

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Estudio de viabilidad de implementación de fuentes de energías renovables en la hacienda El Guadual.

Rafael Campuzano Ayala

Tesis de grado presentada como requisito para la obtención del título de
Ingeniero Mecánico

Quito, Mayo 2010

© Derechos de autor
Rafael Campuzano Ayala
2010

Resumen

El “Estudio de viabilidad de implementación de fuentes de energías renovables en la hacienda El Guadual” consta de dos grandes partes. Por un lado el análisis de las necesidades en términos de energía eléctrica, solar térmica y de biogas; así como de los recursos disponibles en El Guadual. Por otro, el proyecto propone las recomendaciones necesarias para llevar a cabo la implementación de tecnologías de producción energética en la hacienda. El trabajo se inicia con una presentación de la Hacienda El Guadual, sus requerimientos energéticos actuales así como la demanda energética prevista con la construcción del proyecto de hostería. Continúa con la presentación de cada uno de los recursos así como la propuesta de selección de equipos aplicables en El Guadual. Finalmente el trabajo presenta un estudio económico y de posible implantación del proyecto. Las conclusiones a las que se llega revelan que el proyecto es viable, a pesar de que los tiempos de recuperación económica sean extensos. Se presentan, a la vez, recomendaciones tanto a nivel económico como a nivel de de operaciones de la hostería.

Abstract

The Project “Estudio de viabilidad de implementación de fuentes de energías renovables en la hacienda El Guadual” is divided into two sections. On one hand there is an analysis in terms of the needs related to electrical power, water heating and biogas; as well as the study of resources available at El Guadual. On the other hand, the project proposes all of the recommendations needed to undergo the actual building and operation of the energy producing technologies in the site. The present work starts with a presentation and description of Hacienda El Guadual, its current and future energetic needs as the entire project foresees a lodging project. This work carries on with a presentation of every resource available and a selection of the equipment to be installed at El Guadual. Finally, an economic study is presented alongside a possible layout for all of the three parts. The conclusions reveal that this project is fully viable, even though the economic recovery times are rather long. At the same time, recommendations are presented both in the economic field as well as in the field of the lodge operations.

Tabla de contenidos

1. Introducción	2
1.1. Descripción general	2
1.1.1. Ubicación geográfica	2
1.1.2. Actividades productivas	2
1.1.3. Proyección a futuro de hostería	3
1.2. Situación actual y futura	4
1.2.1. Demanda eléctrica actual	4
1.2.2. Demanda energética térmica actual	5
1.2.3. Demanda energética de GLP actual	6
1.2.4. Demanda eléctrica proyectada con construcción de hostería	7
1.2.5. Demanda térmica proyectada con construcción de hostería	9
1.2.6. Demanda de biogas proyectada con construcción de hostería	10
2. Energía hidroeléctrica	13
2.1. Marco teórico, la energía hidroeléctrica	13
2.1.1. Fundamentos hidráulicos	13
2.1.2. Presas, azudes y centrales	19
2.1.3. Equipos electromecánicos	24
2.1.4. Tecnologías de transmisión	29
2.1.5. Impacto al medioambiente	35
2.2. Recursos hídricos en El Guadual	39
2.2.1. Descripción de la zona proveedora del recurso	39
2.2.2. Datos aportados por mediciones directas	41
2.3. Estudio y diseño de la central hidroeléctrica	43
2.3.1. Embalse de aguas	43
2.3.2. Tuberías y rejillas	46
2.3.3. Casa de máquinas y turbina	49
2.3.4. Transmisión de energía eléctrica	52
2.3.5. Aseguramiento del caudal ecológico	53
3. Energía solar térmica	55
3.1. Marco teórico, la energía solar térmica	55
3.1.1. Radiación solar	55
3.1.2. Principios de conversión de la radiación solar	57
3.1.3. Transmisión y almacenamiento de calor	62
3.1.4. Equipos y estructura de una planta solar térmica	66
3.2. Recursos solares en El Guadual	72
3.2.1. Descripción de la zona proveedora del recurso	72
3.2.2. Interpretación de datos	73
3.3. Estudio y diseño de paneles solares para el calentamiento de agua	74
3.3.1. Dimensionamiento del conjunto de paneles solares necesarios	74
3.3.2. Sistema de almacenamiento de energía solar térmica	77
3.3.3. Sistema de transmisión de energía solar térmica	80
4. Biomasa	83
4.1. Marco teórico, la energía de biomasa	83
4.1.1. El recurso, biomasa.	83
4.1.2. Principios de transformación de biomasa en biogas	86
4.1.3. Tecnologías de producción de biogas	91
4.2. Recursos de biomasa en El Guadual	100
4.2.1. Descripción de la zona proveedora del recurso	100

4.2.2. Cantidad de producción del recurso	101
4.2.3. Interpretación de datos	102
4.3. Estudio y diseño de planta de biogas	104
4.3.1. Dimensionamiento y localización de planta de biogas	104
4.3.2. Almacenamiento de biogas	109
4.3.3. Transmisión de biogas	110
4.3.4. Manejo de desechos de biomasa	111
5. Estudio integrado de los diferentes componentes del proyecto	114
5.1. Estudio económico del proyecto	114
5.2. Implantación del proyecto	124
6. Conclusiones y recomendaciones	129
7. Bibliografía	131
8. Anexos	133
8.1. Tabla de radiación solar - Solar Database UMass	134
8.2. Hojas de datos de cocinas	139

Lista de Figuras y Tablas

Figura 1.1. Habitaciones modelos de la hostería en El Guadual	3
Figura 1.2. Posible implantación de las cabañas de la hostería.	4
Tabla 1.1. Demanda energética eléctrica actual de El Guadual	5
Tabla 1.2. Demanda de gas de El Guadual	6
Tabla 1.3. Consumo por quemador de cocinas de gama doméstica	7
Tabla 1.4. Demanda eléctrica proyectada de El Guadual	8
Tabla 1.5. Demanda proyectada de energía calórica para agua.	9
Tabla 1.6. Demanda proyectada de gas de El Guadual	10
Tabla 1.7. Consumos de gas de cocinas industriales	11
Figura 2.1. Flujo permanente y flujo variable	14
Tabla 2.1. Valores típicos de n	15
Figura 2.2. Flujo laminar y flujo turbulento	17
Figura 2.3. Rejilla y flujo de agua	18
Figura 2.4. Tipos de presas (de gravedad, de arco, de bóveda)	19
Figura 2.5. Azudes, de tierra, de concreto y de escollera.	20
Figura 2.6. Corte transversal de un azud	21
Figura 2.7. Volumetría de un azud	22
Figura 2.8. Esquemas de turbinas hidráulicas	26
Figura 2.9. Selección de turbinas hidráulicas	27
Figura 2.10. Esquema de engranajes en los reductores	28
Figura 2.11. Postes de madera	30
Figura 2.12. Postes de hormigón	31
Figura 2.13. Poste y torres de transmisión eléctrica.	32
Figura 2.14. Crucetas en postes.	33
Tabla 2.2. Temas a tomar en cuenta en el impacto ambiental	36
Figura 2.15. Sistema utilizado para recrear el lecho del río.	39
Tabla 2.3. Profundidad del río en período de lluvias y período seco.	40
Figura 2.16. Perfil del río en diferentes períodos.	40
Tabla 2.4. Velocidad de la superficie del río en caudal alto.	41
Tabla 2.5. Velocidad de la superficie del río en caudal bajo.	41
Tabla 2.6. Valores del caudal para período de caudal alto.	42
Tabla 2.7. Valores del caudal para período de caudal bajo.	43
Figura 2.17. Esquema de aguas para planta hidroeléctrica	44
Figura 2.18. Diagrama del corte de un azud	45
Figura 2.19. Diámetro y espesor de la tubería.	47
Figura 2.20. Sección transversal de barra de rejilla.	48
Figura 2.21. Plano esquemático de la casa de máquinas.	50
Figura 2.22 Tabla de selección de turbinas.	51
Figura 2.23. Rodete de turbina Michell-Banki.	51
Figura 2.24. Esquema de distancia mínima entre postes.	53
Figura 3.1. Mapa de incidencia solar en la superficie terrestre	56
Tabla 3.1. Colectores solares	58
Tabla 3.2. Absortividades y emisividades de diferentes materiales	59
Figura 3.2. Detalle de un panel solar simple	60
Figura 3.3. Algunos tipos de concentradores	62
Figura 3.4. Sistema solar pasivo	63
Figura 3.5. Sistemas activos de calentamiento solar	65
Figura 3.6. Estanque solar	66

Figura 3.7. Esquema de una planta solar térmica forzada	67
Figura 3.8. Esquemas de paneles solares.	69
Figura 3.9. Esquema de un colector sola plano	69
Figura 3.10. Tanques de almacenamiento de agua con y sin serpentín de intercambio de calor.	71
Tabla 3.3. Radiación solar incidente sobre algunos sitios de Ecuador	73
Figura 3.11. Esquema de paneles solares	77
Figura 3.12. Tanque esférico y cilíndrico.	78
Figura 3.13. Sistemas de almacenamiento de agua caliente	80
Figura 3.14. Esquema del sistema de calentamiento de agua de la piscina	81
Figura 3.15. Esquema de una tubería aislada	82
Tabla 4.1. Relación C-N para algunos tipos de biomasa	88
Tabla 4.2. Excremento y producción diaria típica por animal	88
Tabla 4.3. Propiedades y componentes del biogas	89
Tabla 4.4. Propiedades nutritivas del efluente según su origen	89
Figura 4.1. Sistema de manejo de substrato por contacto anaeróbico	94
Figura 4.2. Esquema de una rampa de carga.	97
Figura 4.3. Gasómetros de presión constante	99
Figura 4.3. Lugar de ordeño	100
Tabla 4.5. Producción de estiércol diaria de diferentes animales	101
Tabla 4.6. Estiércol disponible en El Guadual	101
Tabla 4.7. Cantidad de estiércol real disponible en El Guadual	102
Tabla 4.8. Producción de metros cúbicos de gas diaria proyectada.	103
Tabla 4.9. Características del biogas	103
Tabla 4.10. Comparación de contenido energético entre GLP y biogas.	104
Figura 4.4. Esquema de implantación del biodigestor.	105
Tabla 4.11. Producción y consumo de biogas.	106
Tabla 4.12. Consumo de gas de cocinas industriales	106
Tabla 4.13. Horas de consumo de equipos de gas.	107
Figura 4.5. Tabla de producción y consumo de biogas por hora.	108
Figura 4.6. Diagrama de tuberías del digestor	111
Figura 4.7. Rampa y cámara de carga del biodigestor.	112
Figura 4.8. Cámara de descarga.	113
Tabla 5.1. Costos de construcción hidroeléctrica	115
Tabla 5.2. Precios y aranceles de importación de turbinas	115
Figura 5.1. Turbinas Michell – Banki	116
Tabla 5.3. Consumo y costos de electricidad proyectados en El Guadual.	117
Tabla 5.4. Costos de construcción de la central solar térmica.	119
Figura 5.2. Diagrama de ingresos y egresos relativos a la planta solar	120
Tabla 5.5. Costos de construcción de biogas.	122
Figura 5.3. Comparación entre construcción y uso de GLP.	123
Figura 5.4. Casa de máquinas con turbina y generador.	125
Figura 5.5. Volumetría de paneles solares con tanques de almacenamiento	126
Figura 5.6. Implantación de paneles solares con referencia a la hacienda.	126
Figura 5.7. Lugar del digestor con respecto a la quesera y el ordeño.	128
Figura 5.8. Implantación de la planta de biogas con referencia a la hacienda.	128

1. Introducción

El modelo de desarrollo actual se basa en el uso de energías, tanto para proveer calor como para proveer electricidad. Debido al uso masivo de las energías muchas de las fuentes son no renovables, es decir que el tiempo de recuperación del recurso es mucho mayor que el tiempo de consumo del recurso. El uso de energías renovables busca reducir el consumo de recursos no renovables. Dentro de este marco, el presente trabajo expone el posible uso de energías renovables dentro de la Hacienda El Guadual. El trabajo consta de tres partes paralelas y una parte final de integración del proyecto. En primer lugar se analizará el recurso hídrico y se propondrá un diseño de una central hidroeléctrica dimensionada para la hacienda; en segundo lugar se analizará el recurso solar y se presentará un diseño de una central solar que cubra la demanda de energía térmica en la hacienda y finalmente se analizará el recurso de biomasa y se formulará una central que produzca suficiente biogas para cubrir la demanda esperada.

1.1.Descripción general

1.1.1. Ubicación geográfica

La hacienda El Guadual se ubica en la provincia de Napo, a 90 kilómetros de la ciudad de Quito. Su elevación se encuentra en orden de los 1650 metros de altura sobre el nivel del mar.

1.1.2. Actividades productivas

La hacienda El Guadual se dedica a la producción agrícola principalmente. Cuenta con 90 cabezas de ganado vacuno, 90 porcino y aproximadamente 10

caballos. Además de la producción animal, la hacienda El Guadual, dispone, también, de una quesería pequeña.

1.1.3. Proyección a futuro de hostería

La Hacienda El Guadual espera convertirse en una hostería de alto nivel, prestando servicios tanto de hospedaje como de alimentación y entretenimiento. En la zona de habitaciones se ha proyectado construir treinta cabañas con capacidad para dos personas. Las habitaciones estarán agrupadas de dos en dos y contarán con servicios tales como electricidad, televisión, agua caliente, ventiladores y mini refrigeradoras.



Figura 1.1. Habitaciones modelos de la hostería en El Guadual

La implantación de las cabañas se la realizará de frente al río Quijos en una superficie relativamente plana. La siguiente imagen muestra una aproximación de la implantación de todo el proyecto.

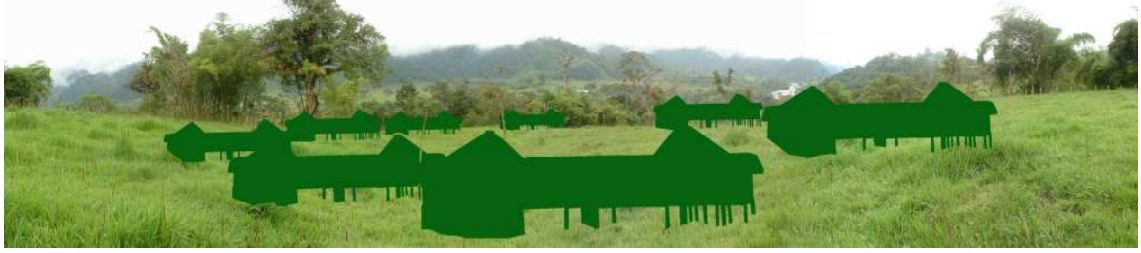


Figura 1.2. Posible implantación de las cabañas de la hostería.

Además de las cabañas, se ha acondicionado una zona de playa en la rivera del Quijos, que permitirá tanto acampar así como proveer un espacio de esparcimiento a un costado del río.

En cuanto a instalaciones diferentes a las de hospedaje, el Guadual espera construir un restaurante con suficiente capacidad para cubrir las necesidades de sus huéspedes

1.2.Situación actual y futura

1.2.1. Demanda eléctrica actual

Actualmente la hacienda El Guadual consta tanto de instalaciones de vivienda como de instalaciones productivas. En total se encuentran tres casas, una planta quesera, un sitio de ordeño y un pequeño establo porcino. El desglose de los elementos que consumen energía eléctrica en la situación actual de la hacienda puede ser visto en la tabla 1.1.

Instalaciones actuales de El Guadual			
Tipo	Cantidad	Potencia	
		individual (W)	Potencia total (W)
Casa 1			
Focos	5	60	300
Televisión	1	79	79
Refrigeradora	1	300	300
Licuada	1	300	300
Plancha	1	1100	1100
Equipo de música	1	80	80
Casa 2			
Focos	4	60	240
Refrigeradora	1	300	300
Plancha	1	1100	1100
Equipo de música	1	80	80
Casa Principal			
Focos	15	60	900
Televisión	1	79	79
Equipos de cocina			
Refrigeradora	1	300	300
Horno de microondas	1	2000	2000
Licuada	1	300	300
Quesera			
Motor de bomba	1	370	370
Descremadora	1	65	65
Motor Yogurt	1	190	190
Cuarto frío (2mx1,80mx3m a 1°C-4°C)	1	500	500
Vitrina refrigerada (1,4mx4mx1,7m)	1	350	350
Ordeño			
Motor de bomba de succión	1	1500	1500
Computadora	1	300	300
Trituradora	1	2200	2200
Focos	36	60	2160
Total			15093

Tabla 1.1. Demanda energética eléctrica actual de El Guadual

En el total de las actividades productivas que se realizan en la hacienda la potencia máxima requerida por todos los equipos es de 15093 W.

1.2.2. Demanda energética térmica actual

En la actualidad la hacienda El Guadual tiene como necesidades de energía térmica el calentamiento de agua sanitaria para las dos casas pequeñas y la casa grande. Por un lado el consumo de agua caliente es mínimo actualmente debido al

tipo de actividades que se realizan. En promedio una persona necesita de 612.5W diarios, según el Ingeniero Montoya, especialista y fabricante de paneles solares. Por otro lado existe también una necesidad de calentar la leche en la sección de la quesera, sin embargo esta energía será provista por medio del biogas. Al ser únicamente una hacienda productiva, es decir, sin tener todavía instalaciones hoteleras la demanda energética de calor es bastante baja. [6]

1.2.3. Demanda energética de GLP actual

En la actualidad la hacienda El Guadual utiliza el GLP para dos actividades, por un lado están las actividades de cocina, mientras que por otro, el consumo mayor de GLP está sujeto a la producción de queso. La sección de la quesera utiliza aproximadamente 5 tanques y medio de gas por semana, mientras que el consumo de gas destinado para las actividades de cocina está limitado a un consumo doméstico. La tabla 1.2 resume la demanda energética actual de gas en el sitio.

Demanda actual de gas de El Guadual	
Sitio	Cantidad total por semana (kg)
Quesería	82,5
Casa 1	4,03
Casa 2	4,03
Casa principal	1,73
Total	92,3

Tabla 1.2. Demanda de gas de El Guadual

Los datos del consumo de gas en la quesera fueron obtenidos en el sitio, mientras que los datos de consumo de gas de cocina en cada una de las casas fueron obtenidos utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = c \times t \times 7$$

Donde Q es la cantidad total de gas necesaria por semana (kg), c es el consumo de gas de la cocina por hora (kg/h), t es el tiempo de uso de la cocina al día (h) y el 7 permite tener un resultado de consumo de gas por semana.

Las consideraciones que se tomaron para determinar los consumos de las cocinas fueron las siguientes. Las cocinas, en el caso de las dos casas (1 y 2) son utilizadas durante 110 minutos al día repartidos de la siguiente manera: 30 minutos en la mañana, 80 minutos al medio día y 30 minutos en la noche. La tabla 1.3 muestra el consumo de gas por hornilla en cocinas de gama doméstica.

Cocinas domésticas	Consumo nominal Kg/h
Quemador Jackwal d=19cm	0,08
Cocina 2 quemadores Jackwal	0,16 Por quemador
Cocina Fadic 1y 2 Quemadores	0,39 Por quemador
cocina 1 hornilla CB1	0,4
Promedio	0,2575

Tabla 1.3. Consumo por quemador de cocinas de gama doméstica

Con los datos de la tabla 1.3. y aplicando el tiempo de uso de una cocina en una casa se obtienen los valores que completan la tabla de demanda de gas de El guadual.

1.2.4. Demanda eléctrica proyectada con construcción de hostería

Adicional a la demanda eléctrica actual de la hacienda hay que tomar en cuenta que el proyecto de hostería contempla la construcción de 30 habitaciones de dos personas, así como las instalaciones necesarias para el correcto funcionamiento de este tipo de proyecto turístico. La tabla 1.4 muestra la demanda eléctrica total de la hostería.

Instalaciones proyectadas de El Guadual			
Tipo	Cantidad	Potencia individual (W)	Potencia total (W)
Casa 1			
Focos	5	60	300
Televisión	1	79	79
Refrigeradora	1	300	300
Licuada	1	300	300
Plancha	1	1100	1100
Equipo de música	1	80	80
Casa 2			
Focos	4	60	240
Refrigeradora	1	300	300
Plancha	1	1100	1100
Equipo de música	1	80	80
Casa Principal			
Focos	15	60	900
Televisión	1	79	79
Equipos de cocina			
Refrigeradora	1	300	300
Horno de microondas	1	2000	2000
Licuada	1	300	300
Quesera			
Motor de bomba	1	370	370
Descremadora	1	65	65
Motor Yogurt	1	190	190
Cuarto frío (2mx1,80mx3m a 1°C-4°C)	1	500	500
Vitrina refrigerada (1,4mx4mx1,7m)	1	350	350
Ordeño			
Motor de bomba de succión	1	1500	1500
Computadora	1	300	300
Trituradora	1	2200	2200
Focos	36	60	2160
Instalaciones previstas de El Guadual			
Habitaciones (30)			
Focos	120	60	7200
Televisión	30	79	2370
Ventiladores	30	60	1800
Mini refrigeradora	30	72	2160
Piscina e instalaciones recreativas			
Equipos de piscina			
Filtros			
Bomba	2	2237	4474
Focos 300W-12V	4	300	1200
Equipos de hidromasaje			
Bomba (220V)	1	2237	2237
Equipos de hostería			
Cocina			
Refrigeradoras (2 compartimientos 46.5 ft3)	2	300	600
Congeladores (2 compartimientos)	1	300	300
Hornos	2	4000	8000
Licuada	1	450	450

Batidora	1	300	300
Plancha	3	1000	3000
Jugueras	2	250	500
Cafetera	1	750	750
Ventilación	4	60	240
Focos	12	60	720
Lavadora de platos	1	2250	2250
Limpieza			
Lavadoras	1	2800	2800
Secadoras	1	2000	2000
Aspiradoras	1	1200	1200
Varios			
Televisión	1	79	79
Computadoras	1	80	80
Bombas de agua	1	380	380
Ventiladores	4	60	240
Total			60423

Tabla 1.4. Demanda eléctrica proyectada de El Guadual

La demanda eléctrica total a partir de las potencias de cada uno de los equipos es de 60,423 kW.

1.2.5. Demanda térmica proyectada con construcción de hostería

La demanda de energía térmica proyectada con la hostería de 30 habitaciones y una piscina de aproximadamente 150 m³ se compone de la siguiente manera:

Elemento	Demanda unitaria	Demanda total
Piscina	300 W/m ³	45.000 W
Agua sanitaria cocina	7500 W/día	7.500 W
Agua sanitaria Habitaciones	612,5 W/persona	36.750 W
Total		89.250 W

Tabla 1.5. Demanda proyectada de energía calórica para agua.

Los cálculos de la tabla anterior se realizaron con un volumen de agua de 150 m³ en la piscina, una ocupación del 100% en las habitaciones y un promedio de uso de agua en cocina obtenido de textos especializados. Los valores referenciales de necesidad energética fueron obtenidos a partir de una entrevista con el Ingeniero Montoya, especialista en construcción de sistemas solares.

