el biorreactor que después de cumplir su periodo deben ser evacuadas, biogás y biol, el primero por no tener el suficiente volumen para darle algún tipo de funcionalidad se procede a quemar, el biol será donado a las personas que tengan sus cultivos en la zona.

El proceso de fermentación esta basado en el desarrollo de una correcta digestión anaerobia, la cual es posible bajo las siguientes condiciones:

- Humedad del sustrato mayor al 85%.
- Relación carbono-nitrógeno de la mezcla mayor a 25.
- El PH debe permanecer en un intervalo de 6.5 y 7.5.
- La temperatura en el interior de la cámara de biorreacción debe permanecer alrededor de los 32 °C.
- La cámara de fermentación debe estar en ausencia de oxígeno.

4.6. CONCEPTOS DE IMPORTANCIA PARA LA PREINGENIERIA.

4.6.1. SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

Para que la energía solar pueda ser aprovechada se debe disponer de elementos que permitan su captación y transformación.

La energía solar ofrece múltiples aplicaciones al captarla con dispositivos especiales, como colectores solares, que pueden ser planos o concentradores, heliostatos, células fotovoltaicas y tubos calientes entre otros. Dentro de los varios elementos para utilizar la energía solar se destaca el colector solar plano, el cual aprovecha la radiación directa y difusa, su aplicación principal, generalmente, es el calentamiento de fluidos, en base a los cuales se puede realizar varias aplicaciones (destilación de agua, secado de productos, calefacción, entre otras).

Dadas las características de radiación solar en nuestro país, es de especial interés el desarrollo de colectores solares planos, debido a que los concentradores trabajan con radiación directa solamente.

Entonces la energía térmica que requiere el proceso de biorreacción, se obtendrá a partir del uso eficiente del recurso renovable, como es el solar. Por ello se ha considerado el uso de colectores solares planos de tubos paralelos, como una alternativa eficaz para alcanzar este propósito.

4.6.1.1. Energía solar.

4.6.1.1.1. Propagación de la radiación solar.⁷

La energía proveniente del sol es generada en el núcleo solar, en un proceso de fusión termonuclear en el cual el hidrógeno se transforma en helio, su diámetro es de 1.39×10^9 m. La temperatura efectiva de la superficie del sol se estima en 5762 K, sin embargo la temperatura interior es muy superior en el orden de 8×10^6 a 40×10^6 K.

La cantidad de energía que emite el sol se puede calcular a partir de la ley de Stefan – Boltzman:

$$q = \sigma AT^4 \quad (4.1)$$

Donde:

q : Calor que genera el sol.

σ : Constante de Stefan – Boltzman.

⁷ www.si3ea.gov.co – Energía solar. Apéndice A. p 115.

A : Área del sol.

T : Temperatura en la superficie del sol.

En este proceso, cada segundo, una masa aproximada de 4.4 millones de toneladas que irradia $3.79 \times 10^{26} \text{ W}$ se transforma en energía, el cálculo de este valor se detalla a continuación:

$$q = 5.67 \times 10^{-8} \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \left[4\pi \left(\frac{1.39 \times 10^9}{2} \right)^2 \text{m}^2 \right] 5762^4 \text{K}^4$$

$$q = 3.79 \times 10^{26} \text{ W}$$

El núcleo del Sol contiene cerca del 40% de la masa solar y ocupa menos del 2% del volumen total.

La tierra en su movimiento alrededor del sol describe una órbita elíptica en la cual la distancia promedio tierra - sol es de aproximadamente $149.46 \times 10^6 \text{ km}$ (valor llamado una Unidad Astronómica U. A.), $\pm 1.7\%$; el diámetro de la Tierra se estima en $1.27 \times 10^7 \text{ m}$.

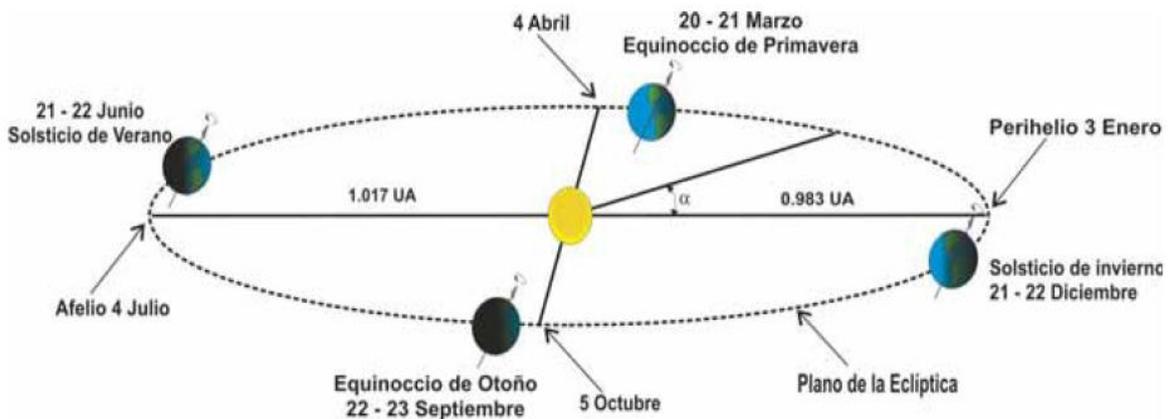


Figura 4.5 Movimiento de la tierra alrededor del sol.

La radiación electromagnética proveniente del sol se propaga radialmente en el espacio vacío; su intensidad disminuye con el cuadrado de la distancia, y su comportamiento se describe empleando las ecuaciones de Maxwell de la teoría electromagnética o mediante la teoría cuántica y relativista.

La energía proveniente del sol viaja a través del espacio como ondas electromagnéticas y plasma. En la parte superior de la atmósfera terrestre, sobre una superficie perpendicular a la radiación, se presenta una potencia promedio de 1367 W/m^2 , cantidad denominada constante solar.

Las variaciones de la constante solar dependen de la actividad solar asociada al número de manchas presentes en la superficie solar y a cambios en la distancia tierra - sol como consecuencia de la órbita elíptica terrestre.

La energía solar que ingresa a la tierra representa su principal fuente energética; el sol proporciona el 99.97% de la energía usada para todos los procesos naturales.

4.6.1.2. Radiación Solar.

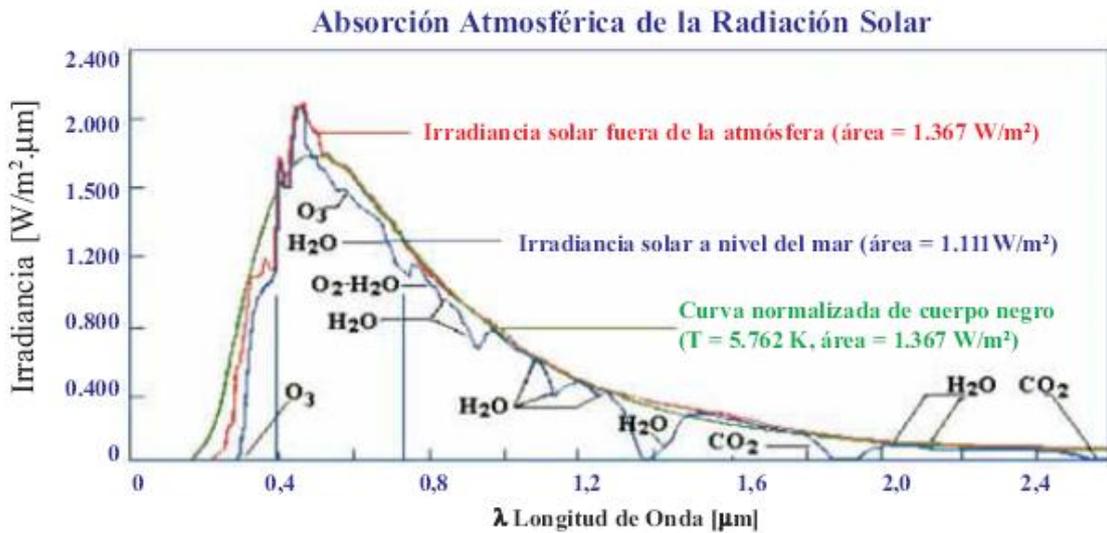
Es la energía emitida por el sol que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas y partículas. La medición de la radiación solar se realiza en forma instantánea como el cociente entre la cantidad de energía solar incidente en la unidad de área y de tiempo (W/m^2), o integrada en un lapso de tiempo que normalmente es un día ($\text{kW/m}^2\text{día}$).

4.6.1.2.1. Distribución espectral de la radiación solar.⁷

La energía solar es transportada mediante ondas electromagnéticas de diferentes longitudes de onda (λ). Al intervalo de radiación electromagnética, cuyas longitudes de onda se encuentran entre 0.290 y $2.5 \mu\text{m}$, se le denomina espectro de onda corta. Para diversos propósitos (fotosíntesis, celdas solares, conservación de la salud o de materiales, etc.) es necesario conocer cómo está distribuida la energía de acuerdo con la longitud de onda o la frecuencia, es decir, de acuerdo con su distribución espectral.

La Figura 4.6 muestra la distribución espectral de la radiación solar (1971).

⁷ www.si3ea.gov.co – Energía solar. Apéndice B. p 115.



En la Figura 4.6 pueden reconocerse tres regiones:

1. La región del ultravioleta ($\lambda < 0.38 \mu\text{m}$).
2. La región visible ($0.38 \mu\text{m} < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$) es el intervalo del espectro solar que puede detectar el ojo humano, y dentro del cual están los colores violeta ($0.42 \mu\text{m}$), azul ($0.48 \mu\text{m}$), verde ($0.52 \mu\text{m}$), amarillo ($0.57 \mu\text{m}$), naranja ($0.60 \mu\text{m}$) y rojo ($0.70 \mu\text{m}$).
3. La región del infrarrojo ($\lambda > 0.78 \mu\text{m}$).

A cada región le corresponde una fracción de la energía total incidente en la parte superior de la atmósfera, distribuida así: 7% al ultravioleta, 47.3% al visible y 45.7% al infrarrojo.

4.6.1.2.2. Constante solar (G_{sc}).

El sol emite energía en forma permanente, como radiación, parte de esta energía es interceptada por la tierra, con un valor aleatorio a nivel de superficie, debido a la atmósfera y sus fenómenos, fuera de la atmósfera el nivel de radiación se mantiene prácticamente constante (con variaciones debidas a la variación de la declinación de la tierra, la órbita elíptica).

Entonces es fuera de la atmósfera donde se establece el valor de la constante solar. La constante solar se define como el promedio de la energía proveniente del Sol que por unidad de tiempo incide perpendicularmente sobre una superficie de área unitaria colocada fuera de la atmósfera terrestre, a una distancia promedio de 150×10^6 km del sol. Básicamente la constante solar representa la energía total del espectro solar.

Como se indico anteriormente, la constante solar varía como función de la declinación de la Tierra y la variación de la distancia tierra – sol, la siguiente expresión permite el cálculo del valor de la constante solar como función del día del año.

$$G_{on} = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \quad (4.2)$$

Donde n es el número del día del año.

El valor adoptado como constante solar por la OMM hasta la última calibración realizada durante el año 2000 es:

$$G_{sc} = 1367 \text{ W/m}^2$$

con un error de $\pm 7 \text{ W/m}^2$.

Como la intensidad de la energía solar varía inversamente proporcional al cuadrado de la distancia al sol, entonces en el movimiento de translación de la tierra en la órbita terrestre cambia la distancia tierra - sol durante el año, originando una variación de la radiación solar extraterrestre incidente sobre una superficie normal al rayo solar, como ilustra la Figura 4.7.

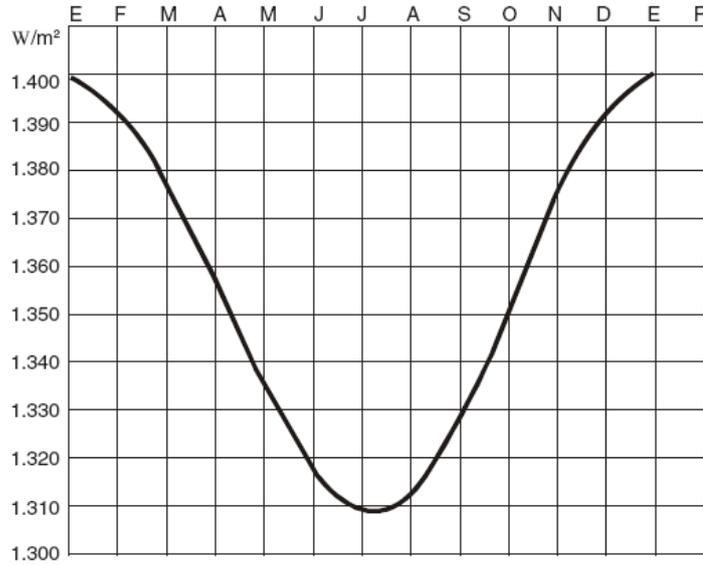


Figura 4.7 Variación de la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre.

Analíticamente se puede determinar la radiación solar extraterrestre incidente mediante la expresión:

$$G_{on} = G_{SC} \left(\frac{R}{R_0} \right)^2 \quad (4.3)$$

Declinación solar.⁸

Determina la posición angular del sol (al medio día) con respecto al plano ecuatorial.

Cuando se analiza el movimiento de rotación y translación de la tierra, se encuentra que su eje de rotación, con respecto al plano de translación alrededor del sol, tiene una inclinación fija de aproximadamente 23.45° (siempre se encuentra en la misma dirección respecto del plano de translación, como se indica en la Figura 4.8. El eje siempre tiene la misma orientación). El ángulo formado entre el plano ecuatorial de la tierra y la línea tierra - sol se denomina declinación solar (δ).

Debido al movimiento de la Tierra alrededor del Sol el valor de este ángulo varía durante el año.

⁸ www.si3ea.gov.co – Energía solar. Apéndice A. p 117.

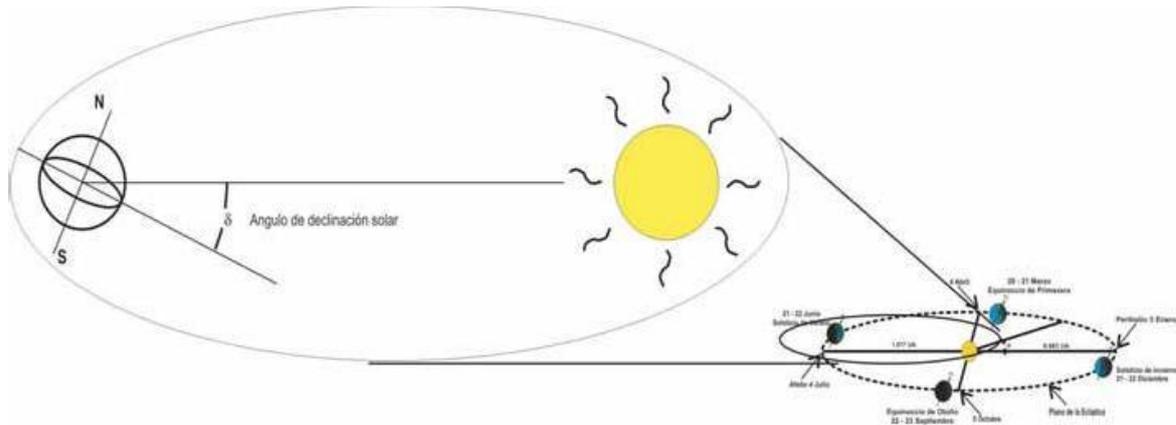


Figura 4.8 Declinación Solar.

Con la ecuación 4.4 se encuentra la declinación solar para un determinado día del año.⁹

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360(284 + n)}{365}\right) \quad (4.4)$$

El signo de la declinación es positivo (+) cuando el Sol incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio norte, entre el 21 de marzo y el 23 de septiembre, y negativo (-) cuando incide perpendicularmente sobre algún lugar en el hemisferio sur, entre el 23 de septiembre y el 21 de marzo, y varía entre -23.45° , cuando el sol se encuentra en la parte más baja del hemisferio sur, y $+23.45^\circ$, cuando se halla en la parte más alta del hemisferio norte.

⁹ F. Carrasco, Energía Solar, ESPE, Quito 1987. p 4.

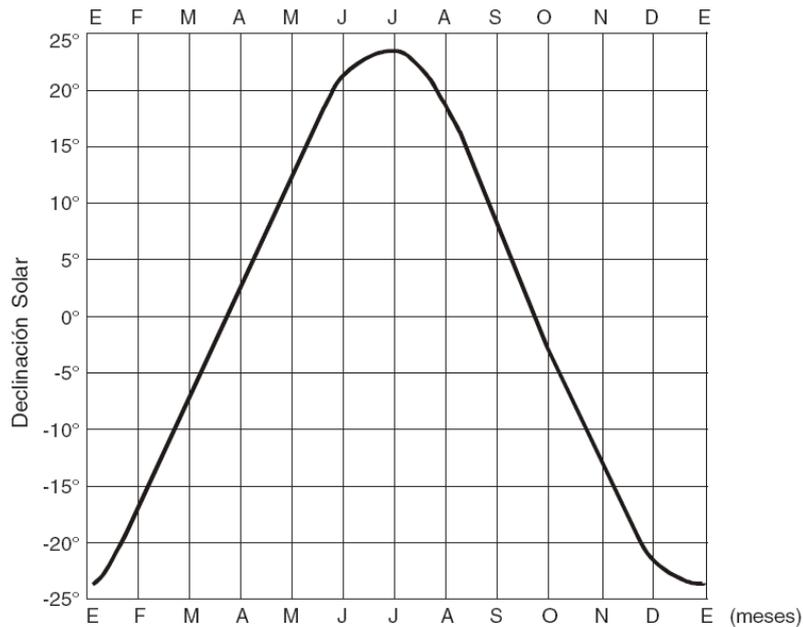


Figura 4.9 Variación anual de la declinación del Sol.

4.6.1.2.3. Ángulos de importancia para la ejecución de cálculos en superficies inclinadas.¹⁰

En las aplicaciones de la energía solar generalmente se trabaja con superficies inclinadas por lo que es necesario determinar algunos ángulos adicionales que permiten la ejecución de cálculos de varios sistemas.

Angulo Zenit (θ_z).

Es el formado entre la perpendicular al observador y la posición del sol.

Latitud (ϕ).

Es la distancia que hay desde un punto de la superficie terrestre a la línea ecuatorial, se expresa en grados de los paralelos correspondientes.

En otras palabras la latitud permite la localización angular de un sitio determinado. Generalmente se considera la latitud norte positiva y la sur negativa. Los valores variaran entre 90 y -90 grados.

¹⁰ F. Carrasco, Energía Solar, ESPE, Quito 1987. p 4.

Angulo Horario (ω).

Es el desplazamiento angular del sol con respecto al meridiano de referencia para la zona de análisis, el desplazamiento puede ser al este u oeste del meridiano, por convención se tiene negativo en la mañana y positivo en la tarde.

Angulo Beta (β).

Se designa al ángulo comprendido entre la superficie plana de análisis y la horizontal. De la definición se desprende que podrá variar de 0 a 180 grados.

Angulo de Incidencia (θ).

Es el ángulo comprendido entre la dirección de la radiación directa del sol (haz de radiación) sobre una superficie y la normal a esa superficie.

$$\begin{aligned} & [\sin(\delta)\sin(\phi)\cos(\beta)] - [\sin(\delta)\cos(\phi)\sin(\beta)\cos(\gamma)] \\ \cos(\theta) = & + [\cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\beta)\cos(\omega)] + [\cos(\delta)\sin(\phi)\sin(\beta)\cos(\gamma)\cos(\omega)] \\ & + [\cos(\delta)\sin(\beta)\sin(\gamma)*\sin(\omega)] \end{aligned} \quad (4.5)$$

La ecuación del ángulo de incidencia tiene varios casos especiales, al considerar una superficie horizontal y ($\beta = 0$) el ángulo de incidencia en este caso corresponde también al ángulo de zenit del sol (θ_z), la expresión se reduce a:

$$\cos(\theta_z) = \cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\omega) + \sin(\delta)\sin(\phi) \quad (4.6)$$

Un análisis para cuando $\theta_z = 90$ grados, nos permite conocer el ángulo de ocaso (puesta de sol), al que se lo conoce como ω_s y tiene la siguiente expresión:

$$\cos(\omega_s) = -\tan(\phi)\tan(\delta) \quad (4.7)$$

La expresión 4.8 permite también determinar el número de horas de luz solar:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(-\tan(\phi)\tan(\delta)) \quad (4.8)$$

Angulo azimuth de la superficie (γ).

Es el ángulo determinado por la desviación de la proyección de la normal a la superficie, en un plano horizontal, con respecto al meridiano del sitio.

Por convención parte del sur como cero, desviación al este positivo y al oeste negativo; en consecuencia los valores para este ángulo podrán ser de -180 a 180 grados.

Angulo azimuth solar (γ_s).

Es el desplazamiento angular desde el sur de la proyección de la radiación directa sobre un plano horizontal con referencia al meridiano del lugar. Entonces tenemos que por convención de signos para el oeste es positivo y para el este es negativo.

$$\sin(\gamma_s) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\sin(\theta_z)} \quad (4.9)$$

Altura del sol (h).

El valor de la altura solar sobre el horizonte se obtiene con la ecuación 4.10.

$$\sin(h) = \sin(\phi)\sin(\delta) + \cos(\phi)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (4.10)$$

Donde la altura del Sol queda en función de la latitud del lugar, la declinación y el ángulo horario.

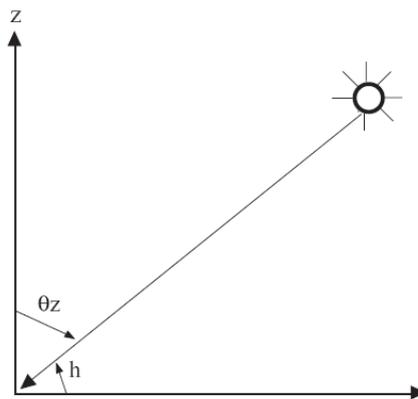


Figura 4.10 Altura del sol y zenit.

4.6.1.2.4. Radiación directa (H_b).¹¹

Es la radiación que llega a la superficie de la tierra en forma de rayos provenientes del sol sin cambios de dirección, es decir sin que haya sido dispersada por la atmósfera.

Si se analiza sobre la superficie de la tierra, el flujo de la radiación directa depende de los siguientes factores:

- a. Constante solar;
- b. Altura del sol (h);
- c. Transparencia atmosférica en presencia de gases absorbentes, nubes y niebla.

4.6.1.2.5. Radiación difusa (H_d).

Si el flujo de radiación solar encuentra pequeñas partículas en su camino hacia la Tierra, una parte de esta energía es difundida en todas direcciones, es decir se dispersa en la atmósfera y se llama radiación difusa. Esta radiación sobre la superficie de la Tierra, la radiación difusa, depende de los siguientes aspectos:

- a. Altura del sol sobre el horizonte. A mayor altura, mayor es el flujo de radiación difusa;
- b. A mayor cantidad de partículas, mayor es la componente difusa; por consiguiente, aumenta con la contaminación;
- c. Aumenta con la presencia de capas de nubes blancas relativamente delgadas;
- d. Al aumentar la altura sobre el nivel del mar, el aporte de la radiación difusa es menor, debido a que disminuye el espesor de las capas difusoras en la atmósfera.

4.6.1.2.6. Radiación solar total.

Corresponde a la suma de las dos radiaciones anteriores.

¹¹ www.si3ea.gov.co – Energía solar. Apéndice B. p 136.

4.6.1.2.7. Albedo.¹²

Al llegar a la Tierra, parte de la radiación global es absorbida por las capas superiores del agua o del suelo, transformándose en calor. Otra parte es reflejada. La relación entre la radiación reflejada y la radiación incidente sobre una superficie horizontal se denomina albedo de esa superficie, y generalmente se expresa en porcentaje.

$$A\% = \frac{R}{H} \times 100 \quad (4.11)$$

Donde:

A% = Albedo

R = Flujo de radiación reflejada

H = Flujo total incidente.

En general, las superficies oscuras y quebradas reflejan menos que las claras y lisas. Al aumentar la humedad del suelo, este absorbe mayor cantidad de radiación global, lo que influye en el régimen térmico de las superficies regadas.

El albedo del suelo en general está comprendido entre el 10 y 30%; el barro húmedo baja su valor hasta un 5%; en el caso de arena seca, eleva su valor a un 40%. El albedo de los sembrados y bosques está entre 10 y 25% y la nieve reciente alcanza un valor de 80 a 90%.

El albedo de agua en promedio es menor que el del suelo; esto se debe a que los rayos solares penetran en el agua más que en la tierra.

En el albedo del agua influye el grado de turbidez; en el agua sucia el albedo aumenta con respecto al agua limpia.

¹² www.si3ea.gov.co – Energía solar. Apéndice B. p 137.

4.6.1.3. Captadores solares.

Existen varios tipos de captadores solares entre los cuales podemos destacar: los colectores (planos, concentradores, de tubos de vacío), los helióstatos, celdas fotovoltaicas, etc. Para la aplicación que queremos desarrollar en el presente proyecto nos remitiremos a los colectores solares.

4.6.1.3.1. Colectores Solares.

Básicamente los colectores solares planos son sofisticados invernaderos que atrapan y utilizan el calor del sol para aumentar la temperatura del agua hasta alrededor de los 70°C.

Difiere de un intercambiador de calor convencional en que en éstos se realizan intercambios térmicos entre fluidos con elevados coeficientes de transferencia térmica, y en los que la radiación es un factor sin apenas importancia; en un colector solar, la transferencia térmica se realiza desde una fuente energética, (el sol), a un fluido.

Se pueden diseñar colectores de placa plana para trabajar con temperaturas de placa absorbente comprendidas entre 40°C y 130°C. Estos colectores utilizan tanto la radiación solar directa como la difusa, no requieren de sistemas de seguimiento solar y prácticamente no precisan de mantenimiento. Sus aplicaciones van enfocadas a sistemas de calentamiento de agua y calefacción de edificios.

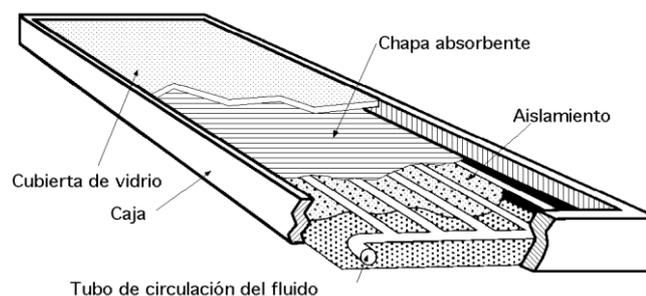


Figura 4.11 Colector de placa plana.

Estos colectores consisten en una caja herméticamente cerrada con una cubierta de vidrio. En su interior se ubica una placa de absorción la cual esta en contacto con tubos por los que circula el liquido que transporta el calor.

Existen dos tipos de configuraciones de los tubos internos en los colectores de placa plana, los de serpentín y los de tubos paralelos que consisten en varios tubos orientados en forma vertical con respecto al colector y en contacto con una placa metálica de color oscuro.