1.2.6. Demanda de biogas proyectada con construcción de hostería

La demanda de biogas en El Guadual viene dada directamente por el consumo de gas en la quesera, las cocinas individuales de cada casa y la cocina que tendrá el proyecto turístico. La tabla 1.6 resume el consumo promedio de gas.

Demanda proyectada de gas de El Guadual	
	Kg por semana
Demanda actual	92,3
Cocina de hostería	40,7
Total	133,0

Tabla 1.6. Demanda proyectada de gas de El Guadual

Al igual que en el caso de la determinación del consumo de gas actual, se utiliza una fórmula para determinar el consumo de gas proyectado para la cocina de la hostería.

$$Q = c \times t \times 7$$

Donde Q es la cantidad total de gas necesaria por semana (kg), c es el consumo de gas de la cocina por hora (kg/h), t es el tiempo de uso de la cocina al día (h) y el 7 permite tener un resultado de consumo de gas por semana.

De manera análoga que para el consumo de gas en cocinas domésticas, para las cocinas industriales se utilizaron los datos provistos por los fabricantes para realizar un cálculo promedio del consumo de gas, así como también se hicieron algunas consideraciones. La tabla siguiente muestra las cocinas industriales y su consumo de gas en total, es decir se han sumado los consumos tanto de todos los quemadores abiertos así como de hornos y planchas.

Cocinas industriales	Consumo Nominal Kg/h
Vulcan 4 hornillas	2,38
Vulcan 6 Hornillas	3,57
Coriat Múltiple	3,26
Coriat EC-6-H Grill	3,36
Vulcan 6 hornillas + 2hornos	5,36
Promedio de consumo sin Vulcan 6 hornillas + 2 hornos	3,1425
Promedio de consumo total	3,586

Tabla 1.7. Consumos de gas de cocinas industriales

Las consideraciones que se deben tomar en este caso es que no siempre los quemadores van a estar funcionando. Puesto que estos valores son del consumo total de todos los quemadores funcionando al mismo tiempo junto con el horno, se puede asumir que en promedio se utiliza la mitad de los quemadores y un 30% del horno. Aproximadamente el consumo del horno es un 30% del consumo total de la cocina, de acuerdo a las especificaciones técnicas de cada una de las marcas de cocina, por lo que el horno consume en promedio 1.2 kg/h de gas, y las hornillas consumen el 60% restante, es decir 2.38 kg/h aproximadamente. Tomando en cuenta los valores supuestos de consumo de gas una cocina consumirá

$$0.5 \times 2.38 + 0.3 \times 1.2 = 1.59 \text{ kg/h.}$$

Teniendo el consumo por hora de la cocina se tiene que considerar la cantidad de horas que va a estar funcionando la cocina. Durante horas de la mañana la cocina, con la mitad de sus quemadores prendidos y el 30% del horno funcionando, se mantiene prendida durante aproximadamente 40 minutos; al medio día la cocina funciona durante 80 minutos y en la tarde y noche la cocina funciona durante 100 minutos. Por lo tanto el tiempo que la cocina se encuentra prendida es de 220 minutos, equivalente a 3.66 horas. Este valor multiplicado por el consumo de la

cocina y posteriormente multiplicado por 7 es el que finalmente permite llegar a un consumo promedio semanal de gas en la cocina de la hostería.

2. Energía hidroeléctrica

2.1. Marco teórico, la energía hidroeléctrica

2.1.1. Fundamentos hidráulicos

2.1.1.1. Circulación del agua en conductos abiertos

La primera característica obvia de la circulación del agua a través de conductos abiertos es la existencia, siempre, de una superficie libre. Normalmente, la presión en la capa superior de agua en un canal es igual a la presión atmosférica, tomada como referencial o igual a cero. Sin duda tener una presión igual a la presión referencial facilita los cálculos, sin embargo, tener un flujo en un canal abierto dificulta en gran parte el estudio porque es muy difícil saber cual es la forma de la superficie. Las condiciones climáticas y la variabilidad de los flujos influyen directamente en la profundidad del agua y al mismo tiempo en la forma del perfil del canal, ya que a mayor altura de agua las paredes laterales cambian. En un canal abierto existe siempre un piso y dos paredes laterales que son fijas, el fluido en contacto con estas superficies satisface la condición de no deslizamiento, que dice que una partícula de un fluido en contacto con una superficie sólida tendrá la misma velocidad que dicha superficie. De características asociadas a cada fluido, como la viscosidad, la velocidad y la densidad; dependerá el perfil de velocidad que se genere en un canal, sea éste abierto o cerrado. La consecuencia que resulta de lo mencionado anteriormente es un perfil de velocidades tridimensional en un canal por el cual circule un fluido, sin embargo, una modelación ingenieril de la velocidad de un fluido en un canal se la toma como una media y es una constante V . [4]

En un canal abierto el agua puede escurrirse de diferentes maneras. Por un lado puede tratarse de un flujo permanente, cuando el tirante (distancia entre la base sólida del canal y la capa superficial del fluido) se mantiene constante en un período

dato. Puede ser también un flujo variable, en el cual el tirante no permanece constante (ver figura 2.1).

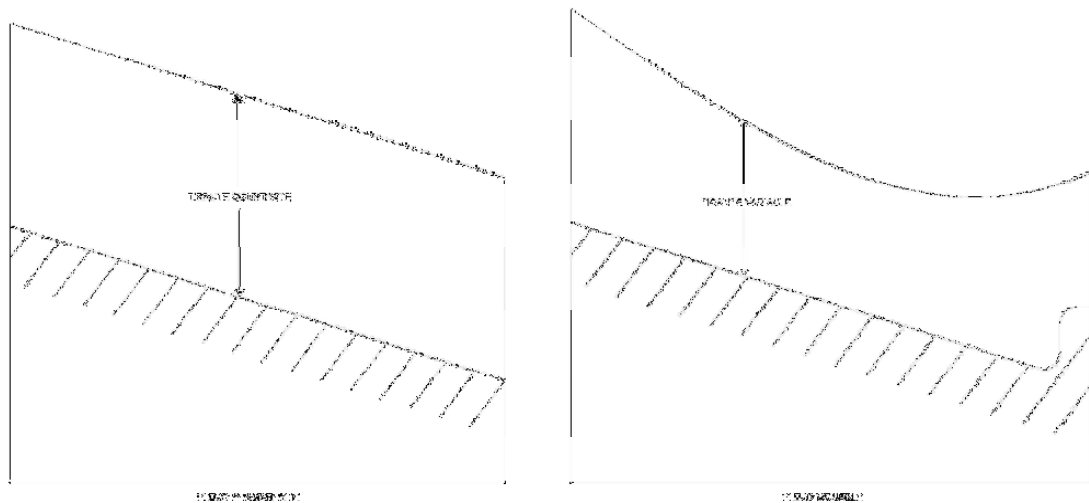


Figura 2.1. Flujo permanente y flujo variable

Las condiciones que un fluido tiene que satisfacer para que un flujo sea considerado permanente son:

- a) El tirante, la velocidad en todas las secciones y por lo tanto el caudal deben permanecer constantes. [4]
- b) La línea de nivel energético, la capa superficial del agua y el piso del canal deben ser paralelos. [4]

Para calcular el valor de la velocidad media en un canal abierto existe la fórmula de Chézy que relaciona un coeficiente, llamado factor de resistencia de Chézy (C), el radio hidráulico (R), que se obtiene al dividir el área de la sección transversal sobre el perímetro mojado, y la pendiente del fondo del canal que fue considerada como igual a la pendiente del gradiente de energía (S). La ecuación de Chézy se expresa como:

$$V = C\sqrt{RS}$$

El factor de resistencia de Chézy o coeficiente de Chézy depende de la rugosidad de los canales y se puede expresar de la siguiente manera:

$$C = \frac{1,49}{n} R^{1/6} \quad (\text{Para unidades inglesas})$$

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (\text{Para unidades S I}) [7]$$

Empíricamente se ha obtenido valores de n que han sido tabulados y se muestran en la tabla 2.1, de valores típicos.

Revestimiento del canal	mínimo	normal	máximo
a. Acero liso			
1. Sin pintar	0,011	0,012	0,014
2. Pintado	0,012	0,013	0,017
b. Cemento			
1. Limpio en la superficie	0,010	0,011	0,013
2. Con mortero	0,011	0,013	0,015
c. Madera			
1. Cepillada sin tratar	0,011	0,012	0,014
2. Cepillada creosotada	0,011	0,012	0,015
3. Planchas con listones	0,012	0,015	0,018
d. Hormigón			
1. Terminado con lechada	0,013	0,015	0,016
2. Sin terminar	0,014	0,017	0,020
3. Gunitado	0,016	0,019	0,023
e. Mampostería			
1. Piedra partida cementada	0,017	0,025	0,030
2. Piedra partida suelta	0,023	0,032	0,035
3. Fondo cemento, lados son rip rap	0,020	0,030	0,035
f. De tierra recto y uniforme			
1. Limpio, terminado recientemente	0,016	0,018	0,020
2. Limpio con cierto uso	0,018	0,022	0,025
3. Con musgo corto, poca hierba	0,022	0,027	0,033

Tabla 2.1. Valores típicos de n [7]

2.1.1.2. Circulación del agua en conductos cerrados

Todo fluido que circula en un conducto cerrado tiene energía. La energía potencial del fluido depende de la altura a la que un fluido circule con respecto a una referencia (h); La energía de presión viene dada por la presión (P) y el peso

específico del fluido (γ); mientras que la energía cinética del fluido comprende la velocidad (V), y la gravedad (g), multiplicadas por una constante.

Si se aplica la conservación de la energía se obtiene la Ecuación de Bernoulli, que engloba todas las formas de energía ya revisadas en una sola energía total.

$$H = h + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$$

Donde H es la energía total. [3]

Existen dos tipos de flujos en un canal confinado, el flujo laminar, que es cuando las partículas de agua se mueven una a continuación de la otra en una trayectoria rectilínea. Expresado de otra manera, Celso Penche, editor del Manual de Pequeña hidráulica de la Unión Europea, dice que un flujo laminar se puede determinar como el flujo en el que “el agua fluye en forma de tubos múltiples concéntricos, de pared muy delgada” (Penche, 1998). La velocidad máxima, se da en el tubo concéntrico que se encuentra en el centro del conducto cerrado. El otro tipo de flujo que puede existir en un fluido confinado a un ducto es el flujo turbulento; este se da cuando las partículas del fluido no se mueven de manera ordenada y nunca tienen la misma velocidad. En el caso del flujo turbulento las partículas que se encuentran junto a las superficies inmóviles del ducto tienden a frenar a las partículas que se mueven hacia el centro de la tubería, como causa de los choques desordenados el fluido tiene un perfil de velocidad más plano que en un flujo laminar y una velocidad en promedio más lenta. El siguiente gráfico ofrece una explicación clara de un flujo laminar y un flujo turbulento. [7]

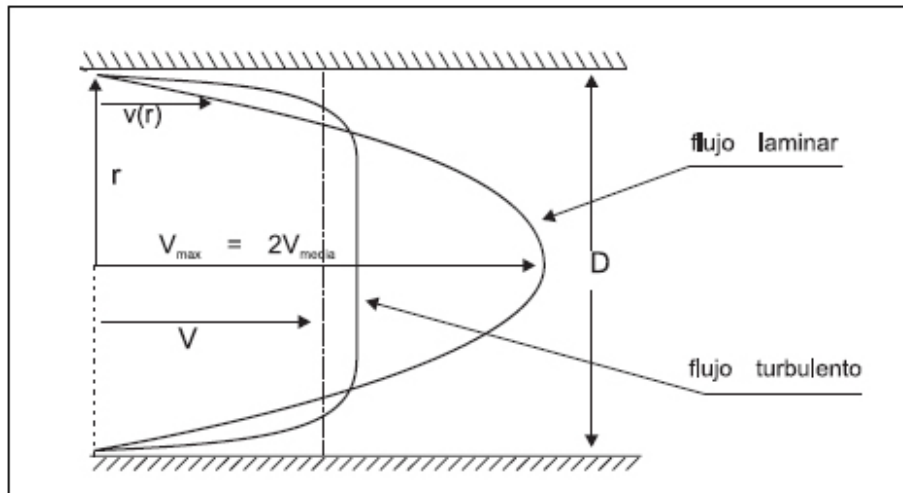


Figura 2.2. Flujo laminar y flujo turbulento [7]

La transición de flujo laminar a flujo turbulento es determinada por la densidad del fluido (ρ), el diámetro del tubo (D), la velocidad media del fluido (V) y el coeficiente de viscosidad del líquido (μ). El resultado de combinar estos elementos es un número adimensional llamado el número de Reynolds, que sigue la siguiente ecuación:

$$N_R = \frac{\rho DV}{\mu} \quad [7]$$

En la circulación del agua en conductos cerrados es importante notar las pérdidas de presión que pueden ocurrir tanto por fricción como por turbulencia, pérdidas en las rejillas de limpieza, por contracción de la vena, por curvatura de la vena y pérdidas a través de las válvulas. Tanto para flujos laminares como para flujos turbulentos la ecuación de Darcy-Weisbach determina a la pérdida de presión en un conducto cerrado por fricción y se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$h_f = f \left(\frac{L}{D} \right) \frac{V^2}{2g} \quad [7]$$

Las pérdidas por turbulencia son difíciles de determinar por lo que se recurre al uso de un factor de pérdida K , que se obtiene dividiendo la pérdida de carga h_f y la altura cinética $V^2/2g$.

Las pérdidas por turbulencia se diferencian en pérdidas por rejillas. Las rejillas son elementos filtrantes de partículas macroscópicas compuestos de barras que crean una pseudo superficie perpendicular al flujo de agua. La figura 2.3 muestra un esquema de rejillas; en a. se puede ver la barra mientras que b. es el flujo de agua.



Figura 2.3. Rejilla y flujo de agua

Las pérdidas, en este caso, se traducen por la ecuación siguiente:

$$h_t = K_t \left(\frac{t}{b} \right)^{4/3} \left(\frac{V_0^2}{2g} \right) \text{sen} \beta$$

Donde h_t es la pérdida, K_t es la constante de pérdidas por turbulencia, t es el espesor de la barra en mm, b es la separación entre barras en mm, V_0 es la velocidad de la corriente de agua, g es la constante gravitacional y β el ángulo entre la rejilla y la dirección del agua. [7]

La pérdida por contracción o expansión de la vena se cataloga dentro de las pérdidas por turbulencia y la fórmula es la siguiente:

$$h_c = K_c \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Con $K_c \approx 0.42 \left(1 - \frac{d^2}{D^2} \right)$

2.1.2. Presas, azudes y centrales

2.1.2.1. Presas

La presa es un elemento muy presente en un aprovechamiento de central hidroeléctrica. La función de una presa es elevar la lámina de agua o bien embalsarla para poder almacenarla. Lo que diferencia a una presa de una azud es que la presa, por lo general, eleva el nivel de agua en mayor proporción que un azud. En muchos casos el papel de la presa es almacenar agua para que, aun en épocas de estiaje, la central siga con su funcionamiento normal. Existen varios tipos de presas (ver figura 2.4), entre las más usadas están las presas de gravedad y presas de arco; existen también presas de bóveda, sin embargo el uso de las mismas es muy restringido en proyectos de microcentrales hidroeléctricas. [7]

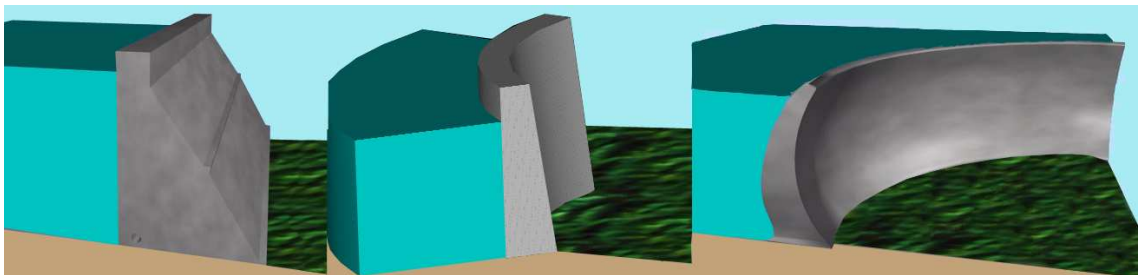


Figura 2.4. Tipos de presas (de gravedad, de arco, de bóveda)

Las presas pueden estar construidas con diferentes técnicas y con diferentes materiales, todo depende de las condiciones del sitio, el tamaño de la presa y los recursos destinados a construir una presa. Pueden ser, entonces, hechas de gaviones recubiertas con cemento, de tierra con revestimiento de piedra con o sin núcleo de cemento, de escollera (capas de piedras formando un dique). Las presas se pueden clasificar en pequeñas presas y grandes presas, las pequeñas presas son de interés para el presente estudio. Se llama pequeña presa a una que no tenga más de cinco metros de altura y cuya longitud no sea muy diferente a su altura.

2.1.2.2. Azudes

Un azud, al igual que una presa, cumple el papel de embalsar agua. Sin embargo, el azud es una estructura ubicada de manera transversal al cauce de agua pero de mucho menor tamaño que una presa. A diferencia de una presa, un azud no permite un embalse total del agua, la intención es provocar un alza del nivel en una corriente de agua, así como también reducir la velocidad para tener una toma de agua más calma. En un azud el agua que ha superado la altura del azud sigue su curso natural aguas abajo.

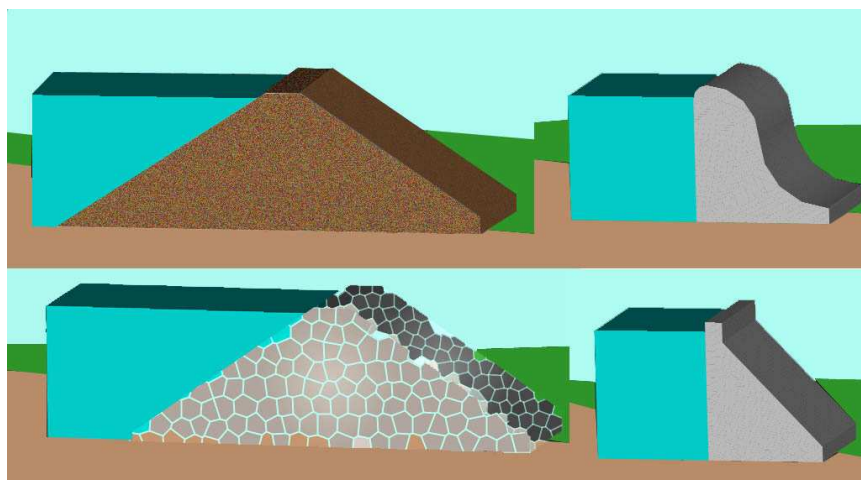


Figura 2.5. Azudes, de tierra, de concreto y de escollera.

Los azudes o muros de contención pueden ser dimensionados mediante el procedimiento propuesto por José Zurita Ruiz en el libro Construcciones Hidráulicas. Se debe construir un rectángulo A,B,C,D, en el que la altura será la que sea necesaria dependiendo de la aplicación. La base será igual a dos terceras partes de la altura. Del punto D hacia la derecha habrá que aumentar un quinto de la altura, donde se fijará el punto E. El punto G se obtiene reduciendo en un quinto de la altura la distancia desde A hacia B. Para obtener el punto F se debe determinar un ancho de coronación aproximadamente un sexto de la altura. El punto H que determina la forma del azud es una proyección vertical del punto G hacia el piso, sin embargo es recomendable, destaca Zurita, que si la altura del azud es de más de un metro y medio, dar un talud a la pared interna uniendo los puntos G con C. La figura 2.6 muestra el corte y dimensiones de un azud y la figura 2.7 una vista volumétrica de un azud. [7]

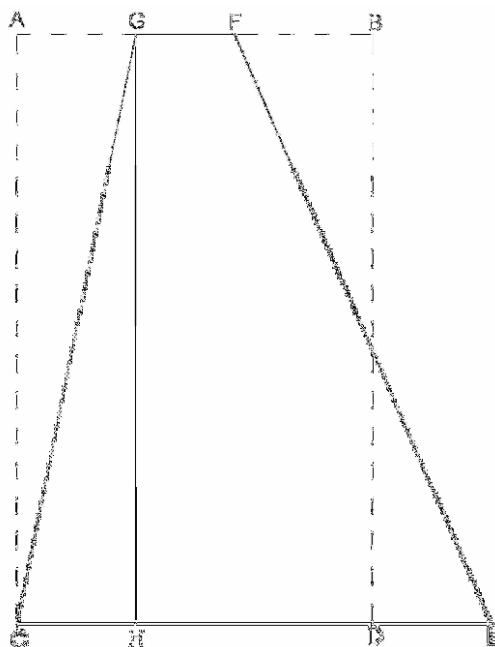


Figura 2.6. Corte transversal de un azud [7]

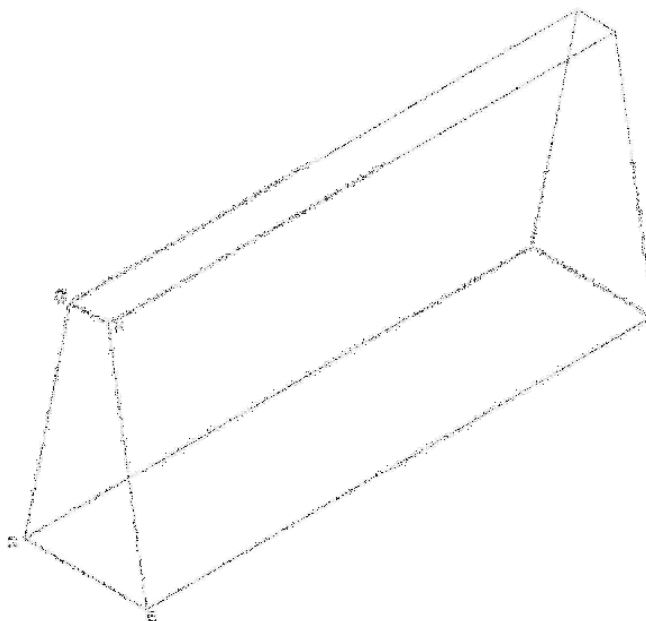


Figura 2.7. Volumetría de un azud

2.1.2.3. Centrales

El conjunto de elementos de embalse y transformación de energía cinética del agua en energía eléctrica se conoce como central. Existen varios tipos de microcentrales y es posible clasificar en diferentes maneras. Una clasificación propuesta por el Manual de Pequeña Hidráulica de la Comunidad Europea dice que las centrales pueden agruparse bien por la altura de salto que tienen o por el tipo de aprovechamiento del recurso. En el caso de la primera clasificación se propone que las centrales pueden entrar dentro de tres categorías diferentes: [7]

- De alta caída: salto de más de 150 m
- De media caída: salto entre 50 y 150 m
- De baja caída: salto entre 2 y 20 m

Cuando se las clasifica en base al tipo de aprovechamiento las centrales se agrupan de la siguiente manera:

- Centrales de agua fluyente

- Centrales a pie de presa con regulación propia
- Centrales en canal de riego o tubería de abastecimiento de agua.