Figura 4.12 Colector de serpentín.

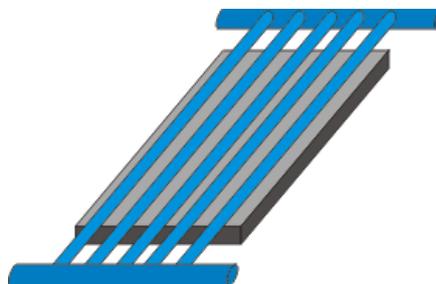


Figura 4.13 Colector de de tubos paralelos.

En el caso de los colectores de tubos paralelos, se colocan tubos de mayor sección en la parte inferior y superior, para asistir a la extracción de agua caliente y al ingreso de agua fría para su calentamiento.

La placa de absorción es aislada de la pared exterior con material aislante para evitar pérdidas de calor.

En los últimos años se han desarrollado materiales compuestos de superficies de absorción selectiva, hechos de materiales con fuerte absorción de la radiación electromagnética y baja emisión.

4.6.1.3.2. Distribución del flujo en los colectores.

Un diseño estándar y los cálculos de rendimiento de colectores se basan en el supuesto de una distribución uniforme del flujo ascendente de agua para cualquier tipo de colector; si éste flujo no es uniforme, las partes del colector que se corresponden con las subidas y que tienen un flujo de agua bajo, pueden llegar a alcanzar temperaturas significativamente más elevadas que aquellas otras que tengan velocidades de flujo más altas, por lo que el diseño de la disposición de los tubos colectores, tanto en los sistemas de colectores individuales como en los sistemas de colectores múltiples con circulación forzada es muy importante, ya que de ello depende la obtención de un buen rendimiento del colector.

Los colectores con circulación natural tienden a corregir el flujo ellos mismos y en estos casos el problema es menor.

Los experimentos realizados en diversos bancos de colectores solares, han proporcionado en los tubos colectores superior e inferior una distribución de presiones, tal como se indica en la figura 4.14, en la que se observa que las implicaciones de estas distribuciones de presión son evidentes; las caídas de presión de abajo hacia arriba resultan mayores en los extremos que en la parte central, dando lugar a flujos altos en las subidas extremas y flujos bajos en las subidas centrales.

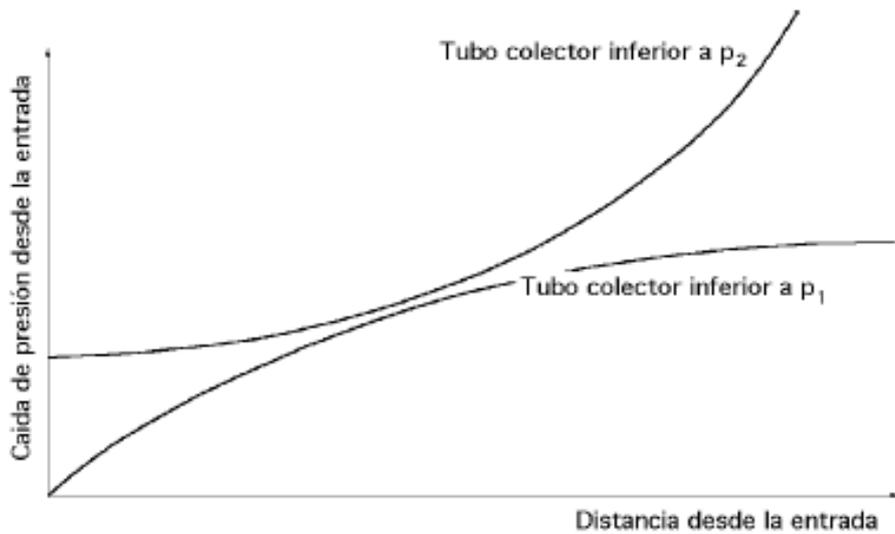


Figura 4.14 Distribución de presión en tubos colectores.

Por lo que respecta a las temperaturas en las placas absorbentes, los datos obtenidos en diversas experiencias muestran, del centro a los extremos, diferencias de temperaturas entre 10°C y 20°C, lo que constituye una falta de uniformidad bastante significativa; sin embargo, éste problema se puede atenuar:

- a. Conectando en serie unidades de baterías en paralelo.
- b. Conectando en paralelo múltiples baterías en serie.

La figura 4.16 muestra las formas de conexión descritas, obteniendo como resultado una distribución del flujo y de las temperaturas más uniforme.

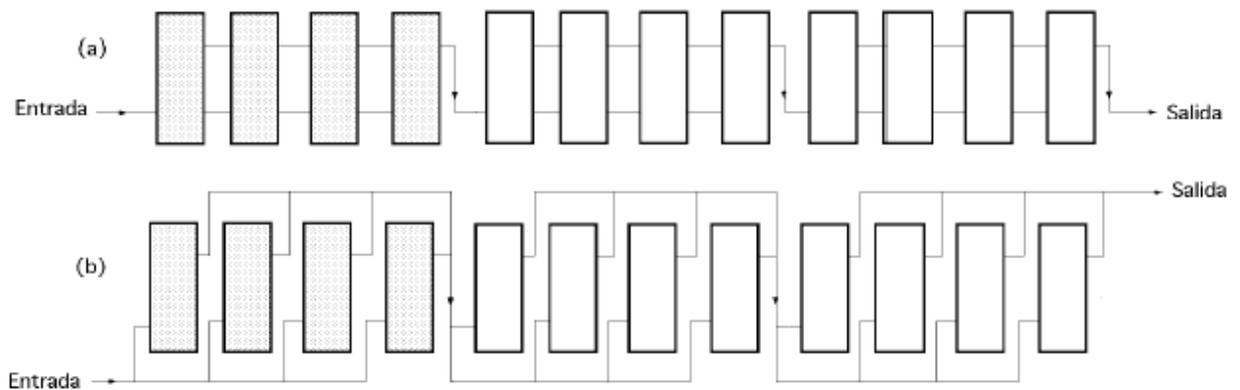


Figura 4.15 Métodos de conectar bancos de colectores.

Se recomienda que los colectores sean construidos con tubos lo suficientemente grandes, de forma que la caída principal de presión se origine en las subidas. Los bancos de hasta 24 subidas son interesantes tanto para la circulación natural como para la forzada; los bancos de circulación forzada de más de 24 subidas no se deben conectar en paralelo con más de 16 subidas; para series de bancos mayores se pueden usar conexiones en paralelo de baterías en serie.

4.6.1.4. Colectores solares planos de tubos paralelos.¹³

4.6.1.4.1. Cubierta Transparente.

La función de la cubierta transparente de un colector solar es reducir las pérdidas de calor por convección mediante la restricción del flujo de aire.

La cubierta transparente reduce las pérdidas de radiación térmica reflejada por la placa colectora y protege los componentes de las condiciones ambientales.

Aunque la mayoría de pérdidas de transmisión de radiación solar ocurren debido a la reflexión de la parte superior de la cubierta, lo cual puede solucionarse mediante el recubrimiento con una película de un material que posea un índice de refracción medio entre el aire y el material de cubierta transparente.

La tabla 4.4, presenta una lista de materiales que pueden ser usados como cubierta transparente además de diferentes tipos de películas que también pueden ser utilizados.

El material más utilizado es el vidrio, puesto que tiene una buena resistencia a las condiciones ambientales y a las altas temperaturas.

¹³ Instituto Nacional de la Energía, Colectores solares planos, Quito 1988, p6.

Tabla 4.4 Propiedades de algunos materiales usados para cubiertas transparentes.

	Espesor mm	Solar			Densidad kg/m ³
		Transmisión %	Reflectancia %	Absortancia %	
<u>PLACAS</u>					
Vidrio	3 – 4	83 – 91	8 – 9	1 – 8	2500
Acrílico	2 – 3	88 – 92	9	9	1156 – 1400
Polycarbonato	3	76 – 89	16	8	1187 – 1250
GRP	1	82 – 90	9	9	1500 – 1800
<u>PELICULAS</u>					
PVF	0.1	90 – 94	8	1 – 2	1400 – 1500
FEP	0.025 – 1	95 – 97	4	0 – 1	2000
PVC	0.3	85	-	-	-
PETP	0.2	85 – 86	-	-	1360 - 1390

Donde:

GRP: Poliéster reforzado.

PVF: Polivinil floruro.

PVC: Polivinil cloruro.

FEP: Teflón.

La radiación que incide en una superficie es reflejada, otra es absorbida por material y una tercera parte de la radiación es transmitida, esta última es la que debe ser absorbida por la placa. El objeto es utilizar cubiertas transparentes de alta transmisividad.

Tabla 4.5 Valores de transmisividad para diferentes materiales usados en cubiertas transparentes.

Tedlar – fluorcarbonato	Mylar – poliéster	Vidrio – flotado	Vidrio – templado
0.922	0.869	0.843	0.843

Al utilizar vidrio se debe cuidar de seleccionar el de menor contenido de hierro, el espesor estará dado por las dimensiones del colector (generalmente de 3 a 4 mm.). Dependiendo de las condiciones del lugar de aplicación, se puede utilizar colectores de una, dos y hasta tres cubiertas transparentes. La tabla 4.6 muestra el incremento de temperatura deseado sobre la temperatura ambiental en función del número de cubiertas transparentes.

Tabla 4.6 Incremento de temperatura deseado en función del número de cubiertas transparentes.

	Incremento de temperatura deseado sobre la temperatura ambiental °C
Sin cubierta	5
Una Cubierta	35
Dos Cubierta	55
Tres Cubierta	80

4.6.1.4.2. Placa colectora.

La placa colectora es el componente central de un sistema solar para calentamiento de agua, puesto que su función es atrapar la radiación solar y transferirla en forma de calor al fluido circulante, los materiales mas usados como materiales absorbedores son cobre, aluminio, acero, y acero inoxidable, recubiertos con una placa selectiva.

La transferencia de calor dependerá de la conductividad térmica del material de la placa y también de la distancia entre los pasajes del fluido, las conductividades térmicas de algunos materiales que pueden utilizarse para tales fines, se presenta en la tabla 4.7.

Tabla 4.7 Valores de conductividad térmica de materiales que pueden ser utilizados como placa colectora.

MATERIAL	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA $\frac{W}{mK}$
Cobre	376
Aluminio	205
Acero bajo carbono	50
Acero inoxidable	24

En un diseño de placa – tubo, cuando se utilicen metales de baja conductividad se requerirá espesores mayores de placa que cuando se utilicen metales de alta conductividad, lo cual llevara a tener dificultades de peso y grandes masas térmicas que deterioran la velocidad de respuesta a condiciones solares cambiantes. En todo caso, el éxito dependerá del contacto que se tenga entre la placa y la tubería; en el mejor de los caso se deberá soldarlos adecuadamente o acoplarlos estrechamente.

Para mantener un buen rendimiento por mucho tiempo, el absorbedor deberá resistir las corrosiones internas y externas. La corrosión externa puede presentarse debido a condiciones de humedad dentro de la caja del colector, debido a que existan imperfecciones de la envoltura las cuales permiten el paso de agua lluvia, o también por gotas de agua condensadas en la cubierta transparente. Los colectores que usan absorbedores de acero de baja aleación, son susceptibles a esta corrosión.

La corrosión interna puede ocurrir debido al ataque producido por el fluido de transferencia de calor (en sistemas indirectos). Una causa común de corrosión interna se presenta cuando el fluido de trabajo tiene grandes cantidades de oxígeno disuelto, particularmente en sistemas que no tienen un sistema de trampa de aire.

Los materiales usados para la placa colectora poseen pésimas propiedades absorbedoras, por lo que se les debe recubrir con una delgada capa de una sustancia que posea una alta absorción del espectro visible y una baja emisividad del espectro infrarrojo.

Es por lo que la superficie que va ser expuesta a la radiación solar debe ser de color oscuro para lo cual se utiliza pintura mate o se da algún tratamiento especial. La tabla 4.8 presenta valores de absorptancia de varios materiales usados como recubrimientos de placas colectoras.

Tabla 4.8 Valores de absorptancia de algunos materiales usados en diferentes tipos de placas colectoras.

	Pintura negra en aluminio	Oxido de cobre en aluminio	Pintura gris	Oxido de cobre en cobre
α	0.92	0.93	0.75	0.91

Se debe mencionar que el espesor de la placa afecta la distancia entre tubos que tendrá el colector.

4.6.1.4.3. Aislantes.

Las pérdidas de calor por debajo de la placa colectoras o pérdidas posteriores se pueden reducir mediante la utilización de una capa de aislamiento térmico, este material debe tener una conductividad térmica muy baja, deberá mantener su forma a pesar de las temperaturas y esfuerzos que se produzcan durante la operación del colector.

Las pérdidas posteriores son mayores que las pérdidas laterales, es por ello que se utiliza un aislamiento de mayor espesor por debajo de la placa colectoras. Los materiales que generalmente se usan como aislantes siempre y cuando la temperatura sea menor a 80 °C son: lana de vidrio, poliuretano expandido y poliestireno. La tabla 4.9, muestra las propiedades de algunos materiales aislantes.

Tabla 4.9 Valores de conductividad térmica y máxima temperatura de servicio de varios materiales aislantes.

	Conductividad Térmica a 24 °C $\frac{W}{mK}$	Máxima temperatura de servicio °C
Fibra de vidrio	0.032	343
Fibra mineral	0.036 – 0.055	649
Poliestireno	0.029 – 0.039	74
Poliuretano	0.023	104
Espuma fenólica	0.033	135
Espuma urea formaldehído	0.032	132
Plástico celular	0.040	100

4.6.1.4.4. Marco Soportante.

El material más utilizado para el marco soportante de los colectores solares, es el aluminio. Debido a su gran resistencia a la corrosión ambiental.

En menor escala se utilizan perfiles delgados de acero dulce, recubierto con pintura anticorrosivo.

4.6.2. RECIPIENTES A PRESIÓN.¹⁴

Para desarrollar el diseño mecánico del sistema de biorreacción nos basaremos en el código ASME Sección. VIII, división 1.

4.6.2.1. Esfuerzos en recipientes a presión.

La categoría e intensidad de los esfuerzos son función de la naturaleza de las cargas, la geometría y construcción de los componentes del recipiente.

¹⁴ ALCOSER, J. ESPE. Diseño Mecánico. 2005. p 2.

4.6.2.2. Esfuerzos (ASME).

Los esfuerzos que considera el código ASME Sección. VIII división I - (UG - 23), son los siguientes:

- Esfuerzo circunferencial.
- Esfuerzo de longitudinal.

Una presión interna o externa uniforme, induce en la soldadura longitudinal un esfuerzo dos veces mayor al esfuerzo producido en la soldadura circunferencial.

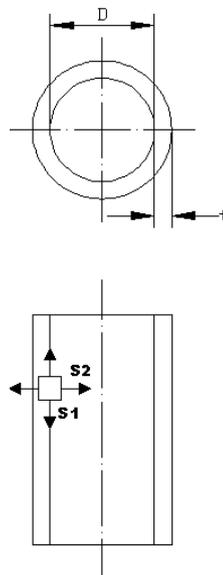


Figura 4.16 Representación del esfuerzo longitudinal y circunferencial.

Esfuerzo longitudinal (juntas circunferenciales):

$$S_1 = \frac{PD}{4t} \quad (4.12)$$

Esfuerzo circunferencial (juntas longitudinales):

$$S_2 = \frac{PD}{2t} \quad (4.13)$$

Donde:

P = Presión interna o externa

D = Diámetro

t = espesor

4.6.2.3. Cargas.

Las cargas que considera el código ASME Sec. VIII división 1 - (UG - 22), son las siguientes:

- Presión interna o externa.
- Peso del recipiente y su contenido.
- Reacciones estáticas.
- Reacciones cíclicas y dinámicas.
- Presión de viento.
- Fuerzas por sismo.
- Reacciones por impacto.
- Gradientes de temperatura.

4.6.2.4. Presión interna.

4.6.2.4.1. Presión de Operación.

Es la presión requerida por el proceso, a la cual el recipiente está normalmente operando.

4.6.2.4.2. Presión de Diseño.

Debe ser mayor que la presión de operación 10% o 30 psi, lo que sea mayor. También se debe considerar la presión del fluido o cualquier otro contenido del recipiente. Estas son algunas equivalencias de importancia.

- 1 pie agua = 0.433 psi
- 1 psi = 2.309 pie de agua

4.6.2.4.3. Máxima presión admisible de trabajo (Mawp).

Es la presión interna a la cual el elemento más débil del recipiente está cargado en su punto máximo permisible, y el recipiente se asume:

- En condición corroída.
- Bajo los efectos de la temperatura de diseño.
- En posición normal de operación.
- Bajo el efecto de otras cargas (viento, presión externa, presión hidrostática, etc.).

4.6.2.4.4. Prueba hidrostática.

Debe ser realizada una vez que la fabricación esta completa.

$$P_h = 1.3MAWP (P. DISEÑO) \frac{S (temperatura \text{ de prueba})}{S (temperatura \text{ de diseño})} \quad (4.14)$$

Una prueba neumática puede ser realizada en lugar de la prueba hidrostática (UG-100).

4.6.2.4.5. Valor del máximo esfuerzo admisible.

El máximo valor del esfuerzo admisible a tensión, es el máximo valor de esfuerzo con el cual se diseña y calculan los recipientes a presión.

4.6.2.4.6. Eficiencia de la junta (RX).

El valor de E, va a depender del tipo de unión, y para el caso de juntas a tope soldadas por ambos lados, los valores son los siguientes:

Tabla 4.10 Valores considerados para eficiencia de la junta.

Eficiencia de la junta (RX)			
1	A	FULL	TOTAL
0.85	B	SPOT	POR PUNTOS
0.7	C	NONE	NO

4.6.2.4.7. Formulas para el cálculo de recipientes a presión.

El cálculo de recipientes a presión generalmente se lo hace en términos de las dimensiones interiores. Para todas las fórmulas se emplean:

P: Presión de diseño o MAWP (psi)

S: Valor del esfuerzo del material (psi)

E: Eficiencia de la junta

R: Radio interior (in)

D: Diámetro interior / exterior (in)

t: Espesor de pared (in)

CA: Corrosión admisible (in)

L: Radio de bombeo interior / exterior (in)

r: Radio de rebordeo (in)

4.6.2.4.8. En términos de las dimensiones interiores.

Para todos estos casos es necesario calcular en condición corroída.

a. Cuerpo Cilíndrico.

$$t = \frac{P(R + CA)}{SE - 0.6P} + CA \quad (4.15)$$

- Usualmente gobierna el esfuerzo en la costura longitudinal.
- Cuando t excede la mitad del radio interno o P excede $0.385 S \cdot E$.
Fórmulas apéndice 1.2 (Referente al código ASME VIII – División. 1).

b. Cabeza Toriésférica.

Cuando $L/r = 16 \frac{2}{3}$ (Ideal).

$$t = \frac{0.885P(L + CA)}{SE - 0.1P} + CA \quad (4.16)$$

Cuando $L/r < 16\frac{2}{3}$ (Mayoría de los casos).

$$t = \frac{P(L+CA)M}{2SE - 0.2P} + CA \quad (4.17)$$

Cuando $L/r > 16\frac{2}{3}$ (Cabezas fuera de código).

- Non – code construction

$$M = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{L}{r}} \right) \quad (4.18)$$

CAPÍTULO 5

DISEÑO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE DESECHOS ORGÁNICOS.

5.1. BALANCE CARBONO - NITRÓGENO DE LA MEZCLA.

Los residuos orgánicos producidos por las operaciones del camal municipal como ya se lo menciono son sangre, hígados y vísceras, pero se debe adicionar desechos que hacen posible que se de la fermentación anaerobia para con ello obtener una relación carbono – nitrógeno de la mezcla adecuada.

Todos los desechos contienen dentro de su composición carbono y nitrógeno, estos elementos son el alimento que las bacterias utilizan para crecer y reproducirse. Durante el proceso de fermentación el carbono es consumido más pronto que el nitrógeno.

Cuando los desechos entran en el biorreactor deben contener 25 a 30 veces más carbono que nitrógeno para una mejor fermentación, esa es la relación denominada, carbono – nitrógeno ($C/N = 25$ a 30).

Para empezar el análisis del balance carbono – nitrógeno, se tiene los valores de C/N que se muestran en la tabla 5.1, para los desechos producidos en el camal.

Tabla 5.1 Relación carbono - nitrógeno de cada uno de los desechos que produce el camal.

	RELACIÓN CARBONO - NITROGENO
	C/N
Sangre	13
Hígado Vacuno	17
Hígado Porcino	17
Vísceras	17

En la tabla 5.2 y 5.4 se detalla el balance carbono - nitrógeno escogido para obtener una mezcla óptima en el biorreactor de modo de obtener una relación C/N de 25 como mínimo.

La cantidad de carbono y nitrógeno de cada una de las sustancias se obtienen mediante las ecuaciones 5.1 y 5.2 respectivamente.

$$carbono = \frac{C/N \cdot cantidad \cdot semanal}{100} \quad (5.1)$$

$$nitrogeno = \frac{carbono}{C/N} \quad (5.2)$$

La relación C/N de los desechos que produce el camal, de los desechos que deben ser adicionados y de la mezcla final, se obtiene por medio de la ecuación 5.3.

$$C/N = \frac{\sum carbono_{cada\ sustancia}}{\sum nitrogeno_{cada\ sustancia}} \quad (5.3)$$

Como se observa en la tabla 5.2 la relación de carbono - nitrógeno es menor a 25, y es debido a ello que se hace necesario adicionar desechos utilizados en la fermentación anaerobia para llegar a la relación C/N ya descrita.

Tabla 5.2 Relación carbono – nitrógeno total, de los desechos que produce el camal.

	RELACIÓN CARBONO - NITROGENO TOTAL, DE LOS DESECHOS QUE PRODUCE EL CAMAL.			
	Cantidad Semanal	Carbono	Nitrógeno	Relación
	kg			
Sangre	70	9.1	0.7	13
Hígado Vacuno	45	7.65	0.45	17
Hígado Porcino	45	7.65	0.45	17
Vísceras	10	1.7	0.1	17
SUB-TOTAL:	170	26.1	1.7	15.4

Se ha seleccionado la paja de trigo, hierbas y hojas secas, debido a su alta relación carbono – nitrógeno y por su fácil adquisición en el entorno del camal para ser adicionar a los desechos orgánicos que se tiene.

Los valores de la relación C/N para los desechos que deben ser adicionados se muestran en la tabla 5.3, y han sido tomados de la tabla 2.1.

Tabla 5.3 Relación carbono – nitrógeno de cada uno de los desechos que deben ser adicionados.

	RELACIÓN CARBONO - NITROGENO
	C/N
Paja de trigo	87
Hierbas y hojas secas	41

En la tabla 5.4 se observa que la relación carbono - nitrógeno total, de los desechos que deben ser adicionados es bastante alta, lo cual nos ayudara a obtener una C/N de la mezcla de al menos 25.

Tabla 5.4 Relación carbono - nitrógeno total, de los desechos que deben ser adicionados.

	RELACIÓN CARBONO - NITROGENO TOTAL, DE LOS DESECHOS QUE DEBEN SER ADICIONADOS.			
	Cantidad Semanal Kg	Carbono	Nitrógeno	Relación
Paja de trigo	25	21,75	0,25	87
Hierbas y hojas secas	10	4,1	0,1	41
SUB-TOTAL 2:	35	25,85	0,35	73,9

Al adicionar a la mezcla paja de trigo, hierbas y hojas secas en 25 kg y 10 kg semanales respectivamente, se obtiene una relación C/N de 25.3, con lo cual se cumple con una de las condiciones para que la fermentación anaerobia sea viable, como se observa en la tabla 5.5.

Tabla 5.5 Relación carbono – nitrógeno de la mezcla.

	RELACIÓN CARBONO NITROGENO DE LA MEZCLA			
	Cantidad Semanal Kg	Carbono	Nitrógeno	Relación
TOTAL:	205	51,95	2,05	25,3

La masa total de desechos que se obtiene es de 205 kg semanal.

5.2. DETERMINACIÓN DE LA MASA DE SUSTRATO SEMANAL.

Para determinar la masa total de sustrato, se debe tomar en cuenta otra de las condiciones para que se de la fermentación anaerobia, la cual indica que el sustrato debe ingresar al biorreactor al menos con un contenido de humedad del 85%, este valor de porcentaje nos es útil debido a que con ello podemos conocer la cantidad de agua a añadir a la mezcla.

Además es necesario conocer la masa seca posible a obtener y la cantidad de agua a retirar de las diferentes sustancias a ser introducidas en el biorreactor, para lo cual son necesarias las siguientes ecuaciones:

- Masa seca (m_s):

$$m_s = \frac{m_h(100 - xw_i)}{100} \quad (5.4)$$

- Cantidad de agua a retirar (ΔW):

$$\Delta W = m_s \left[\left(\frac{xw_i}{100 - xw_i} \right) - \left(\frac{xw_f}{100 - xw_f} \right) \right] \quad (5.5)$$

La tabla 5.6 se presenta los valores obtenidos de masa seca y cantidad de agua a retirar de cada una de las sustancias.

Tabla 5.6 Masa seca y cantidad de agua a retirar de cada una de las sustancias.

	Masa seca	Cantidad de agua a retirar
	kg	kg
Sangre	12.6	56.30
Hígado Vacuno	12.6	31.60
Hígado Porcino	12.6	31.60
Vísceras	2.8	7.02
Paja de trigo	23	1.77
Hierbas y hojas secas	5	4.74

La tabla 5.7 muestra la masa húmeda, masa seca y cantidad de agua a retirar total.

Tabla 5.7 Masa húmeda, seca y cantidad de agua a retirar total.

Masa húmeda total – kg	Masa seca total – kg	Cantidad de agua a retirar total - kg
205	68.6	133.02

La humedad del sustrato que se ha considerado es del 91 %.

La cantidad de agua a retirar total representa el 64.89 % de la masa humedad total, este porcentaje debería ser de al menos del 85%, de modo que se optara por un valor del 91%, siendo la cantidad de agua a retirar total ideal de 186.55 kg. Al realizar la diferencia entre la cantidad de agua a retirar total y la ideal, se obtiene que la cantidad de agua a ser añadida sea de 55 kg.

Entonces la masa total de sustrato semanal es la suma de la masa húmeda total y la cantidad de agua a ser añadida, es decir de 260 kg.

5.3. VOLUMEN DEL BIORREACTOR.

5.3.1. CÁLCULO DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICO.¹⁵

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el lapso en días, durante el cual la carga alimentada permanece en el biorreactor y es el tiempo necesario para que se la digestión del material orgánico a la temperatura de operación del biorreactor. El TRH es inversamente proporcional a la temperatura.

El volumen del biorreactor es determinado por el tiempo de retención hidráulico y por la carga diaria. Se recomienda escoger el TRH apropiado de acuerdo a la temperatura que se estime que va a operar el biorreactor, utilizando la ecuación 5.6.

$$TRH = -52.227 \ln(T) + 206.72 \quad (5.6)$$

¹⁵ Unidad de Planeación Minero Energética. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. Colombia. 2003. p 36.

Donde:

TRH : Tiempo de retención hidráulico, en días.

Ln : Logaritmo natural.

T : Temperatura promedio a la que va a operar el biorreactor, en $[^{\circ}C]$.

La temperatura de operación del biorreactor es $32^{\circ}C$, al reemplazar dicho valor en la ecuación 5.6, se obtiene un tiempo de retención hidráulico necesario de 26 días.

5.3.2. CÁLCULO DEL VOLUMEN DEL BIORREACTOR.

El camal de Salcedo trabaja 5 días por semana, es decir que con una masa de sustrato de 260 kg semanal, obtendremos una carga diaria de 52 kg, entonces los días efectivos de carga son 20. La masa del sustrato para el TRH señalado es:

$$Masa \cdot sustrato = Dias \cdot efectivos \cdot de \cdot carga \cdot Carga \cdot diaria \quad (5.7)$$

Se obtiene una masa de sustrato semanal de 1040 kg.

El cálculo de volumen del biorreactor se lo realiza en base a la ecuación 5.8.

$$Volumen_{\text{biorreactor}} = \frac{1.1 Masa_{\text{sustrato}}}{0.75 \delta_{\text{sustrato}}} \quad (5.8)$$

Se ha considerado el factor de 1.1, por una posible necesidad de días adicionales de fermentación del sustrato. El factor de 0.75 implica un volumen de biorreactor adicional del 25% para el biogás.

La densidad de sustrato (δ_{sustrato}), se determina en base a la siguiente ecuación:

$$\delta_{\text{sustrato}} = \frac{\delta_s m_s + \delta_h m_{hv} + \delta_h m_{hp} + \delta_v m_v + \delta_{\text{agua}} masa_{\text{aguadiaria}}}{masa_{\text{diaria}}} \quad (5.9)$$

Donde:

δ_s : Densidad de la sangre.

δ_h : Densidad del hígado.

δ_v : Densidad de las vísceras.

δ_{agua} : Densidad del agua.

m_s : Masa de sangre diaria.

m_{hv} : Masa de hígado vacuno diario.

m_{hp} : Masa de hígado porcino diario.

$m_{aguadiaria}$: Masa de agua diaria.

$m_{totaldiaria}$: Masa total diaria de la mezcla sin considerar los desechos adicionales.

De acuerdo al anexo A.1, la densidad de sustrato ($\delta_{sustrato}$) que se obtiene es de 1054.01 kg/m³.

La tabla 5.8 muestra los valores obtenidos.

Tabla 5.8 Masa de sustrato y volumen de biorreactor para un TRH de 26 días.

	TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRAÚLICO
	26 días
Masa sustrato kg:	1040.00
Masa sustrato mas 10% kg:	1144.00
Volumen biorreactor m³:	1.45

El volumen del biorreactor es de 1.45 m³ (51.21 ft³), con lo cual se puede estimar el dimensionamiento del biorreactor, el mismo que será de forma cilíndrica y de cabezas toriesféricas.

5.4. DETERMINACIÓN DEL BIOGÁS Y METANO QUE PUEDEN PRODUCIR LOS DESECHOS DEL CAMAL.

El gas total y metano que pueden producir los desechos del camal se determina por medio de las ecuaciones 5.10 y 5.11 respectivamente.

$$Gas \cdot total = Masa \cdot seca \cdot \cdot gas \cdot total \quad (5.10)$$

$$Metano = Masa \cdot seca \cdot \cdot metano \quad (5.11)$$

La tabla 5.9 muestra el gas total y metano que pueden producir los desechos del camal.

Tabla 5.9 Gas total y metano que pueden producir los desechos del camal.

	Masa seca	gas total	metano	Gas total	Metano
	kg	m ³ /kg de materia seca	m ³ /kg de materia seca	m ³	m ³
Sangre	12.6	0.16	0.08	2.02	1.01
Hígado Vacuno	12.6	0.09	0.04	1.13	0.50
Hígado Porcino	12.6	0.09	0.04	1.13	0.50
Vísceras	2.8	0.09	0.04	0.25	0.11
			TOTAL:	4.54	2.13

5.5. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS.

El tiempo de retención hidráulico y días efectivos de carga son de 26 y 20 días respectivamente, una masa de sustrato semanal de 260 kg y una masa total de sustrato para el TRH señalado de 1040 kg. El tanque biorreactor debe ser capaz de almacenar la masa señalada y resistir el presión interna del biogas y el peso del sustrato.

La temperatura necesaria para que se de la fermentación anaerobia dentro del biorreactor debe ser de 32 °C, es por lo cual que la temperatura de diseño que debe alcanzar el grupo de colectores solares será calculada en función del material y espesor de pared del biorreactor, así como también de la temperatura promedio anual del lugar, y a partir de ello estimar el numero de colectores.

El tanque de calentamiento debe ser dimensionado en base a la cantidad de agua necesaria para mantener la temperatura del sustrato y resistir tanto el peso del biorreactor como la presión del agua. La potencia de la bomba de recirculación será calculada en base al caudal de agua y la carga total del sistema de calentamiento.

5.6. DISEÑO MECÁNICO DE LA INSTALACIÓN.

El diseño del biorreactor será realizado de acuerdo a lo estipulado en el capítulo 2 – Código Asme Sección VIII Div. 1.

Y es debido a ello que se utilizara el sistema de medición ingles para este punto.

5.6.1. DISEÑO DEL BIORREACTOR.

EL biorreactor será de cuerpo cilíndrico y de cabezas toriesféricas, debido a costos, facilidad de construcción y por funcionalidad del biorreactor para evacuar el biol. Se soldará un anillo a la parte cilíndrica del biorreactor que tendrá la función de evitar fugas de agua del tanque de calentamiento al exterior. Las dimensiones del anillo son de 63.55 in de diámetro y estará ubicado a una altura de 72 – 1/4 in, respecto de la base del tanque de agua.

5.6.1.1. Dimensionamiento del biorreactor.

Las planchas de acero al carbono que se encuentran en el mercado son de 48 in de ancho y 96 in de largo, por lo que se utilizara 4 planchas para el cuerpo y 1 plancha para las cabezas toriesféricas, con el objeto de alcanzar el volumen requerido de 51.21 ft³.

Con lo cual, las dimensiones del cuerpo del biorreactor serán de 38.2 in de diámetro interior y 72 in de altura, con lo que se obtiene un volumen de 47.75 ft³ en su parte cilíndrica. El cálculo de las dimensiones del cuerpo del biorreactor se encuentra detallado en el anexo A.3.

Para determinar las dimensiones de las cabezas toriesféricas se ha recurrido al párrafo UG – 32(j), el cual recomienda que el radio de las cabezas toriesféricas (L), debe ser igual al diámetro interno del recipiente a presión. En tanto que, el radio de rebordeo (r) debe ser igual al 6% del diámetro interno del recipiente a presión.

De acuerdo al anexo A.3, las dimensiones de las cabezas toriesféricas son:

Diámetro (D): 38.2 in.

Radio de la cabeza toriesférica (L): 38.2in

Radio de rebordeo (r): 2.3 in.

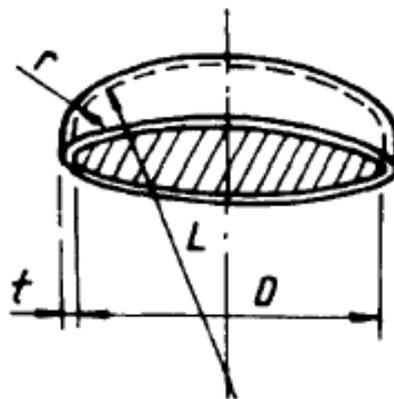


Figura 5.1 Esquema de cabeza toriesférica.

El volumen de la cabeza toriesférica con las medidas descritas es de 2.78 ft³, con lo cual se obtiene un volumen de biorreactor total de 53.3 ft³, lo cual cumple con el volumen del biorreactor requerido en el punto 5.3. El cálculo de volúmenes (capacidad de almacenamiento) tanto de la parte cilíndrica y cabeza toriesférica se encuentra detallado en el anexo A.3.

5.6.1.2. Presión de diseño.

La masa del sustrato para el tiempo de retención hidráulico de 26 días es de 2522 lb (aquí se ha considerado el 10% adicional), con esta masa la altura que alcanza el sustrato en el biorreactor es de 4.93 ft, siendo la presión que ejerce el sustrato sobre las paredes del biorreactor de 2.14 psi. La presión de operación a causa del biogás se ha considerado de 60 psi.

De acuerdo al código ASME la presión de diseño debe ser 30 psi o 10 % mayor que la presión de operación, lo que sea mayor, y deberá se sumada la presión ejercida por el fluido.

La presión de diseño obtenida es de 92 psi. Todos los valores mencionados en este punto se encuentran detallados en el anexo A.3.

5.6.1.3. Espesor del cuerpo del biorreactor.

Para determinar el espesor de pared del cuerpo del biorreactor se tiene la ecuación 4.15.

El material seleccionado es acero al carbono SA – 36, debido a que la presión de operación y por ende la de diseño son relativamente pequeñas, no siendo necesario un material de gran resistencia mecánica. Otra de las razones para seleccionar este material es su bajo costo en el mercado en comparación al resto de aceros.

De acuerdo al anexo A.2 la resistencia mecánica del acero al carbono SA – 36 es de 15200 psi, se ha considerado una eficiencia de junta de 0.85 y una corrosión admisible de 1/8 in. Entonces el espesor necesario para el cuerpo del biorreactor de acuerdo al anexo A.3 es de 5/16 in.

5.6.1.4. Espesor de cabezas torisféricas del biorreactor.

Para determinar el espesor de las cabezas torisféricas del biorreactor se tiene la ecuación 4.16.

El material seleccionado es el acero al carbono SA – 36, debido a las razones descritas en el punto anterior. Se ha considerado una eficiencia de la junta de 0.85 y una corrosión admisible de 1/16 in. Entonces el espesor necesario para las cabezas toriesféricas del biorreactor de acuerdo al anexo A.3 es de 5/16 in.

El porcentaje de alargamiento de la fibra externa que se obtiene es de 9.6% y se calcula mediante la ecuación 5.12. El detalle de este cálculo se encuentra en el anexo A.3.

$$\% \cdot \text{alargamiento} \cdot \text{fibra} \cdot \text{externa} = \frac{75t_{\text{cabeza}}}{Rf} \left(1 - \frac{Rf}{Ro} \right) \quad (5.12)$$

Donde:

t_{cabeza} : Espesor de la cabeza toriesférica.

Rf : Radio de rebordeo.

Ro : Radio de la cabeza toriesférica.

5.6.1.5. Presión de prueba hidrostática.

Para determinar el valor de presión de prueba hidrostática se ha considerado la ecuación 4.14. La resistencia del material a la temperatura de prueba de 15 °C (59 °F) es de 15200 psi y la resistencia del material a la temperatura de diseño de 42 °C (107.6 °F), es del mismo valor. Estos datos pueden ser verificados en el anexo A.2. De acuerdo al anexo A.3, el valor de presión de prueba hidrostática obtenido es de 120 psi.

5.6.1.6. Soporte del biorreactor.

El biorreactor estará soportado por bridas del tipo welding neck, una de ellas deberá ser refrentada para que sea soldada a la superficie del tanque de agua de calentamiento. Antes de ello se soldaran espárragos a dicha brida con el objeto de tener facilidades de montaje y desmontaje del biorreactor en el tanque de agua, como muestra la figura 5.2. De esta forma se logra evitar fugas de agua por la parte inferior del tanque de agua.

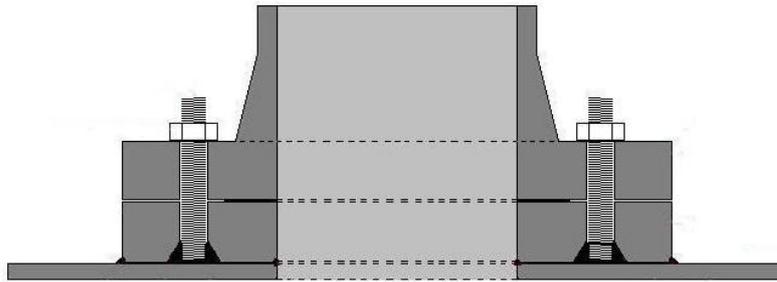


Figura 5.2 Esquema del soporte del biorreactor.

La mayor abertura circular posible de acuerdo a las reglas mencionadas en los párrafos UG – 36 al UG – 43 del código ASME, en la cabeza tori esférica del biorreactor se pueden realizar aberturas de acuerdo a las siguientes reglas.

Las reglas señaladas son:

- Recipientes de máximo 60" de diámetro interior, la mitad del diámetro del recipiente, pero máximo 20".
- Recipientes de más de 60" de diámetro interior, un tercio diámetro del recipiente, pero máximo 40".

De acuerdo al anexo A.3 el diámetro interno del biorreactor es de 32.2 in, entonces la máxima abertura circular que se puede realizar es de 16 in.

Se ha optado por realizar una abertura de 8 in por facilidad de evacuación del biol en la cabeza tori esférica inferior y por ende se utilizaran bridas welding neck de 8 in.

Los esfuerzos a los que están sometidas las bridas welding – neck han sido analizados en su parte más crítica, es decir en el cuello. De acuerdo al anexo A.3 la fuerza aplicada sobre la bridas es el peso del biorreactor cargado es decir 3542 lbf. El material con el cual son fabricadas es el acero SA – 106 B, cuyo esfuerzo a la fluencia es de 17100 psi, el criterio de falla para hallar el factor de seguridad es el del esfuerzo cortante máximo. El factor de seguridad que se obtiene de acuerdo al anexo A.4 es de 41.

Las bridas son seleccionadas de acuerdo a la norma ANSI B 16.5.

5.6.2. DISEÑO DEL TANQUE DE AGUA DE CALENTAMIENTO.

Las dimensiones del tanque de agua se determinan a partir del diámetro externo del biorreactor y aspectos de transferencia de calor. El análisis de transferencia de calor se lo realiza más adelante en el punto 5.7.4. y de allí se determina que para conservar una temperatura de 32 °C dentro del biorreactor es necesario que exista 6 in de agua entre el diámetro exterior del biorreactor y el diámetro interior del tanque de agua.

Entonces el diámetro interior del tanque de agua es de 50.8"y se determina mediante la ecuación 5.13.

$$D_{int_{tanque}} = D_{ext} + (2espesor_{agua}) \quad (5.13)$$

Por facilidades de construcción, costos y de perdidas por transferencia de calor desde el biorreactor al medio ambiente, la altura del tanque de agua que se ha considerado de 72 in.

El espesor de pared del tanque se determina a partir de la ecuación 4.14.

La presión que ejerce el fluido de acuerdo al anexo A.5 sobre las paredes del tanque es función de la altura de la columna de agua cuyo valor es 2.6 psi. La presión de diseño resultante es de 32.6 psi. El cálculo de este punto se encuentra detallado en el anexo A.5.

El material seleccionado es acero al carbono SA – 36, debido a que la presión de diseño es baja, no siendo necesario un material de gran resistencia mecánica y por su bajo costo en el mercado en comparación al resto de aceros.

Se ha considerado una eficiencia de junta de 0.85 y una corrosión admisible de 1/8i in. El espesor necesario para el tanque de agua de acuerdo al anexo A.5 es de ¼ in.

La base del tanque de agua soporta cargas del tipo puntual y distribuido. Aquí se detalla sus valores.

Puntuales.

Peso del biorreactor cargado= 3542 lbf.

Peso del soporte del biorreactor = 87.52 lbf.

Carga puntual total = 3629.52 lbf.

Distribuidas.

Presión del agua = 2.6 psi

Para realizar el análisis de la base del tanque de agua es necesario considerar un diafragma. Los esfuerzos aplicados sobre un diafragma son determinados mediante las siguientes ecuaciones.¹⁶

Esfuerzos aplicados sobre la base del tanque de agua – Carga puntual.

$$\sigma_{r1} = \frac{3C \arg a_{puntual}}{2\pi t_{base}^2} \quad (5.14)$$

$$\sigma_{z1} = \frac{3\mu C \arg a_{puntual}}{2\pi t_{base}^2} \quad (5.15)$$

Esfuerzos aplicados sobre la base del tanque de agua – Carga distribuida.

$$\sigma_{r2} = \frac{3Pr esion_{agua} \left(\frac{D_{int_{tan\ que}}}{2} \right)^2}{(4t_{base})^2} \quad (5.16)$$

$$\sigma_{z2} = \frac{3Pr esion_{agua} \left(\frac{D_{int_{tan\ que}}}{2} \right)^2}{(8t_{base})^2} \quad (5.17)$$

¹⁶ HEARN, E. J. Diseño de estructuras y maquinas. México. 1984. p 572.

Donde:

$\sigma_{r1}, \sigma_{z1}, \sigma_{r2}, \sigma_{z2}$: Esfuerzo

$D_{int_{tanque}}$: Diámetro interior del tanque de agua, en [in].

t_{base} : Espesor de la base del tanque de agua, en [in].

μ : Coeficiente de Poisson.

Con los valores de los esfuerzos aplicados se obtiene el esfuerzo equivalente mediante la teoría del esfuerzo cortante máximo y se encuentra el factor de seguridad. Es necesario recurrir a un proceso iterativo con el espesor de la base del tanque hasta encontrar un factor de seguridad adecuado. El factor de seguridad que se obtiene de acuerdo al anexo A.5 es de 2.57 con un espesor ½ in.

5.6.3. CAPTACIÓN Y CARGA.

El ingreso del sustrato como se menciona, se lo hará por medio de un tanque pre-fermentador, tipo tolva, con el objeto de tener facilidad de preparación e ingreso del sustrato al biorreactor. La tolva tiene una capacidad de almacenamiento de 23.7 ft³,

La tubería que conduce el sustrato desde el prefermentador al biorreactor es de 6 in de diámetro y ha sido dimensionada en función de la facilidad de ingreso del sustrato, se encuentra ubicada a 6 in respecto al cordón de soldadura superior que une el cuerpo del biorreactor con la cabeza toriesférica.

Una válvula tipo compuerta de 6 in estará ubicada en forma vertical para permitir el paso del sustrato al biorreactor. Luego de la válvula ira una tubería en forma de cuello de ganso invertido con el objeto de realizar el cierre hidráulico y cumplir con otro de los requerimientos para que se de la fermentación anaerobia, que es la ausencia de oxígeno en el biorreactor.

La unión del biorreactor y el sistema de captación y carga se lo hace por medio de bridas tipo slip-on de 6 in.

5.6.4. EVACUACIÓN DEL BIOL.

En la parte inferior del tanque de agua estará situado el sistema de evacuación de biol, el cual consta de una reducción de 8 a 4 in soldada en su parte superior a la base del tanque de agua, en la parte inferior de la reducción se deberá soldar una brida de 4 in para poder montar una válvula de compuerta, que estará ubicada a 50 in con respecto del piso. El tipo de bridas usadas son del tipo slip – on.

5.6.5. EVACUACIÓN Y COMBUSTIÓN DEL BIOGÁS.

Para la evacuación de biogás se hará uso de una tubería de $\frac{3}{4}$ " ubicada a 4 in respecto al cordón de soldadura superior que une el cuerpo del biorreactor con la cabeza toriesférica, el material que a utilizar es PVC debido a la elevada corrosión del biogás.

El sistema debe contar con una válvula antirretorno, un manómetro, dos filtros separadores de agua y una válvula de bola que permita la evacuación del biogás. No se almacenara el biogás debido a la baja producción que se puede obtener con el tipo de sustrato ingresado al biorreactor, como se muestra en la tabla 5.9. La combustión del biogás se lo realizara por medio de un quemador una vez que se haya alcanzado una presión de al menos 60 psi en el biorreactor.

5.6.6. SOPORTE DEL CONJUNTO.

Todo el sistema de aprovechamiento de desechos esta soportado sobre una plancha cuadrada y esta a su vez sobre 4 tubos inclinados de 4 in. El diseño del soporte se verifica por medio del programa de ingeniería Solidworks, cuyo análisis se detalla en el punto de validación de diseño.

5.7. DISEÑO TÉRMICO DE LA INSTALACIÓN.

5.7.1. DISEÑO DE COLECTORES SOLARES PLANOS DE TUBOS PARALELOS.

Se ha considerado el uso de colectores solares planos de tubos paralelos para el calentamiento del biorreactor.

Los colectores solares son dispositivos que aprovechan la energía solar para el calentamiento de agua, es decir funcionan en base de energía renovable. La temperatura promedio en la cámara de fermentación debe encontrarse en 32 °C.

Para el diseño de colectores solares se utilizara el sistema de medición métrico, por facilidad del uso de tablas de constantes físicas tanto del aire, agua y de los materiales utilizados en el colector.

5.7.1.1. Análisis térmico.

Una vez conocida la estructura de los colectores solares planos de tubos paralelos descrita en el capítulo 4, se desprende que las pérdidas térmicas más importantes se producen por la cubierta transparente, como resultado de la transferencia de calor por convección y radiación entre superficies paralelas (cubierta transparente y placa colectora).

Para realizar el análisis térmico del colector solar plano, se debe tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Régimen permanente, flujos de calor unidimensionales.
- Tubos paralelos, caudales de agua uniformes, cabezales sin efecto.
- Cubierta delgada, no absorbente, opaca en el infrarrojo.
- Gradientes térmicos independientes en direcciones x e y.
- Propiedades termofísicas independientes de la temperatura.

Suponiendo que el gradiente de temperatura a través de la placa de vidrio es despreciable, comparado con el gradiente a través de la película de aire estancada, la temperatura de equilibrio del absorbente se estima de acuerdo con el balance energético, que se representa en la figura 5.3.

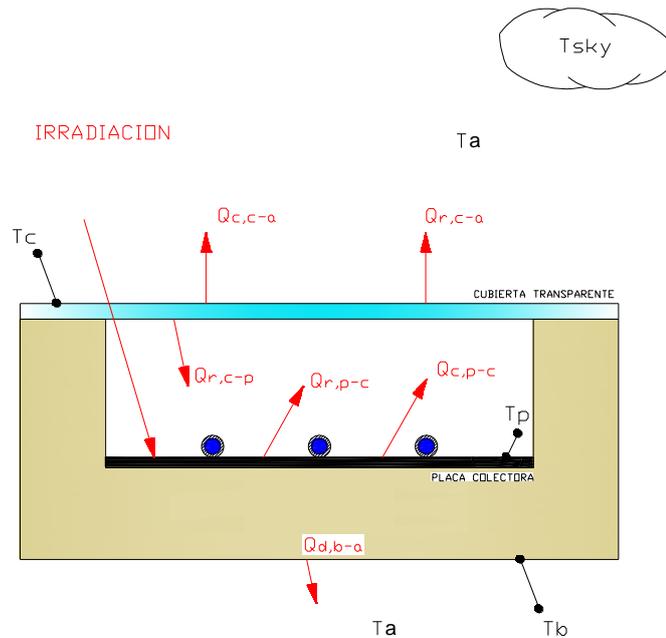


Figura 5.3 Balance energético de colector solar.

Donde:

- T_a : Temperatura ambiente.
- T_p : Temperatura de placa.
- T_c : Temperatura de cubierta.
- T_b : Temperatura de base.
- T_{sky} : Temperatura del cielo.
- $Q_{r,c-a}$: Irradiación desde la cubierta al ambiente.
- $Q_{r,p-c}$: Irradiación desde la placa colectora a la cubierta transparente.
- $Q_{r,c-p}$: Irradiación desde la cubierta transparente a la placa colectora.
- $Q_{c,c-a}$: Transferencia de calor por convección desde la cubierta transparente al ambiente.
- $Q_{c,p-c}$: Transferencia de calor por convección desde la placa colectora a la cubierta transparente.
- $Q_{d,p-a}$: Calor por conducción desde la base del colector al ambiente.

El principio de conservación de la energía se puede expresar mediante la ecuación 5.18.

$$\text{Energía} \cdot \text{útil} = \text{Radiación} \cdot \text{absorbida} - \text{Perdidas} \cdot \text{Térmicas} \quad (5.18)$$

En sentido longitudinal el flujo de calor en estado estable, puede ser representado como se muestra en la figura 5.4.

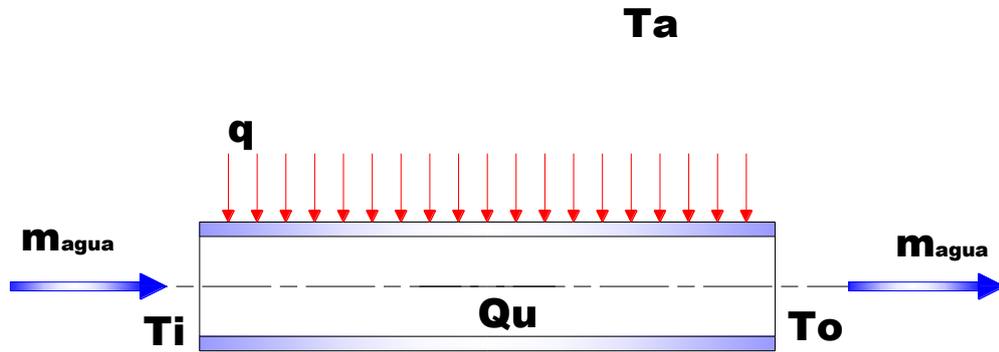


Figura 5.4 Transferencia de calor hacia el fluido de proceso.

Siendo T_i la temperatura de ingreso del fluido al colector, T_o la temperatura de salida del fluido y m_{agua} el flujo másico. Con el modelo anteriormente propuesto, se puede obtener una correlación matemática para determinar la cantidad de calor que puede ser transferido al agua en la placa colectora.

$$Q_u = A_C F_R ((\tau\alpha)I - U_L(T_o - T_a)) \quad (5.19)$$

Donde:

Q_u : Calor útil (ganancia de calor por el fluido), en [W].

F_R : Factor de remoción de calor, debe ser menor a 1.

U_L : Coeficiente global de pérdidas, en $\frac{W}{m^2 K}$.

τ : Transmitancia de la cubierta transparente del colector.

α : Absortancia de la placa colectora.

I : Radiación solar incidente, en W/m^2 .

A_C : Área de colección, en $[m^2]$.

La absortancia se define como la relación entre la radiación solar absorbida por la placa colectora y la radiación solar disponible en el colector (adimensional).

El producto transmitancia - absorptancia, es la eficiencia óptica del sistema cubierta transparente - placa absorbidora. Una vez que la radiación ha alcanzado a la placa colectora, parte de ella es absorbida por esta y la otra fracción se refleja (como radiación infrarroja) hacia la cubierta transparente, que se comporta como un cuerpo opaco para ella y nuevamente es reflejada.

Se ha determinado una temperatura promedio anual de 15 °C y una velocidad de 3.82 m/s para el cantón Salcedo. Se ha considerado utilizar lana de vidrio como aislamiento con el fin de reducir el coeficiente de pérdidas posteriores y laterales de los colectores.

La tabla 5.10 presenta valores de datos técnicos considerados para el diseño de los colectores.

Tabla 5.10 Valores de datos técnicos considerados para el diseño de colectores.