Las centrales de agua fluyente son estructuras que aprovechan el recurso hídrico sin tener un embalse de agua. Las obras civiles que se realizan sirven únicamente para tomar agua del río y dirigirla a la casa de máquinas, el agua después de ser turbinada es retornada al flujo de agua previo. En algunos casos se hace necesaria la construcción de un azud o de una pequeña presa para elevar el nivel y remansar las aguas. Este tipo de centrales funcionan siempre y cuando el caudal en el fluyente sea mayor al mínimo técnico de las turbinas que hayan sido instaladas en la central. Si se diera el caso de tener un caudal menor al mínimo técnico de las turbinas la central deberá apagarse.

La construcción de una presa conlleva el almacenamiento de agua para que ésta pueda ser utilizada cuando sea necesario. Por lo tanto una central de pie de presa puede generar electricidad de una manera planificada. El agua pasa ya sea por un conducto en la parte inferior de la presa o por un sifón. Cuando las centrales son con sifón se recomienda que la altura de la presa no sea mayor a 10 metros.

Se puede también aprovechar otro tipo de estructuras que sirvan para desviar o utilizar el agua, como son las estructuras de riego o sistemas de alimentación de agua potable. En estos casos, existe ya una estructura que contiene agua, generalmente se trata de canales artificiales en los que la vida silvestre no es un problema, de acuerdo al Manual de Pequeña Hidráulica de la Comunidad Europea. Si los canales son lo suficientemente profundos se puede instalar una turbina de tipo sumergida. En estos casos es necesario tener un canal de desviación en caso de paro de la turbina. [7]

2.1.3. Equipos electromecánicos

2.1.3.1. Turbinas

El equipo que se encarga de transformar la energía que tiene el agua es la turbina. Existen diversos tipos de turbinas así como clasificaciones de las mismas. La clasificación más común es dividir las por la manera en la que transforman la energía, así resultan dos grandes categorías: las turbinas de acción y las turbinas de reacción (ver figura 2.8). Las turbinas de acción basan su principio de funcionamiento en la energía cinética del agua. En este tipo de equipos, el agua llega en forma de chorro a una gran velocidad que choca contra las cubetas que se encuentran en la parte externa de un rodete. La gran velocidad del agua se obtiene por medio de toberas o inyectores. El principio es que el diámetro de la sección se estrecha de manera uniforme, haciendo que el agua salga a una mayor velocidad y al mismo tiempo con una dirección más precisa. El otro tipo de turbina es la turbina de reacción. En este caso la presión del agua ejerce una fuerza sobre los álabes de la turbina provocando movimiento al tiempo que el agua se mueve con respecto a los álabes. Las diferencias tanto en funcionamiento como en construcción son diferentes en ambos tipos de turbinas. En el primer caso la carcasa de la turbina, al no ser necesario que soporte presión puede ser delgada y de un material liviano; por el contrario en el caso de las turbinas de reacción la carcasa debe ser de un material lo suficientemente resistente y con una construcción robusta. [8]

Dentro del grupo de turbinas de acción se encuentran las turbinas Turgo y las Pelton. Las turbinas Pelton (Figura 2.8 a.) se caracterizan por un chorro que entra de manera tangencial y de manera completamente perpendicular a las cucharas. Para aumentar la velocidad de entrada del agua se utilizan toberas o inyectores

compuestos de válvulas de aguja que, como resultado, expelen agua a una alta velocidad.

El otro tipo de turbina, la Turgo (Figura 2.8 b.), aparece como una variante de la Pelton. En este tipo de turbina el agua entra por medio de toberas o inyectores, al igual que en una turbina Pelton, pero con un ángulo de 20° con respecto al plano determinado por el rodete. La mayor eficiencia de la turbina Turgo con respecto a la Pelton viene dada porque el chorro de la Turgo incide sobre varios álabes al mismo tiempo y el agua que sale pasa a través del disco formado por los álabes sin topar en los diametralmente opuestos.

Una tercera turbina que puede entrar dentro de las catalogadas como de acción es la turbina de flujo cruzado. Esta turbina está compuesta de álabes largos situados de manera que el agua, que entra a través de un difusor, empuja el rodete moviendo la turbina. Se conoce a esta turbina como Ossberger en honor a la marca que la fabrica o de Michell-Banki por los nombres de sus inventores (Figura 2.8 c.). Si bien la turbina de flujo cruzado tiene un rendimiento menor que el de las demás turbinas, 87% máximo, es una turbina muy versátil. Puede ser usada con caudales desde 20 l/s hasta 10 m³/s y puede tener alturas entre 1m y 200m. La ventaja de esta turbina radica en que el rendimiento se mantiene prácticamente constante cuando el caudal real llega, incluso, hasta el 16% del caudal nominal y tiene un caudal mínimo técnico menor al 10% del caudal de diseño.

El otro gran grupo de turbinas son las llamadas de reacción. En este tipo de turbinas la presión del agua juega un papel importante en la generación de movimiento. Las turbinas Francis (Figura 2.8 d.), turbinas de reacción, se conocen como turbinas de admisión total y de flujo radial. En este caso el agua entra por la parte externa de los álabes y es dirigida hacia el centro, el concepto opuesto al de

una bomba de aceleración centrífuga. En muchos casos se hace necesario utilizar un difusor para bajar la velocidad con la que el agua deja la turbina para devolverla al cauce natural.

Otro tipo de turbina es la turbina de hélice o Kaplan (Figura 2.8 e. y f.). En este dispositivo el agua entra perpendicular a la superficie circular y sale de la misma manera. Se puede improvisar una turbina de reacción utilizando bombas centrífugas como turbinas, sin embargo, debido a que las bombas no pueden variar los ángulos de los álabes o la velocidad del rodete las bombas deberán ser utilizadas como turbinas únicamente en caso de disponer de un caudal y una caída prácticamente constantes. [8]

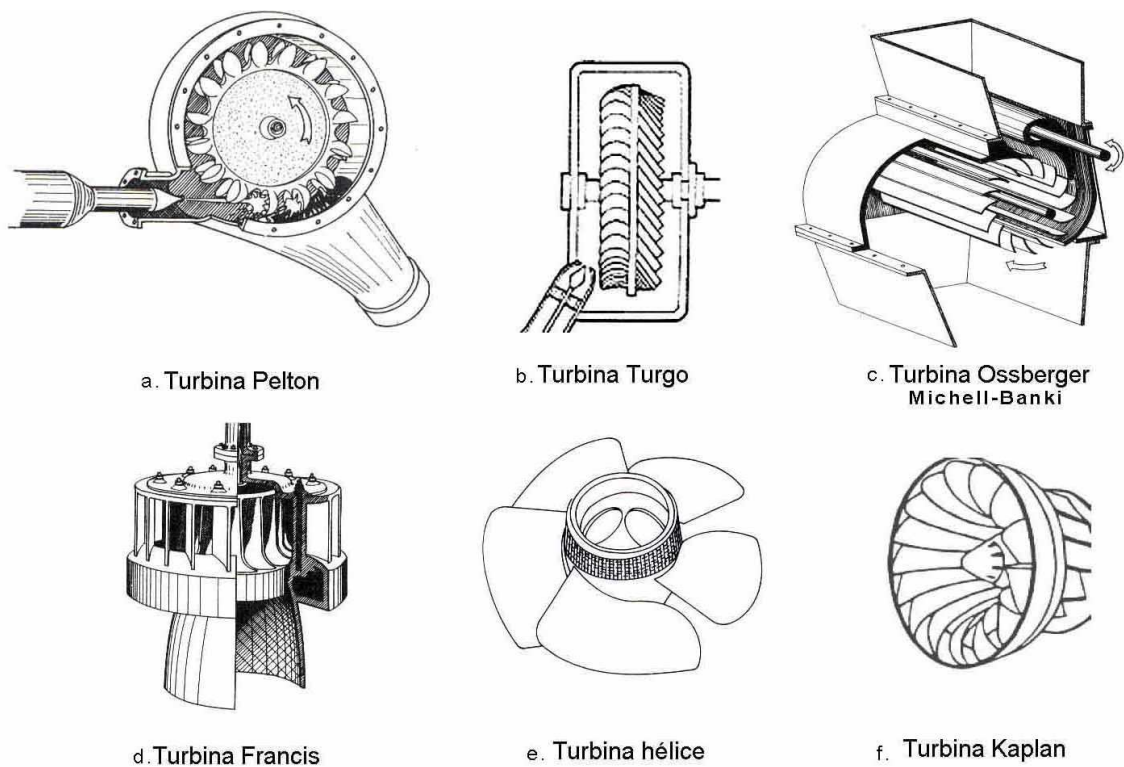


Figura 2.8. Esquemas de turbinas hidráulicas

Los criterios de selección de una turbina son, generalmente, indicados por el caudal y por la altura del salto de agua. La figura 2.9 resume las zonas de mejor acción para cada una de las turbinas.

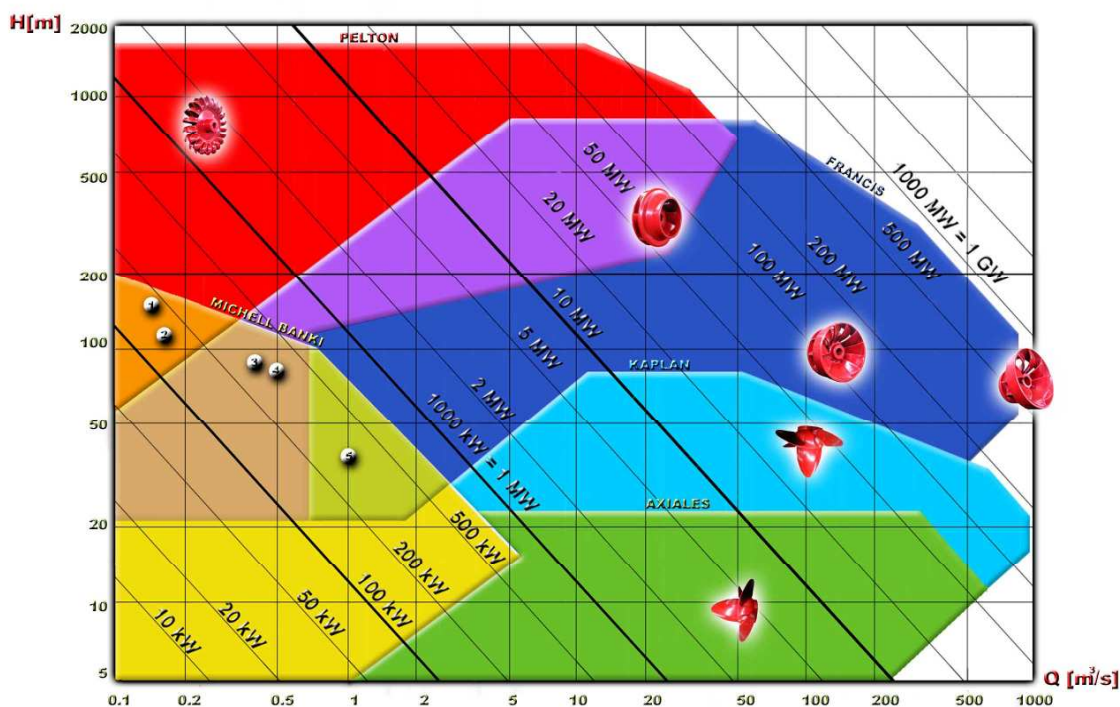


Figura 2.9. Selección de turbinas hidráulicas [9]

2.1.3.2. Multiplicadores de velocidad

En una central de baja potencia, generalmente presentes en los proyectos microhidroeléctricos, las velocidades de las turbinas no suelen ser muy elevadas. Sin embargo, los generadores muchas veces funcionan con velocidades altas, por lo que se hace necesario un multiplicador de velocidad que funcionará en base a relaciones mecánicas. Existen varios tipos de multiplicadores o cajas de velocidad. Los multiplicadores que utilizan engranajes ya sean rectos o helicoidales montados en ejes paralelos son conocidos como multiplicadores paralelos (ver figura 2.10). Los reductores que pueden transmitir el movimiento en una dirección diferente a la de entrada utiliza engranajes cónicos y es conocido como multiplicador cónico.

Finalmente, el equipo que permite una reducción eficaz con tamaños compactos utiliza un sistema de engranajes planetarios, por lo que es conocido como multiplicador epicicloidal. [2]

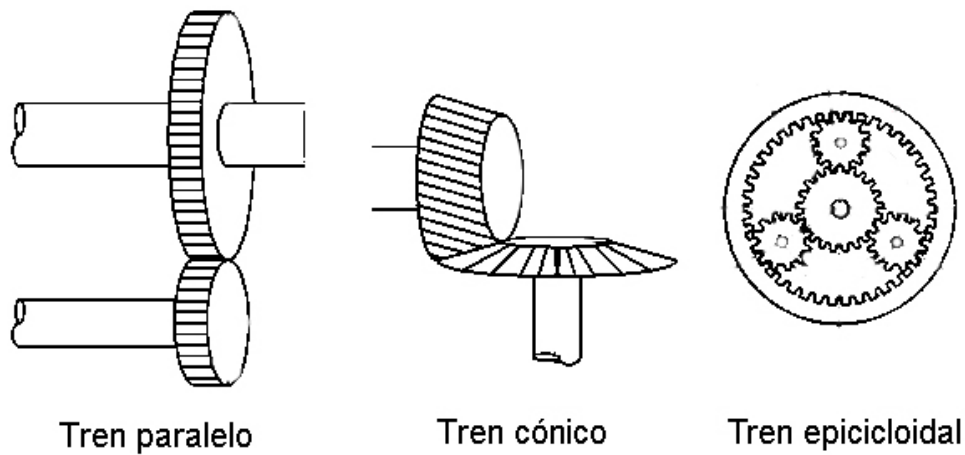


Figura 2.10. Esquema de engranajes en los reductores

2.1.3.3. Generadores

Los generadores son los equipos que se encargan de transformar la energía cinética de rotación que sale de las turbinas en energía eléctrica. Se puede claramente distinguir entre los alternadores síncronos y los alternadores asíncronos. La diferencia principal entre los dos tipos diferentes de generadores es que los de tipo síncrono tienen que ser igualados a una velocidad tal que les permita tener el mismo voltaje, frecuencia y ángulo de fase que la red a la cual proveerán; mientras que los de tipo asíncrono no necesitan esta consideración previa.

Si se quiere magnetizar un generador síncrono para que éste pueda trabajar correctamente es necesario darle una potencia reactiva de la red. La frecuencia de la red forzaría al generador a aumentar su deslizamiento en dependencia de la potencia que sea necesaria suministrar. La ventaja del generador síncrono es que el funcionamiento es estable y no hay necesidad de utilizar un regulador de velocidad

en la turbina. Otra de las ventajas de un generador asíncrono es que no necesita ser llevado a una velocidad determinada. Cuando la intención es poner en marcha la generación eléctrica se debe simplemente abrir la admisión de la turbina y al llegar al 90% o 95% de la velocidad de sincronismo se acciona un relé que conecta la línea de transmisión al generador. La puesta en funcionamiento de un generador síncrono comienza por una apertura en la admisión de la turbina y se aumenta gradualmente la velocidad hasta que la frecuencia, los desfases y el sentido de rotación sean los deseados. [7]

2.1.4. Tecnologías de transmisión

Las tecnologías de transmisión comprenden varios temas; tanto las pérdidas en las líneas de transmisión como la construcción de las mismas. El siguiente segmento tratará sobre los elementos necesarios para construir una red de transmisión eléctrica así como las consideraciones que se deben hacer al momento de dimensionar una red eléctrica.

Elementos de una red eléctrica

2.1.4.1. Postes y crucetas

En la construcción de redes eléctricas se pueden diferenciar varios tipos de postes, desde los más simples de madera hasta los postes más complicados hechos de una estructura de acero. Los postes de madera son los postes más rudimentarios de todos; su bajo costo permite su utilización en cualquier escenario. Algunas consideraciones se deben tomar al usar postes de madera, como cubrir la base que será enterrada con algunas sustancias antibacteriales y protectoras de la corrosión del suelo; otra consideración es utilizar perfiles en I de acero para asegurar la

rectitud del poste. Para asegurar una posición robusta de los postes pueden ser utilizados dos postes que serán unidos y de esta manera se mantendrán en pie. La figura 2.11 muestra las configuraciones posibles de dos postes de madera, usadas cuando los esfuerzos a los que son sometidos son demasiado grandes para un solo poste. [17]

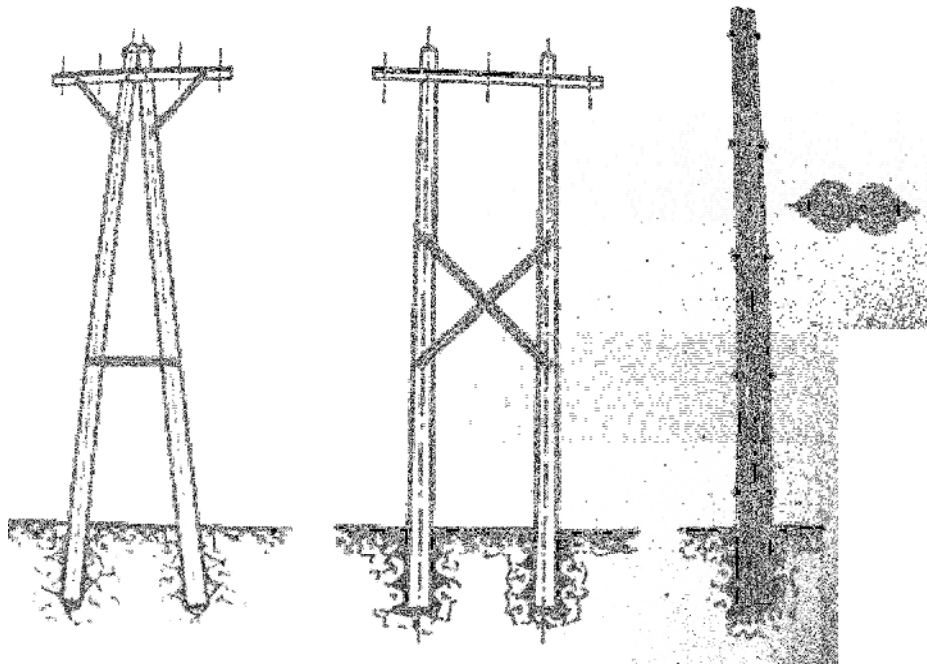


Figura 2.11. Postes de madera

Además de los postes de madera existen también los postes más comunes vistos dentro de las ciudades, los postes de hormigón. Existen varios tipos de postes de hormigón. El poste, de sección circular, y vacío por dentro, es hecho por un proceso de centrifugado. Además de este tipo, existen los postes de hormigón armado y los de hormigón precomprimido. La mayor desventaja de los postes de hormigón es el costo ya que por sus características la manufactura se encarece, además de que deben ser hechos en un taller y luego transportados, lo que encarece más el poste. Las ventajas que presentan los postes de hormigón es que pueden resistir de mejor manera a los esfuerzos sometidos tanto por las líneas eléctricas como por otros

elementos que se encuentren acoplados a los mismos. La figura 2.12 esquematiza tres tipos diferentes de postes de hormigón. De izquierda a derecha los postes presentados son el poste de sección variable, el poste de área circular vacío por dentro y una configuración de dos postes sujetos entre sí.

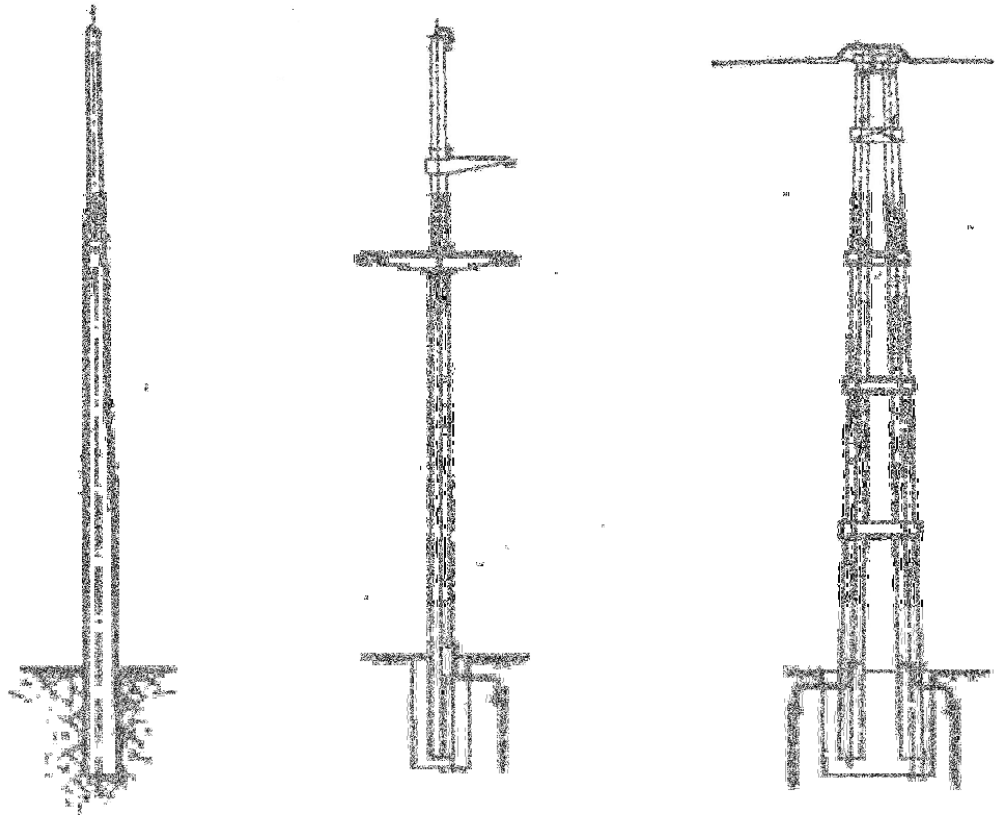


Figura 2.12. Postes de hormigón

Los postes metálicos son, sin duda, los más conocidos en cuanto a líneas de transmisión de energía se refiere. Existen varios tipos de postes, los de tubos y los de celosía. Por lo general los postes utilizados en las redes de distribución son los de celosía, que están hechos a partir de perfiles laminados de acero y unidos entre sí por medio de tornillos o remaches. La ventaja principal de los postes metálicos es que éstos pueden ponerse más espaciados unos de otros permitiendo una distancia de línea más larga entre postes. La figura 2.13 muestra diferentes tipos de postes y torres metálicas de transmisión eléctrica. [17]

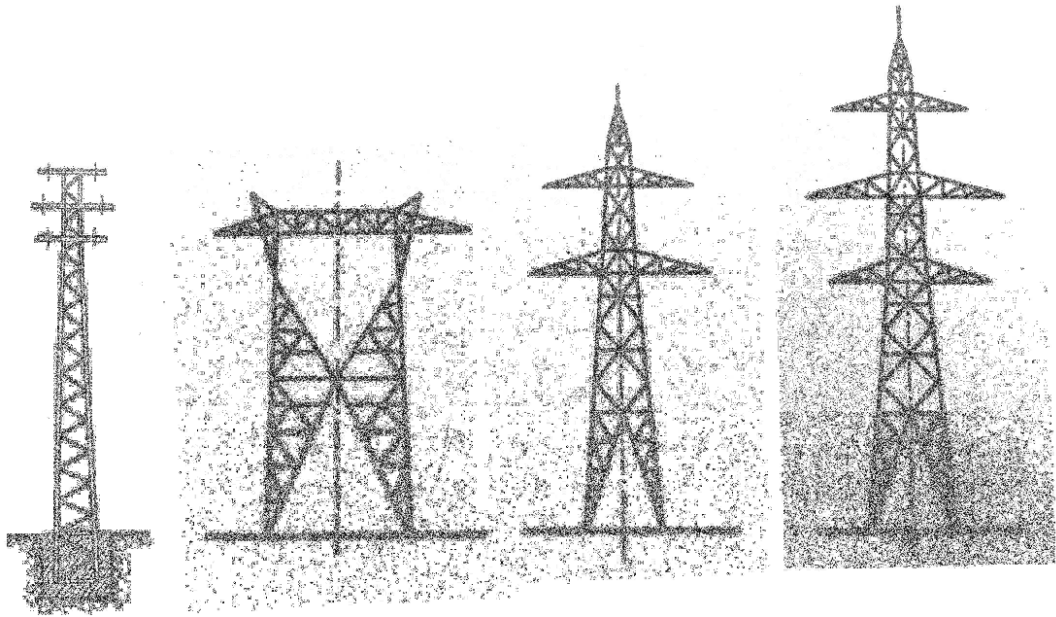


Figura 2.13. Poste y torres de transmisión eléctrica.

Los postes sirven para levantar el tendido eléctrico del nivel del suelo, sin embargo, hace falta un elemento de soporte que permita mantener los cables en su sitio alejados uno de otro; estos elementos son conocidos como crucetas. En el caso de los postes de hormigón y de acero las crucetas pueden ser integradas a la construcción del poste, mientras que en el caso de los postes de madera las crucetas siempre tendrán que ser agregadas al cuerpo principal. Si bien en los postes de acero y hormigón se pueden integrar las crucetas de forma tal que la construcción del poste incluya cruceta, es común ver crucetas adicionales en los postes, sobretodo en los de concreto. La figura 2.14 muestra diferentes tipos de crucetas; en a) se puede ver una cruceta metálica sobre un poste de madera, la cruceta está fijada al poste por medio de pernos que lo atraviesan; en b) es una cruceta integrada en la construcción de un poste de hormigón, se puede ver claramente la estructura hecha de varillas en el interior del poste; en c) y d) son crucetas de madera sobre postes de madera, en c)

la cruceta está fija por medio de pernos que atraviesan el poste mientras que en d) se fija gracias a una brida que abraza el poste.

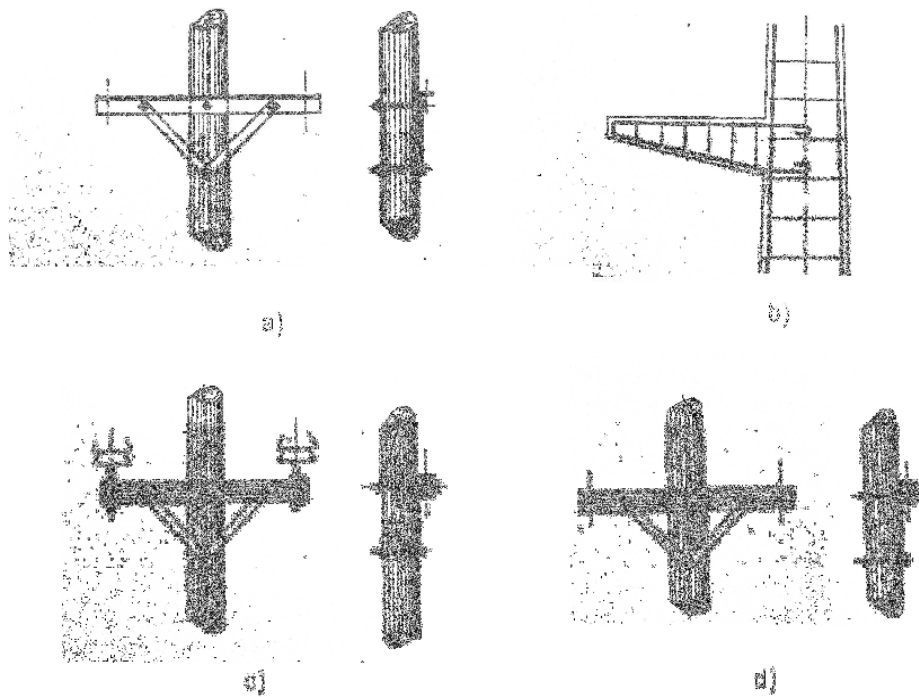


Figura 2.14. Crucetas en postes.

2.1.4.2. Resistencia en cables

Al transmitir energía desde un punto hasta otro es necesario tomar en cuenta la pérdida de voltaje que inevitablemente ocurrirá. En las redes de corriente alterna, la pérdida de tensión se da como producto tanto de la resistencia óhmica como de la inductancia y la capacidad de los conductores. A tomar en cuenta dentro de la pérdida de tensión en una red eléctrica se encuentra el efecto Kelvin, debido a los efectos de la inducción que se producen en la masa del conductor, lo que origina una resistencia aparente. En corriente alterna, la resistencia de un conductor no magnético responde a la siguiente fórmula: [17]

$$R_A = R(1 + 7.5 \cdot f^2 \cdot d^4 \cdot 10^{-7}) [\Omega]$$

Para la fórmula anterior, R es la resistencia del conductor (Ω), f es la frecuencia de la corriente (Hz) y d es el diámetro del conductor (cm). De acuerdo a Gaudencio Zopetti en su libro “Redes Eléctricas de Alta y Baja Tensión” el aumento en la resistencia de un conductor no es significativo, afirma. Usando datos tales como la frecuencia de 60 Hz y visto que los cables utilizados para la transmisión de electricidad no son mayores a 2 cm la resistencia del conductor será:

$$R_A = R(1 + 7.5 \cdot f^2 \cdot d^4 \cdot 10^{-7}) = R(1 + 7.5 \cdot 60^2 \cdot 2^4 \cdot 10^{-7}) = 1.043R \quad [17]$$

Esto significa que hay un aumento de 4.3% de la resistencia en el conductor. Con el valor de la resistencia de la línea de transmisión es fácil calcular la pérdida de voltaje en la línea de transmisión. La forma más fácil de calcular es a partir de la relación:

$$V = I \cdot R$$

Esta relación sirve siempre y cuando la carga no sea inductiva, en un caso diferente habrá que tomar en cuenta tanto el factor de potencia, lo que lleva a tener que utilizar las siguientes ecuaciones:

$$V = R \cdot I_1 \cdot \cos \varphi$$

$$I_1 = \frac{W_1}{V_1 \cdot \cos \varphi}$$

Donde W_1 es la potencia de la línea de transmisión (W), V_1 el voltaje necesario en el inicio de la línea y $\cos \varphi$ el factor de potencia. [17]

Con una carga de 36534 W en El Guadual la corriente necesaria para todos los equipos y la caída de voltaje serán de aproximadamente:

$$I_1 = \frac{W_1}{V_1} \quad I_1 = \frac{36534W}{110V} = 323.13A$$

$$Rc = \frac{2 \times \rho \times l}{A}$$

$$V_c = 332.13 \times 0.017 = 5.5V$$

Estos valores sirven para un cable de sección de 5cm, en caso de usar un cable de menor diámetro la caída de voltaje sería demasiado grande.

2.1.5. Impacto al medioambiente

2.1.5.1. Identificación de impactos al medioambiente

En la construcción y funcionamiento de una central micro hidroeléctrica existen muchos factores que pueden impactar en el medioambiente. Los impactos pueden afectar tanto a animales como a humanos que vivan en los alrededores y a la vegetación circundante al sitio de la central.

De acuerdo al Manual de Pequeña Hidráulica de la Dirección General de Energía de la Comisión de las Comunidades Europeas los principales temas a tomar en cuenta en materia de impacto ambiental se encuentran resumidos en la tabla 2.2.

gravamen	receptor	impacto	importancia	
GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD				
Durante la construcción				
construcción de caminos/y tráfico rodado	público general	Ruidos	baja	
		Accidentes	baja	
		Efecto de las emisiones s/ la salud	baja	
	calidad del aire	Emisiones de los vehículos	baja	
		cambio climático	Emisiones de los vehículos	baja
		Animales salvajes	Disturbios por ruidos	baja
	Bosque	Accidentes por colisión	media	
		Mejor acceso al bosque	media	
		Pérdida producción futura	baja	
	Accidentes	Trabajadores	Heridas leves	media
Heridas graves			alta	
Muertes			alta	
Creación de empleo	público general	Beneficios para la localidad	alta	
		Beneficios a escala nacional	media	
Durante la explotación				
por excesivo nivel de ruidos	trabajadores	sobre la salud	media	
por modificación del caudal	habitantes	sobre la salud	media	
	Peces	pérdida de hábitat	alta	
	Plantas acuáticas	pérdida de hábitat	media	
	Aves	pérdida de hábitat	media	
	Fauna	pérdida de hábitat	media	
	Calidad del agua	dilución contaminantes	baja	
	Público general	efectos estéticos	alta	
		culturales y arqueológicos	alta	
		eliminación de cascadas	alta	
		pérdida de terreno	alta	
pérdida producción futura		alta		
pérdida de hábitat		alta		
clima local		insignific.		
por embalses y presas	Agricultura	calentam.global (metano)	no probado	
	Forestal	eutrofización	baja	
	Ecosistema acuático	pérdida de objetos	alta	
	Público general			
	Calidad del agua			
TRANSMISIÓN DE ELECTRICIDAD				
Durante la construcción				
Accidentes	trabajadores	leves	media	
		graves	alta	
		muerte	alta	
aumento ingresos locales	público general	creación de empleo y efectos locales y nacionales	alta	
Durante la explotación				
presencia física	Forestal	pérdida de producción futura	media	
	público general	intrusión visual	media	
	aves	heridas, muertes	media	
campos electromagnéticos	público general	cánceres	inexistente	
	accidentes	leves	insignific.	
		graves	insignific.	
accidentes en mantenimiento	trabajadores	muerte	insignific.	
		leves	insignific.	
		graves	insignific.	
creación de empleo	público general	muerte	insignific.	
		beneficio local	alta	
		beneficio nacional	media	

Tabla 2.2. Temas a tomar en cuenta en el impacto ambiental [7]

2.1.5.2. Reconocimiento y evaluación de impactos

Se hace necesario determinar qué impactos afectarán tanto al medioambiente que rodea el sitio de una micro central como a las personas que hacen su vida en los alrededores. Para una mejor clasificación de los impactos es útil dividirlos entre los impactos ocasionados en etapa de construcción y etapa de funcionamiento.

En etapa de estudio y construcción hay impactos ocasionados por la construcción de embalses. El acceso al sitio de construcción implica que se deba abrir caminos para llegar hasta el lugar en el que se piensa construir, afectando así a la zona en diferentes formas. Por un lado está la pérdida de suelo por erosión o paso constante de vehículos, por otro lado, los movimientos de tierras y la construcción con materiales como el hormigón crean desperdicios que tienen que ser tomados en cuenta al momento de hacer un estudio de impacto. Los efectos más directos de una presa en el cauce de un río son las inundaciones en la cuenca del río o el bloqueo que el embalse pueda producir en el curso del río afectando a las especies animales. Los ruidos que se producen en la fase de construcción pueden molestar tanto a animales como a humanos. Otro de los temas a tomar en cuenta en la etapa de construcción es que el movimiento de tierras puede causar una turbiedad no esperada aguas abajo, en el río, por lo que algunas especies de peces pueden verse afectadas.

En fase de funcionamiento existen más impactos al medioambiente. Uno de los principales es el impacto sonoro que afecta principalmente a las aves. El ruido proviene principalmente de la casa de máquinas, más precisamente de las turbinas o de los reductores. De acuerdo al Manual de Pequeña hidráulica, las plantas provistas de turbinas Kaplan son las que presentan un nivel más alto de sonido. Un segundo tipo de impacto en las centrales generadoras de electricidad es el impacto

paisajístico que las mismas crean. Por lo general, en centrales creadas en el pasado, no se tomaba en cuenta este impacto y como resultado es posible ver, en algunos casos, las tuberías forzadas que sobresalen del suelo o las grandes masas de hormigón que constituyen el bloqueo del cauce natural del río. La casa de máquinas es otro impacto visual grande. Cuando se trata de construcciones que no toman en cuenta el entorno, las casas de máquinas se convierten en grandes bloques de hormigón que llaman la atención de una manera no conveniente.

En conclusión, existen muchos factores que pueden influir en el impacto al medioambiente, ya sean éstos sonoros, visuales o biológicos. [8]

2.1.5.3. Mitigación y caudal ecológico

Los impactos al medioambiente no pueden ser pasados por alto en la construcción de una micro central hidroeléctrica. Es importante después de reconocer los impactos generar un plan que permita controlar las variables presentes para evitar que el daño sea grave.

En vista de mitigar los problemas potenciales por erosión de suelos es importante hacer un trazado de camino que afecte de la menor manera posible al medioambiente, es decir, que si existe naturalmente un espacio de suelo duro y que pueda no afectarse mucho por la erosión se deberá elegir ese. [8]

2.2. Recursos hídricos en El Guadual

2.2.1. Descripción de la zona proveedora del recurso

El guadual cuenta con un río pequeño que pasa a través de la extensión de terreno. A lo largo del trayecto del río hay caídas que pueden ser muy aprovechables. Se tomó una parte del río donde el agua corría a una buena velocidad y en la que se podía medir con bastante facilidad el perfil de profundidad del lecho. Se utilizó una referencia linear perpendicular a la corriente de agua y tenía divisiones cada 25 centímetros. En cada uno de los inicios de los segmentos de 25 centímetros se utilizó una barra graduada que, una vez sumergida, marcaba la profundidad del lecho. La figura 2.15 es una ilustración del sistema utilizado para recrear una sección del lecho del río. [8]

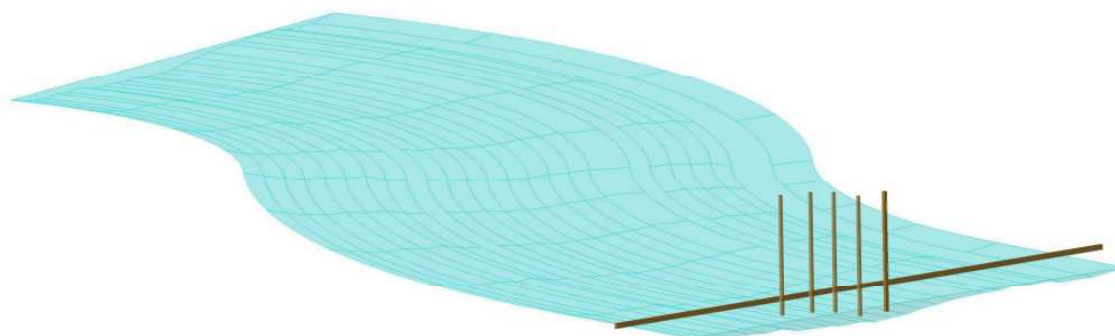


Figura 2.15. Sistema utilizado para recrear el lecho del río.

La tabla obtenida después de las mediciones marca la profundidad en cada parte del río donde se sumergió la barra graduada. Las profundidades varían dependiendo de la época del año, por lo tanto la profundidad en período seco va a ser diferente a la profundidad medida durante el período de lluvias.

Punto	Distancia (m)	Profundidad período seco (cm)	Profundidad período de lluvias (cm)	Punto	Distancia (m)	Profundidad período seco (cm)	Profundidad período de lluvias (cm)
0	0,00	0	0	17	4,25	15	23
1	0,25	0	3	18	4,50	11	19
2	0,50	0	6	19	4,75	9	17
3	0,75	0	8	20	5,00	6	14
4	1,00	5	13	21	5,25	5	13
5	1,25	8	16	22	5,50	4	12
6	1,50	10	18	23	5,75	4	12
7	1,75	8	16	24	6,00	1	9
8	2,00	10	18	25	6,25	2	10
9	2,25	8	16	26	6,50	1	9
10	2,50	13	21	27	6,75	5	13
11	2,75	14	22	28	7,00	5	13
12	3,00	14	22	29	7,25	5	13
13	3,25	16	24	30	7,50	0	8
14	3,50	15	23	31	7,75	0	6
15	3,75	18	26	32	8,00	0	3
16	4,00	16	24	33	8,25	0	0

Tabla 2.3. Profundidad del río en período de lluvias y período seco.

Con base en todos estos datos se puede dibujar una sección del río para posteriormente obtener el área y gracias a las mediciones de velocidad del agua se puede obtener el caudal que circula a través del río. El lecho del río se ve de la siguiente manera:



Medición 1 caudal bajo
Área transversal 5762,5 cm²



Medición 2 caudal alto
Área transversal 10262,5 cm²

Figura 2.16. Perfil del río en diferentes períodos.

2.2.2. Datos aportados por mediciones directas

Las mediciones del río se hicieron tanto en días cuando el caudal era bajo así como en días cuando el caudal era alto. Las tablas 2.4 y 2.5 muestran las velocidades medidas en la superficie del río.

Intento	distancia (m)	tiempo (s)	velocidad (m/s)
1	4	10,22	0,391
2	4	10,57	0,378
3	4	9,42	0,425
4	4	10,53	0,380
5	4	9,85	0,406
6	4	10,52	0,380
7	4	9,92	0,403
8	4	10,14	0,394
9	4	9,76	0,410
10	4	9,96	0,402
11	4	10,23	0,391
12	4	9,87	0,405
Promedio			0,397

Tabla 2.4. Velocidad de la superficie del río en caudal alto.

Intento	distancia (m)	tiempo (s)	velocidad (m/s)
1	5	11,24	0,445
2	5	12,04	0,415
3	5	11,97	0,418
4	5	10,91	0,458
5	5	12,60	0,397
6	5	10,52	0,475
7	5	11,56	0,433
8	5	10,99	0,455
9	5	11,83	0,423
10	5	11,79	0,424
11	5	11,28	0,443
12	5	10,87	0,460
Promedio			0,437

Tabla 2.5. Velocidad de la superficie del río en caudal bajo.

Con los datos de velocidad se puede obtener un valor del caudal, tanto en épocas de caudal alto como en épocas de caudal bajo. El área transversal del río varía en dependencia de la época del año.

El caudal se obtiene a partir de la multiplicación de las velocidades observadas y el área transversal del río. Sin embargo, la velocidad que se ha medido en la superficie del río no refleja la velocidad media de todo el cauce del agua, por lo que el Manual de Pequeña Hidráulica, de la Comisión Europea, recomienda que se multiplique el valor de la velocidad obtenido por un factor de 0.75 para compensar el gradiente de velocidades entre el fondo del canal y la superficie. Por lo tanto, se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q = 0.75 \times V \times A,$$

Las tablas 2.6 y 2.7 muestra los valores de caudal en base a las tablas de mediciones anteriores y resultan en un caudal promedio tanto para períodos de caudal alto como de caudal bajo.

Área transversal del río (m ²)				1,02625
Intento	distancia (m)	tiempo (s)	velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	4	10,22	0,391	0,402
2	4	10,57	0,378	0,388
3	4	9,42	0,425	0,436
4	4	10,53	0,380	0,390
5	4	9,85	0,406	0,417
6	4	10,52	0,380	0,390
7	4	9,92	0,403	0,414
8	4	10,14	0,394	0,405
9	4	9,76	0,410	0,421
10	4	9,96	0,402	0,412
11	4	10,23	0,391	0,401
12	4	9,87	0,405	0,416
Promedio			0,397	0,408

Tabla 2.6. Valores del caudal para período de caudal alto.

Área transversal del río (m ²)				0,57625
Intento	distancia (m)	tiempo (s)	velocidad (m/s)	Caudal (m ³ /s)
1	5	11,24	0,445	0,256
2	5	12,04	0,415	0,239
3	5	11,97	0,418	0,241
4	5	10,91	0,458	0,264
5	5	12,60	0,397	0,229
6	5	10,52	0,475	0,274
7	5	11,56	0,433	0,249
8	5	10,99	0,455	0,262
9	5	11,83	0,423	0,244
10	5	11,79	0,424	0,244
11	5	11,28	0,443	0,255
12	5	10,87	0,460	0,265
Promedio			0,437	0,252

Tabla 2.7. Valores del caudal para período de caudal bajo.

Con los datos obtenidos tanto del caudal como de la velocidad se puede dimensionar una central para satisfacer la demanda energética establecida en la hostería.

2.3. Estudio y diseño de la central hidroeléctrica

2.3.1. Embalse de aguas

Dentro de los proyectos de la hostería El Guadual, se piensa hacer un embalse de aguas para el crecimiento de truchas. La construcción de esta obra beneficia, sin duda, al proyecto hidroeléctrico. El tener el agua en reservorio en una parte alta permitirá crear una tubería de presión, que llegue hasta la casa de máquinas, lo suficientemente larga como para que la energía cinética del agua sea transformada en la energía eléctrica necesaria. A pesar de tener el agua disponible, gracias al embalse para la crianza de truchas, ésta no puede ser utilizada directamente ya que debe encontrarse prácticamente sin ningún tipo de suciedad. Se debe utilizar un estanque de pico de pato que permitirá sedimentar los sólidos más densos y así permitir que el agua entrante a la tubería de presión sea limpia. La figura 2.17

esquematiza los tanques necesarios, el tanque a) esquematiza el embalse de agua para el crecimiento de truchas, el tanque b) es un tanque de limpieza del agua con un aliviadero de pico de pato, llamado así por la forma del separador de sedimentos; la tubería c) es la tubería de presión que llega a la casa de máquinas d)

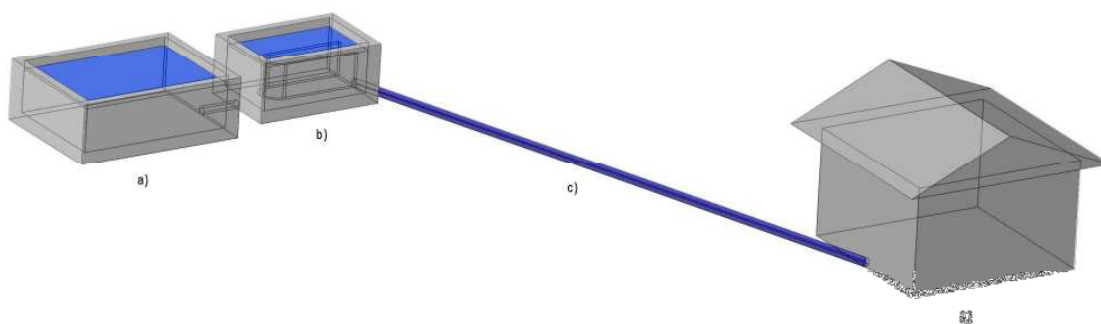


Figura 2.17. Esquema de aguas para planta hidroeléctrica

Si bien el embalse de aguas permitirá tener una energía almacenada, es necesario tomar en cuenta que no se puede utilizar un caudal mayor al caudal entrante al embalse, por lo tanto el caudal efectivo del que se dispone es el mismo que el visto en la sección 2.2.2. El embalse de agua será capaz de soportar un nivel de aproximadamente 10 metros, lo que significa que a partir de la figura explicativa para construcción de un azud la sección del elemento bloqueante será la siguiente (ver figura 2.18):

- Altura (AC) = 10m
- Base (CE) = $10 \cdot (2/3) + 10 \cdot (1/5) = 8.667\text{m}$
- Distancia (AG) = $10 \cdot (1/5) = 2\text{m}$
- Distancia (AF) = $10 \cdot (1/5) + 10 \cdot (1/6) = 3.667\text{m}$

El azud, con las dimensiones dadas tiene un área transversal de 51,67 m², que multiplicado por la longitud del canal que deberá obstruir determina el volumen de

material a ser utilizado para la construcción. Como se vio en la sección 2.1.2.2, los azudes pueden ser hechos tanto de concreto como de terraplén y piedras. [7]

La tubería de salida del embalse principal puede ser un sifón invertido, es decir que pasa por encima del volumen del azud, de esta manera se evita hacer un agujero en el azud y éste puede ser más robusto. Por otro lado, es importante que la tubería que salga del estanque principal esté provista de una rejilla en su toma ya que no es conveniente que los peces pasen de un estanque a otro, es igualmente efectivo utilizar una red capaz de atrapar a los peces, sin embargo esto puede llegar a presentar problemas, no para las tuberías pero sí para los peces, podrían llegar a quedar atrapadas sus aletas en las mallas.