Parámetro	Valor	Unidad
Largo	2	m
Ancho	1	m
Altura	0.1	m
Distancia entre la placa colectora y cubierta transparente.	0.04	m
Inclinación colector solar.	15 °	
Espesor de aislamiento posterior.	0.06	m
Espesor de aislamiento lateral.	0.05	m
Distancia entre los centros de los tubos de paso de fluido.	0.1	m
Diámetro exterior - tubería secundaria.	0.015875	m
Diámetro interior - tubería secundaria.	0.013870	m
Espesor de la placa colectora.	0.0007935 [m]	m

5.7.1.2. Determinación del coeficiente global de pérdidas.

Por medio del símil eléctrico se realiza el cálculo para determinar el valor del coeficiente de pérdidas superiores (U_t), posteriores (U_b) y laterales (U_e), para con ello luego determinar el coeficiente global de pérdidas (U_L), en $\frac{W}{m^2 K}$:

El coeficiente global de perdidas se determina con la ecuación 5.20.

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (5.20)$$

El valor de la constante de Stefan – Boltzmann (σ), utilizado en los cálculos de procesos de transferencia de calor por radiación es de $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$. La hipótesis de modelización (símil eléctrico) del colector solar plano se muestra en la figura 5.5.

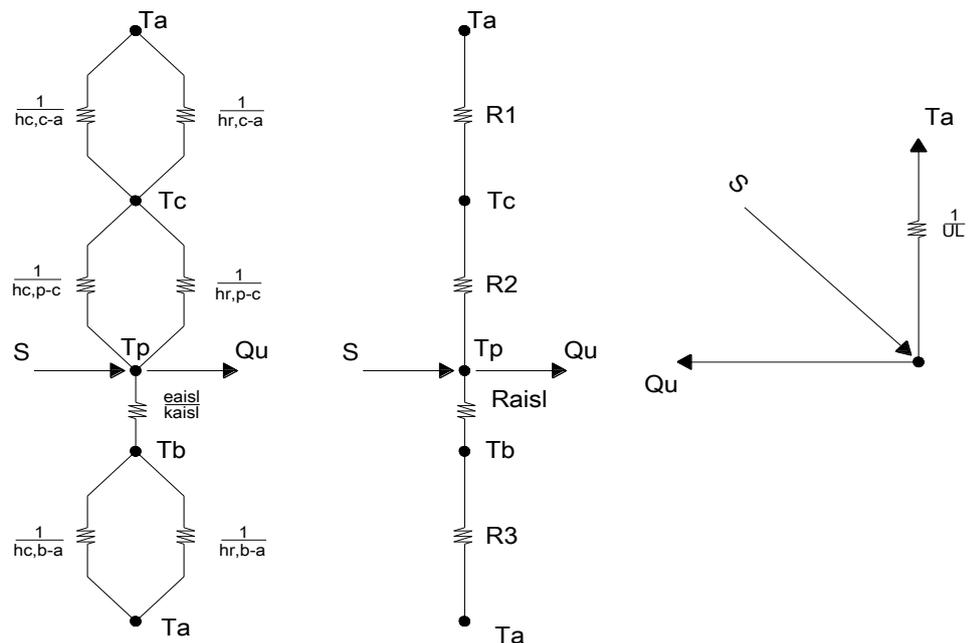


Figura 5.5 Esquema eléctrico equivalente del colector.

El valor obtenido para el coeficiente global de pérdidas de acuerdo al anexo A.10 es de $7.7 \frac{W}{m^2 K}$, este valor se halla dentro de los valores recomendados para el diseño de colectores solares planos.

Coeficiente de pérdidas superiores.

En un principio se debe asumir la temperatura de cubierta transparente y placa colectora para con ello luego realizar un proceso iterativo que se describe a continuación.

El coeficiente de pérdidas superiores (U_t) se determina con la ecuación 5.21, en $\frac{W}{m^2 K}$.

$$U_t = \frac{1}{R_1 + R_2} \quad (5.21)$$

La solución de U_t , es un proceso iterativo, en primer lugar se da un valor para la temperatura que no se conoce, es decir el de la cubierta transparente, con lo que se calculan los coeficientes de transferencia de calor por convección y radiación entre placas paralelas. Con esta estimación las ecuaciones anteriores pueden resolverse para el coeficiente de pérdidas superiores. Las pérdidas de calor superiores están dadas por el coeficiente de pérdidas superiores multiplicado por la diferencia de temperatura y así el intercambio de energía entre las placas debe ser igual a las pérdidas globales de calor.

Se calcula un nuevo valor para la temperatura de la placa, con lo que se calcula un nuevo valor para la temperatura de la cubierta transparente.

La temperatura de la cubierta "j", puede ser expresada en términos de la temperatura de la placa "i" como:

$$T_j = T_i - \frac{U_t (T_p - T_a)}{h_{c,i-j} + h_{r,i-j}} \quad (5.22)$$

El proceso se repite hasta que la temperatura de la cubierta no cambie en un valor muy grande en cada iteración.¹⁷

Como referencia se puede mencionar que los valores para el coeficiente de pérdidas por la parte superior se encuentran en el orden de $4 \frac{W}{m^2 K}$ para colectores de dos cubiertas y entre 6 y $8 \frac{W}{m^2 K}$ para colectores de una cubierta.

De acuerdo al anexo A.9, la temperatura considerada para la placa colectora es de 86 °C y luego del proceso iterativo se obtiene una temperatura de cubierta transparente de 39.43 °C y un coeficiente de pérdidas superiores de $6.78 \frac{W}{m^2 K}$.

La tabla 5.11 y 5.12 muestra un resumen de valores considerados y obtenidos, respectivamente, para hallar el coeficiente de pérdidas superiores.

Tabla 5.11 Valores considerados para hallar el coeficiente de pérdidas superiores.

Parámetro	Valor	Unidad
Emisividad placa colectora	0.95	
Emisividad cubierta transparente	0.856	
Coeficiente de conductividad del aire (k_{aire}).	0.029	$\frac{W}{mK}$
Coeficiente de expansión volumétrica (β_{aire}).	2.977×10^{-3}	K^{-1}
Viscosidad cinemática (ν)	19.324×10^{-6}	$\frac{m^2}{s}$
Número de Prandtl (Pr).	0.7	

¹⁷ CARRASCO, F. Folleto Energía Solar. p 15.

Tabla 5.12 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas superiores.

Parámetro	Valor	Unidad
Coeficiente por convección entre cubierta y el ambiente (hc_{ca})	14.26	$\frac{W}{m^2 K}$
Coeficiente por radiación entre cubierta y el ambiente (hr_{ca})	5.261	$\frac{W}{m^2 K}$
Número de Raleigh (Ra)	1.6319×10^5	
Número de Nulselt (N_v)	4.421	
Coeficiente por convección entre placa y cubierta (hc_{pc})	3.206	$\frac{W}{m^2 K}$
Coeficiente por radiación entre placa y cubierta (hr_{pc})	7.038	$\frac{W}{m^2 K}$

Coeficiente de pérdidas posteriores.

El coeficiente de pérdidas posteriores (U_b) se determina mediante la ecuación

5.22, en $\frac{W}{m^2 K}$.

$$U_b = \frac{1}{R_{aisl} + R_3} \quad (5.23)$$

El coeficiente de pérdidas posteriores que se obtiene de acuerdo al anexo A.10

es de $0.516 \frac{W}{m^2 K}$.

La tabla 5.13 y 5.14 presenta un resumen de valores considerados y obtenidos, respectivamente, para hallar el coeficiente de pérdidas posteriores.

Tabla 5.13 Valores considerados para encontrar el coeficiente de pérdidas posteriores.

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura en la base del colector (T_b).	15	°C
Emisividad base colector.	0.23	
Coeficiente de conductividad del aislamiento (k_{aisl}).	0.032	$\frac{W}{m^2 K}$

Tabla 5.14 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas posteriores.

Parámetro	Valor	Unidad
Coeficiente por convección entre base colector y el ambiente (hc_{ba}).	14.26	$\frac{W}{m^2 K}$
Coeficiente por radiación entre base colector y el ambiente (hr_{ba}).	1.314	$\frac{W}{m^2 K}$

Coeficiente de pérdidas laterales.

El coeficiente de pérdidas laterales (U_e), se determina mediante la ecuación

5.24, en $\frac{W}{m^2 K}$.

$$U_e = \frac{k_{aisl} \cdot \text{perimetro} \cdot \text{altura}}{e_{aisl \text{ lateral}} \cdot A_{colector}} \quad (5.24)$$

Los parámetros que se describen en la ecuación 5.24, se detallan a continuación:

- Conductividad térmica del aislamiento (k_{aisl}), en $\frac{W}{mK}$.
- Espesor de aislamiento lateral ($e_{aisl\ lateral}$), en m.
- Perímetro del colector solar ($perimetro$), en m:

$$perimetro = 2(l\ arg\ o + ancho) \quad (5.25)$$

- Área del colector ($A_{colector}$), en $[m^2]$:

$$A_{colector} = l\ arg\ o \cdot ancho \quad (5.26)$$

De acuerdo al anexo A.10, el coeficiente de pérdidas laterales que se obtiene es de $0.096 \frac{W}{m^2 K}$.

La tabla 5.15 y 5.16 muestra un resumen de valores considerados y obtenidos, respectivamente, para hallar el coeficiente de pérdidas laterales.

Tabla 5.15 Valores considerados para encontrar el coeficiente de pérdidas laterales.

Parámetro	Valor	Unidad
Conductividad térmica del aislamiento - Lana de vidrio	0.032	$\frac{W}{mK}$
Largo del colector	2	m
Ancho del colector	1	m
Altura del colector	0.1	m

Tabla 5.16 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas laterales.

Parámetro	Valor	Unidad
Perímetro del colector	6	m
Área del colector	2	m^2

Determinación de las resistencias descritas en el símil eléctrico.

- La resistencia entre cubierta transparente y el ambiente se determina por medio de la ecuación 5.27, en $\frac{m^2 K}{W}$:

$$R_1 = \frac{1}{hc_{ca} + hr_{ca}} \quad (5.27)$$

- La resistencia entre placa colectora y cubierta transparente se determina por medio de la ecuación 5.28, en $\frac{m^2 K}{W}$:

$$R_2 = \frac{1}{hc_{pc} + hr_{pc}} \quad (5.28)$$

- La resistencia dada por el aislamiento se determina por medio de la ecuación 5.29, en $\frac{m^2 K}{W}$:

$$R_{aisl} = \frac{e_{aisl\ posterior}}{k_{aisl}} \quad (5.29)$$

- La resistencia entre base colector y el ambiente se determina por medio de la ecuación 5.30, en $\frac{m^2 K}{W}$:

$$R_3 = \frac{1}{hc_{ba} + hr_{ba}} \quad (5.30)$$

Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, flujo externo (cubierta transparente – ambiente y base colector – ambiente).

Mediante la ecuación de Watmuff, se determina el coeficiente de transferencia de calor por convección descrito en este punto:

$$h = 2.8 + 3.0v \quad (5.31)$$

Donde:

v : Velocidad del viento promedio del lugar, en $\frac{m}{s}$.

Entonces se tiene que:

- Coeficiente de convección forzada, flujo externo (hc_{ca}), entre cubierta transparente y el ambiente, en $\frac{W}{m^2 K}$.

$$hc_{ca} = 2.8 + 3.0v \quad (5.32)$$

- Coeficiente de convección forzada, flujo externo (hc_{ba}), entre base colector y el ambiente, en $\frac{W}{m^2 K}$.

$$hc_{ba} = 2.8 + 3.0v \quad (5.33)$$

Coeficiente de transferencia de calor por convección libre, flujo interno en cavidad rectangular inclinada (placa colectora – cubierta transparente).

Para el coeficiente de convección interna entre placa colectora y cubierta transparente (hc_{pc}), se considera la ecuación de Hollands, para convección libre, flujo interno en cavidad rectangular inclinada. La ecuación de Hollands es valida para superficies inclinadas con ángulos comprendidos entre 0 - 75 °.

Entonces se tiene que:

$$hc_{pc} = \frac{k_{aire} N_v}{L_{pc}} \quad (5.34)$$

Por medio de la ecuación 5.35 se determina el número de Nusselt (N_v):

$$N_v = 1 + 1.44 \left[1 - \frac{1708(\sin(1.8\beta))}{Ra \cos(\beta)} \right] \cdot \left[1 - \frac{1708}{Ra \cos(\beta)} \right]^+ + \left[\left(\frac{Ra \cos(\beta)}{5830} \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right]^+ \quad (5.35)$$

Los variables que se describen en la ecuación de Hollands y en la ecuación para hallar el número de Nusselt, se detallan a continuación:

- L_{pc} : Distancia entre placa colectora y cubierta transparente, en [m].
- β : Angulo Beta, para Ecuador debido a su latitud se recomienda un ángulo entre 10 y 15°.
- g : Gravedad, en $\frac{m}{s^2}$.

Para hallar el número de *Raleigh* se utiliza la ecuación 5.36:

$$Ra = \frac{g\beta_{aire}(T_p - T_c)L_{pc}^3 Pr}{\nu^2} \quad (5.36)$$

Coefficiente de transferencia de calor por radiación entre cubierta transparente y ambiente.

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por radiación (hr_{ca}) en $\frac{W}{m^2 K}$ descrito en este punto, se considera la ecuación 5.37.

$$hr_{ca} = 4\sigma Tm_{ca}^3 \varepsilon_c \quad (5.37)$$

Los parámetros que se describen en la ecuación anterior, se detallan a continuación:

- ε_c : Emisividad de cubierta transparente.
- Tm_{ca} : Temperatura media entre la cubierta transparente y la temperatura ambiente, en [K].

Coefficiente de transferencia de calor por radiación entre base del colector y ambiente.

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por radiación (hr_{ba}) en $\frac{W}{m^2 K}$ descrito en este punto, se considera la ecuación 5.38.

$$hr_{ba} = 4\sigma Tm_{ba}^3 \varepsilon_b \quad (5.38)$$

Las variables que se describen en la ecuación 5.38, se detallan a continuación:

- ε_b : Emisividad base colector.
- Tm_{ba} : Temperatura media entre base colector y la temperatura ambiente, en K.

Coefficiente de transferencia de calor por radiación entre placa colectora y cubierta transparente.

Para determinar el coeficiente de transferencia de calor por radiación (hr_{pc}) en $\frac{W}{m^2 K}$ descrito en este punto, se considera la ecuación 5.39.

$$hr_{pc} = \frac{4\sigma Tm_{pc}^3}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1} \quad (5.39)$$

Los parámetros que se describen en la ecuación anterior, se especifican a continuación:

- ε_c : Emisividad cubierta transparente.
- ε_p : Emisividad placa colectora.
- Tm_{pc} : Temperatura media entre placa colectora y cubierta transparente, en K.

5.7.1.3. Determinación del factor de remoción.

El factor de remoción se define como el equivalente a la eficiencia de transferencia de calor de un intercambiador de calor y en rigor es la relación que existe entre la ganancia útil real del calor del fluido con la que pudiera obtener (idealmente) si toda la superficie de la placa colectora estuviera a la temperatura del fluido de ingreso (adimensional).¹⁸

¹⁸ INSTITUTO NACIONAL DE ENERGIA. Quito 1987.

El factor de remoción se determina por medio de la ecuación 5.40.

$$F_R = \frac{m_{agua}}{A_C U_L} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{U_L A_C F'}{m_{agua} C_p}\right) \right] \quad (5.40)$$

Para determinar algunos de los parámetros descritos en la ecuación 5.40, son necesarias las siguientes expresiones.

- Eficiencia de colector (F'):

$$F' = \frac{\frac{1}{U_L}}{W \cdot \left(\frac{1}{U_L (D + (W - D)F)} + \frac{1}{\pi D_i h_{fi}} \right)} \quad (5.41)$$

- Eficiencia de aleta (F):

$$F = \frac{\tanh\left(m \frac{W - D}{2}\right)}{\frac{W - D}{2}} \quad (5.42)$$

- Coeficiente que toma en cuenta el material de la placa colectora (m), en m:

$$m = \sqrt{\frac{U_L}{k_{placa} \delta_p}} \quad (5.43)$$

- Caudal de agua ($Caudal_{agua}$), en $\frac{ltS}{s}$.

El caudal de agua que debe circular por los colectores solares debe ser de 0.8 litros por segundo por metro cuadrado de colección.

$$Caudal_{agua} = 0.8 A_C \frac{ltS}{s} \quad (5.44)$$

- Flujo másico de agua (m_{agua}), en $\frac{Kg}{s}$.

El flujo másico se determina a partir del caudal de agua que circula por el sistema mediante la ecuación 5.45.

$$m_{agua} = Caudal_{agua} \delta_{agua} \quad (5.45)$$

Los parámetros que descritos en las ecuaciones anteriores, se muestran en la figura 5.6.

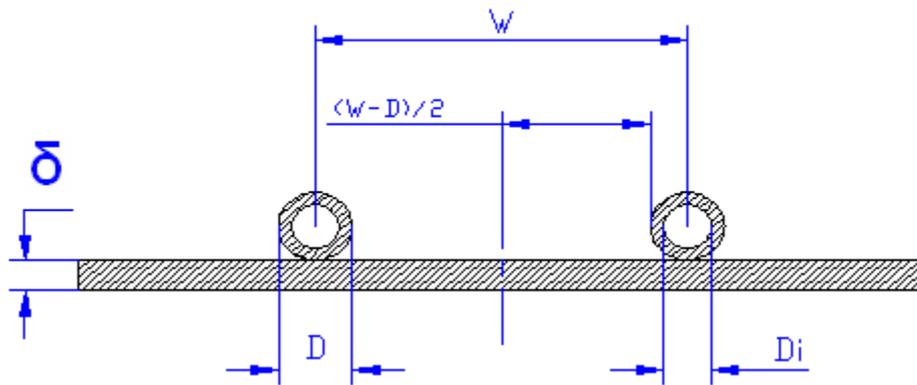


Figura 5.6 Representación de parámetros técnicos de la placa colector y tubería secundaria.

Donde:

m_{agua} : Flujo másico de agua, en [kg/s].

C_p : Capacidad calórica del fluido – agua, en $\frac{J}{kgK}$.

W : Distancia entre los centros de los tubos de paso de fluido (W), en m.

D : Diámetro exterior de la tubería secundaria, en m.

D_i : Diámetro interior de la tubería secundaria (D_i), en m.

h_{fi} : Coeficiente de transferencia de calor por convección entre paredes

interiores de la tubería secundaria y el fluido, en $\frac{W}{m^2 K}$.

k_{placa} : Conductividad térmica de la placa colectora, en $\frac{W}{m^2 K}$.

δ_p : Espesor de placa colectora, en m.

De acuerdo al anexo A.11, el valor del factor de remoción que se obtiene es de 0.948, el mismo que se halla dentro de los valores recomendados para el diseño de colectores solares planos de tubos paralelos.

La tabla 5.17 y 5.18 presenta un resumen de valores considerados y obtenidos, respectivamente, para hallar el factor de remoción.

Tabla 5.17 Valores considerados para hallar el factor de remoción.

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura de ingreso del agua.	15	°C
Temperatura de salida del agua.	42	°C
Capacidad calorífica del fluido.	4190	$\frac{J}{kgK}$
Propiedades físicas del agua a 40 °C.		
Densidad.	992.2	$\frac{kg}{m^3}$
Conductividad térmica.	0.628	$\frac{W}{m^2 K}$
Viscosidad dinámica.	6.529×10^{-4}	$\frac{Ns}{m^2}$
Viscosidad cinemática.	6.580×10^{-7}	$\frac{m^2}{s}$

Tabla 5.18 Valores obtenidos para encontrar el coeficiente de pérdidas laterales.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de agua	1.368×10^{-3}	$\frac{m^3}{s}$
Flujo másico de agua.	1.357	$\frac{kg}{s}$
Reynolds	176629	
Coeficiente de convección entre paredes interiores de la tubería secundaria y el fluido.	1500	$\frac{W}{m^2 K}$
Eficiencia de aleta.	0.974	
Factor de eficiencia del colector.	0.94	

5.7.1.4. Potencia generada.¹⁹

Por medio de esta ecuación 5.46 se estima la potencia generada por un colector solar:

$$Q_u = A_C F_R ((e(\tau\alpha)S_{media}) - U_L(T_o - T_a)) \quad (5.46)$$

Donde:

Q_u : Calor útil (ganancia de calor por el fluido), en [W].

F_R : Factor de remoción de calor, debe ser menor a 1.

A_C : Área del colector o colectores, en [m²].

S_{media} : Irradiancia media absorbida por el colector (radiación infrarroja). $\frac{W}{m^2}$

U_L : Coeficiente global de perdidas, en $\frac{W}{m^2 K}$.

¹⁹ GUASUMBA, J. Energías Alternativas para el desarrollo sustentable. Quito 2006.

T_o : Temperatura requerida del proceso, en K.

T_a : Temperatura ambiente donde funcionara el colector, en K.

τ : Transmitancia de la cubierta transparente del colector.

α : Absortancia de la placa colectora.

- Para colectores con una sola cubierta:

$$e(\tau\alpha) = 1.01(\tau\alpha) \quad (5.47)$$

- Para colectores con dos cubiertas:

$$e(\tau\alpha) = 1.02(\tau\alpha) \quad (5.48)$$

En el punto 5.7.2. se determina la irradiancia media absorbida por cada colector, el valor que se obtiene es de $558.20 \frac{W}{m^2}$.

De acuerdo al anexo A.13, la potencia generada por cada uno de los colectores es 469.3 W.

5.7.1.5. Determinación del número de colectores.

De acuerdo al anexo A.6, la masa de agua a ser calentada es de 1211 kg. Para determinar el número de colectores, se debe estimar mediante la ecuación 5.49 el área de colección total necesaria.

$$Ac_{TOTAL} = \frac{Masa_{agua} Cp(T_o - T_a)}{H_{real}\eta} \quad (5.49)$$

Donde:

Ac_{total} : Área de colección total necesaria, en m^2 .

$Masa_{agua}$: Masa de agua a ser calentada, en kg.

C_p : Calor específico del agua, en $\frac{J}{kgK}$.

T_o : Temperatura requerida, en K.

T_a : Temperatura ambiente, en K.

H_{real} : Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15 grados, en $\frac{W-hr}{m^2}$.

η : Eficiencia considerada.

Se ha considerado que la eficiencia de cada colector es del 52% con lo que se obtiene una área de colección total necesaria de 16.5 m². Mediante la ecuación 5.50 se determina el número de colectores necesarios para calentar la masa de agua de 1211 kg a 42 °C.

$$N = \frac{Ac_{total}}{A_c} \quad (5.50)$$

Donde:

N : Número de colectores.

A_c : Área de colección individual de cada colector m².

En el punto 5.7.3. se determina la irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15 grados, el valor que se obtiene es de $4390 \frac{W-hr}{m^2}$.

De acuerdo al anexo A.13, el número de colectores necesarios es de 10 y con ello el área de colección total final es de 17.1 m².

5.7.2. ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL GRUPO DE COLECTORES SOLARES DURANTE UN DÍA.

Como se observo en el punto anterior, el número de colectores necesarios es función principalmente de la masa de agua a calentar, del calor útil que proporciona cada colector, de la temperatura requerida y de la temperatura ambiente.

La irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15 grados es de $4390 \frac{W-hr}{m^2}$, para uno de los días promedios del año – 10 de septiembre. Este valor se obtiene en base a la latitud de Salcedo, declinación solar para la fecha en análisis y horas de brillo solar del lugar. Revisar el punto 5.7.3.

En la tabla 5.19 se presenta un resumen de los parámetros necesarios para realizar un análisis del comportamiento del grupo colectores solares en el lapso de un día.

Tabla 5.19 Resumen de valores para realizar un análisis del comportamiento del grupo de colectores.

Parámetro	Valor	Unidad
Area de colección total:	17.1	m ²
Área de colección cada colector:	1.71	m ²
Número de colectores:	10	
Factor de remoción de calor:	0.948	
Coef. de pérdidas totales del colector:	7.33	W/m ² °C
Temperatura de entrada del fluido:	15	°C
Masa de agua:	1211	kg
Calor específico Cp del agua:	4178.4	J/Kg°C
Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra	4390	W/m ² °C

Entonces para un número de colectores de 10 cuya área de colección individual es 1.71m^2 , una potencia generada de cada uno de ellos de 469 W, una irradiación solar local de $4390 \frac{\text{W} - \text{hr}}{\text{m}^2}$ y una irradiancia promedio de $558.20 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, es posible alcanzar la temperatura requerida para calentar 1211 kg de agua a $42\text{ }^\circ\text{C}$, y con ello hacer posible el proceso de fermentación en el biorreactor. Revisar tabla 5.20.

Tabla 5.20 Análisis del comportamiento del grupo de colectores.

Horas del día	% Radiación	Irradiancia S W/m2	T. Ambiente $^\circ\text{C}$	T. Fluido Ingreso $^\circ\text{C}$	Calor útil W - hr	Delta T $^\circ\text{C}$
6-7	0.5	21.95	10.5	15.00	-178.9	-0.127
7-8	2.0	87.80	12.0	15.00	1066.8	0.759
8-9	5.5	241.45	13.5	17.66	3735.9	2.658
9-10	9.5	417.05	15.4	22.28	6492.4	4.619
10-11	13.5	592.65	17.0	28.67	8980.3	6.389
11-12	13.5	592.65	19.0	34.68	8458.8	6.018
12-13	14.0	614.60	20.8	40.60	8313.4	5.915
13-14	15.0	658.50	22.0	46.62	8464.8	6.022
14-15	13.5	592.65	21.0	51.29	6562.9	4.669
15-16	10.0	439.00	20.0	53.71	3398.5	2.418
16-17	2.0	87.80	18.0	44.22	-2819.7	-2.006
17-18	1.0	43.90	15.0	44.22	-2760.4	-1.964

Parámetro	Valor	Unidad
Irradiación solar local	4390	W – hr /m ²
Irradiancia promedio para 1hr, (horas mas representativas)	558.2	[W/m2]
Calor útil, en	55474	[W – hr /día]

A partir de los valores obtenidos en la tabla 5.20 se puede estimar la eficiencia del grupo de colectores por medio de la ecuación 5.51.

$$\eta = \frac{Calor_{\acute{u}til}}{Ac_{total}} \quad (5.51)$$

De acuerdo al anexo A.13, se determina una eficiencia del grupo de colectores del 73.9 %.

5.7.3. DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR LOCAL.

Dada la situación geográfica del país, hace suponer un buen nivel de radiación, sin embargo los datos que se dispone no permiten determinar con una aceptable precisión el nivel de radiación con fines energéticos en toda la superficie.

En los inicios de la década de los 80, existían 10 estaciones que registraban radiación solar diaria, destacándose la falta de datos para las zonas de Esmeraldas, El Oro, Chimborazo, Bolívar, Tungurahua, Cotopaxi, Azuay, Cañar, y Loja.

El número de estaciones que registran heliofanía es superior y sobrepasan las cincuenta, no todas con datos completos, sin embargo permiten estimar la radiación solar.

La existencia de zonas con una radiación solar suficiente (superior a $3000 \frac{W-hr}{m^2-dia}$), favorecen a las aplicaciones prácticas de la energía solar, con la tecnología actual y con una rentabilidad segura.

Las mejores zonas con mejor radiación solar en el país son:

- Parte norte de la sierra, entre Ibarra y Quito.
- Parte central de la sierra, especialmente Chimborazo y Cañar.
- Parte sur de la sierra, Cariamanga.
- La provincia de Galápagos.
- La región occidental de las provincias de Esmeraldas, Manabí y Guayas.

5.7.3.1. Horas de brillo solar (n) .

Para la medición de la radiación solar existen varios instrumentos que lo hacen en forma directa o indirecta, los piranómetros son de mayor uso en la actualidad. La duración del brillo solar se determina con la esfera de Campbell – Stokes y con ese dato se puede realizar una estimación de la radiación total diaria en una localidad. Cobra interés particular este método, ya que en el Ecuador son muy limitadas las estaciones que registran radiación solar, pero son bastante numerosas las que registran heliofanía (brillo solar).

De acuerdo al anexo A.17, el cantón Salcedo se encuentra ubicado a 2680 msnm y la heliofanía efectiva mensual para el mes de septiembre del 2008 fue de 133.2 horas, en promedio las horas reales de brillo solar diarias para dicho mes son 4.44 horas.

5.7.3.2. Irradiancia disponible (G_o) .

Irradiancia solar fuera de la atmósfera terrestre, incidente en un plano horizontal.

En cualquier punto en el tiempo, la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre, incidente en un plano horizontal es:

$$G_o = G_{sc} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \cos(\theta_z) \quad (5.52)$$

Donde:

$$\cos(\theta_z) = \cos(\delta) \cos(\phi) \cos(\omega) + \sin(\delta) \sin(\phi) \quad (5.53)$$

n: día del año.

De acuerdo al anexo A.17, la latitud del cantón Salcedo es de 1.0167° sur, y se ha considerado apropiado evaluar la irradiancia solar para el día 10 del mes de septiembre, debido a que aquí la posición angular del sol (al medio día) con respecto al plano ecuatorial es mayor.

Esto implica que para la fecha señalada se obtendrá la menor irradiancia disponible del año, y realizar un diseño más conservador.

De acuerdo al anexo A.14, la declinación obtenida para la fecha en análisis es de 4.22° y se ha considerado un ángulo horario de 0° debido a que el análisis es realizado para el medio día.

El ángulo de zenit que se obtiene a partir de la ecuación 5.54, al remplazar el ángulo horario de 0° se reduce a:

$$\theta_z = \arccos(\cos(\delta)\cos(\phi)\cos(\omega)) \quad (5.54)$$

De acuerdo al anexo A.14, se determina un ángulo de zenit de 4.34° y una irradiancia solar fuera de la atmósfera terrestre para el medio día de 1351 W/m^2 .

Irradiación solar fuera de la atmósfera terrestre sobre una superficie horizontal, para el periodo comprendido entre la salida y puesta del sol (H_o)

Usualmente se requiere conocer el valor de la radiación solar extraterrestre sobre una superficie horizontal para el periodo comprendido entre la salida y puesta del sol, si G_{SC} se expresa en W/m^2 , el resultado de la integración será Joules/m^2 .

$$H_o \left(\text{J} / \text{m}^2 \right) = \frac{86400 G_{SC} \left(\text{W} / \text{m}^2 \right)}{\pi} \left(1 + 0.033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right) \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s) + \frac{2\pi\omega_s}{360} \sin(\phi) \sin(\delta) \quad (5.55)$$

De acuerdo al anexo A.14, el valor del ángulo ocaso (ω_s) es 89.93° y el de H_o de $10292.7 \frac{\text{W} - \text{hr}}{\text{m}^2}$.

5.7.3.3. Radiación disponible en la superficie de la tierra(H).

Varios intentos se han realizado para determinar la radiación disponible a nivel de superficie, sin embargo dado que en el fenómeno intervienen muchos parámetros aleatorios ha sido difícil el obtener un resultado satisfactorio.

Con el fin de tener ciertos elementos para lograr hacer un pronóstico, se ha determinado algunos índices, entre ellos se menciona el índice de claridad promedio mensual, que es la relación promedio mensual de la radiación sobre una superficie horizontal, sobre el promedio mensual diario de la radiación extraterrestre.

$$K_t = \frac{H}{H_o} \quad (5.56)$$

En forma similar se puede determinar el índice de claridad diario.

Para estar en capacidad de estimar lo anterior es necesario el disponer de información solarimétrica, de al menos tres años antes, lo que no es posible para varias localidades, por lo limitado en lo referente a información sobre radiación solar, particularmente en nuestro país.

5.7.3.4. Análisis de radiación solar por el método de Amgstrong - Page.

La regresión lineal de Amgstron y modificada por Page permite el conocer con relativa precisión la radiación solar diaria como función del brillo solar:

$$\frac{H}{H_o} = a + b \cdot \frac{n}{N} \quad (5.57)$$

Donde a y b son constantes empíricas, n el brillo solar real para el día en análisis, N la duración astronómica del día en horas, H la radiación solar para ese día y H_o la radiación extraterrestre.

Para el Ecuador se ha determinado los siguientes valores:

$$a = 0.23$$

$$b = 0.56$$

Los valores indicados dan una confiabilidad del 95% para latitudes comprendidas entre 0 y 2 grados de latitud norte o sur y 90% para latitudes entre 3 y 4 grados norte y sur.

5.7.3.5. Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15 grados.

La irradiación por unidad de superficie sobre la tierra se calcula mediante la ecuación 5.58.

$$H = H_o \left(0.23 + 0.56 \frac{n}{N} \right) \quad (5.58)$$

De acuerdo al anexo A.14, la duración astronómica del día en horas o las horas de luz solar (N), es 11.99 horas y el valor de irradiación por unidad de superficie sobre la tierra es de $4501.7 \frac{W-hr}{m^2}$. El índice de claridad de acuerdo anexo A.14 es 0.44.

EL valor de irradiación mencionado es para una superficie horizontal, para obtener el valor de irradiación para una superficie inclinada es necesario corregir dicho valor mediante la ecuación 5.59.

$$G = A \cdot Gd + B \cdot Gd^2 \quad (5.59)$$

Donde:

G : Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15° , en $\frac{kW-hr}{m^2}$.

Gd : Irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una superficie horizontal (H), en $\frac{kW-hr}{m^2}$.

A, B : Factores de corrección.

De acuerdo al anexo A.15, los valores de A y B son 0.99 y -0.0034 respectivamente.

De acuerdo al anexo A.14, se determina una irradiación por unidad de superficie sobre la tierra para una inclinación de 15° de $4.39 \frac{kW-hr}{m^2}$.

5.7.4. ANÁLISIS DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE AGUA ENTRE EL TANQUE Y EL BIORREACTOR.

El calor que va a generar el agua mediante el grupo de colectores solares dentro del tanque hacia el biorreactor, debe ser el suficiente y no disiparse al medio ambiente, es por ello que es necesario la utilización de un aislamiento que rodee al tanque de agua. Como se ha mencionado, la temperatura promedio dentro del biorreactor debe estar alrededor de los 32 °C y la temperatura del agua entre los 40 y 44 °C. Entonces lo que se trata de encontrar en este punto mediante un análisis de transferencia de calor es el espesor de agua que debe existir entre el diámetro exterior del biorreactor y el diámetro interior del tanque de agua, con la imposición de temperaturas y dimensiones descritas. Es decir se trata de encontrar la masa de agua que debe rodear al biorreactor para conservar una temperatura de 32 °C, en su interior.

Tabla 5.21 Resumen de temperaturas y dimensiones consideradas para el análisis de transferencia de calor.

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura ambiente - (T_{α})	15	°C
Temperatura requerida en el tanque de agua - (T_{io})	42	°C
Temperatura requerida por el sustrato - ($T_{sustrato}$)	32	°C
Altura del tanque de agua - (L)	1.83 - 72	m - in
Masa de sustrato - ($m_{sustrato}$)	1040	kg
Temperatura promedio en el tanque de agua - (T_o)	25	°C
Diámetro exterior del biorreactor - (D_{ext})	0.986 - 38.825	m - in

La masa de agua necesaria se determina por medio de la ecuación 5.60.

$$Masa_{agua} = \frac{Masa_{sustrato} C_{p_{sustrato}} (T_{sustrato} - T_{\alpha})}{C_{p_{agua}} (T_{io} - T_o)} \quad (5.60)$$

El calor específico del sustrato se encuentra mediante la ecuación 5.61.

$$C_{p_{sustrato}} = 1.675 + 0.025x_{wi} \quad (5.61)$$

El porcentaje de humedad del sustrato que se considera es del 91% (x_{wi}), y a partir de ello el calor específico que se obtiene es de $3.95 \frac{kJ}{kgK}$ ó $0.943 \frac{kcal}{kgK}$.

De acuerdo al anexo A.16, se determina que la masa de agua es de 1071 kg. Si se considera que la densidad del agua es de $998.1 \frac{kg}{m^3}$ el volumen de agua necesario es $1.08 m^3$.

El diámetro interno del tanque de agua se estima mediante la ecuación 5.62. De acuerdo al anexo A.16, el valor que se obtiene es de 51.7 in.

$$D_{int_{tan\ que}} = \sqrt{\left(\frac{4V}{\pi L}\right) + D_{ext}^2} \quad (5.62)$$

Entonces el espesor de agua entre el diámetro externo del biorreactor y el diámetro interno del tanque de agua se calcula por medio de la ecuación 5.63.

$$e = \frac{D_{int_{tan\ que}} - D_{ext}}{2} \quad (5.63)$$

De acuerdo al anexo A.16, el resultado para el espesor de agua que se obtiene es 6.4 in y debido a que en la parte inferior del biorreactor va existir una cantidad excedente de agua, el resultado por facilidades de calculo que maneja es 6 in.

5.7.5. DETERMINACIÓN DEL CALOR ÚTIL.

El calor que se necesita para mantener la temperatura de 32 °C dentro del biorreactor se determina por la ecuación 5.64.

$$Qu = Area_1 U_{o_1} (T_{io} - T_{sustrato}) \quad (5.64)$$

Donde:

Qu : Calor útil, en W.

$Area_1$: Área de transferencia de calor del biorreactor (sin considerar el soporte), en m^2 .

U_{o_1} : Coeficiente global de transferencia de calor - 1, en $\frac{W}{m^2 K}$.

$$Area_1 = \pi \cdot Dext \cdot h_1 \quad (5.65)$$

Para encontrar $Area_1$, se utiliza la ecuación 5.65.

Donde:

h_1 : Altura de transferencia de calor del biorreactor sin considerar el soporte, en m.

Por medio de la ecuación 5.66 se determina U_{o_1} .

$$U_{o_1} = \frac{1}{\frac{r2}{r1hi} + \left(\frac{r2}{k_{acero}}\right) \ln\left(\frac{r2}{r1}\right) + \frac{1}{hio}} \quad (5.66)$$

Donde:

k_{acero} : Coeficiente de conductividad térmica del acero, en $\frac{W}{mK}$.

hi : Coeficiente de transferencia de calor por convección natural, en $\frac{W}{m^2 K}$.

h_{io} : Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, en $\frac{W}{m^2 K}$.

r_1 : Radio interno del biorreactor, en m.

r_2 : Distancia desde el centro del biorreactor a la mitad del espesor de agua, en m.

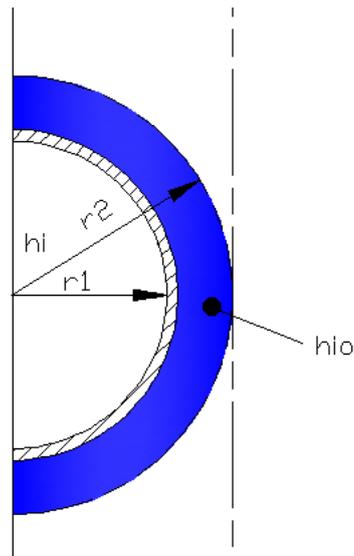


Figura 5.7 Representación de r_1 y r_2 .

Para hallar r_1 y r_2 , se utilizan las expresiones 5.67 y 5.68 respectivamente.

$$r_1 = \frac{D_{int}}{2} \quad (5.67)$$

$$r_2 = r_1 + t_{cuerpo} + \frac{e}{2} \quad (5.68)$$

Cálculo de h_i :

La tabla 5.22 presenta un resumen de valores necesarios para el cálculo de h_i .

Parámetro	149	Valor	Unidad
-----------	-----	-------	--------

Gravedad - (g)	9.8	$\frac{m}{s^2}$
Densidad de agua a 32 °C - (δ_{32})	995.2	°C
Densidad de agua a 15 °C - (δ_{15})	999.1	°C
Porcentaje de humedad del sustrato - (x_{wi})	91	%
Altura del soporte del biorreactor - (b)	23.18 - 9.125	cm - in

Tabla 5.22 Resumen de valores considerados para el cálculo de hi .

Mediante la ecuación 5.69 se determina hi .

$$hi = \frac{N_v k_{sustrato}}{h_{agua}} \quad (5.69)$$

Donde:

N_v : Número de Nusselt

$k_{sustrato}$: Conductividad térmica del sustrato, en $\frac{W}{m^2 K}$.

h_{agua} : Altura del tanque de agua, en m.

Para encontrar el número de Nusselt y la conductividad térmica del sustrato se utilizan las ecuaciones 5.70 y 5.71 respectivamente.

$$N_v = 0.42(Gr Pr)^{\frac{1}{4}} + Pr^{0.012} \left(\frac{h_{agua}}{b} \right)^{-0.13} \quad (5.70)$$

$$k_{sustrato} = 0.08 + 0.0052x_{wi} \quad (5.71)$$

El número de Grashof (Gr), se determina por medio de la siguiente expresión:

$$Gr = \frac{g\beta(T_{s1} - T_{\alpha})h_{agua}^3}{\nu^2} \quad (5.72)$$

Las ecuaciones 5.72, 5.73 y 5.74 son necesarias para hallar los valores del número de Nusselt y el número de Grashof:

$$\beta = \delta_{15} \left(\frac{\frac{1}{\delta_{32}} - \frac{1}{\delta_{15}}}{T_{sustrato} - T_{\alpha}} \right) \quad (5.72)$$

$$T_{s1} = \frac{T_{i0} + T_{sustrato}}{2} \quad (5.73)$$

$$T_f = \frac{T_{s1} + T_{sustrato}}{2} \quad (5.74)$$

La tabla 5.23 presenta un resumen de valores obtenidos para el cálculo de h_i .

Tabla 5.23 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de h_i .

Parámetro	Valor	Unidad
Coeficiente de expansión volumétrica - (β)	2.305×10^{-4}	$\frac{1}{K}$
Temperatura superficial 1 - (T_{s1})	37	°C
Temperatura de película - (T_f)	34.5	°C
Viscosidad cinemática a la temperatura de película - (ν)	0.8×10^{-6}	$\frac{m^2}{s}$
Numero de Prand a la temperatura de película - (Pr)	5.47	
Numero de Grashof - (Gr)	4.755×10^{11}	
Numero de Nusselt - (N_v)	292.9	
Conductividad térmica del sustrato - (T_o)	0.553	$\frac{W}{mK}$

De acuerdo al anexo A.16, el valor de h_i es de $88.57 \frac{W}{m^2 K}$.

Calculo de h_{io} :

La tabla 5.24 presenta un resumen valores necesarios para el cálculo de hio.

Tabla 5.24 Resumen de valores considerados para el cálculo de hio.

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura superficial (T_{s2})	42	°C
Velocidad del agua aceptable mínima (De acuerdo a Kern – 4 ft/s)	1.21	$\frac{m}{s}$

Para hallar hio , se utiliza la ecuación 5.75.

$$hio = \frac{N_v k_{agua}}{Deq} \quad (5.75)$$

Donde:

N_v : Número de Nusselt

k_{agua} : Conductividad térmica del agua.

Deq : Diámetro equivalente.

Para encontrar el número de Nusselt y el diámetro equivalente se utilizan las ecuaciones 5.76 y 5.77 respectivamente.

$$N_v = 0.023(Re)^{0.8} + Pr^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu_b}{\mu_s} \right)^{0.14} \quad (5.76)$$

$$D_{eq} = D_{int_{tan\ que}} - D_{ext} \quad (5.77)$$

El número de Reynolds (Re), se determina mediante la ecuación 5.78, de acuerdo a Sieder y Tate:

$$Re = \frac{D_{eq} vel}{\nu^2} \quad (5.78)$$

La temperatura media volumétrica y la temperatura de película se encuentran mediante las ecuaciones 5.79 y 5.80 respectivamente:

$$T_b = \frac{T_{io} + T_o}{2} \quad (5.79)$$

$$T_f = \frac{T_{s2} + T_b}{2} \quad (5.80)$$

Las propiedades físicas del agua a la temperatura de película son:

Tabla 5.25 Propiedades físicas del agua a la temperatura de película necesarias para el cálculo.

Parámetro	Valor	Unidad
Viscosidad cinemática - (ν)	0.658×10^{-6}	$\frac{m^2}{s}$
Numero de Prandtl - (Pr)	4.34	
Calor específico - (C_p)	4178	$\frac{J}{kgK}$
Conductividad térmica - (k_{agua})	0.628	$\frac{W}{mK}$
Densidad del agua - (δ)	994.59	$\frac{kg}{m^3}$
Viscosidad dinámica - (μ_b)	0.653×10^{-3}	Pas

La tabla 5.26 presenta un resumen valores obtenidos para el cálculo de hio.

Tabla 5.26 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de hio.

Parámetro	Valor	Unidad
Temperatura media volumétrica - (T_b)	33.5	°C

Temperatura de película - (T_f)	37.75	°C
Diámetro equivalente - (Deq)	0.33	m
Viscosidad dinámica a la temperatura superficial - (μ_s)	6.3×10^{-4}	Pas
Reynolds - (Re)	601851	
Numero de Nusselt - (N_v)	1584.3	

De acuerdo al anexo A.16, el valor de hio es de $3041.3 \frac{W}{m^2 K}$.

La tabla 5.27 presenta un resumen de valores obtenidos para hallar el coeficiente global de transferencia de calor (U_{o1}), utilizando la ecuación (5.66).

Tabla 5.27 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de U_{o1} .

Parámetro	Valor	Unidad
Radio interno del biorreactor - ($r1$)	0.485 - 19.1	m - in
Distancia desde el centro del biorreactor a la mitad del espesor de agua - ($r2$)	0.569 - 22.4	m - in
Coeficiente de transferencia de calor por convección natural - (hi).	88.57	$\frac{W}{m^2 K}$
Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada - (hio).	3041.3	$\frac{W}{m^2 K}$
Conductividad térmica del acero - (k_{acero}).	54	$\frac{W}{mK}$

De acuerdo al anexo A.16, el valor de U_{o1} que se obtiene es de $65.52 \frac{W}{m^2 K}$.

Para hallar el área de transferencia de calor ($Area_1$) mediante la expresión 5.64, se consideran los valores que se muestran en la tabla 5.28.

Tabla 5.28 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de $Area_1$.

Parámetro	Valor	Unidad
Altura de transferencia de calor del biorreactor, sin considerar el soporte - (h_1) .	1.597 - 62.875	m - in
Diámetro externo del biorreactor - (D_{ext}) .	0.986 - 38.825	m - in

De acuerdo al anexo A.16, el valor de $Area_1$ que se obtiene es de 4.95 m y se determina un calor útil de 3242 W.

5.7.6. DETERMINACIÓN DEL CALOR PERDIDO.

El calor que se pierde hacia el ambiente debido a los procesos de transferencia de calor de conducción y convección se puede determinar por medio de la ecuación 5.81.

$$Q_p = Area_2 U_{o_2} (T_{io} - T_a) \quad (5.81)$$

Donde:

Q_p : Calor perdido, en W.

$Area_2$: Área de transferencia de calor externa, en m^2 .

U_{o_2} : Coeficiente global de transferencia de calor - 2, en $\frac{W}{m^2 K}$.

Para encontrar $Area_2$, se utiliza la ecuación 5.82.

$$Area_2 = 2\pi \cdot r_6 \cdot h_1 \quad (5.82)$$

Donde:

h_1 : Altura de transferencia de calor del biorreactor sin considerar el soporte, en m.

r_6 : Radio mas externo del sistema, en m.

Por medio de la ecuación 5.83 se determina U_{o_2} .

$$U_{o_2} = \frac{1}{\frac{r_6}{r_3 h_{io}} + \left(\frac{r_6}{k_{acero}} \right) \ln \left(\frac{r_4}{r_3} \right) + \left(\frac{r_6}{k_{aisl}} \right) \ln \left(\frac{r_5}{r_4} \right) + \left(\frac{r_6}{k_{acero}} \right) \ln \left(\frac{r_6}{r_5} \right) + \frac{1}{h_o}} \quad (5.83)$$

Donde:

k_{acero} : Coeficiente de conductividad térmica del acero, en $\frac{W}{mK}$.

h_o : Coeficiente de transferencia de calor debido al ambiente, en $\frac{W}{m^2K}$.

h_{io} : Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada, en $\frac{W}{m^2K}$.

r_3 : Radio interno del tanque de agua, en m.

r_4 : Radio externo del tanque de agua, en m.

r_5 : Radio interno del aislamiento, en m.

r_6 : Radio externo del aislamiento, en m.

La figura 5.8 muestra la ubicación de r_3 , r_4 , r_5 y r_6 .

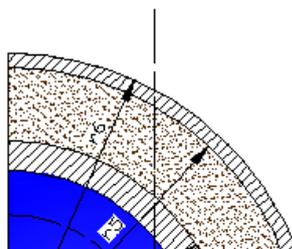


Figura 5.8 Representación de r3, r4, r5 y r6.

Para hallar r3, r4, r5 y r6, se utilizan las ecuaciones 5.84, 5.85, 5.86 y 5.87, respectivamente:

$$r3 = \frac{D_{int_{tan\ que}}}{2} \quad (5.84)$$

$$r4 = \frac{D_{int_{tan\ que}} + 2t_{cuerpotan\ que}}{2} \quad (5.85)$$

$$r5 = r4 + t_{aisl} \quad (5.86)$$

$$r6 = r5 + t_o \quad (5.87)$$

Donde:

$D_{int_{tan\ que}}$: Diámetro interior del tanque de agua, en m.

$t_{cuerpotan\ que}$: Espesor del tanque de agua, en m.

t_{aisl} : Espesor del aislamiento, en m.

t_o : Espesor de pared del tol que sujeta el aislamiento, en m.

El espesor del aislamiento se ha determinado que debe ser al menos de 6", este valor se verifica en el punto 5.7.8.

Calculo de ho:

Para hallar h_o , se utiliza la ecuación 5.88.

$$h_o = 2.8 + 3v_{viento} \tag{5.88}$$

Donde:

v_{viento} : Velocidad de viento del lugar, en $\frac{m}{s}$.

La velocidad del viento del lugar considerada es de $3.82 \frac{m}{s}$.

La tabla 5.29 presenta un resumen de valores obtenidos para hallar el coeficiente global de transferencia de calor (U_{o_2}), utilizando la ecuación 5.82.

Tabla 5.29 Resumen de valores obtenidos para el cálculo de U_{o_2} .

Parámetro	Valor	Unidad
Radio interno del tanque de agua - (r_3)	0.645 - 25.4	m - in
Radio externo del tanque de agua - (r_4)	0.651 - 25.65	m - in
Radio interno del aislamiento - (r_5)	0.804 - 31.65	m - in
Radio mas externo del sistema - (r_6)	0.805 - 31.71	m - in
Coeficiente de transferencia de calor debido al ambiente - (h_o).	14.26	$\frac{W}{m^2 K}$
Coeficiente de transferencia de calor por convección forzada - (h_{io}).	3085.52	$\frac{W}{m^2 K}$
Conductividad térmica del acero - (k_{acero})	54	$\frac{W}{mK}$

El valor de U_{o_2} que se obtiene es $0.187 \frac{W}{m^2 K}$.

De acuerdo al anexo A.16, el área de transferencia de calor más externa ($Area_2$) que se obtiene mediante la expresión 5.81, es de 8.08 m^2 y el calor perdido que se determina por medio de la ecuación 5.82, es 41 W .

5.7.7. DETERMINACIÓN DEL CALOR NECESARIO.

El calor necesario que debe generar el sistema de calentamiento, se determina mediante la ecuación 5.89.

$$Q_n = Q_u + Q_p \quad (5.89)$$

Donde:

Q_n : Calor necesario, en W.

Q_u : Calor útil, en W.

Q_p : Calor perdido, en W.

De acuerdo al anexo A.16, se determina un calor necesario de 3282 W .

5.7.8. ESPESOR DEL AISLAMIENTO.

Para determinar la temperatura que alcanza la pared mas externa del biorreactor se ha considerado realizar un análisis de transferencia de calor basado en una analogía eléctrica, como muestra la figura 5.9:

El objeto de conocer la temperatura en la superficie del recubrimiento metálico del aislamiento, es verificar que no sobrepase en demasía la temperatura ambiente del lugar, al colocar un aislamiento de 6 in de espesor.

Cabe recalcar que para llegar al valor de espesor de 6 in de aislamiento se debe realizar un proceso iterativo.

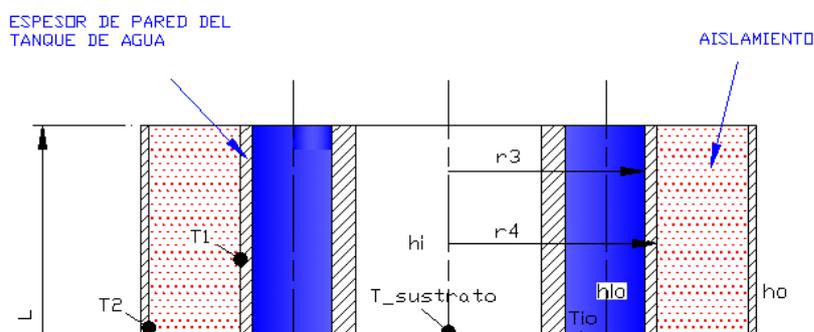




Figura 5.9 Analogía eléctrica.

Donde:

R_c : Resistencia por convección en los diferentes puntos, en $\frac{K}{W}$.

R : Resistencia por conducción en los diferentes puntos, en $\frac{K}{W}$.

T : Temperaturas en los diferentes puntos, en K.

T_α : Temperatura ambiente, en K.

La temperatura en la superficie del recubrimiento metálico del aislamiento, se determina por medio de la ecuación 5.91.

$$T_3 = T_{io} - Q_p(R_{c1} + R_1 + R_2 + R_3) \quad (5.90)$$

Las diferentes resistencias se hallan mediante las ecuaciones 5.91, 5.92, 5.93 y 5.94 respectivamente.

$$R_{c1} = \frac{1}{h_{io}(2\pi \cdot r_2 \cdot h_1)}$$

(5.91)

$$R1 = \frac{\ln\left(\frac{r4}{r3}\right)}{2\pi \cdot k_{acero} \cdot h_1} \quad (5.92)$$

$$R2 = \frac{\ln\left(\frac{r5}{r4}\right)}{2\pi \cdot k_{aisl} \cdot h_1} \quad (5.93)$$

$$R3 = \frac{\ln\left(\frac{r6}{r5}\right)}{2\pi \cdot k_{acero} \cdot h_1} \quad (5.94)$$

La tabla 5.30 muestra los valores obtenidos de las diferentes resistencias.