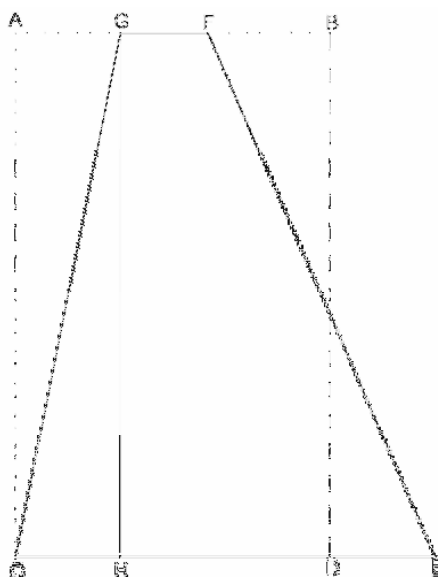


Figura 2.18. Diagrama del corte de un azud

2.3.2. Tuberías y rejillas

2.3.2.1. Tuberías

La selección de tuberías para la central debe ser lo suficientemente cuidadosa. El diámetro y el espesor son de gran importancia en estos casos (ver figura 2.19). Por un lado se puede programar un diámetro para que las pérdidas por fricción cumplan con un porcentaje del total de la altura disponible. La fórmula para calcular el diámetro de la tubería es:

$$D = \left(\frac{10.3 \cdot Q^2 \cdot n^2 \cdot L}{h_f} \right)^{0.1875} \quad [7]$$

En la fórmula Q es el caudal (m^3/s), n es el rendimiento del material del cual están hechas las tuberías, L es la longitud de la tubería (m) y h_f es la altura efectiva. Asumiendo pérdidas por fricción en la tubería que no sean mayores a 5% del total de la altura disponible entonces el diámetro de la tubería tiene que ser:

$$D = \left(\frac{10.3 \cdot Q^2 \cdot n^2 \cdot L}{1.05H} \right)^{0.1875} = 0.564m$$

Para llegar a ese resultado se ha utilizado un caudal de $0,4m^3/s$, que de hecho es el caudal mayor que se midió en el río; se ha utilizado también un n de 0.012 correspondiente a tuberías de acero; una longitud de 50m de tubería y una caída de 20m. El espesor de la tubería es de gran importancia, depende directamente de las propiedades del material así como también depende de la presión interna y de las demás cargas aplicadas a la tubería, como anclajes. Como una primera aproximación el “Manual De Pequeña Hidráulica” recomienda que se utilice la siguiente relación:

$$t_{\min} = \frac{(D + 508)}{400} \quad [7]$$

De la fórmula anterior se puede determinar un espesor de pared para la tubería de al menos 2.5mm, mientras que ASME recomienda un espesor en milímetros de 2.5 veces el diámetro en metros más 1.2, es decir en este caso un espesor de 2.425mm.

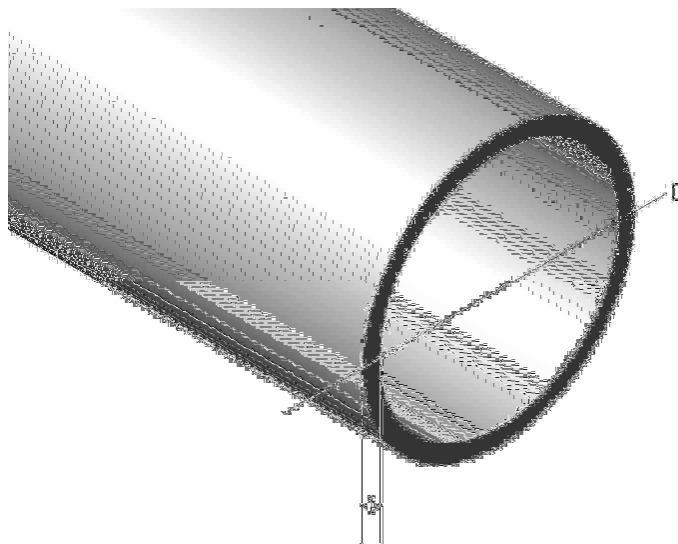


Figura 2.19. Diámetro y espesor de la tubería.

2.3.2.2. Rejillas

Las rejillas deben tener una separación entre barras lo suficientemente grande como para que el agua pueda fluir pero al mismo tiempo tienen que ser lo suficientemente pequeñas como para que los peces no puedan pasar del reservorio al tanque previo a la tubería de presión. Lo más recomendable sería utilizar rejillas cuyas barras tengan una sección transversal que a medida que el fluido las rodea su espesor se hace más pequeño, como en la figura 2.20:



Figura 2.20. Sección transversal de barra de rejilla.

Tomando en cuenta los costos, sin embargo, se puede optar por rejillas con barras transversales de sección circular. Lo más importante en la rejilla es la separación entre las barras. Una trucha adulta puede llegar a medir entre 60 y 80 cm, con un ancho de 12 a 15cm, por lo tanto es necesario que las barras de las rejillas se encuentren separadas entre ellas por menos de 12 cm. Se debe pensar también en las truchas no adultas, es decir las truchas más pequeñas, estas truchas serían capaces de atravesar las rejillas aún si las adultas quedaran atrapadas del otro lado, por lo que, una separación entre barras de dimensión correcta, que permita un paso de agua sin mayor complicación y al mismo tiempo detenga a las truchas, es de entre 8 y 10cm. Una solución alternativa a las rejillas son las redes para evitar que los peces pasen de un lado a otro, sin embargo hay que utilizar las redes con cuidado puesto que las truchas podrían quedar atrapadas en las redes.

2.3.3. Casa de máquinas y turbina

La casa de máquinas deberá ser de un tamaño suficiente como para poder contener el complejo turbina-generador, un tablero de control y un regulador de velocidad. Si bien en muchos proyectos micro hidroeléctricos se opta por no hacer una casa de máquinas sino más bien utilizar la turbina al aire libre, en este caso, por beneficios tanto para la vista, el medio ambiente y las personas es recomendable hacer una casa de máquinas. La casa de máquinas no necesariamente tiene que ser hecha de materiales de construcción como cemento y bloques, bien puede tratarse de una casa de máquinas hecha con materiales de la zona. Las ventajas de construir una casa de máquinas es que los equipos electromecánicos se verán protegidos permanentemente del clima. Por otro lado, el ruido que pudieran causar los equipos se ve minimizado si se encuentran dentro de una casa de máquinas, además del mejoramiento del paisaje ya que la casa de máquinas puede tener un diseño acorde con la vegetación de la zona. De la documentación disponible, el conjunto de turbina-generador tiene una dimensión de 120cm x 90cm x 105cm + 80cm x 60cm x 50cm. [24] Para tener un espacio holgado en la casa de máquinas, la propuesta es construir un espacio cerrado de 20 m², de esta manera los equipos podrán ser emplazados de manera fácil mientras que existirá espacio suficiente para poder ubicar el tablero de control y el regulador de velocidad. Sin duda, es mejor dimensionar una casa de máquinas que permita un crecimiento de ser necesario, si fuera necesario utilizar una segunda turbina, ya sea por un aumento en la demanda o para tenerla de respaldo. La figura 2.21 muestra una vista en planta de los espacios ocupados y los espacios necesarios para la casa de máquinas.

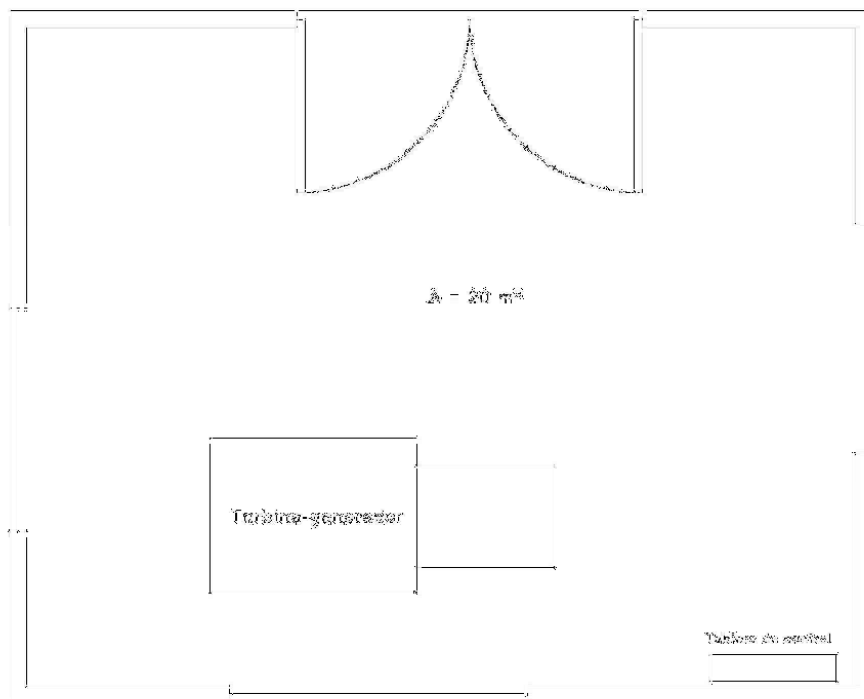


Figura 2.21. Plano esquemático de la casa de máquinas.

Con el fin de evitar daños por exceso de vibración es recomendable que el suelo de la casa de máquinas sea de un material macizo, la opción principal es tener un piso de concreto, lo que permitirá reducir las vibraciones y al mismo tiempo aumentará la carga que pueda soportar el piso.

Lo más importante en el proyecto microhidroeléctrico es la selección de la turbina. Dadas las condiciones de El Guadual, la mejor turbina a instalar sería una de tipo Michell-Banki (Ossberger). Una turbina con flujo tangencial al sentido del giro del rodete. De acuerdo a la tabla de selección (Figura 2.22) el caudal y la altura disponibles en El Guadual permiten una instalación de manera correcta de este tipo de turbina.

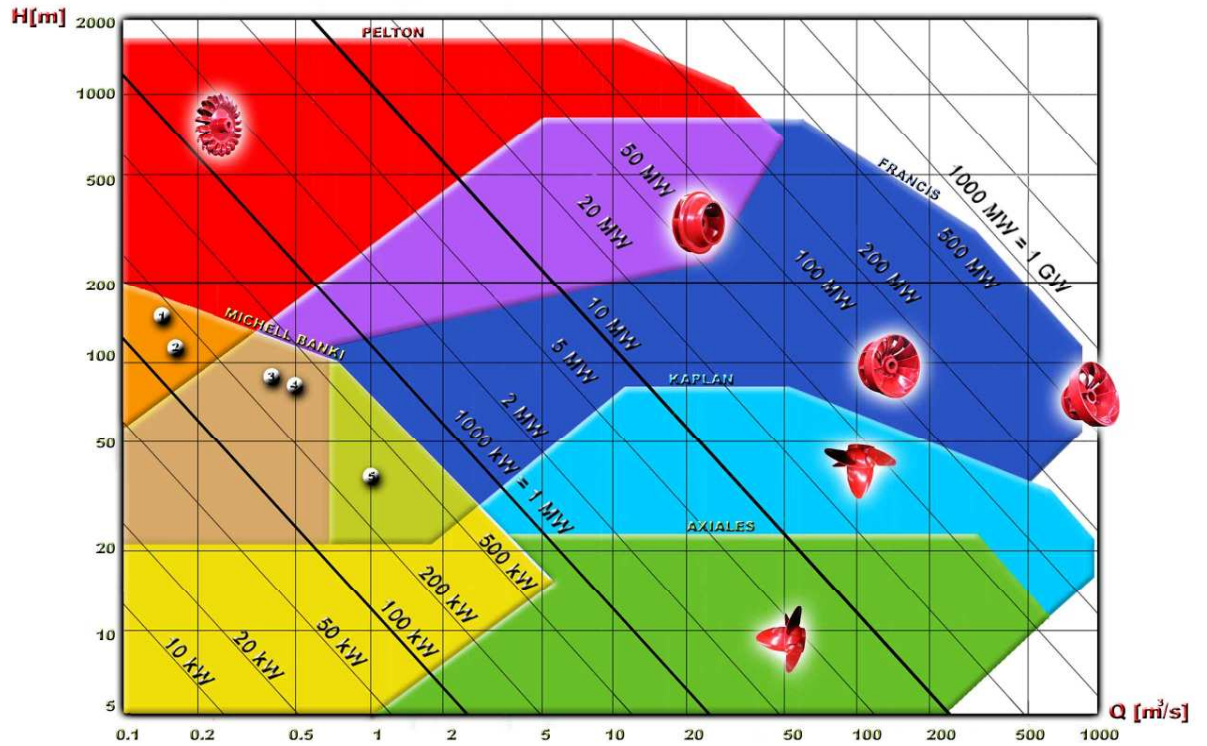


Figura 2.22 Tabla de selección de turbinas. [9]

La figura 2.23 muestra el rodete de una turbina Michell-Banki.

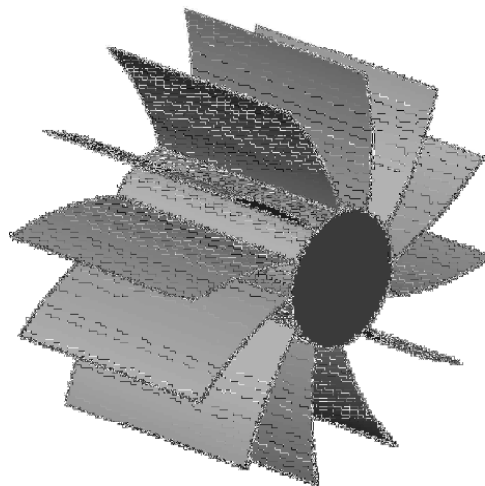


Figura 2.23. Rodete de turbina Michell-Banki.

De acuerdo a 3HC, fabricantes de turbinas y constructores de centrales hidroeléctricas en Perú, el modelo Michell-Banki R313, con el caudal disponible en

el Guadual y la altura deseada puede llegar a producir sin ningún problema 60 kW de potencia, lo que significa que la demanda se encontraría más que satisfecha. [23]

Uno de los criterios importantes de selección de esta turbina frente a otras fue que se encuentran en Perú, por lo tanto el transporte resulta de menor costo. Ya que los precios de las turbinas están dados como precios FOB hay que tener en cuenta que para tener el valor real de la turbina en Ecuador es necesario adicionar los costos de flete y aduanas. Además de la turbina de 3HC se tomaron en cuenta dos alternativas con turbinas del mismo tipo, por un lado las turbinas del Grupo Savoia de Argentina y las turbinas del Grupo Mancini de procedencia chilena.

2.3.4. Transmisión de energía eléctrica

Ya que no se trata de un proyecto de magnitud grande, sino más bien de un proyecto enfocado únicamente a proveer de energía a El Guadual es suficiente si la línea de distribución es de baja tensión. De acuerdo a Las Normas Para Sistemas de Distribución, Guía Para Diseño, de la Empresa Eléctrica Quito de marzo del 2009, la distancia máxima del vano entre postes no puede exceder los 35 metros. En el caso de El Guadual muy probablemente la distancia entre postes en algunos sectores deberá ser menor para compensar la irregularidad del terreno ya que el espacio libre que debe quedar desde el suelo hasta el punto más bajo de la línea es de 5.50 metros. [28]

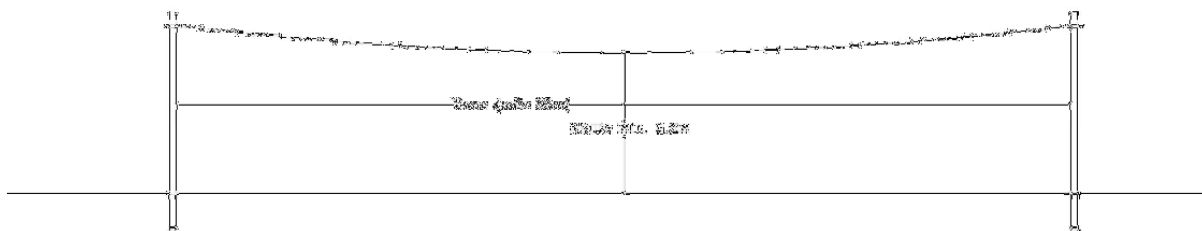


Figura 2.24. Esquema de distancia mínima entre postes.

2.3.5. Aseguramiento del caudal ecológico

En los proyectos de energías alternativas es de gran importancia el aseguramiento del caudal ecológico, es decir, mantener una vía libre para que el movimiento de la vida a lo largo del río se mantenga. Dado el tamaño del río y el hecho de que se planea represar el agua para el crecimiento de truchas el sentido del mantenimiento de un caudal ecológico se ve comprometido por varias razones. La primera es que el represamiento de las aguas hará que exista una inundación permanente en sitios donde antes no existía, por lo tanto las especies más sensibles morirán, mientras que las especies más adaptables se cambiarán de lugar. Por otro lado la introducción de truchas en el lugar hará que las especies que pudieron quedarse en el sitio de la inundación se vean amenazadas por los nuevos habitantes del lugar.

La inexistencia de normativas globales y el hecho de que el concepto de caudal ecológico sea relativamente reciente, suponen una dificultad en cuanto a encontrar reglamentación nacional para el aseguramiento del caudal ecológico, es por esto que esta sección se basará sobre conceptos innovadores en el tema de sustentabilidad.

La declaración de Brisbane dicta que para determinar el caudal ecológico se tienen que evaluar las necesidades de flujo de agua del medio ambiente en todas partes e inmediatamente, esto no significa determinar los mínimos a nivel global, sino determinar las necesidades reales. Por el contrario el ministerio de energía y minas de Perú dice que el caudal ecológico se determina, en ausencia de estudios, como el 10% del caudal como mínimo. [8]

En el caso de El Guadual el caudal ecológico puede ser determinado como un 10%, siguiendo la recomendación del Ministerio de Energía y Minas del Perú, del valor más bajo o caudal base. Esto quiere decir que se debe asegurar un paso libre de $0.025\text{m}^3/\text{s}$ para el mantenimiento de la vida en el río. Basta para cumplir con esto crear un pequeño camino lateral que simule el curso del río y con una compuerta se puede regular la cantidad de agua que pasa.

El principal inconveniente de mantener el caudal ecológico en el presente caso es que el represamiento de aguas se da justamente como medio para poder cumplir con el crecimiento de las truchas, de asegurar un caudal ecológico las truchas nadarían fuera del estanque. Una solución es utilizar rejillas, de esta manera únicamente las especies muy pequeñas, que de hecho son las que predominan en el río, serán capaces de ir y venir, asegurando así la continuidad de su vida.

3. Energía solar térmica

3.1. Marco teórico, la energía solar térmica

3.1.1. Radiación solar

3.1.1.1. Origen y composición de la radiación incidente en la superficie terrestre.

La radiación que incide sobre la superficie terrestre se puede dividir en dos grupos claramente marcados: la radiación directa y la radiación dispersa. La radiación directa es la que no sufre ningún tipo de dispersión entre su punto de origen, el sol, y la superficie terrestre. De manera opuesta la radiación dispersa es aquella que en el trayecto de su punto de origen hasta la superficie terrestre ha sufrido dispersión, causada sobretodo por la atmósfera. Una forma adicional de radiación que incide sobre una superficie es la radiación reflejada. La radiación reflejada puede ser considerada como una distribución de intensidad que depende directamente del tipo de superficie en la que el rayo incidente se ve reflejado antes de llegar a la superficie final. Asimismo el nivel de intensidad con la que el rayo reflejado incide en la superficie final depende del ángulo y de la polarización que el haz luminoso haya sufrido en su camino.

3.1.1.2. Distribución geográfica de la potencia solar.

Como ya fue mencionado, la radiación solar incidente en una superficie depende directamente de los obstáculos que ésta encuentre de camino hacia la superficie. Existen datos de la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre. El proyecto Visible Earth de la NASA provee imágenes de la radiación incidente sobre la

superficie terrestre. Las imágenes de la figura 3.1 fueron producidas con datos de los meses de enero y abril entre los años de 1984 y 1993.

Claramente se puede observar que en la región del Ecuador el color permanece verde, lo que quiere decir que se encuentra aproximadamente a la mitad de la escala. Esto significa que en promedio la radiación incidente en el Ecuador será de alrededor de $4\text{kWh/m}^2/\text{día}$.