Tabla 5.30 Valores de resistencias obtenidas para el cálculo de T3.

Parámetro	Valor	Unidad
Rc1	5.006×10^{-5}	$\frac{K}{W}$
R1	1.808×10^{-5}	$\frac{K}{W}$
R2	0.655	$\frac{K}{W}$
R3	3.641×10^{-6}	$\frac{K}{W}$

De acuerdo al anexo A.16, el valor de T3 es 15.35 °C, verificando de esta manera el correcto espesor del aislamiento al comparar dicha temperatura con la temperatura ambiente promedio anual del lugar de 15 °C.

El aislamiento que se utilizara es lana de vidrio debido a su disponibilidad en el mercado, su bajo costo y por su adecuada conductividad térmica para el propósito que aquí se requiere.

5.8. VALIDACIÓN DEL DISEÑO.

5.8.1. MÉTODOS INFORMÁTICOS PARA CÁLCULO DE RADIACIÓN.

Los programas existentes para analizar la intensidad de la radiación solar son métodos válidos para ser usados en el campo de la ingeniería. El ISOL es un software que nos sirve para realizar el cálculo de la radiación solar local para cualquier lugar.

Ahora se presenta algunos de los pasos básicos necesarios para utilizar este software. Para luego realizar una comparación con los valores de radiación solar local obtenidos con el método analítico de Armstrong Page.

5.8.1.1. Valores de radiación solar local por medio del ISOL.

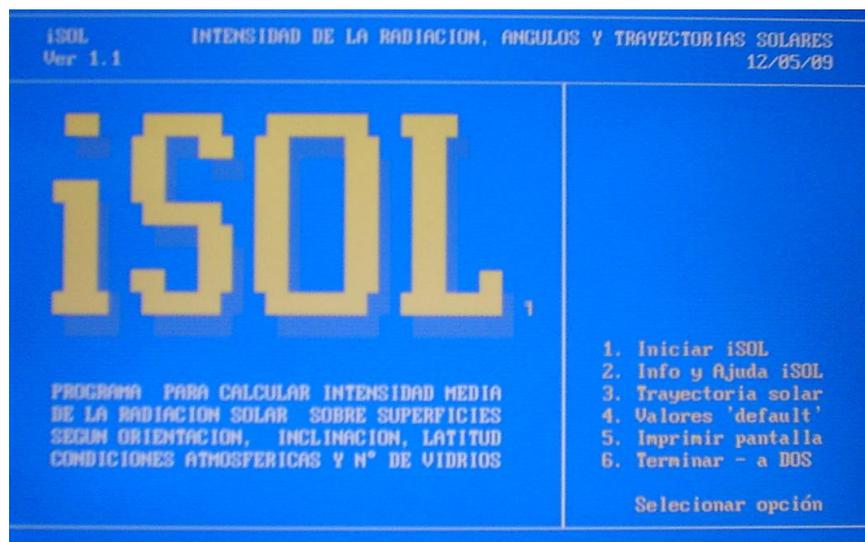


Figura 5.10 Presentación del programa ISOL.

Los parámetros que presenta la tabla 5.31 deben ser introducidos en el ISOL para determinar la intensidad de radiación solar de un lugar. Los valores que se muestran en la tabla 5.31 corresponden a las condiciones geográficas y ambientales del cantón Salcedo.

Tabla 5.31 Valores ingresados al ISOL.

Parámetros	Valores
------------	---------

Latitud	- 1.0167
Mes	9
Día	10
Azimut – Orientación	180
Pendiente	15
Albedo	0.2
Claridad de la atmósfera	0.44
Numero de vidrios	1

La figura 5.11 muestra la pantalla de ingreso de datos en el ISOL.



Figura 5.11 Ingreso de datos.

La figura 5.12 presenta la grafica de intensidad de radiación solar obtenida por el ISOL, en donde se muestra una intensidad máxima de $499 \frac{W}{m^2}$, en el lapso de las 12 a 13 horas.

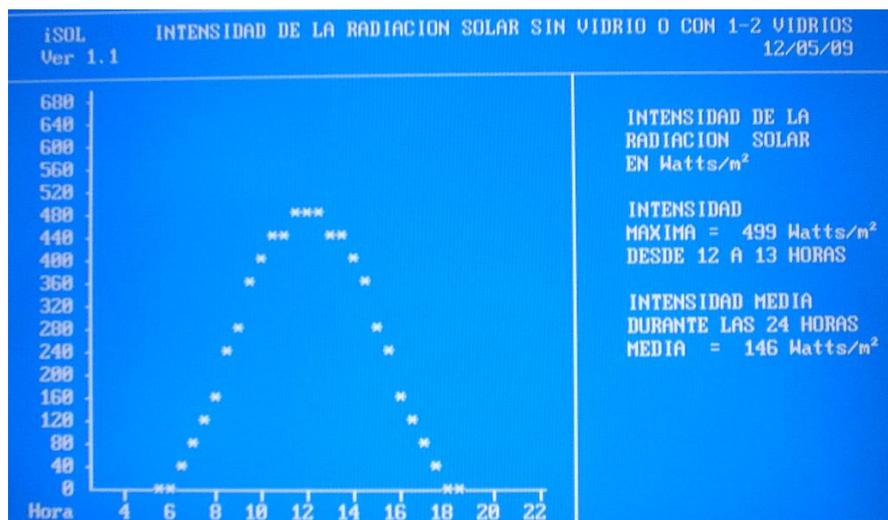


Figura 5.12 Grafica de intensidad de la radiación solar.

La figura 5.13 muestra una tabla de valores de intensidad de radiación solar para el 10 de septiembre desde las 6 hasta las 18 horas y además se obtiene un valor de radiación solar local de $3499 \frac{W-hr}{m^2}$. Cabe destacar que por el método Amstrong Page se obtiene un valor relativamente aproximado de $4390 \frac{W-hr}{m^2}$.

ISOL INTENSIDAD DE LA RADIACION SOLAR SIN VIDRIO O CON 1-2 VIDRIOS					12/05/09	
Ver 1.1						
Hora	Total	Dir	Dif	Ref	Latitud	= -1.0167
6.0- 7.0	42.39	0.01	42.24	0.15	Fecha	= 10 / 9
7.0- 8.0	139.10	13.96	124.65	0.49	Declinación	= +4.21
8.0- 9.0	253.24	53.82	198.54	0.88	Dias acum.	= 253
9.0-10.0	364.04	103.93	258.87	1.24	Horas de sol	= 11.8
10.0-11.0	451.38	148.33	301.53	1.52	Albedo	= .2
11.0-12.0	499.47	174.17	323.62	1.68	Pendiente	= 15
12.0-13.0	499.47	174.17	323.62	1.68	Orientación	= 180
13.0-14.0	451.38	148.33	301.53	1.52	Claridad ats	= .44
14.0-15.0	364.04	103.93	258.87	1.24	Vidrios	= 1
15.0-16.0	253.24	53.82	198.54	0.88	Rad sin atmos	= 38.2
16.0-17.0	139.10	13.96	124.65	0.49	Rad horiz Ht	= 16.8
17.0-18.0	42.39	0.01	42.24	0.15		
Total 24 hrs = 145.80 W/m2 = 3499 Wh/dia					Total = Radiación Total	
					Dir = Rad Directa	
					Dif = Rad Difusa	
					Ref = Rad Reflejada	
					MJ/dia.m2 = 12.6	

Figura 5.13 Valores obtenidos a partir del ISOL.

5.8.2. APLICACIÓN DEL SOFTWARE SOLIDWORKS.

SolidWorks es un programa de diseño asistido por computador para modelado mecánico que corre bajo el sistema operativo Microsoft Windows y es desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systèmes (Suresnes, Francia).

Es un modelador de sólidos paramétrico, que usa el kernel de modelado geométrico Parasolid. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/ENGINEER, I-DEAS, Unigraphics, CATIA, y Autodesk Mechanical Desktop y es actualmente el líder del mercado del modelado mecánico en CAD.

SolidWorks es un software CAD, 100% dedicado al diseño mecánico. Esto quiere decir que todas las herramientas que integra, están destinadas como único objetivo a realizar diseño de producto. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasladar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto.

Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

La empresa SolidWorks Corp. fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con su sede en Concord, Massachusetts y lanzó su primer producto, SolidWorks 95, en 1995. En 1997 Dassault Systèmes, mejor conocida por su software CAD CATIA, adquirió la compañía. Actualmente posee el 100% de sus acciones y es liderada por Jeff Ray.

Verificación del cuerpo y cabezas biorreactor.

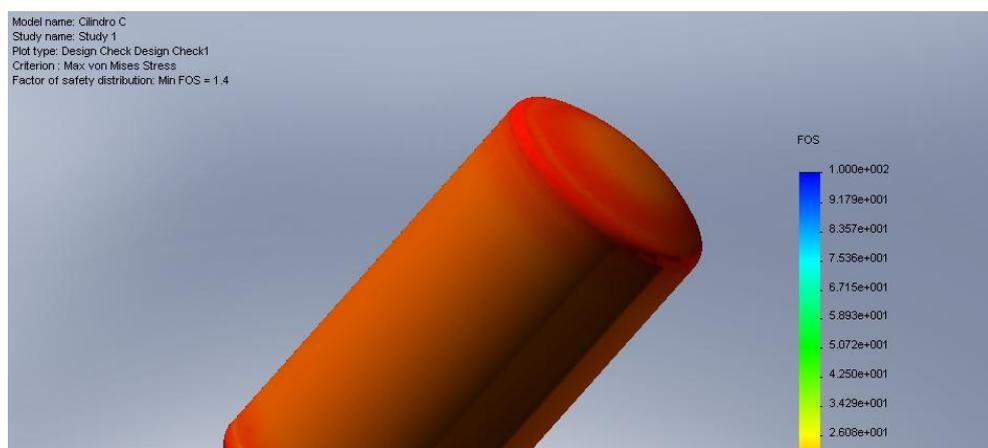


Figura 5.14 Factor de seguridad – Cuerpo y cabezas del biorreactor.

El material utilizado es el acero SA – 36. Para verificar el correcto dimensionamiento y material usado para el cuerpo y cabezas del biorreactor, se ha considerado las siguientes cargas:

- Presión de operación: 60 psi.
- Peso biorreactor cargado: 3542 lbf.

La figura 5.14 muestra un factor de seguridad en el punto mas critico de 1.4 al utilizar el criterio de diseño de Von Mises.

La figura 5.15 muestra varios valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises para diferentes zonas del recipiente.

La figura 5.16 muestra valores de esfuerzos máximos según el criterio de Von Mises en puntos específicos del recipiente. El valor máximo del esfuerzo de Von Mises resultante es de 25139 psi.

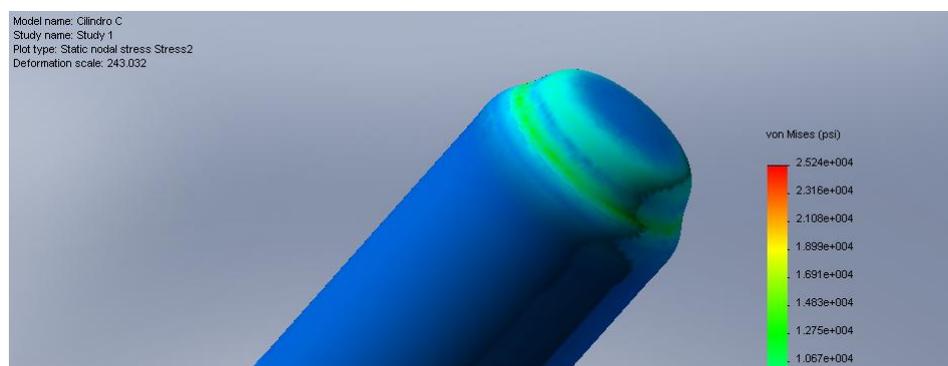


Figura 5.15 Esfuerzo de Von Mises – Cuerpo y cabezas del biorreactor.

Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	VON (psi)
60161	234.025	1858.28	-415.394	2.51395e+004
60870	-401.45	1879.78	-212.173	2.45144e+004
60191	56.318	1858.28	-473.443	2.43117e+004
10291	139.688	1858.28	455.859	2.41734e+004
60538	-470.036	1858.28	79.9133	2.40409e+004

Figura 5.16 Valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises – Cuerpo y cabezas del biorreactor.

De acuerdo al anexo A.17, se concluye que el recipiente con las dimensiones y material especificado soporta las cargas mencionadas.

Verificación de planchas bases del soporte conjunto.

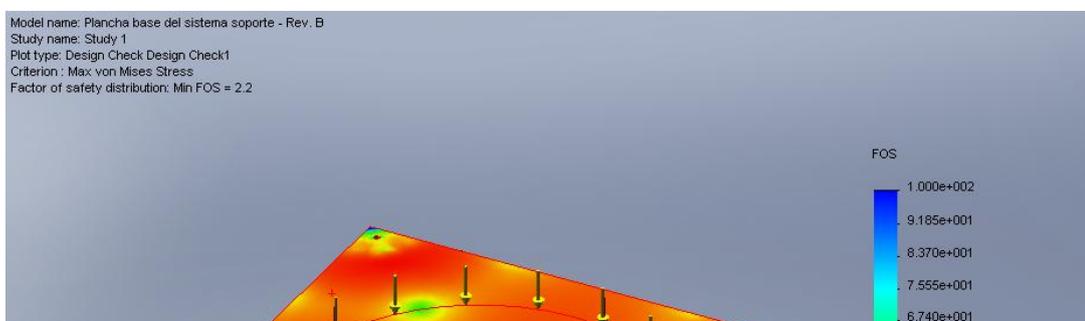


Figura 5.17 Factor de seguridad - Planchas bases del soporte conjunto.

El material utilizado es el acero SA – 36. Para verificar el correcto dimensionamiento y material usado para las planchas bases del soporte conjunto, se ha considerado las siguientes cargas:

- **Carga ejercida en el centro de planchas bases del soporte de conjunto.**

Peso biorreactor cargado: 3542 lbf.

Peso del soporte del biorreactor: 87.52 lbf.

- **Carga debido al peso de las paredes del tanque de agua.**

Peso de las paredes del tanque de agua: 819.1 lbf

- **Presión debida al agua ejercida sobre planchas bases del soporte del conjunto.**

Presión ejercida por el agua: 2.6 psi

La figura 5.17 muestra un factor de seguridad en el punto mas critico de 2.2 al utilizar el criterio de diseño de Von Mises.

La figura 5.18 muestra varios valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises para diferentes zonas de las planchas bases. La figura 5.19 muestra valores de esfuerzos máximos según el criterio de Von Mises en puntos

específicos de las planchas bases. El valor máximo del esfuerzo de Von Mises resultante es de 16537 psi.

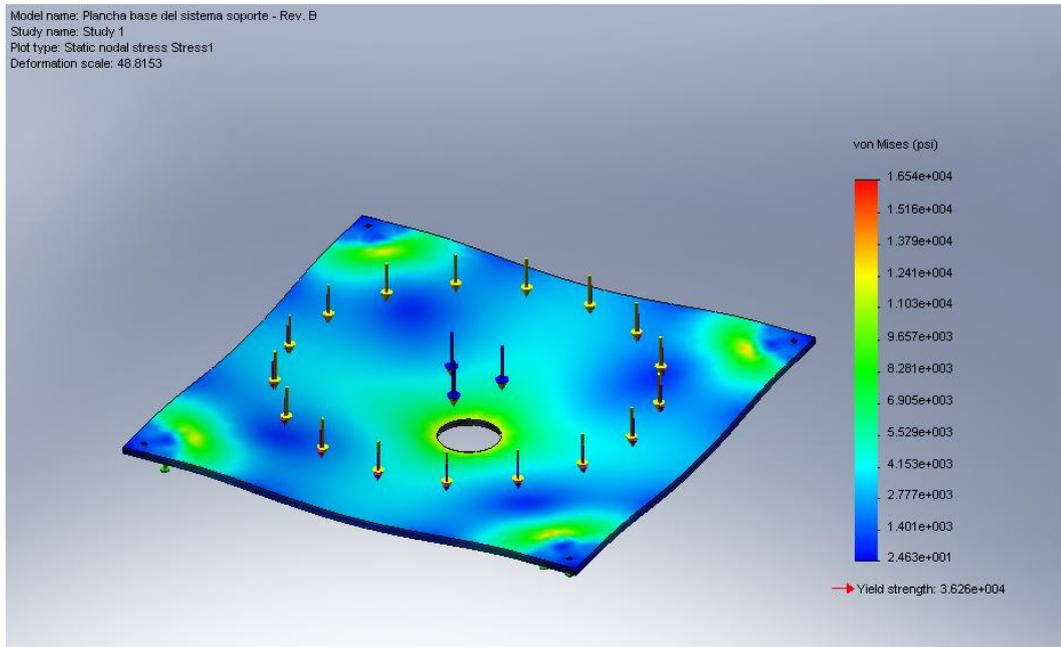


Figura 5.18 Esfuerzo de Von Mises - Planchas bases del soporte del conjunto.

List Results

Study name: Study 1

Units : psi Step Number: 1

Selected reference : N/A

Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	VON (psi)
22999	-667.97	0	-701.886	1.65376e+004
23005	-677.895	0	-684.695	1.60078e+004
23004	-676.708	0	-671.548	1.58425e+004

Close Save Help

Figura 5.19 Valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises - Planchas bases del soporte del conjunto.

De acuerdo al anexo A.17, se concluye que las planchas bases del soporte del conjunto con las dimensiones y material especificado soportan las cargas mencionadas.

Verificación del soporte conjunto.

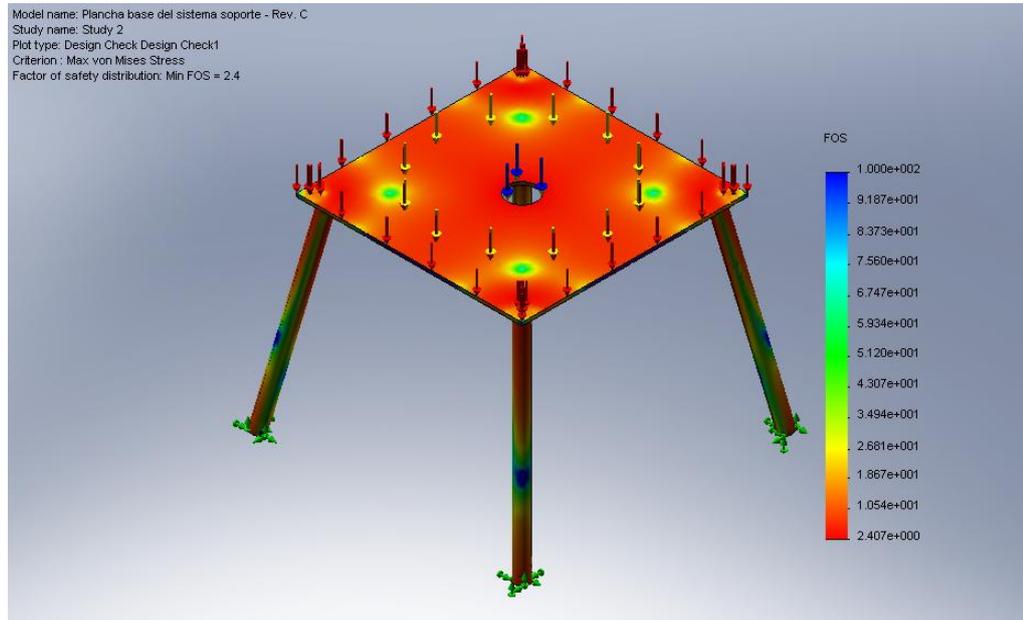


Figura 5.20 Factor de seguridad - Soporte del conjunto.

El material utilizado es el acero SA – 36. Para verificar el correcto dimensionamiento y material usado para el soporte del conjunto, se ha considerado las siguientes cargas:

- Peso biorreactor cargado: 3542 lbf.
- Peso del soporte del biorreactor: 87.52 lbf.
- Peso de las paredes del tanque de agua: 819.1 lbf
- Peso del volumen de agua: 2669.3 lbf
- Peso de la base del tanque de agua: 636.5 lbf

La figura 5.20 muestra un factor de seguridad en el punto mas critico de 2.4 al utilizar el criterio de diseño de Von Mises.

La figura 5.21 muestra varios valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises para diferentes zonas del soporte del conjunto.

La figura 5.22 muestra valores de esfuerzos máximos según el criterio de Von Mises en puntos específicos del soporte del conjunto.

El valor máximo del esfuerzo de Von Mises resultante es de 6145 psi.

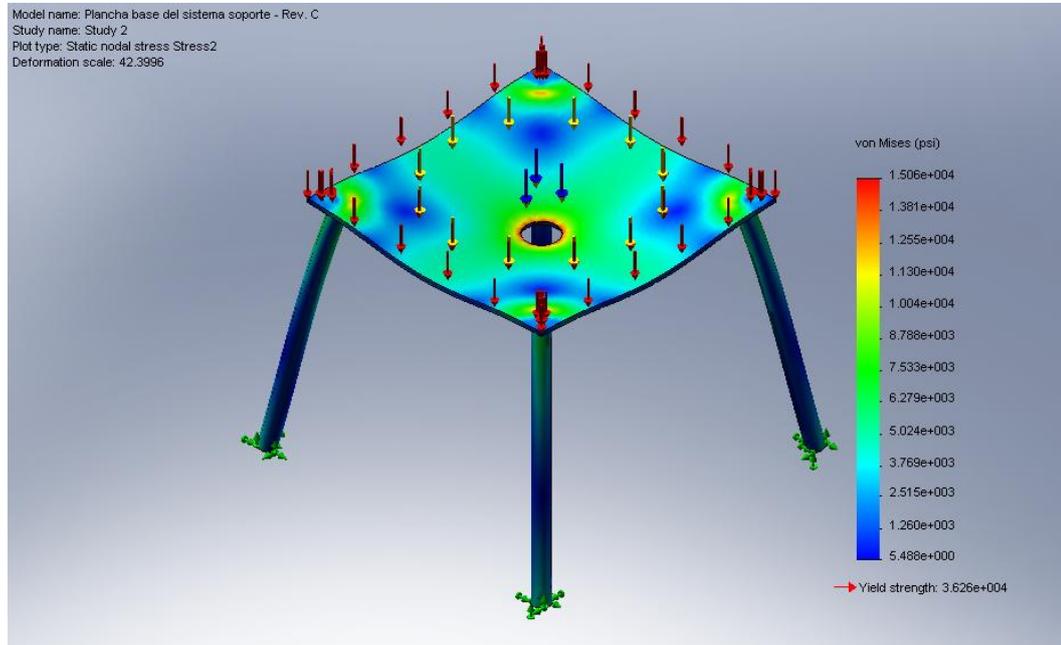


Figura 5.21 Esfuerzo de Von Mises - Soporte del conjunto.

De acuerdo al anexo A.17, se concluye que el soporte del conjunto con las dimensiones y material especificado soporta las cargas mencionadas.

List Results				
Study name: Study 2				
Units: psi		Step Number: 1		
Selected reference: N/A				
Node	X (mm)	Y (mm)	Z (mm)	VON (psi)
10674	-673.025	0	-681.097	6.14536e+003
11361	-670.188	0	683.934	6.08361e+003

Figura 5.22 Valores de esfuerzos según el criterio de Von Mises - Soporte del conjunto.

CAPÍTULO 6.

PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA INSTALACIÓN.

6.1. RECURSOS DE FABRICACIÓN.

Listado de materiales.

En la tabla 6.1 se muestra la lista detallada de materiales necesarios para la construcción del sistema de aprovechamiento de desechos seleccionado.

Tabla 6.1 Listado de materiales.

BIORREACTOR, SOPORTE DE BIORREACTOR Y SISTEMA DE CAPTACION Y CARGA	
Cant.	Descripción
5	Plancha de acero al carbono - 96*48*5/16"
1	Plancha de acero al carbono - 96*48*1/4"
1	Tubo de acero de 6 " estándar
1	Brida 8" tipo welding neck
2	Brida slip - on de 6 "
2	Brida slip – on de 3"
1	Válvula de compuerta de 6"
4	Codos cortos de 90 grados de 6" en acero
2	Codos de 45 grados de 6" en acero
1	Half coupling 1/2"
1	Half coupling 3/4"
8	Espárragos de 3/4" x 4 – 1/4"
8	Espárragos de 3/4" x 4 - 1/2"
32	Tuercas de 3/4"
32	Arandelas planas de 3/4"

Tabla 6.1 Continuación

32	Arandelas de presión de 3/4"
8	Espárragos de 5/8" x 3 - 3/4"
16	Tuercas de 5/8"
16	Arandelas planas de 5/8"
16	Arandelas de presión de 5/8"
1	Sensor de nivel ultrasónico
1	Termopozo de 40"
1	Termocupla tipo J
1	Pirometro de 4 canales
COLECTORES SOLARES	
Cant.	Descripción
10	Plancha de acero galvanizado - 96*48*1/16 "
10	Plancha de aluminio - 96*48*1/16"
900	Lana de vidrio - 24*48*0,2"
10	Vidrio templado - 80*40*3/16"
10	Ángulos, 1 - 3/16 * 1 - 3/16 * 1/8"
80	Tubería de cobre de 5/8" tipo M, L = 80"
6	Tubería de cobre de 1" tipo M, L = 80"
40	Anillos de caucho
SISTEMA DE EVACUACION DE BIOGAS	
Cant.	Descripción
2	Tubo - PVC de 3/4"
4	Reductor - PVC de 3/4" a 1/2"
1	Bushing de 3/4" x 1/2"
4	Union - PVC 3/4"
4	Universales - PVC 3/4"
1	Neplo corrido - PVC 1/2"
7	Codo - PVC 90° de 3/4"
1	Válvula de bola 3/4" - bronce
1	Válvula de aguja de 1/2" - bronce
1	Válvula check de 3/4" - bronce
1	Manómetro de 0 a 100 psi con conector macho de 1/2"
2	Filtros separadores de agua
TANQUE DE AGUA DE CALENTAMIENTO, EVACUACION DE BIOL Y SOPORTE DEL CONJUNTO	
Cant.	Descripción
3	Plancha de acero al carbono - 96*48*1/2"
6	Plancha de acero al carbono - 96*48*1/4"
5	Planchas de acero galvanizado de 1/16"
1	Tubo de acero de 4" estándar
2	Bridas de 16" tipo slip - on
2	Bridas de 16" tipo blind
1	Brida 8" tipo welding - neck
2	Brida 4" tipo slip - on
1	Válvula de compuerta de 4"
1	Reductor de 8" a 4" de acero
2	Half coupling 1/2"

Tabla 6.1 Continuación

2	Half coupling 1"
1	Full coupling 1/2"
16	Espárragos de 1" x 5 - 3/4"
32	Tuercas de 1"
32	Arandelas planas de 1"
1	Termopozo de 10"
1	Termocupla tipo J
32	Arandelas de presión de 1"
8	Espárragos de 5/8" x 3 - 3/4"
16	Tuercas de 5/8"
16	Arandelas planas de 5/8"
16	Arandelas de presión de 5/8"
20	Espárragos de 1/2" x 1-1/2"
20	Tuercas de 1/2"
20	Arandelas planas de 1/2"
20	Arandelas de presión de 1/2"
370	Lana de vidrio - 24*48*0,2"
1	Transmisor de temperatura
1	Indicador de temperatura
INSTALACION DEL CONJUNTO	
Cant.	Descripción
1	Bomba de recirculación de 1 hp
9	Tubos de 1" en acero galvanizado
60	Neplos corridos de 1" en acero galvanizado
23	Universales de 1" en acero galvanizado
21	Te de 1" en acero galvanizado
23	Codos de 90° de 1" en acero galvanizado
20	Conector Tubing 1"a NPT macho de 1".
INSUMOS	
Cant.	Descripción
2	Limpiador de vidrios
4	Tubo de silicon
1	Galón de pintura de aluminio de alta temperatura
15	Kilos electrodos E 6011
50	Varillas de aporte al 15% de plata
3	Galón de pintura negro mate
30	Teflón de 3/4"

PERSONAL.