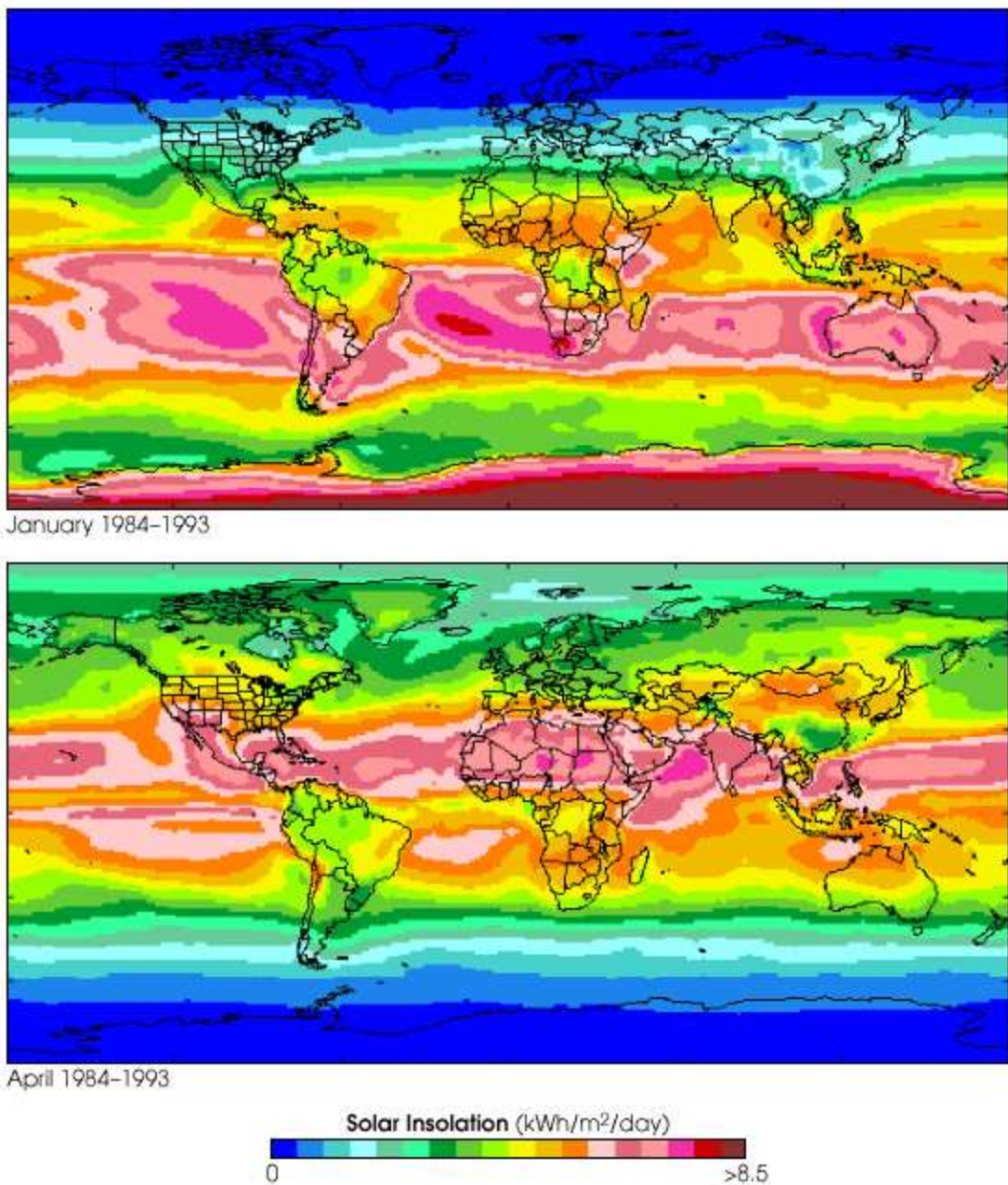


Figura 3.1. Mapa de incidencia solar en la superficie terrestre [26]

3.1.2. Principios de conversión de la radiación solar

3.1.2.1. Generación de calor.

La conversión de la energía solar térmica requiere un colector. La tierra puede ser vista como un gran colector. El funcionamiento de un colector se basa en que la energía por radiación que incide en una superficie es almacenada evitando al máximo las pérdidas.

Para la transformación de la energía solar en calor es necesario tener en cuenta que no toda la energía incidente en la superficie de la tierra puede ser convertida ya que la misma es usada para otros fines. De acuerdo a Odum y Sarmiento en su libro “Ecología: El Puente Entre Ciencia Y Sociedad”, la energía solar incidente en el planeta se distribuye de la siguiente manera: 27% de la radiación es reflejada y enviada al espacio nuevamente. El 26% acciona el ciclo hidrológico por medio de evaporación y posterior precipitación. El 0,2% de la energía solar influye directamente en los movimientos de vientos, olas y corrientes. La fotosíntesis toma apenas el 0,8% de la energía solar que llega a la superficie de la Tierra. El porcentaje más alto de la energía solar se transforma directamente de calor, esta parte representa el 46%. [27]

Existen dos tipos de energía solar térmica. La energía de alta temperatura y la de baja temperatura. El campo que interesa a este estudio es el de la energía solar de baja temperatura por varias razones y aplicaciones, entre esas el uso en el calentamiento de agua y el hecho de que se trata de una tecnología de conversión bastante madura y probada.

3.1.2.2. Colectores de energía solar térmica

Los colectores son elementos que retienen la energía incidente evitando de la mejor manera posible las pérdidas. La tabla 3.1 detalla algunas características de los colectores solares. Un colector térmico convencional se compone de una superficie absorbente, un aislante para reducir las pérdidas, una trampa que no permita la salida de la radiación de onda larga del colector y finalmente un medio de intercambio de temperatura (ver figura 3.2). Los colectores de alta temperatura tienen, adicional a las características de un colector convencional, paneles concentradores de radiación dirigidos hacia la superficie captadora de temperatura. Este tipo de colectores tienen la capacidad de elevar la temperatura del fluido que circula dentro de ellos hasta llegar a los 1000°C. La figura 3.4 da una vista ilustrativa de los diferentes tipos de paneles solares. [2]

Tipos de colectores y rangos de operación		
Tipo de colector	Factor de concentración	Rango de temperatura (°C)
Colector plano de placa	1	<70
Colector plano de placa de alta eficiencia	1	60-120
Concentrador fijo	2-5	100-150
Colector parabólico de canal	10-50	150-350
Colector parabólico de plato	200-2000	250-700
Torre receptora central	200-2000	400-1000

Tabla 3.1. Colectores solares

En un colector es importante la selección de materiales ya que lo primordial es mantener la mayor cantidad de calor posible. La figura 3.3 muestra en detalle las partes de un colector plano de placa de alta eficiencia. El material de cobertura de los paneles es importante porque debe permitir la entrada de la radiación al panel

pero al mismo tiempo es importante que no permita la salida de la radiación que se refleja en el panel (Figura 3.2.a) Por lo general los materiales utilizados en las cubiertas de los paneles incluyen vidrio, policarbonatos y acrílicos, siendo éstos dos menos utilizados por su facilidad a los rayones y ya que se vuelven opacos con el tiempo.

La otra parte importante es la zona absorbente, por lo general están construidas de tubos de cobre ya que su conductividad térmica es alta y tienen una alta resistencia a la corrosión. En aplicaciones de baja temperatura hay materiales usados como el EPDM (caucho etileno propileno dieno). Este tipo de materiales generalmente tiene una menor conductividad térmica que el cobre, sin embargo, para compensar la baja transmisión de calor, las superficies son amplias y pueden ser pintadas de negro. En paneles más avanzados, aletas de chapa de metal corrugado son soldadas como aletas a los tubos (Figura 3.2.b). Entre la estructura (Figura 3.2.c) y la zona de absorción es importante que exista un material aislante para evitar pérdidas por conducción. Generalmente se utiliza espuma de poliestireno como aislante (Figura 3.2.d).

Absortividades y emisividades de algunos materiales

Superficie	Absortividad	Emisividad
Cromo negro	0.95	0.10
Níquel negro	0.90	0.08
Óxido de cobre	0.90	0.17
Sulfuro de plomo	0.89	0.20
Pintura negra plana	0.98	0.98

Tabla 3.2. Absortividades y emisividades de diferentes materiales

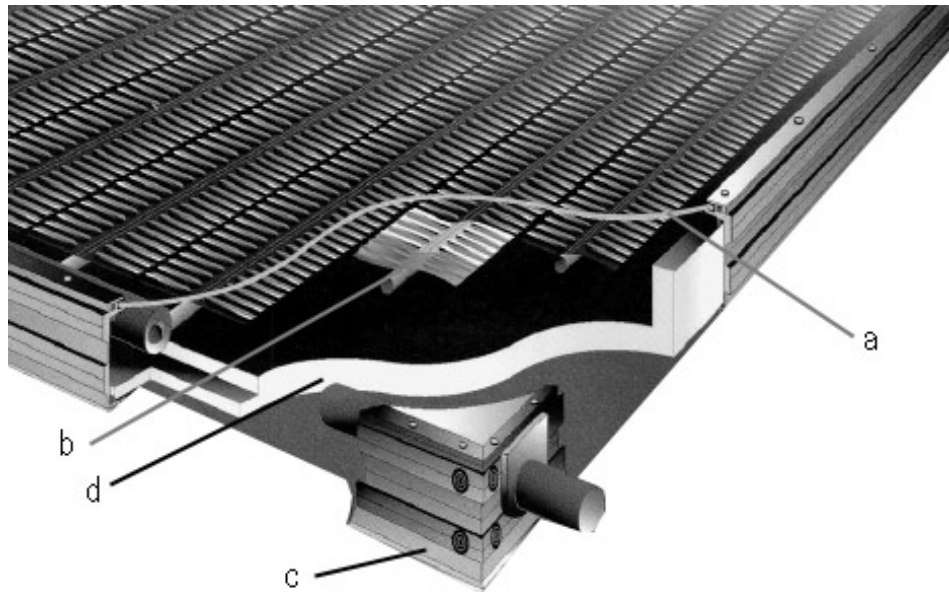


Figura 3.2. Detalle de un panel solar simple [22]

3.1.2.3. Sistemas pasivos y sistemas activos

Es posible hacer una distinción entre sistemas de calentamiento solar activos y sistemas de calentamiento solar pasivos. El criterio de definición es que en el caso de los sistemas de calentamiento solar pasivos ningún tipo de energía es adicionada para llevar el calor captado en el colector hasta el destino final. De manera opuesta un sistema activo es el que adiciona algún tipo de energía al fluido que transporta el calor como en el caso de circuitos en los que el fluido se ve impulsado por bombas.

3.1.2.4. Modificaciones a los colectores

El colector simple o colector plano de placa puede ser modificado para aumentar su eficiencia o funcionar como colector de altas temperaturas. Con cada una de las modificaciones se deberá revisar la selección de los materiales en cuanto a la construcción de los paneles. Las modificaciones que pueden sufrir los paneles son varias.

Partiendo de un panel plano de placa se puede crear un panel plano de placa con vacío, esto es: en lugar de tener aire o algún fluido encapsulado en el interior del panel como fluido de transmisión de calor hay vacío. El vacío elimina las pérdidas por convección y conducción permitiendo que el panel absorba la mayoría del calor por radiación directamente sobre las superficies conectadas a los tubos.

Otra modificación que pueden sufrir los colectores concentra la radiación sobre la superficie del colector directamente. Para concentrar la radiación se utilizan superficies reflectivas, lentes o una combinación de las dos opciones. Por lo general este tipo de colectores son utilizados en aplicaciones de alta temperatura. La figura 3.3 muestra una selección de diferentes tipos de concentradores.

Una tercera variante que pueden tener los colectores de energía solar es el hecho de que pueden ser orientables o fijos. Los concentradores móviles permiten que la radiación se concentre en el receptor durante mayor tiempo al día ya que se orientan de acuerdo a la dirección con la que los rayos solares inciden en la superficie terrestre. [2]

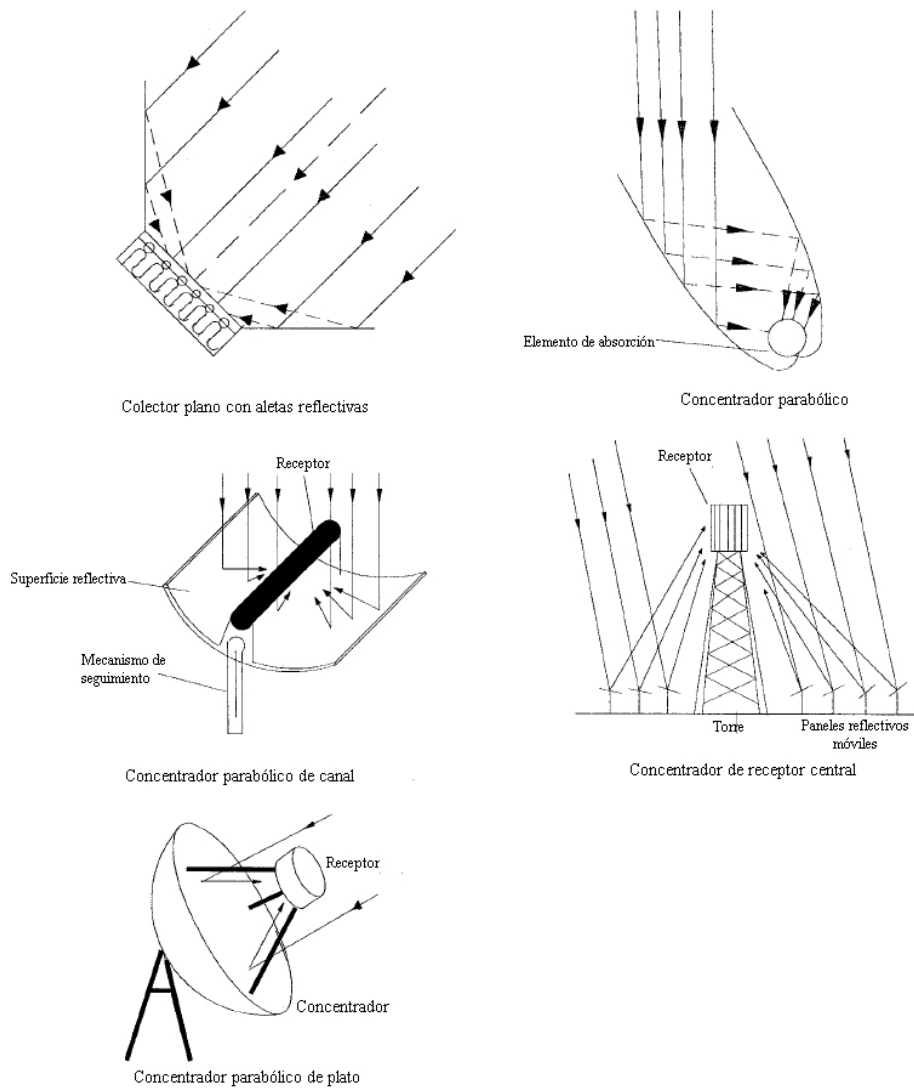


Figura 3.3. Algunos tipos de concentradores

3.1.3. Transmisión y almacenamiento de calor

3.1.3.1. Sistemas activos y sistemas pasivos.

La diferencia entre sistemas solares pasivos y sistemas solares activos se vio en la sección 3.1.2. Se definió al sistema pasivo como aquel en el que el fluido que lleva el calor desde el colector hasta el destino no se ve adicionado de ningún otro tipo de energía. Los ejemplos más claros de sistemas pasivos son los cuartos con ventanas sobre las cuales incide la radiación solar o las paredes que durante el día

captan y almacenan calor y en la noche expelen ese calor a los ambientes circundantes, tanto interiores como exteriores. En el caso del agua caliente, el efecto de termosifón dicta que el agua caliente es menos densa que el agua fría, por lo tanto tiende a desplazarse hacia arriba. Sin embargo, un sistema pasivo no necesariamente implica que no exista un flujo transportador de calor desde un colector hasta su destino, de hecho, se habla de un sistema pasivo cuando el flujo que transporta el calor se da de manera natural, es decir, que no debe depender de ningún otro tipo de elemento que le proporcione movimiento. La figura 3.4 muestra esquemáticamente un sistema pasivo en el que el tanque de almacenamiento se encuentra por sobre el nivel del colector.

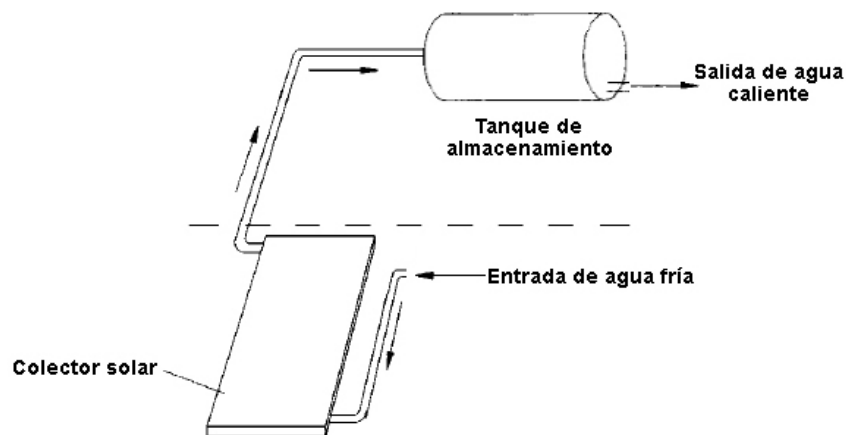


Figura 3.4. Sistema solar pasivo

Un sistema activo, es aquel en el que el fluido que transporta el calor es impulsado por algún tipo de dispositivo que le confiera una energía adicional, que puede ser dada por elementos como una bomba en caso de líquidos o un compresor en caso de fluidos gaseosos. Dentro de este tipo de sistemas hay tres variantes, el sistema activo de lazo abierto, el sistema activo de lazo cerrado y el sistema activo de lazo cerrado con tanque de expansión. El primer caso consiste en un circuito

primario de calentamiento que consta de una bomba que impulsa el fluido hacia el colector y finalmente al intercambiador de calor (figura 3.5). En este caso el intercambiador de calor es abierto para evitar la crecida de presión y el tanque de almacenamiento es calentado en una segunda etapa. Si bien este es el caso más simple, presenta algunos problemas. Mientras los colectores no se encuentran a una temperatura lo suficientemente elevada los tubos se encuentran vacíos por lo tanto al momento de calentar el fluido éste tiene que ser bombeado desde abajo hasta llenar los colectores. Esto implica que en este tipo de sistemas debe existir una potencia de bombeo suficiente para hacer llegar el agua hasta los colectores. En el sistema de lazo cerrado se soluciona este problema ya que todo el circuito, al no tener apertura hacia la atmósfera se mantiene lleno, sin embargo el problema que se presenta en estos casos es en condiciones de extremo calor o de extremo frío, cuando el fluido se expande o se comprime generando fugas en el circuito. La tercera opción presenta una solución a los dos problemas, por un lado se mantiene siempre lleno el circuito con el fluido y para evitar las expansiones o compresiones debidas al cambio de volumen generado por la temperatura el tanque de expansión en el circuito de calentamiento permite que se alivie la presión excesiva en el interior. La figura 3.5 muestra los tres sistemas activos presentados. [2]

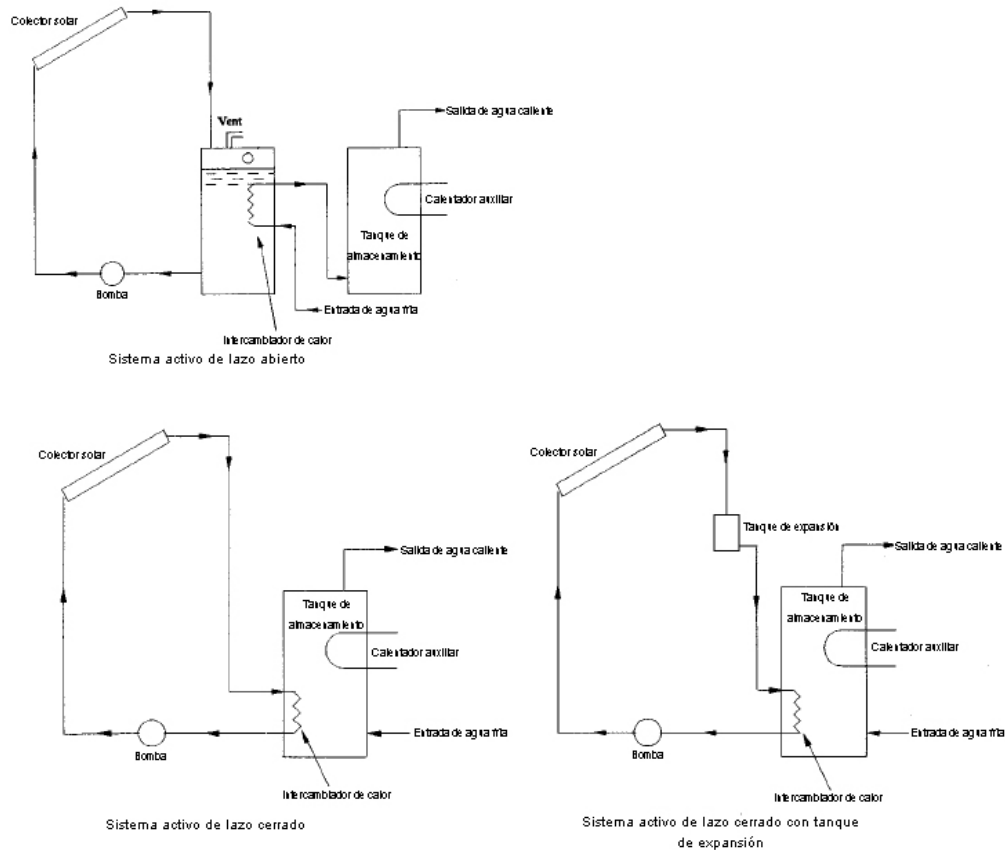


Figura 3.5. Sistemas activos de calentamiento solar

3.1.3.2. Estanques solares

Un estanque solar es un dispositivo que reúne un colector y un almacenamiento de calor en uno solo. La radiación solar entra en el estanque y el calor es absorbido a una profundidad dada, por lo tanto el agua a esa profundidad se calienta. Es preferible en todos los casos que exista una capa superficial que no permita que el calor salga. Este tipo de capas pueden ser de materiales poliméricos, sin embargo el método más utilizado es el de adicionar sal al estanque. Con la adición de sal en el agua se crea una capa con mayor densidad en el fondo del estanque que será la encargada de almacenar el calor, por otro lado la capa superficial de agua, con menor concentración de sal, actúa como una película que no permite que la

radiación reflejada salga del estanque. La figura 3.6 muestra un esquema de un estanque solar salado. [2]

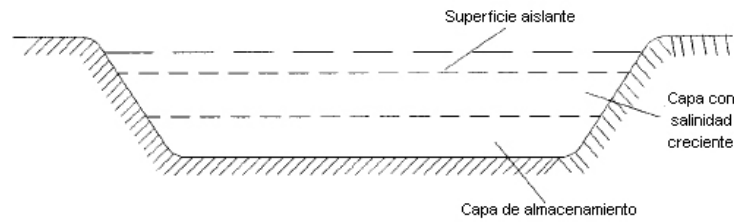


Figura 3.6. Estanque solar

3.1.4. Equipos y estructura de una planta solar térmica

3.1.4.1. Equipos de una planta solar térmica.

En una planta solar térmica es importante tener tanto colectores como sitios de almacenamiento de calor. Una bomba puede ser necesaria muchas de las veces para poner en movimiento el fluido que ha sido calentado por la radiación solar. LA figura 3.7 esquematiza una central de calentamiento de agua. El fluido porta calor circula en el circuito conformado por los paneles, el tanque de expansión, el intercambiador de calor y la bomba, mientras que el agua a ser utilizada circula a través del intercambiador de calor sin entrar en contacto con el fluido porta calor.