- Soldadores.
- Cortadores.
- Torneros.
- Roladores.
- Ayudantes de taller.

EQUIPOS.

Soldadura:

Equipo para proceso con electrodo revestido (SMAW).

Rolado:

Una roladora de capacidad máx. láminas de ½" de espesor, 2 m. ancho, diámetro mín. de rolado 12".

Corte:

Un equipo de plasmacorte de capacidad máx. 20mm. de espesor.

Una cizalla mecánica de capacidad máx. ½" de espesor, 2440 mm de ancho.

Mecanizado:

Un torno de capacidad máx. 700 mm. de volteo y 3 m. de bancada.

Dos taladros verticales.

Una roscadora automática de tubos.

Carga:

Maquinaria para levantamiento de componentes (Linkbelt).

Un camión pequeño para transporte de material y movilización de personal.

Prensa:

Una prensa con capacidad de 120 ton.

Dos gatos hidráulicos capacidad 8.000 psi de presión.

6.2. DIAGRAMAS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN.

Cuerpo del Biorreactor

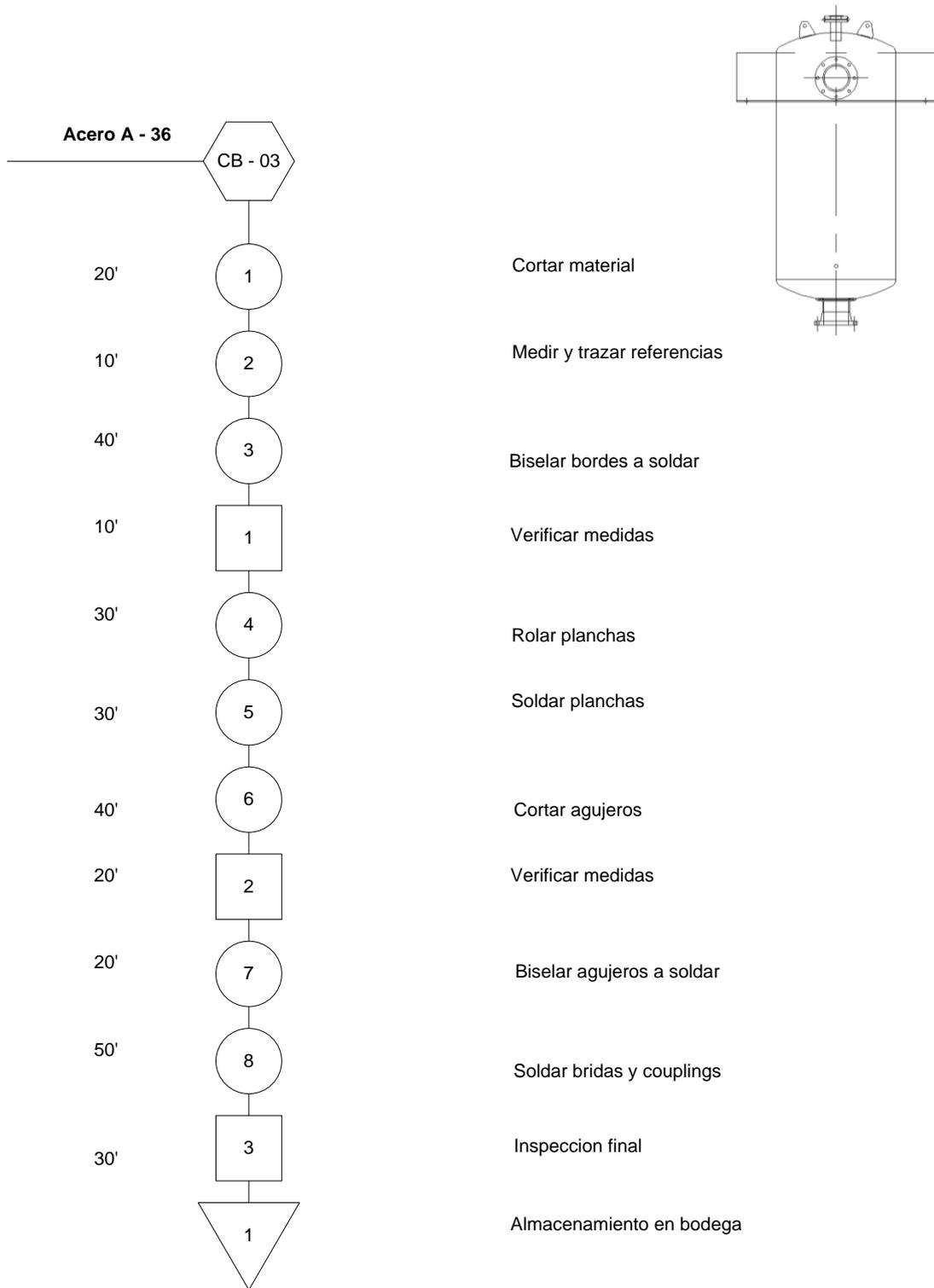


Figura 6.1 Proceso de fabricación del cuerpo del biorreactor.

Tapa superior del Biorreactor

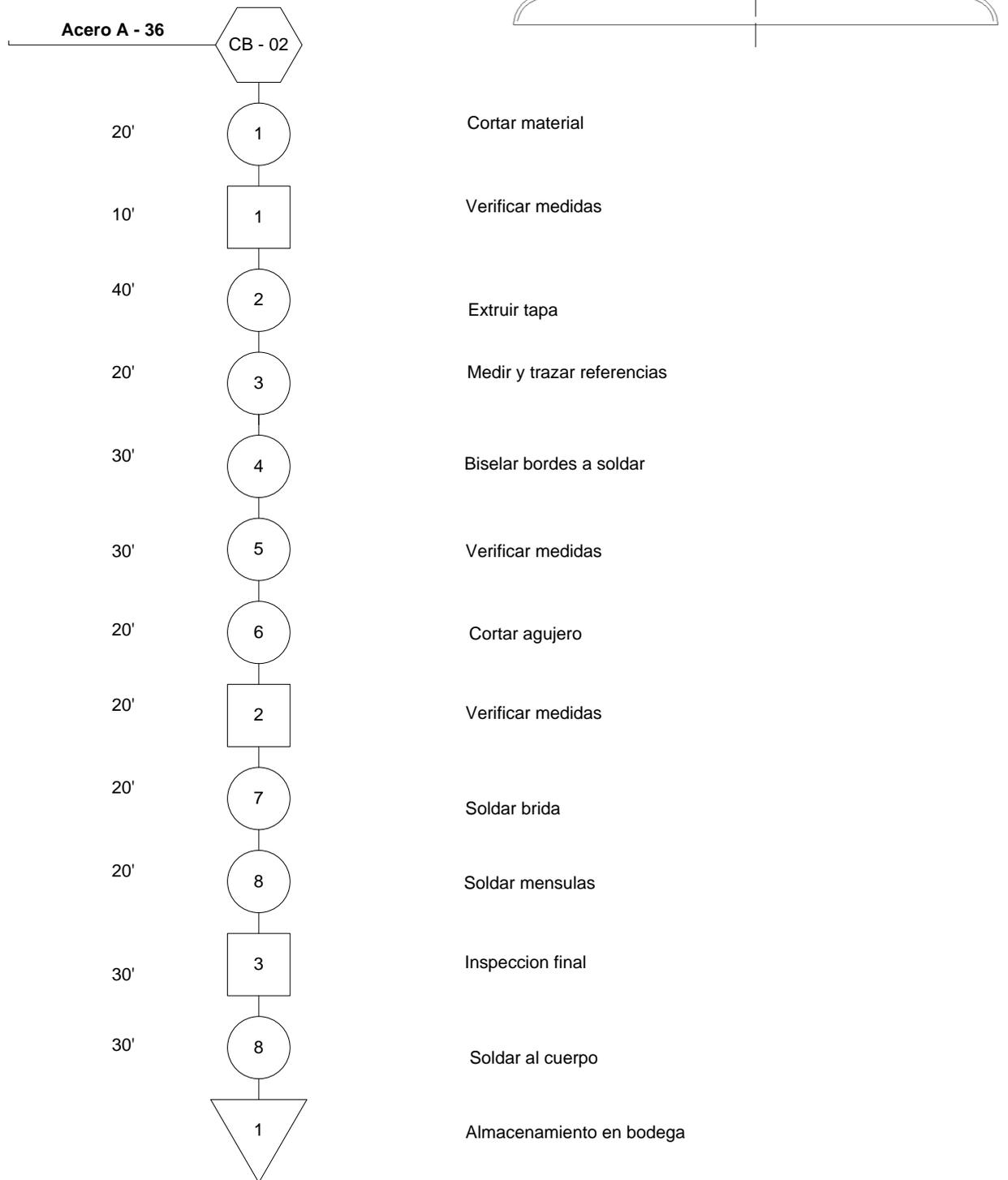


Figura 6.2 Proceso de fabricación de la cabeza toriesfrica superior del biorreactor.

Tapa inferior del Biorreactor

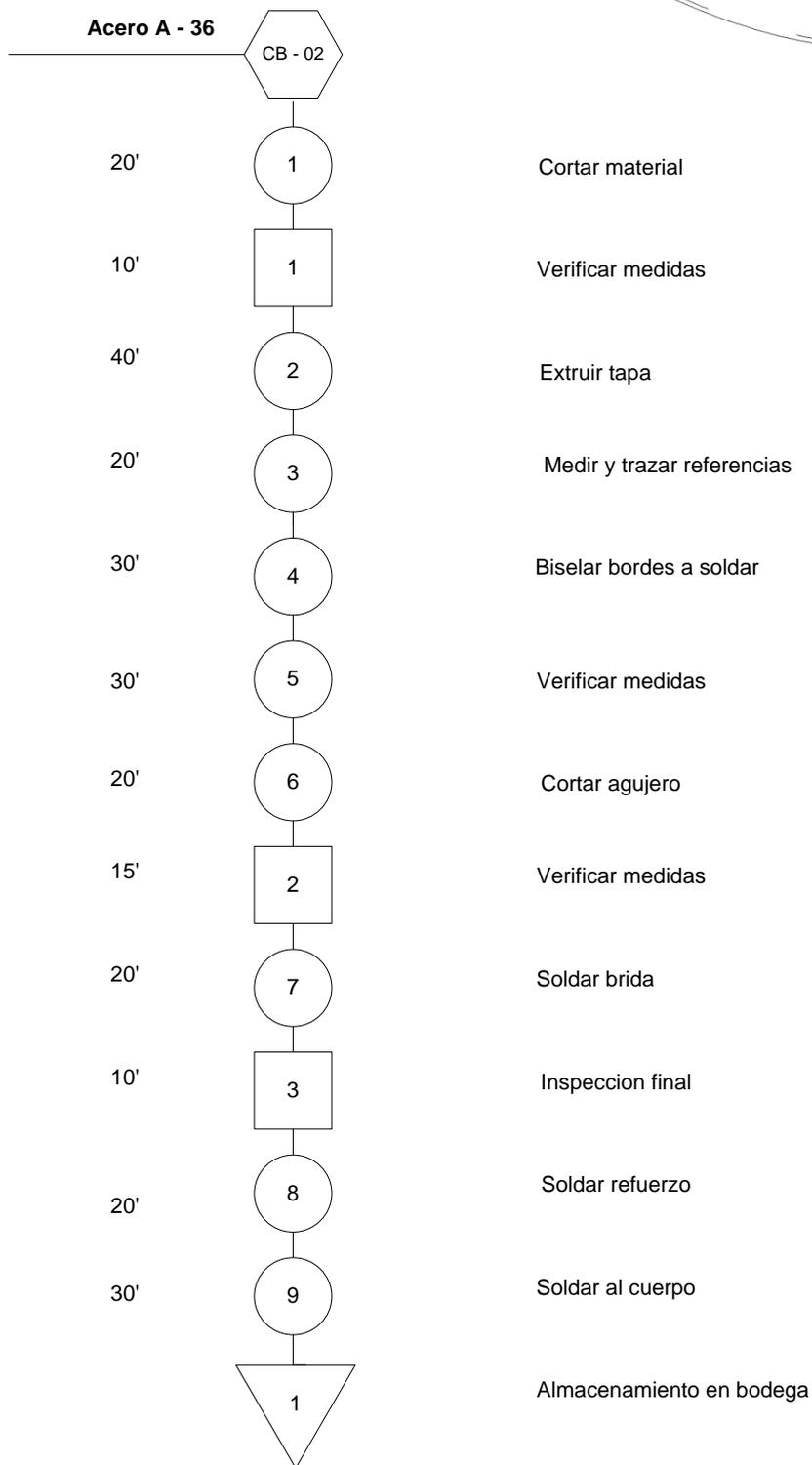


Figura 6.3 Proceso de fabricación de la cabeza toriesférica inferior del biorreactor.

Sello del Biorreactor

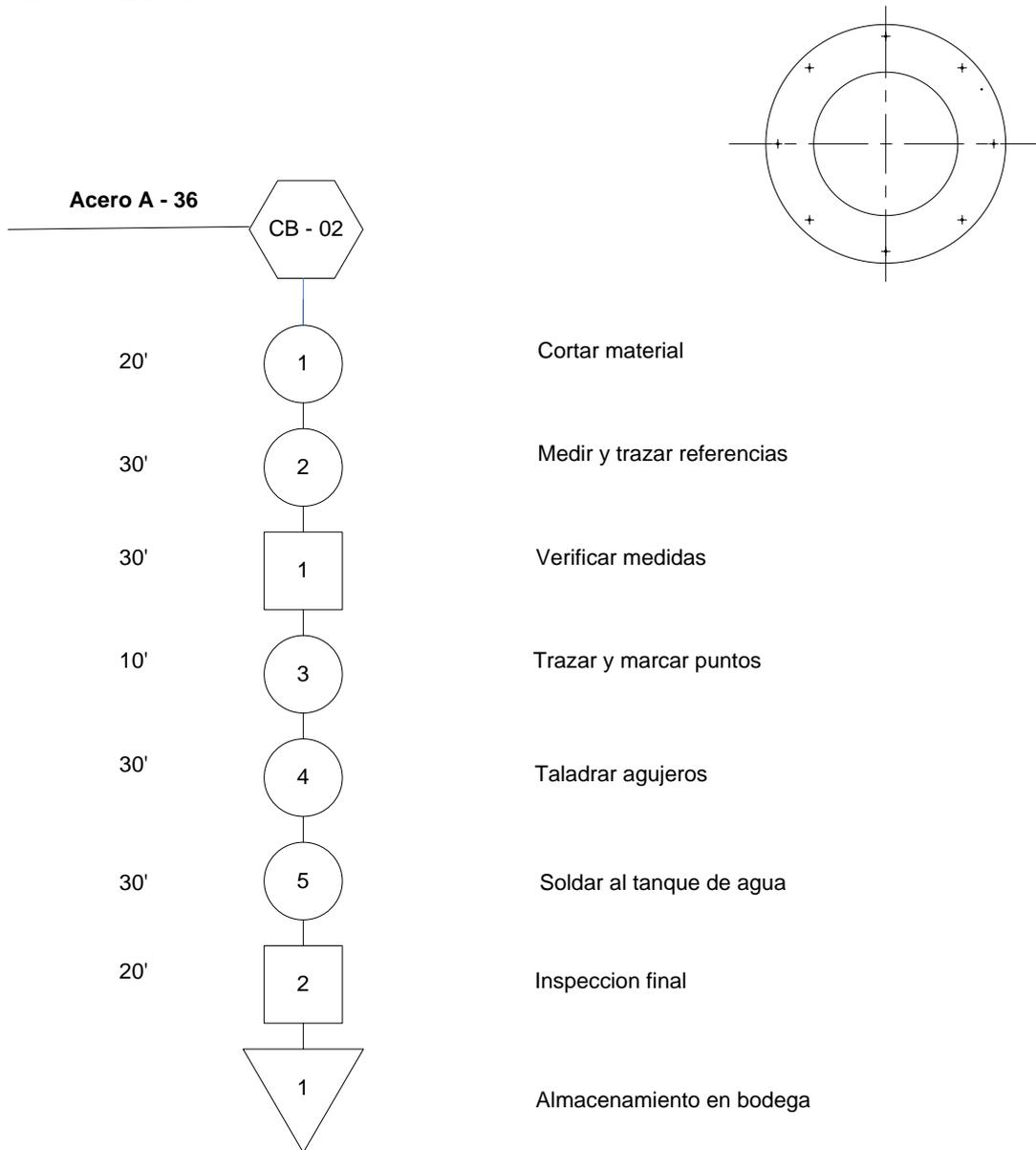


Figura 6.4 Proceso de fabricación del sello del biorreactor.

Tanque de Agua

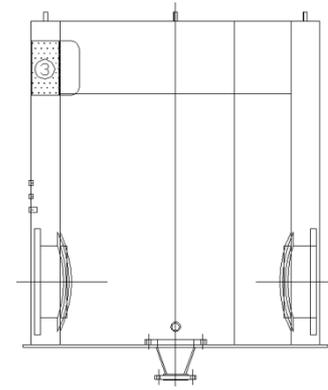
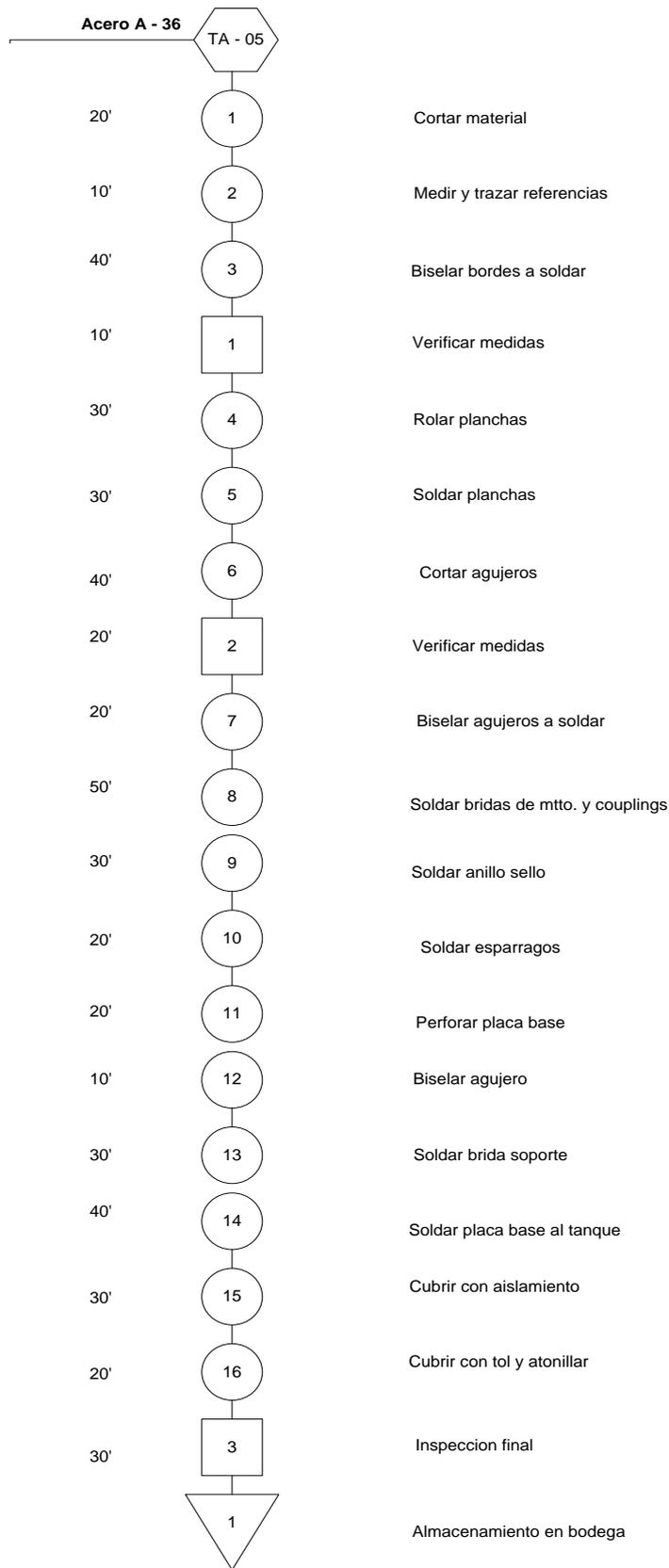


Figura 6.5 Proceso de fabricación del tanque de agua.

Soporte del conjunto

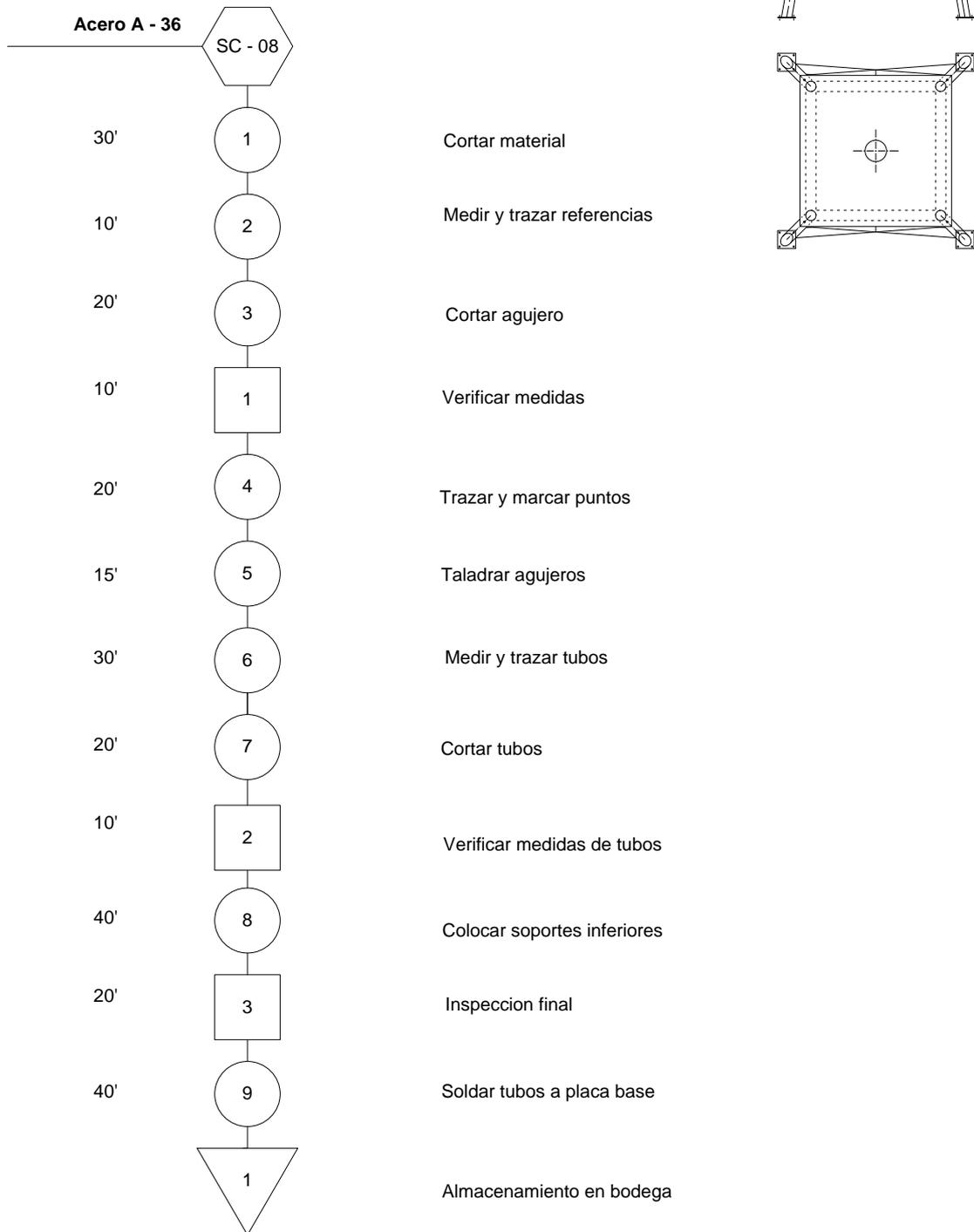


Figura 6.6 Proceso de fabricación del soporte conjunto.

Colector Solar Plano

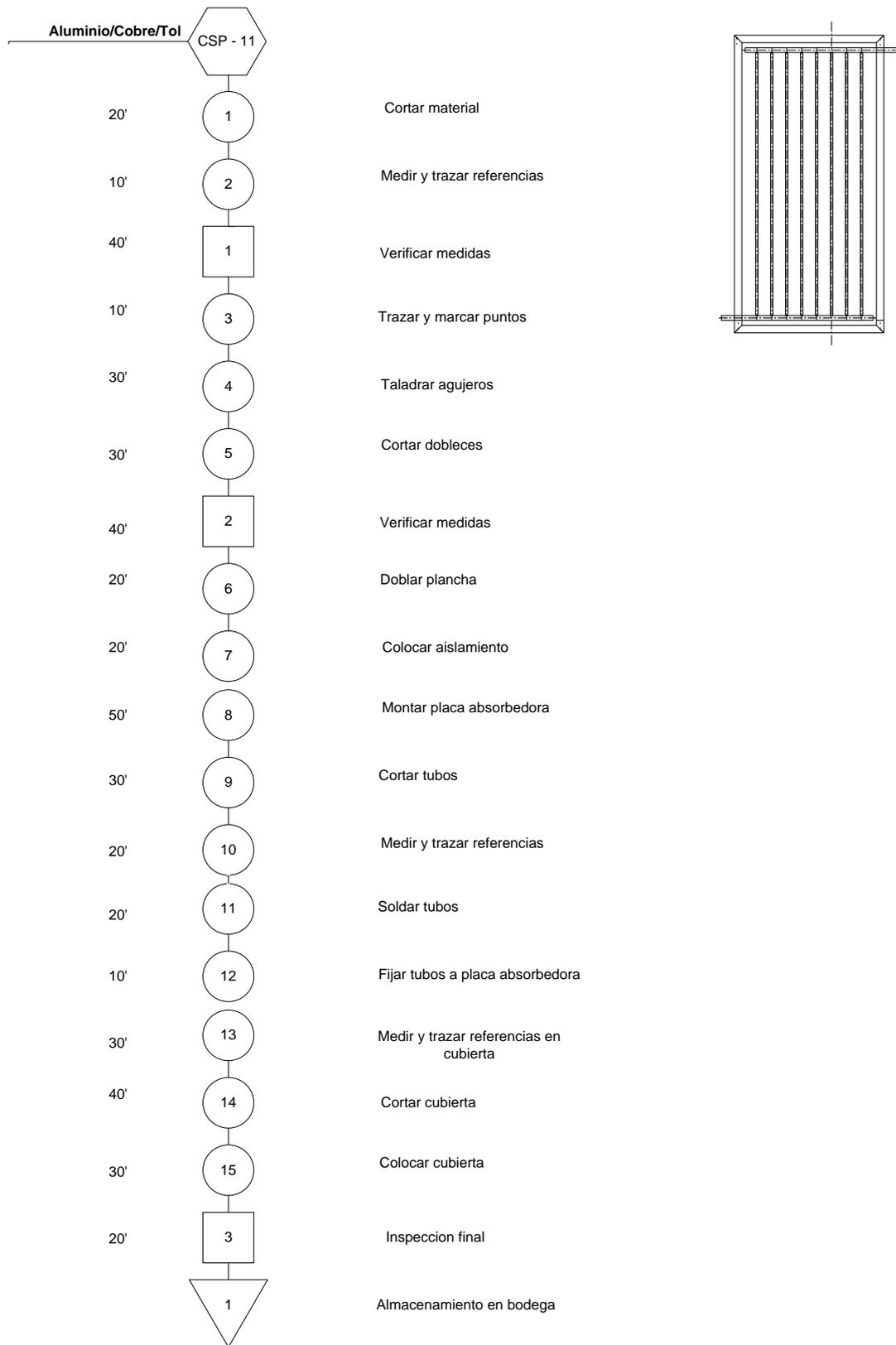


Figura 6.7 Proceso de fabricación del colector solar plano.