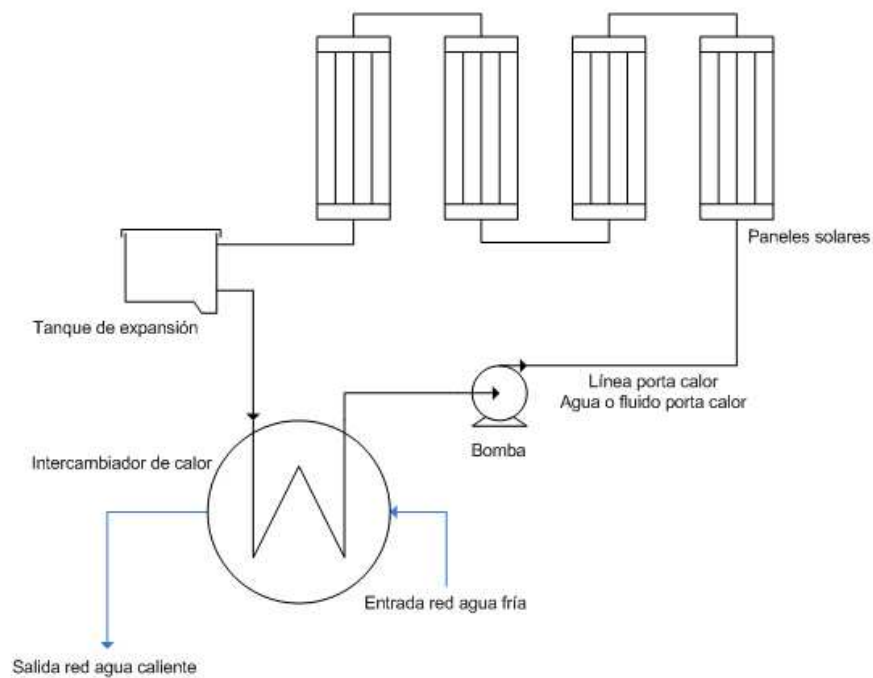


Figura 3.7. Esquema de una planta solar térmica forzada

En cuanto a la cantidad de equipos necesarios en la instalación solar hay discrepancias. Por un lado la cantidad de paneles solares recomendados por los textos especializados es dada en función de los meses de verano de los países europeos o alejados del Ecuador, lo que permite tener una mayor cantidad de radiación solar por día. Hay que tener en cuenta que la incidencia de radiación directa en el Ecuador, a pesar de estar situado en el centro del mundo no es sorprendentemente alta. A diferencia del caso de los países europeos en los que en los meses de verano se espera que la única fuente de calor para el agua sea solar en el Guadual se espera que la fuente de calor para el agua sea únicamente solar durante todo el año.

a. Colectores solares

Dentro de los colectores solares hay una extensa variedad. Los hay desde muy simples, que pueden ser contruidos por cualquier persona con un conocimiento básico de herramientas hasta paneles solares sofisticados que permiten una gran eficiencia aún en inviernos de países de cuatro estaciones.

El diseño más simple de un panel solar constituye una superficie de recolección de calor que al mismo tiempo funciona como un conducto de transporte del líquido encargado de realizar el calentamiento. Este tipo de colector es conocido como colector abierto. El segundo tipo de colector es un colector que ya tiene una cubierta de policarbonato, acrílico o vidrio que permite que la radiación entre pero no salga del panel, además de proveer de un medio estable a los tubos por los que circula el agua y evitar, de esta forma, pérdidas por convección (figura 3.8 a). De igual manera para minimizar las pérdidas en este tipo de colectores la superficie inferior esta compuesta de varias capas: la exterior, de lata o latón, una segunda capa de espuma de poliestireno, una tercera capa de lana de vidrio y una cubierta plástica o metálica para que los tubos de cobre se encuentren aislados de la base del panel y evitar pérdidas por conducción. Finalmente existen variantes que aumentan la eficiencia de los paneles solares, una de ellas es la de tubos individuales con capas de vacío (figura 3.8 b). Otra variante es tener aletas de captación de calor soldadas a los lados de la tubería metálica, de esta forma el calor absorbido será mayor. En muchos de los casos utilizar la pintura correcta puede significar un aumento en la eficiencia de los colectores. En la actualidad existen colectores como el BySun S-Max, que permiten una captación de calor por radiación solar de hasta un 95%. [22]



Figura 3.8. Esquemas de paneles solares.

La figura 3.9 esquematiza de manera simple un panel solar plano.

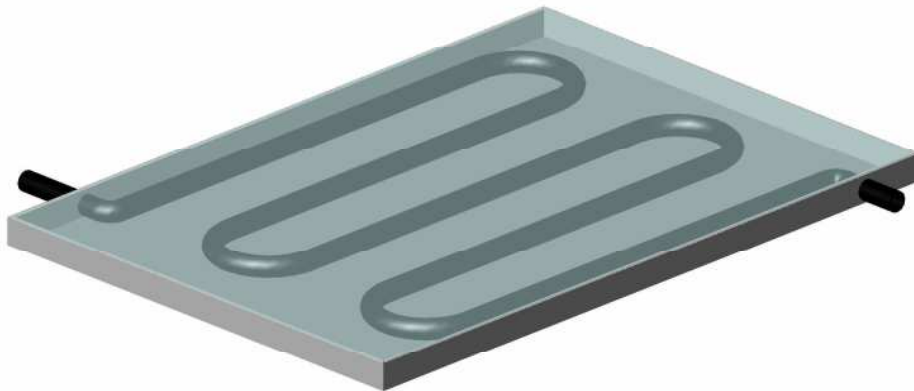


Figura 3.9. Esquema de un colector sola plano

b. Bombas

Al tratarse de un sistema en el que el fluido de trabajo será agua en el caso del ecuador, ya que no hay temperaturas extremas que ameriten el uso de anticongelante, las bombas necesarias para este tipo de instalación son bombas

centrífugas. Existen varios tipos de bombas centrífugas, las hay con el eje paralelo al desplazamiento del agua y las hay con ejes perpendiculares. Los criterios esenciales para seleccionar una bomba vienen dados por un lado por la cantidad de agua que hay que mover y a que velocidad, lo que se conoce como el caudal. El segundo criterio de selección es la altura a la que debe ser transportada el agua, contando con todas las pérdidas que los cambios de sección y los dobleces en el trayecto ocasionen, esto es la presión que deberá tener la bomba. En base a estos dos criterios existen tablas cuidadosamente elaboradas por cada fabricante de bombas en las que se puede encontrar el modelo de bomba que mejor satisfaga las necesidades del sistema. Localmente y para aplicaciones no industriales los equipos más utilizados son los complejos motor-bomba que se ubican en una base independiente. A nivel no industrial son poco usadas las bombas en línea, sin embargo, las ventajas que éstas presentan es que utilizan un espacio menor. Sería ilógico además de caro y peligroso utilizar un sistema que tenga una bomba de desplazamiento positivo. Por un lado porque las bombas de desplazamiento positivo tienden a ser bastante más caras que las bombas centrífugas, además del peligro que representa tener un aumento en la presión dentro de las tuberías con cada vuelta del rodete.

c. Tanques de almacenamiento

Existen dos tipos de tanques de almacenamiento de agua. Los más simples son los tanques que únicamente se encuentran aislados del medio para evitar la mayor cantidad de pérdidas, en éstos el agua que ha sido calentada en los paneles solares se almacena para después ser usada. Por lo general la construcción de este tipo de tanques no es complicada y en muchos de los casos se utilizan tanques plásticos, un tanque es puesto dentro de otro más grande y el espacio entre los dos se cubre con

lana de vidrio para evitar pérdidas de calor. El otro tipo de sistema de almacenamiento es un tanque que a su vez es un intercambiador de calor. En este caso el agua sanitaria que será usada entra directamente de la red de agua al tanque y es calentada por un serpentín que tiene el fluido portador de calor a alta temperatura. La figura 3.10 muestra un esquema de los dos tipos de tanque de almacenamiento.

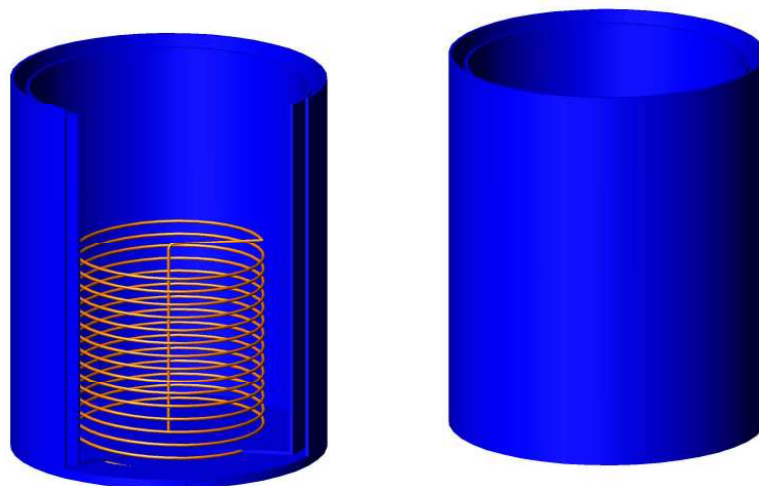


Figura 3.10. Tanques de almacenamiento de agua con y sin serpentín de intercambio de calor.

d. Tanque de expansión

El tanque de expansión es simplemente un tanque abierto, en el que la presión superficial del agua es igual a la presión atmosférica. El propósito de este tanque será aliviar la presión que pueda crearse por calentamiento del agua dentro del circuito calefactor. En el caso de un sistema simple de calentamiento se puede optar por tener un tanque de almacenamiento lo más aislado posible pero sin ser hermético, de esta manera la presión será igualada en el tanque de almacenamiento.

[2]

e. Equipos de apoyo

En algunos casos puede darse que el calentamiento de agua por medio de paneles solares no sea suficiente. Es recomendable, sobretodo si las condiciones del clima no son favorables para calentamiento por paneles solares, que se prevea la implementación de otros equipos de calentamiento de agua. Los casos más comunes son calentadores eléctricos dentro del tanque de almacenamiento, son usados también los calentadores de agua con gran potencia para calentar agua mientras ésta circula en un circuito, los calentadores más usados son los calefones a gas.

3.2. Recursos solares en El Guadual

3.2.1. Descripción de la zona proveedora del recurso

La Hacienda El Guadual se ubica en la provincia de Napo. La tabla 3.3 muestra los valores obtenidos de radiación solar incidente en algunos sectores del Ecuador. La tabla completa se encuentra en el sitio de Ingeniería Solar de la Universidad de Massachusetts, la tabla presentada aquí ha sido modificada y se han eliminado todas las entradas relativas a sectores de la costa ecuatoriana así como otros de la sierra. Los valores, señalados, son correspondientes a un promedio obtenido entre los valores de El Coca y el observatorio astronómico de Quito, las condiciones tanto de altitud, y posición geográfica pueden corresponder correctamente a las condiciones en la Hacienda El Guadual. [20]

CODE	SITE	LAT	LONG	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVG	S
ECU5A	Ambato	1,28 S	78,63 W	4,64	4,56	4,56	4,42	4,39	3,97	4,28	4,50	4,50	4,97	5,00	4,81	4,55	H
ECU1A	Astronomico	0,22 S	78,48 W	4,48	4,60	4,68	4,35	4,55	4,28	5,22	5,10	5,11	4,68	4,39	4,69	4,68	U
ECU1A	Astronomico			1,14	1,28	1,21	1,20	1,17	1,36	1,30	1,36	1,19	1,48	1,23	1,06	0,51	U
ECU5A	Cañar	2,62 S	78,93 W	4,47	4,28	4,36	4,28	4,56	4,31	4,92	4,89	4,58	4,78	4,83	4,75	4,58	H
ECU5A	Cariamanga	4,32 S	79,57 W	4,28	4,22	4,36	4,33	4,64	4,81	5,08	5,39	4,67	5,75	5,33	4,64	4,79	H
	El Guadual	0,42 S	77,84 W	4,16	4,57	4,11	4,25	4,35	3,84	4,53	4,47	4,45	4,51	4,32	4,63	4,35	
ECU5A	Charles Darwin	0,73 S	90,30 W	4,69	5,03	5,39	5,50	4,53	4,19	3,64	3,53	3,69	4,14	4,36	4,17	4,41	H
ECU5A	Coca	0,45 S	76,98 W	3,83	4,53	3,53	4,14	4,14	3,39	3,83	3,83	3,78	4,33	4,25	4,56	4,01	H
ECU1A	Latacunga	0,92 S	78,62 W	4,47	4,38	4,21	4,01	4,07	4,09	4,32	4,53	4,44	4,51	4,44	4,37	4,32	U
ECU1A	Latacunga			0,52	0,50	0,39	0,41	0,33	0,44	0,26	0,53	0,48	0,51	0,51	0,68	0,26	U
ECU5A	Napo-San Vicente	0,57 S	80,43 W	4,11	4,72	4,47	4,72	4,25	3,47	3,56	3,64	3,39	3,81	3,75	4,17	4,00	H
ECU5A	Cotopaxi	0,62 S	78,57 W	4,31	4,25	3,94	3,64	3,75	3,86	4,14	4,64	4,00	4,44	4,56	4,17	4,14	H

Tabla 3.3. Radiación solar incidente sobre algunos sitios de Ecuador (UMass) [20]

3.2.2. Interpretación de datos

De la información recopilada anteriormente se puede ver que en el país, aproximadamente, se recibe una radiación solar de 4 KWh/m²/día. Si se toma en cuenta que la radiación solar incidente sobre la superficie terrestre tiene un valor constante de 1366 W/m², se puede concluir fácilmente que en promedio la cantidad de tiempo de exposición a la irradiación en la zona geográfica es de 3 horas diarias.

Los paneles solares tienen el trabajo de recuperar la mayor parte de esa energía para convertirla en calor, sin embargo no es posible recuperar un 100% de esta energía ya que existen varios factores que no lo permiten. Entre estos factores se debe tomar en cuenta toda la transferencia de calor que se realiza entre el panel y el medio circundante, entre estos se destacan: la energía perdida por radiación del panel al entorno, así como la conducción de calor por los diferentes componentes de un panel.

3.3. Estudio y diseño de paneles solares para el calentamiento de agua

3.3.1. Dimensionamiento del conjunto de paneles solares necesarios

Luego de consultar con diferentes personas especializadas en el ramo, se concluyó que lo mejor sería crear dos centrales independientes. La una servirá para el calentamiento de la piscina exclusivamente, mientras que la segunda servirá para el agua sanitaria, es decir, agua tanto para uso personal como de cocina.

3.3.1.1. Paneles solares de piscina.

Una de las principales preocupaciones en el calentamiento de agua en una piscina es lograr que todo el volumen de agua llegue a una temperatura cómoda para los bañistas. Es por esto que de acuerdo con las recomendaciones sugeridas por ingenieros especialistas en calentamiento por medio de paneles solares, el tamaño máximo de la piscina debe ser de 150 m^3 .

El tipo de la central para una piscina será similar a la que ha sido usada en hoteles en la ciudad de Quito como el hotel Dann Carlton ubicado en la zona del Parque La Carolina. Este tipo de calentador consiste en un sólo panel de gran tamaño que no se encuentra cubierto por vidrio pero sin embargo por la longitud que tienen los tubos permite que el agua se caliente de manera más eficiente que si se utiliza un arreglo de paneles solares. La dimensión de este tipo de central dependerá del tamaño del espejo de agua que tenga la piscina, es decir, de la superficie de la piscina. Por lo tanto, si la piscina tiene 20 metros de largo y 5 metros de ancho, por un lado no deberá tener más de 1.5 metros de profundidad en promedio y el tamaño requerido para montar el sistema de calentamiento de agua será aproximadamente de 130% a 150% del tamaño de la superficie de la piscina o espejo de agua, es decir, serán necesarios de 130 m^2 a 150 m^2 en los cuales se deberá montar el sistema de

calentamiento de agua de piscina, todo esto según ha sido explicado por el Ingeniero Montoya, encargado de la construcción de la central solar del Hotel Dann Carlton. Ya que este tipo de sistema se trata de un único panel es necesario que el sitio donde se lo implante sea de preferencia plano y continuo, es decir, es conveniente que la estructura sea una sola en lugar de que varias estructuras se comuniquen por medio de tubería ya que de esa manera se evitarían pérdidas.

Los diferentes tipos de paneles hacen que los costos de instalación de este tipo de tecnología varíen, sin embargo los beneficios que presentan los paneles de mejor calidad son mucho mayores en relación al precio entre estos paneles y los de menor calidad. A manera ilustrativa, la empresa de ingeniería solar del Ing. Montoya, ofrece paneles solares de modelo Israelí con un costo de instalación de US\$117,17 por metro cúbico de piscina a ser calentado mientras que el costo con el panel de mejor calidad es de US\$274,50. Esta diferencia en primera instancia podría parecer demasiado grande y no meritoria de inversión, sin embargo hay que tomar en cuenta que para el modelo Israelí la vida útil es estimada de 5 años por el mismo Ingeniero Montoya y tienen una garantía de nada más 3 años.

Con estos datos se puede hacer un cálculo para determinar el costo de la central de calentamiento solar. Asumiendo que la piscina sea de un tamaño máximo de 150 m³ el costo de instalación de una central necesaria para calentar el agua será de US\$41.175,00 con instalación de paneles de alta calidad mientras que con paneles de tipo Israelí el costo total será de US\$17.575,50. Sin duda la inversión es significativamente mayor con uno u otro tipo de paneles, sin embargo a largo plazo sería conveniente utilizar los paneles de alta calidad.

3.3.1.2. Paneles solares de agua sanitaria.

El agua sanitaria debe ser dividida en dos partes. Por un lado se debe tomar en cuenta el agua sanitaria que será utilizada en sitios como duchas y baños, tanto en cada una de las habitaciones, como en la cocina y en las áreas compartidas. De acuerdo al Ingeniero Montoya, la demanda, por persona, en tema de agua sanitaria caliente es de aproximadamente 612,5 W. Al tener El Guadual 30 habitaciones dobles proyectadas. La capacidad máxima del sitio será de 60 personas. Se pensará en un 100% de ocupación promedio de la hostería para el dimensionamiento de la central solar. Tomando en cuenta que 60 personas necesiten utilizar agua, se debería pensar en una central que permita proveer de 36.750 W. Los precios de los paneles para calentamiento de agua sanitaria, así como los precios de los paneles de piscina, varían dependiendo de la tecnología utilizada. Con paneles de tipo Israelí el precio por vatio es de US\$0,40 mientras que con el panel Premium el precio es de US\$1,10. Además de la central necesaria para el agua sanitaria es necesario tener una central para el agua caliente de uso en cocina. Se estima que para un restaurante pequeño la necesidad de agua caliente es de 720 litros por día, es decir de unos 7500 W por día. La central de agua sanitaria tendrá que proveer, por lo tanto, 44250 W. Con los precios mencionados anteriormente la central, hecha de paneles de tipo israelí, tendrá un costo de US\$17.700,00 mientras que con los paneles Premium el costo de la central será de US\$48.675,00.

Un esquema de los dos tipos de paneles más significativos se presenta en la figura 3.11.

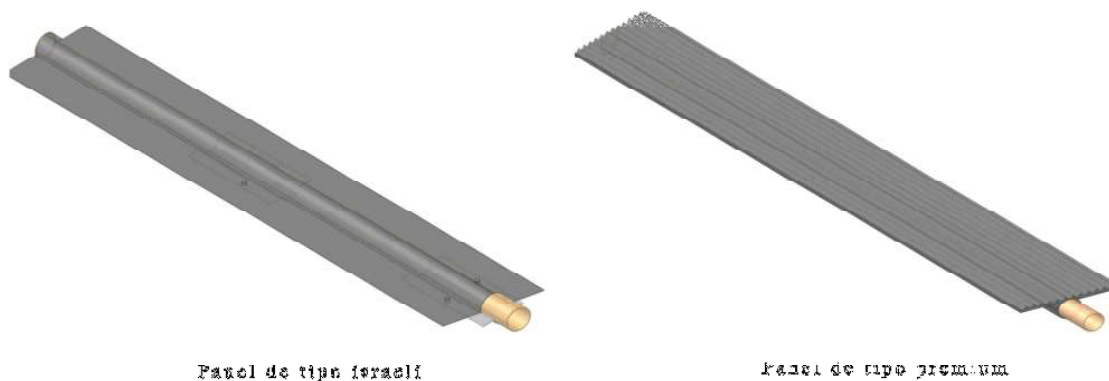


Figura 3.11. Esquema de paneles solares

3.3.2. Sistema de almacenamiento de energía solar térmica

Un sistema de calentamiento de agua por medio de energía solar debe constar de colectores, tuberías y un centro de almacenamiento de agua caliente. Al ser necesarias dos centrales diferentes de calentamiento de agua es necesario que cada una de las centrales tenga un tanque de almacenamiento de agua caliente. Los tanques de almacenamiento de agua pueden tener formas variadas. Los tanques más comunes son cilíndricos, sin embargo existen también tanques esféricos así como tanques cúbicos. La figura 3.12 presenta un esquema de la manera en la que se ven los tanques generalmente.

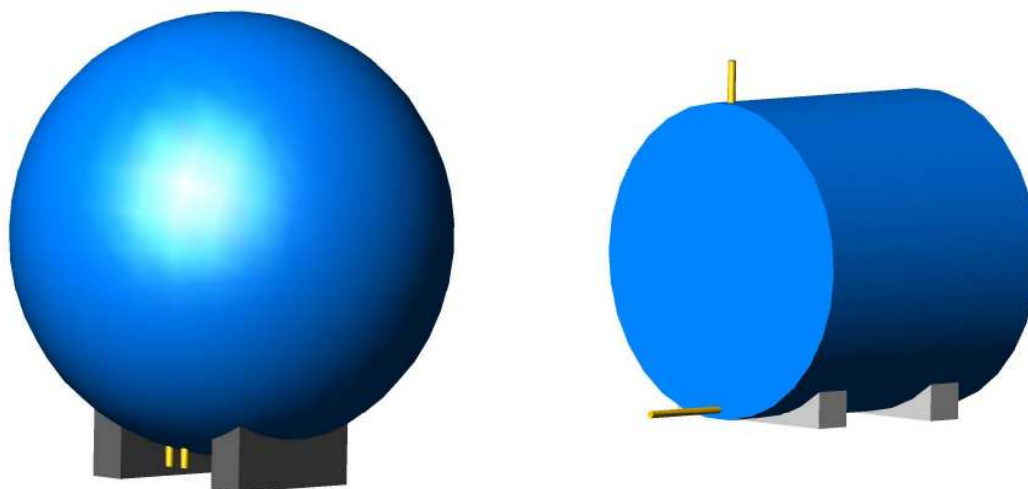


Figura 3.12. Tanque esférico y cilíndrico.

3.3.2.1. Almacenamiento de agua caliente para piscina

En el caso del calentamiento de agua para la piscina es innecesario pensar en poner un tanque de almacenamiento de agua caliente. Por un lado hay que tener en cuenta que el volumen de la piscina es difícilmente almacenable, sería necesario un reservorio de agua caliente del mismo tamaño de la piscina. Es por esto que en este caso la piscina es el mismo tanque de almacenamiento de agua caliente. Existen algunos métodos que permiten evitar la evaporación de agua y por tanto mantener el calor en la piscina. Uno de los métodos más comunes es crear una barrera física que impida la evaporación de agua, a esto se puede llegar por medio de una cubierta que puede ser de plástico con burbujas de aire para evitar la disipación de calor por conducción o bien puede ser una cubierta de un plástico grueso, sin embargo las pérdidas de calor por conducción serán mayores. Se puede encontrar este tipo de sistemas en el país y pueden ser tanto manuales como automáticos.