6.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.

El cronograma de actividades se encuentra detallado en el anexo B.1.

CAPÍTULO 7

SEGURIDAD INDUSTRIAL.

7.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS INHERENTES AL PROCESO.

Aquí se trata de identificar los riesgos existentes para el personal que labora en el camal y que aparecen a partir de tener un sistema de biorreacción en sus instalaciones.

7.1.1. RIESGOS FÍSICOS.

Son los que aparecen a partir de diferentes formas de energía, como por ejemplo se tiene, el ruido, vibraciones, temperatura o radiaciones.

Los inherentes al sistema de biorreacción son:

Alta temperatura.

El calor que se produce en el momento de quemar el biogás, causa una temperatura considerable que es capaz de poner en peligro al personal, es recomendable tomar todas las medidas de protección, para realizar la operación de combustión del biogás.

7.1.2. RIESGOS QUÍMICOS.

Son los que se pueden presentar en forma de humo, vapor, gas, niebla, polvo o aerosol.

Los inherentes al sistema de biorreacción son:

Biogás.

El biogás a producirse en el biorreactor tiene entre sus compuestos principales el metano, ácido sulfhídrico y dióxido de carbono, todos ellos tóxicos, la exposición a estos gases puede ocasionar enfermedades graves a los seres humanos y se corre el riesgo de inhalarlos en caso de fugas en el biorreactor o al no ser quemados adecuadamente.

Humos.

Los gases producidos después de la combustión del biogás son: dióxido de carbono, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno, todos ellos perjudiciales de usar los adecuados elementos de seguridad.

7.1.3. RIESGOS BIOLÓGICOS.

Son los que aparecen a partir de la interrelación de los seres humanos con organismos vivos: bacterias, microorganismos, virus, hongos y parásitos.

Los inherentes al sistema de biorreacción son:

Bacterias.

Las bacterias anaeróbicas difieren de las demás bacterias en varios aspectos. Se desarrollan adecuadamente en áreas del organismo que tienen bajos valores de oxígeno (como el intestino) y en los tejidos que sufren un proceso de degeneración, particularmente las heridas profundas y sucias, donde otras bacterias no pueden vivir y donde las defensas del organismo no llegan fácilmente. Las bacterias anaeróbicas no necesitan que haya oxígeno; de hecho, algunas de ellas no sobreviven en su presencia. Suelen causar infecciones que se caracterizan por la aparición de acumulaciones de pus (abscesos).

Cientos de especies de bacterias anaeróbicas viven normalmente y sin causar daño alguno sobre la piel y las membranas mucosas, como el revestimiento de la boca, el intestino y en el miembro reproductor de la mujer, en un centímetro cúbico de heces pueden existir varios miles de millones de bacterias.

Si el ambiente normal de ciertas especies de bacterias anaeróbicas resulta alterado por la cirugía, un deficiente aporte sanguíneo u otro tipo de lesión, pueden invadir los tejidos del huésped, causando infecciones graves, incluso mortales.

Las bacterias anaeróbicas que provocan enfermedades incluyen los clostridios (que viven en el polvo, la tierra, la vegetación y el tracto intestinal de los humanos y de los animales) y los peptococos y peptostreptococos que son parte de la población bacteriana normal (flora) de la boca, de las vías respiratorias superiores y del intestino grueso. Otras bacterias anaeróbicas incluyen el bacteroides fragilis, que forma parte de la flora normal del intestino grueso, y la prevotella melaninogenica y el fusobacterium, que forman parte de la flora normal de la boca.

Síntomas y diagnóstico.

Los síntomas de las infecciones anaeróbicas dependen del sitio en que se produzca la infección. Dichas infecciones consisten en abscesos dentales, infecciones de mandíbula, enfermedad periodontal, sinusitis crónica y afección del oído medio y abscesos en el cerebro, la médula espinal, el pulmón, la cavidad abdominal, el hígado, el útero, los genitales, la piel y los vasos sanguíneos. Para diagnosticar una infección anaeróbica, el médico suele obtener una muestra de pus o de fluido corporal y la envía al laboratorio para su cultivo. La muestra debe ser manipulada con cuidado debido a que la exposición al aire puede destruir las bacterias anaeróbicas, volviendo inútil el cultivo.

Prevención y tratamiento.

Para la manipulación de la mezcla de los desechos orgánicos producidos por el camal se sabe que el trabajador va a estar expuesto a estas bacterias por lo tanto es importante que utilice guantes de cuero, mascarilla, gafas y ropa adecuada para su protección, con la finalidad que este aislado de cualquier contacto de esta materia que esta por descomponerse o ya ha comenzado ese

periodo, en caso de ser infectado por estas bacterias se recomienda lo siguiente.

Habitualmente una infección grave por bacterias anaeróbicas puede evitarse si una determinada infección limitada a un área específica recibe el tratamiento adecuado antes de extenderse. La limpieza profunda de las heridas, la eliminación de cuerpos extraños y la instauración precoz de antibióticos son importantes medidas de prevención.

Las infecciones de las heridas profundas suelen ser causadas por bacterias anaeróbicas; dichas infecciones se tratan principalmente drenando los abscesos y extirpando quirúrgicamente (mediante un proceso llamado desbridamiento) el tejido muerto. Como resulta difícil cultivar bacterias anaeróbicas en el laboratorio, el médico suele comenzar a prescribir antibióticos antes de conocer los resultados del cultivo.

Las infecciones de heridas profundas contienen con frecuencia más de un tipo de bacterias, por lo cual se pueden administrar varios antibióticos por vía intravenosa al mismo tiempo.

La penicilina se usa para las infecciones causadas por una mezcla de bacterias de la boca o de la garganta.

7.2. ACCIONES Y CONDICIONES INSEGURAS.

- Pisos resbalosos en la superficie en donde se ubica el biorreactor y los colectores solares.
- Manipulación del sistema por personas no capacitadas.
- Carga del biorreactor sin la protección adecuada.
- Quemar el biogás sin tener en cuenta las condiciones de seguridad del manual de operaciones.

7.3. MANEJO Y MITIGACIÓN DE RIESGOS.

Tabla 7.1 Manejo y mitigación de riesgos.

Riesgo	Prevención
Quemadura	Usar guantes
Intoxicación	Usar mascarilla
Infección a los ojos	Usar gafas protectoras
Resbalar	Tener siempre limpia el área en donde está la instalación de biorreacción.
Fugas en el biorreactor (falla de juntas soldadas)	Verificar los indicadores de presión y termómetros diariamente y detectar la presencia extraña de olores.
Temperatura	Mantenerse alejado de la zona de combustión del biogás
Operación y mantenimiento del biorreactor	Revisar y estudiar el manual de operación y mantenimiento.

7.4. NORMATIVAS APLICABLES AL PROCESAMIENTO DE RESIDUOS.

En la actualidad en el Ecuador el principio fundamental que debe trascender el conjunto de políticas es el compromiso de la sociedad de promover el desarrollo hacia la sustentabilidad. La sociedad ecuatoriana deberá observar permanentemente el concepto de minimizar los riesgos e impactos negativos ambientales mientras se mantienen las oportunidades sociales y económicas del desarrollo sustentable, esto se cumple cuando existe armonía y un equilibrio en cada instante y para cada acción.

Todo habitante en el Ecuador y sus instituciones y organizaciones públicas y privadas deberán realizar cada acción, en cada instante, de manera que propenda en forma simultánea a ser socialmente justa, económicamente rentable y ambientalmente sustentable.

Reconociendo que la gestión ambiental corresponde a todos en cada instante de la vida y que nadie puede sustituir la responsabilidad de cada quien en esta gestión en su campo de actuación:

Mediante la coordinación a cargo del Ministerio del Ambiente, a fin de asegurar la debida coherencia nacional, las entidades del sector público y del sector privado en el Ecuador, sin perjuicio de que cada una deberá atender el área específica que le corresponde, contribuirán, dentro del marco de las presentes políticas, a identificar, para cada caso, las políticas y estrategias específicas, las orientaciones y guías necesarias a fin de asegurar por parte de todos una adecuada gestión ambiental permanentemente dirigida a alcanzar el desarrollo sustentable, así como colaborarán en los aspectos necesarios para lograr que cada habitante del Ecuador adecue su conducta a este propósito.

El municipio del cantón de Salcedo tomando en cuenta estos aspectos ha decidido mejorar sus instalaciones municipales, entre ellas el camal, que contamina a diario el medio ambiente en donde los principales perjudicados son los moradores de la zona, trabajadores del lugar y el río Cutuchi que es donde se depositan varios de los desperdicios. Como se menciono anteriormente la mejora tiene que ser integral, si hay mejoría en el desarrollo sustentable que conlleva los aspectos económicos y sociales, debe ir junto a la conservación del medio ambiente.

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD.

8.1. ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA.

El cantón Salcedo cuenta con una posición geográfica en la cual es posible aprovechar la intensidad de radiación solar con fines energéticos. Es por ello que se ha considerado la utilización de colectores solares para mantener una temperatura de 32 °C en el interior del biorreactor, por motivos ya mencionados.



Figura 8.1. Condiciones geográficas y climatológicas del camal.

El poco espacio existente en el camal de Salcedo es una razón importante para que la implementación de un sistema biorreactor sea una solución viable, a diferencia de otras posibles soluciones que necesitan de un mayor espacio físico. El área que ocupara todo el sistema de biorreacción se estima en 30 m².



Figura 8.2. Ubicación de todo el sistema biorreactor.

La operación del sistema de biorreacción es simple y es por ello que no necesita de un operador que se encuentre continuamente pendiente de la instalación, por ende se concluye que va a existir un ahorro de mano de obra y de tiempo por la elección de esta alternativa.

El sistema de biorreacción planteado funciona en base a un eficiente uso de la biomasa y de la energía solar, es decir es una solución encaminada al cuidado del medio ambiente.

8.2. ANÁLISIS ECONÓMICO – FINANCIERO.

El proyecto tiene la particularidad de que el sistema diseñado no genera ingresos económicos. La viabilidad está dada por la disminución de la contaminación del entorno del camal de Salcedo y del río Cutuchi, que es en donde terminan varios de los agentes contaminantes, además de la mejora de la calidad de vida de las personas que laboran en el lugar.

Existen también otros factores no cuantificables, como la utilización de energía renovable que trae como consecuencia la preservación de recursos naturales, y que adicionalmente desarrollan conciencia social del cuidado del medio ambiente.

Debido a lo ya mencionado se efectuará un análisis Económico – Financiero basado en una comparación, entre el costo de desarrollar el proyecto y el costo de adquirir un biorreactor importado.

8.2.1. COSTOS DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.

Luego de haber considerado los rubros que formaran parte del diseño y la implementación del sistema de biorreacción, se concluye que el costo total del proyecto es de \$ 23,254.39. Este costo se encuentra subdividido en costos de materiales directos, mano de obra directa, costos indirectos de fabricación y otros costos.

8.2.1.1. COSTOS DE MATERIALES DIRECTOS.

Aquí se han considerado todos los materiales que formaran parte del producto terminado.

Tabla 8.1 Costos de materiales directos.

Item	Cant.	Descripción	Costo	Costo Total
1	5	Plancha de acero al carbono - 96*48*5/16"	212.75	1063.75
2	8	Plancha de acero al carbono - 96*48*1/4"	102.30	818.40
3	15	Plancha de acero galvanizado - 96*48*1/16 "	35.80	537.00
4	10	Plancha de aluminio - 96*48*1/16"	61.33	613.30
5	3	Plancha de acero al carbono - 96*48*1/2"	480.56	1441.68
6	1	Tubo de acero de 8 " estándar	227.00	227.00
7	9	Tubos de 1" en acero galvanizado	89.60	806.40
8	1	Tubo de acero de 4" estándar	110.20	110.20
9	2	Bridas de 16" tipo slip - on	176.20	352.40
10	2	Bridas de 16" tipo blind	202.70	405.40
11	2	Brida 8" tipo welding neck	37.60	75.20
12	2	Brida slip - on de 6 "	35.00	70.00
13	2	Brida 4" tipo slip - on	16.26	32.52
14	2	Brida 3" tipo slip - on	14.70	29.40

Tabla 8.1 Continuación

15	1	Válvula de compuerta de 6"	330.00	330.00
16	1	Válvula de compuerta de 4"	203.00	203.00
17	1	Válvula de bola 3/4" - bronce	6.00	6.00
18	1	Válvula de aguja de 1/2" - bronce	8.50	8.50
19	1	Válvula check de 3/4" - bronce	8.00	8.00
20	80	Tubería de cobre de 5/8" tipo M, L = 80"	4.00	320.00
21	6	Tubería de cobre de 1" tipo M, L = 80"	6.00	36.00
22	4	Codos cortos de 90 grados de 8" en acero	44.20	176.80
23	2	Codos de 45 grados de 8" en acero	38.30	76.60
24	23	Codos de 90° de 1" en acero galvanizado	4.50	103.50
25	23	Universales de 1" en acero galvanizado	5.10	117.30
26	1	Reductor de 8" a 4" de acero	14.00	14.00
27	60	Neplos corridos de 1" en acero galvanizado	3.90	234.00
28	21	Te de 1" en acero galvanizado	4.20	88.20
29	2	Half coupling 1/2"	5.85	11.70
30	1	Half coupling 3/4"	4.25	4.25
31	4	Half coupling 1"	4.13	16.55
33	20	Conector Tubing 1" a NPT macho de 1".	12.00	240.00
34	10	Ángulos, 1 - 3/16 * 1 - 3/16 * 1/8"	14.00	140.00
35	2	Tubo - PVC de 3/4"	6.00	12.00
36	4	Reductor - PVC de 3/4" a 1/2"	2.10	8.40
37	1	Bushing de 3/4" x 1/2"	1.50	1.50
38	4	Union - PVC 3/4"	1.90	7.60
39	4	Universales - PVC 3/4"	2.50	10.00
40	1	Neplo corrido - PVC 1/2"	1.10	1.10
41	7	Codo - PVC 90° de 3/4"	1.80	12.60
42	1	Bomba de circulación de 1 hp	55.00	55.00
43	16	Esparragos de 1" x 5 - 3/4"	3.50	56.00
44	32	Tuercas de 1"	0.44	14.08
45	32	Arandelas planas de 1"	0.49	15.68
46	32	Arandelas de presión de 1"	0.42	13.44
47	8	Esparragos de 3/4" x 4"	2.90	23.20
48	8	Esparragos de 3/4" x 4 - 1/2"	3.10	24.80
49	32	Tuercas de 3/4"	0.41	13.12
50	32	Arandelas planas de 3/4"	0.46	14.72
51	32	Arandelas de presión de 3/4"	0.39	12.48
52	16	Esparragos de 5/8" x 3 - 3/4"	2.50	40.00

Tabla 8.1 Continuación

53	32	Tuercas de 5/8"	0.39	12.48
54	32	Arandelas planas de 5/8"	0.44	14.08
55	32	Arandelas de presion de 5/8"	0.36	11.52
56	20	Esparragos de 1/2" x 1-1/2"	2.00	40.00
57	20	Tuercas de 1/2"	0.32	6.40
58	20	Arandelas planas de 1/2"	0.40	8.00
59	20	Arandelas de presion de 1/2"	0.35	7.00
60	1	Sensor de nivel ultrasónico	256.00	256.00
61	1	Termopozo de 40"	168.00	336.00
62	2	Termocupla tipo J	49.00	98.00
63	1	Pirómetro de 4 canales	70	70
64	1	Termopozo de 10"	90.00	90.00
65	1	Manometro de 0 a 100 psi con conector macho de 1/2"	21.00	21.00
66	10	Vidrio templado - 80*40*3/16"	14.00	140.00
67	2	Filtros separadores de agua	22.00	44.00
68	1270	Lana de vidrio - 24*48*0,2"	0.40	508.00
69	40	Anillos de caucho	0.43	17.20
			SUBTOTAL	10732.45
			I.V.A.(12%)	1287.89
			TOTAL	12020.34

El costo total por materiales directos es de \$ 12,020.34.

8.2.1.2. Costos de mano de obra directa.

Aquí se han considerado los costos de fabricación por mano de obra directa de cada uno de los subsistemas que formaran parte del sistema de biorreacción, además del costo por construcción de la cimentación.

Tabla 8.2 Costos de mano de obra directa.

Item	Descripcion	Costo
1	Construcción de biorreactor, soporte de biorreactor y sistema de captación y carga.	600
2	Construcción de colectores y soportes.	1100
3	Construcción del sistema de evacuación de biogas.	100
4	Construcción del tanque de agua, evacuación de biol y soporte del sistema.	400
5	Galvanizado	1000
5	Instalación del conjunto	350
6	Cimentación	1000
SUBTOTAL		4550
I.V.A.(12%)		546.00
TOTAL		5096.00

El costo total por mano de obra directa es de \$ 5,096.00.

8.2.1.3. Costos indirectos de fabricación.

Aquí están estipulados todos los costos por insumos y por mano de obra indirecta, los mismos que se encuentran detallados a continuación:

8.2.1.3.1. Costos de materiales indirectos – Insumos.

Estos materiales no forman parte del producto terminado pero son necesarios para el buen funcionamiento del sistema.

Tabla 8.3 Costo de materiales indirectos.

Item	Cant.	Descripcion	Costo	Costo Total
2	2	Limpiador de vidrios	4	8
3	4	Tubo de silicon	6	24
58	20	Kilos electrodos E 6011	2.36	47.20
59	50	Varillas de aporte al 15% de plata	0.70	35.00
60	3	Galón de pintura negro mate	8.50	25.50
61	30	Teflón de 3/4"	0.60	18.00
SUBTOTAL				157.7
I.V.A.(12%)				18.92
TOTAL				176.62

El costo de materiales indirectos total es \$ 176.62.

8.2.1.3.2. Costos de mano de obra indirecta.

La mano de obra indirecta se ha considerado al personal que debe estar en el montaje.

Tabla 8.4 Costo de mano de obra indirecta.

Item	Descripción	Costo
1	Técnico eléctrico	160
1	Técnico electrónico	550
1	Soldador para el montaje	150
2	3 Obreros para el montaje	180
	SUBTOTAL	1040
	I.V.A.(12%)	124.80
	TOTAL	1164.80

El costo indirecto de fabricación total es de \$ 1,164.80.

8.2.1.4. Otros costos.

Tabla 8.5 Otros costos.

Item	Descripción	Costo
1	Ingeniería y diseño	2200
2	Transporte	400
3	Útiles de oficina	250
	SUBTOTAL	2850
	I.V.A.(12%)	342.00
	TOTAL	3192.00

Otros costos representan un total de \$ 3,192.00.

8.2.1.5. Costos de operación.

Tabla 8.6 Costo de operación.

Item	Descripción	Costo
1	Capacitación de personal	820
2	Persona encargada	370
3	Electricidad	85
	SUBTOTAL	1275
	I.V.A.(12%)	153.00
	TOTAL	1428.00

El costo de operación total es de \$ 1,428.00.

El costo del desarrollo total del proyecto es de \$ 23,254.39.

8.2.2. VALOR DE LA ADQUISICIÓN DE UN BIODIGESTOR IMPORTADO.

El Camal Metropolitano de Quito adquirió un biodigestor TKF proveniente de Cali - Colombia, cuyo costo fue de \$70.000, el mismo que permite deshidratar la sangre para convertirla en harina, y con ello elaborar balanceados y abonos orgánicos.



Figura 8.3. Camal Metropolitano de Quito.

Con la adquisición del biodigestor la sangre es aprovechada de mejor manera, ya que antes se la debía enviar a la planta de tratamiento de aguas residuales que en muchas ocasiones llegaba a saturarse, hoy es recolectada y deshidratada.



Figura 8.4. Planta de tratamiento de aguas residuales.

Funcionamiento del biodigestor.

Ingresa la sangre al biodigestor que contiene una chaqueta de 8 cm donde va a circular vapor de agua a 145 °C. El vapor de agua proviene de un caldero cuyo combustible es diesel, el biodigestor esta conectado a un motor eléctrico por medio de cadenas el cual rota permanente hasta deshidratar completamente la sangre y convertirla en harina.

La desventaja principal del biodigestor TKF es que solo procesa residuos líquidos como la sangre más no compuestos sólidos.



Figura 8.5. Biodigester del Camal Metropolitano de Quito.

El biodigester es de carácter continuo ya que procesa 1800 litros de sangre en cuatro horas, llegando a satisfacer toda la sangre producida en el día en el faenamamiento de las tres líneas de ganado: bovino, porcino, vacuno.



Figura 8.6. Harina de sangre.

8.2.3. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO.

El biodigestor utilizado por el camal metropolitano de Quito tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Gran capacidad de procesar la sangre.
- Producción continua de harina de sangre.
- Operación mecánica.

Desventajas:

- No procesa alimentos sólidos como es vísceras contaminadas.
- Utilización de hidrocarburo (Diesel) para el funcionamiento del caldero.
- Utilización de energía eléctrica para el funcionamiento del motor.

El biorreactor diseñado para el camal municipal de Salcedo tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Procesa todo tipo de desechos orgánicos sean líquidos o sólidos.
- La utilización de energías renovables que no son contaminantes para el medio ambiente.
- Genera abono orgánico que puede ser aprovechado en cultivos cercanos.

Desventajas:

- EL biorreactor es de poca capacidad.
- El proceso no es rápido debido al tiempo de retención hidráulico que se requiere.

Comparación de los sistemas.

El biodigestor utilizado por el camal de Quito llega a solucionar el problema de la sangre que es muy difícil de deshacerse, pero a cambio de contaminar el medio ambiente con la utilización de hidrocarburos y de energía eléctrica para el funcionamiento del caldero y el motor respectivamente.

En el biodigestor del camal metropolitano de Quito solo pueden ser introducidos desechos líquidos como lo es la sangre y no pueden ser introducidos desechos sólidos como las vísceras no aptas para el consumo humano, mismas que se producen a diario en el proceso de faenamiento.

En tanto que el biorreactor diseñado para el camal municipal de Salcedo tiene un costo a menos de la mitad del biodigestor mencionado, además de que se puede introducir en él, todo tipo de desechos orgánicos y utiliza energía renovable para su funcionamiento.

El análisis costo – beneficio que se obtiene es el siguiente:

$$\frac{\textit{Beneficio}}{\textit{Costo}} = \frac{\textit{Ahorro \cdot por \cdot la \cdot no \cdot adquisicion \cdot de \cdot un \cdot biorreactor \cdot importado}}{\textit{Valor \cdot de \cdot desarrollo \cdot del \cdot proyecto}}$$

$$\frac{\textit{Beneficio}}{\textit{Costo}} = \frac{70,000}{23,254.39}$$

$$\frac{\textit{Beneficio}}{\textit{Costo}} = 3.01$$

De acuerdo a esta relación se concluye que el sistema de biorreacción diseñado para el camal de Salcedo es una solución acertada

CAPITULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1. CONCLUSIONES.

1. El sistema seleccionado para el manejo de desechos orgánicos es un biorreactor, debido a que las instalaciones del camal son muy limitadas, esta solución ocupa un espacio aproximado de 140 m². EL biorreactor desarrollado pretende dar una solución al problema del camal, transformando los desechos orgánicos (sangre, hígados y vísceras) que lo contaminan en un tipo de abono orgánico denominado biol.
2. La solución planteada en el presente proyecto disminuye el impacto ambiental producido por las operaciones del camal, a cambio de un costo manejable que un municipio está en condiciones de asumirlo, estimado en \$23.254. En el camal municipal de Quito existe un biorreactor que solo procesa sangre y que supera los \$70000. Es por ello que se concluye que el proyecto es económicamente viable.
3. El biorreactor tiene una capacidad máxima de procesar 1040 kg de desechos orgánicos preparados y que deben ser ingresados en un periodo de 20 días, el tiempo de retención hidráulico considerado es de 26 días. El biorreactor está diseñado para soportar una presión de operación de 60 psi.

4. El número de colectores solares planos de tubos paralelos estimado para mantener la temperatura del agua en el tanque de calentamiento entre 40 y 44 °C, es de 10 colectores conectados en paralelo, la potencia generada por cada colector es de 469 W y la circulación es forzada por medio de una bomba de 1 hp. El uso de colectores solares para calentamiento de agua no tiene impacto ambiental alguno.

9.2. RECOMENDACIONES.

1. La preparación del sustrato y alineación de válvulas debe realizarse como se indica en el manual de operación, para la recolección del biol se debe descargar primero el biogas abriendo la válvula de bola y permitiendo que se quemé, luego se procede a abrir la válvula de compuerta para sustraer el biol .
2. La recolección de desechos orgánicos y preparación del sustrato debe ser realizado por personal capacitado, de modo que no exista inconveniente alguno en el momento de funcionamiento del sistema, el personal debe tener un mayor cuidado ya que son sustancias altamente perjudiciales para la salud.
3. Los parámetros que deben ser controlados en el sistema de biorreacción para que se la fermentación anaerobia son: el porcentaje de humedad del sustrato al menos del 85%, temperatura promedio en el interior del biorreactor de 32 °C, el ph del sustrato debe estar entre intervalos de 6.5 y 7.5 y la temperatura promedio en el tanque de agua debe estar entre los 40 y 44 °C.
4. Se debe mantener las cubiertas transparentes de los colectores solares siempre limpias y verificar la no existencia de sombras. Comprobar que no existan fugas internas en las uniones de tuberías secundarias con las tuberías principales, realizar el mantenimiento preventivo mediante su manual.