3.3.2.2. Almacenamiento de agua caliente sanitaria

Los tanques de almacenamiento de agua caliente en el caso del agua sanitaria son necesarios. Es recomendable tener un diseño en el que los tanques de almacenamiento de agua para la cocina sean independientes de los tanques de agua para el uso en los baños de las habitaciones, esto permitirá controlar de manera independiente la temperatura a la que el agua sale tanto en la cocina como en los baños y evitar el desperdicio de calor. Con un promedio de uso de 720 litros por día para la cocina un juego de tanques que permitan almacenar hasta 1m^3 sería más que suficiente. Para el agua sanitaria de uso de las habitaciones se deberá crear una central de agua caliente en lugar de poner paneles en los techos de cada una de las cabañas. La central será capaz de proveer agua caliente bajo demanda de cada habitación, si la configuración fuera de manera diferente, con paneles y tanques de almacenamiento independiente para cada una de las habitaciones, existiría un gran desperdicio de energía ya que en los casos en los que las cabañas se encuentren vacías el agua se calentará pero no será usada. La central de calentamiento de agua sanitaria deberá tener una capacidad de aproximadamente de $3,6\text{ m}^3$ contando con un promedio de 60 personas presentes en el sitio y un uso promedio de aproximadamente 60 litros diarios por persona. La configuración de este almacenamiento puede hacerse con un esquema de un juego de paneles alimentando a un tanque y este esquema puede verse repetido varias veces hasta llegar a la capacidad deseada, o bien puede hacerse de tal suerte que todos los paneles alimenten de agua caliente a un juego de tanques situados en el centro. En cuestiones de espacio es recomendable utilizar el sistema en el que un juego de paneles alimenta un tanque, además se pueden reducir las pérdidas ya que la cantidad de tubería será menor. En la figura 3.13 se presentan los dos esquemas, a

simple vista parecen similares, sin embargo en el primer caso los paneles alimentan únicamente a un tanque mientras en el segundo caso los paneles alimentan al juego de tanques.

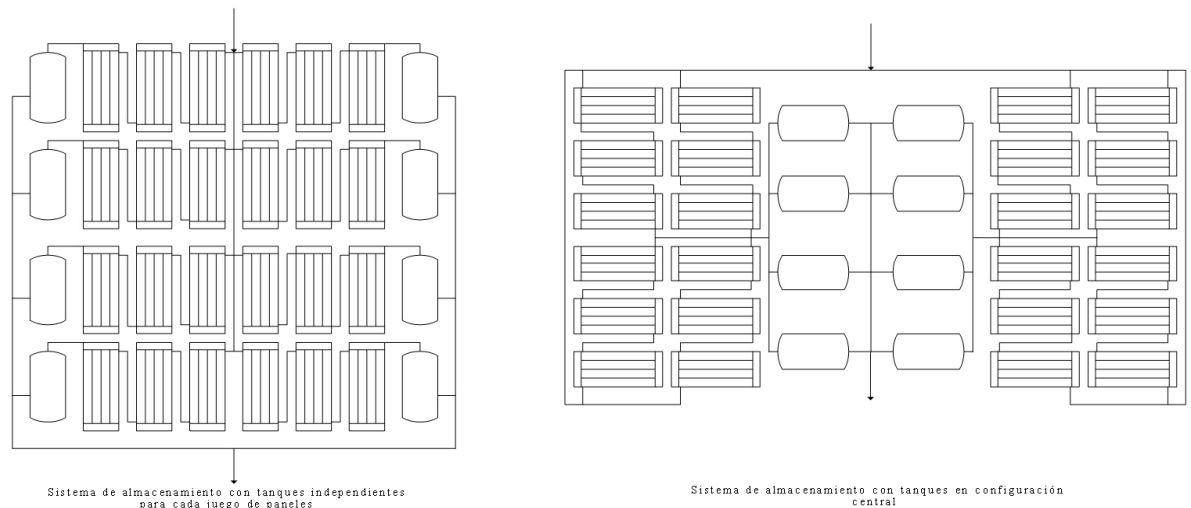


Figura 3.13. Sistemas de almacenamiento de agua caliente

3.3.3. Sistema de transmisión de energía solar térmica

La energía solar térmica será almacenada en tanques de agua caliente y para poder llegar hasta el sitio de consumo final es necesario una red de tuberías que permitan el transporte del agua. Al igual que en las secciones anteriores se puede hacer una diferenciación entre el agua caliente para el uso en la piscina y el agua caliente para uso sanitario.

3.3.3.1. Agua caliente para uso en la piscina

En el caso de la piscina el transporte del agua caliente desde los paneles hasta la piscina misma no es de mayor preocupación, si bien pueden existir pérdidas en las tuberías que transporten el agua, el hecho de que se encuentre en permanente circulación hace que éstas no sean un factor demasiado grande. A diferencia del

agua sanitaria que podría pasar horas en tubería sin ser utilizada, el agua de la piscina se calienta y regresa a la piscina, por lo que el tiempo que se encuentra en la tubería no es muy grande. Factores como la evaporación o el enfriamiento por contacto con aire frío en la superficie de la piscina son más importantes que la pérdida de calor en las tuberías. A manera de mitigación de la pérdida de calor en las tuberías es recomendable cubrir todas las tuberías con un material aislante que puede ser espuma de poliestireno y chapa de aluminio. La figura 3.14 muestra un esquema de cómo debería pensarse en la central, la tubería que rodea a la piscina para la circulación de agua debería ir cubierta de materiales aislantes, así como también las tuberías que salen de los paneles hacia el sistema de filtro y bomba.

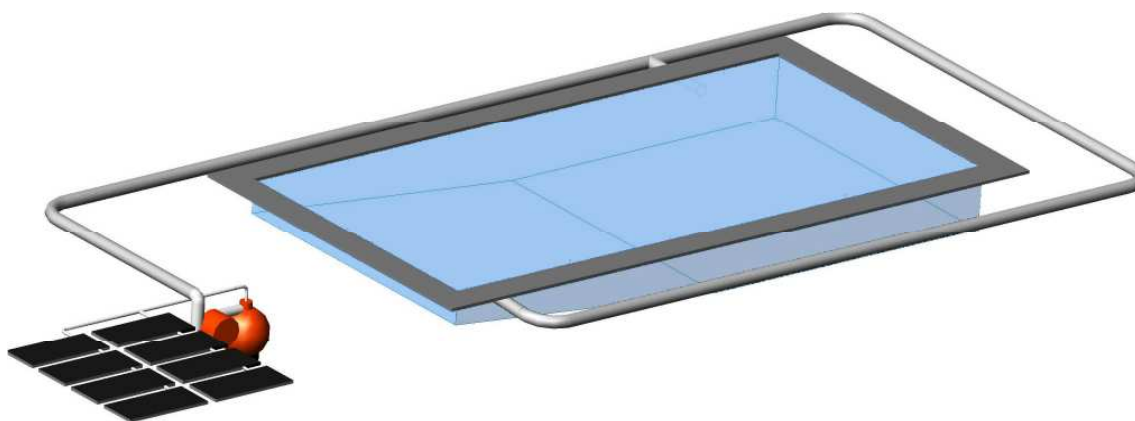


Figura 3.14. Esquema del sistema de calentamiento de agua de la piscina

3.3.3.2. Agua caliente para uso sanitario

En el caso del agua sanitaria las pérdidas de calor a través de las tuberías son un gran problema. Es por esto que es imperativo evitar al máximo este tipo de pérdidas. Por lo general lo que se puede hacer es crear una capa de aislamiento entre la pared del tubo que contiene el agua y los entornos. La idea principal del aislamiento es

crear una barrera de aire que no se mueva ya que el aire es un mal conductor de calor. Es por esta razón que por lo general se utiliza espuma de poliestireno, conocida comúnmente como espuma-flex; otro de los elementos aislantes bastante usados para tuberías es la lana de vidrio, sin embargo su uso es un poco más delicado y su resistencia a la intemperie es menor que la de la espuma de poliestireno. Además del material aislante se debe pensar en una cubierta que proteja tanto a la tubería como al material aislante, por lo general se utiliza una chapa de aluminio muy delgada. Otro método que se puede combinar en esta búsqueda de aminorar las pérdidas de calor en las tuberías es el de enterrar las mismas, de esta manera se ve reducida la amplitud térmica que generalmente sobre la superficie es muy variable entre horas del día. La figura 3.15 presenta un esquema de cómo las tuberías deberían estar aisladas del medio.

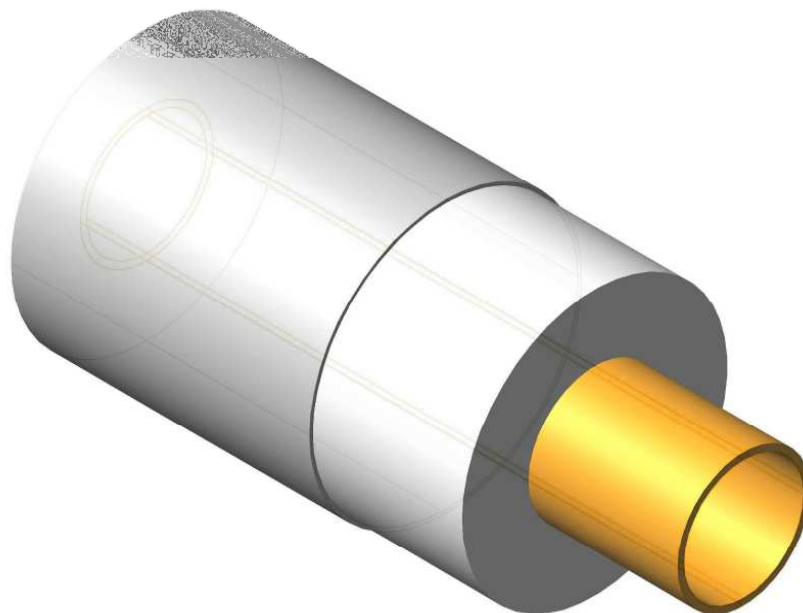


Figura 3.15. Esquema de una tubería aislada

4. Biomasa

4.1. Marco teórico, la energía de biomasa

4.1.1. El recurso, biomasa.

Se conoce como biomasa a cualquier recurso orgánico presente en la Tierra. La fuente primaria de energía de la biomasa es el sol: por medio de fotosíntesis, la biomasa se convierte en un acumulador de energía que podrá ser utilizada después por las tecnologías de conversión. La forma más fácil de extraer energía a partir de la biomasa es con fuego, al quemar la biomasa ésta libera calor avivando el fuego y así puede ser aprovechada para cocinar o para calentamiento de ambientes o agua.

Existen varios tipos de biomasa, algunos son expresamente cultivados para ser fuentes primarias de energía más tarde y servir de combustible en un proceso de generación térmica, mientras que otros son desechos orgánicos que se obtienen a partir de otros procesos que no tienen relación alguna con la producción energética.

[2]

4.1.1.1. Biomasa cultivada con fines energéticos

Existen varios tipos de cosechas que permiten obtener biomasa para ser empleada como combustible en un proceso de generación de energía térmica.

a. Biomasa herbácea

Las plantas de consistencia no leñosa y que viven más de dos años son conocidas como plantas herbáceas perennes. Este tipo de plantas pueden ser empleadas de diversas maneras antes de ser cosechadas. Si bien muchos de los usos pueden ser decorativos, existen también usos de este tipo de plantas que sirven para ayudar a la remoción de nutrientes minerales del agua. Sembradas en gran cantidad

actúan como un filtro de sustancias minerales en el agua. A partir del segundo año de vida de estas plantas, éstas pueden ser cortadas para ser usadas como combustible en un proceso de generación de energía.

b. Biomasa leñosa

A diferencia de la biomasa herbácea, la biomasa leñosa se compone de plantas que generan tejidos leñosos, es decir plantas con tronco. Por lo general se utilizan plantas de rápido crecimiento, como los sauces o pinos. Estos árboles son cosechados entre cinco y ocho años después de haber sido sembrados.

c. Cosechas industriales

En los últimos años se encuentran en desarrollo, de la mano de la biotecnología, cultivos vegetales que dentro de su estructura interna contienen químicos industriales o materiales específicos que podrían resultar útiles para ciertos procesos. Es importante diferenciar este tipo de cultivos de los cultivos agrícolas comunes, ya que este tipo de cultivos industriales no tiene como meta poder generar alimentos; por el contrario la idea principal es obtener productos industriales un paso más desarrollados que cuando se usa un producto agrícola común.

d. Cosechas agrícolas

Dentro de la vegetación sembrada con fines de producir energía existen las cosechas agrícolas. Éstas comprenden todos los cultivos que permitirán obtener energía a partir de los productos recolectados en temporada. Dentro de este tipo de cultivos sobresalen el maíz y la soya, para la producción de aceite y almidón;

también están comprendidos en este grupo los cultivos que permitirán tener azúcar, como la caña o la remolacha. [14]

4.1.1.2. Aprovechamiento de los desechos como biomasa

a. Residuos de cultivos agrícolas

Los cultivos agrícolas destinados al consumo alimentario generan desechos, ya sea porque se trata de plantas cuya vida termina al final de un período productivo o porque la cosecha de los productos genera desperdicios provenientes de las mismas plantas. Los desechos generalmente utilizados incluyen las hojas, caídas o de poda, ramas y tallos de plantas de estación y partes no utilizadas de los frutos como las hojas que cubren al maíz y la mazorca.

b. Residuos forestales

La biomasa proveniente de residuos forestales comprende los desechos en zonas de tala de árboles, así como también todos los desechos generados en procesos de transformación de la madera como en aserraderos. Otro tipo de residuos forestales son los provenientes de tala preventiva de árboles demasiado viejos.

c. Desperdicios de origen social

La sociedad humana genera una alta cantidad de desechos, ya sea en procesos industriales como a nivel residencial. Gran parte de estos desperdicios contienen material orgánico que pueden constituir una fuente significativa de energía renovable.

d. Desechos animales

Los desechos animales constituyen una fuente de biomasa compleja por las diferentes variedades de componentes orgánicos de los que están formados.

Dentro del interés del presente proyecto el tipo de biomasa que será más acorde a la realidad son los residuos agrícolas, desperdicios de origen social y los desechos animales, pasando a ser irrelevantes los residuos forestales o los cultivos cuyo único propósito es generar productos que puedan ser utilizados directamente como fuente de energía.

4.1.2. Principios de transformación de biomasa en biogas

El proceso más simple de conversión de la biomasa en biogas incluye un proceso anaeróbico de degradación de la materia. Este proceso conocido como biodigestión requiere de materia orgánica fresca, con excepción de la madera. Las condiciones para que se dé la biodigestión tienen que ser cuidadosamente controladas. La temperatura, la humedad así como la población de microorganismos influye en la transformación de la biomasa en biogas. El material orgánico elegido generalmente para la digestión anaeróbica es el excremento animal, sin embargo puede ser mezclado con otro tipo de materia orgánica.

4.1.2.1. Condiciones necesarias para la transformación de biomasa.

El proceso de biodigestión es espontáneo, sin embargo, son necesarias ciertas condiciones para que la transformación de biomasa en biogas se lleve a cabo de la manera más eficiente posible.

Por un lado están las condiciones de temperatura. Para que el proceso de biodigestión sea óptimo, la temperatura debe situarse entre los 25 °C y 55,00 °C. Si las temperaturas son menores, no se genera una muerte bacteriana pero la velocidad de la fermentación será mucho menor. Por el contrario temperaturas mayores pueden generar muerte bacteriana. La manera de mantener la temperatura en el rango puede variar, pueden ser utilizados paneles solares, calentadores a gas o calentadores eléctricos para circular agua a temperatura a través de un serpentín en el interior del digestor. También se puede utilizar una camisa en la que el agua previamente calentada recorra el digestor calentándolo de afuera hacia adentro. Cualquiera que sea la combinación elegida, es importante aislar térmicamente el tanque para de esa manera reducir las pérdidas de calor al máximo.

Otra de las condiciones necesarias para el correcto desempeño de un digestor de biomasa es la relación entre el nitrógeno y el carbono presente en la materia prima. Este punto es esencial ya que la actividad bacteriana se ve inhibida por la presencia de sales metálicas, penicilina o amoníaco en altas concentraciones. El nitrógeno es esencial para el crecimiento bacteriano a pesar de la sensibilidad de las bacterias a la concentración de nitrógeno. Si la cantidad relativa de nitrógeno con respecto a la cantidad de carbono es demasiado pequeña, el crecimiento bacteriano será poco y la cantidad de biogas producido será muy inferior a la que podría darse. Cuando el nitrógeno está presente en gran cantidad, relativa al carbono, se origina un envenenamiento por amoníaco en las bacterias. Una relación de carbono-nitrógeno en la materia entre 15 y 30 es considerada como óptima, aunque en algunos casos se ha llegado a relaciones de 70 sin observar resultados desfavorables. La tabla 4.1, presentada en el libro “Renewable Energy” de Bent Sørensen, muestra algunas de las relaciones C-N que tienen algunos tipos de biomasa. [2]

Materia	Relación C-N	Materia	Relación C-N
Desechos de alcantarilla	13:1	Bagazo	150:1
Estiércol vacuno	25:1	Algas marinas	80:1
Orina vacuna	0.8:1	Heno de alfalfa	18:1
Estiércol porcino	20:1	Cortes de hierba	12:1
Orina porcina	6:1	Cáscaras de papa	25:1
Estiércol avícola	25:1	Desechos de camal	3-4:1
Desechos de cocina	6-10:1	Césped	2.7:1
Aserrín	200-500:1	Líquido de ensilaje	11:1
Paja	60-200:1	Planta de alfalfa	2:1

Tabla 4.1. Relación C-N para algunos tipos de biomasa [2]

4.1.2.2. De biomasa a biogas

El proceso de transformación de biomasa en biogas, por fermentación anaeróbica, depende de varios factores como se explicó en el apartado anterior. Sin embargo, se puede estimar la producción de biogas a partir del tipo de biomasa. Existen datos tabulados que muestran la producción de desechos por cada animal, el equivalente energético, el volumen de producción de biogas y el equivalente energético del biogas (ver tabla 4.2).

Fuente	Excremento diario		Biogas diario	
	Peso húmedo kg	MJ	m³	MJ
Vacuna	40	62	1.2	26
Porcina	2.3	6.2	0.18	3.8
Avícola	0.19	0.9	0.011	0.26

Tabla 4.2. Excremento y producción diaria típica por animal [2]

El biogas resulta de un proceso de transformación de la biomasa original. La mezcla final está compuesta por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), hidrógeno (H_2), nitrógeno (N_2) y sulfuro de hidrógeno (H_2S). Algunas propiedades así como las concentraciones de cada uno de estos gases se muestran en la tabla 4.3:

Gases	Proporción volumétrica (%)	Valor calórico (MJ/m^3)	Densidad (g/l)	Densidad relativa
CH_4	55-70	35.8	0.7	0.55
CO_2	27-44	--	1.9	2.5
Otros	1-3	10.8	0.08	0.07
Biogas	100	21.5	1.2	0.83

Tabla 4.3. Propiedades y componentes del biogas [2]

Los restos de biomasa, que no se transformaron en biogas, son conocidos como el efluente. La materia de base, al ser orgánica, contiene una cierta cantidad de macronutrientes de los que se sirven las plantas para su crecimiento. La tabla 4.4 muestra una composición aproximada de nutrientes en cada tipo de excremento así como su relación de nutrición con respecto a la materia de base. Los datos son aproximados ya que las concentraciones dependerán directamente del tipo de animal y la alimentación que éstos reciban.

Materia de base	Composición (%)			Relación nutritiva		
	N_2	P_2O_5	K_2O	N_2	P_2O_5	K_2O
Vacuna	0.46	0.2	0.5	2.3	1	2.5
Porcina	0.72	0.4	0.3	1.8	1	0.6
Avícola	3.60	4.6	2.5	0.8	1	0.6

Tabla 4.4. Propiedades nutritivas del efluente según su origen [2]

Se ha visto que la transformación de la biomasa genera dos productos importantes, el primero es el biogas, objetivo principal de esta transformación, el segundo, es un producto obtenido como desecho del proceso, el efluente se utiliza como fertilizante y presenta algunas ventajas.

4.1.2.3. Ventajas de la conversión de biomasa

Luego de la biodigestión, los desechos que resultan tienen un mayor valor como fertilizantes comparado al papel que puede desempeñar el material de base. Después de este proceso de fermentación y digestión anaeróbica, mucho del material orgánico insoluble se vuelve soluble; por otro lado los microorganismos se encargan de fijar el nitrógeno. De acuerdo a estudios, refiere Ben Sørensen, se ha encontrado que posterior al proceso de biodigestión la Salmonela se reduce en un 65-90%, así como es observable una disminución en la cantidad de estreptococos, coliformes y virus; de igual manera algunos parásitos transmisores de enfermedades también se ven reducidos luego del proceso, entre esos: Áscaris y Entoameba, responsables de enfermedades intestinales. [2]

En el caso de reciclar los residuos de la biomasa, los efectos al medioambiente son mínimos o incluso positivos, por un lado porque los nutrientes se han hecho más accesibles para la vida vegetal y por la reducción en el nivel de parásitos en la materia orgánica. Los metales pesados que pueden llegar a ser contaminantes regresan a la tierra aproximadamente en la misma cantidad en la que salieron, exceptuando la biomasa mezclada con desechos urbanos, por lo que no representan ningún riesgo para el ambiente o las personas.

Otro de los beneficios que existe al utilizar biogas es la reducción en emisiones de CO₂ a la atmósfera, así como la quema de metano, gas de efecto invernadero. En

algunos países, como Dinamarca, se ha visto una reducción considerable en las emisiones de gases de efecto invernadero. El aporte al medioambiente de la entrada en funcionamiento de las plantas de biogas en Dinamarca ha generado una reducción de aproximadamente 129 kg de CO₂ equivalente por cada m³ de biogas utilizado, combinando los beneficios de no quemar combustibles fósiles con mayor cantidad de carbono y las reducciones de gases de efecto invernadero como el metano; igualmente se ha tomado en cuenta las emisiones que se producen por el uso del equipo que permite obtener el biogas y el transporte de la materia prima así como del biogas. Otros gases como el SO₂ tienen un nivel de emisiones mucho más bajo cuando se trata de plantas de biogas, sin embargo el nivel de emisiones de NO_x sube de manera opuesta. [2]

4.1.3. Tecnologías de producción de biogas

Las tecnologías de producción de biogas difieren en dependencia del tipo de trabajo que cada una de las centrales tiene. Por lo tanto pueden clasificarse de la siguiente manera: tecnologías por carga, tecnologías por intensidad de mezclas, tecnologías por manejo del sustrato y por último, tecnologías por manejo bioquímico.

4.1.3.1. Tipos de tecnologías de producción

a. Tecnologías de producción por carga

1. Carga discontinua, tipo BATCH

Este tipo de sistemas están constituidos generalmente por dos o más digestores, ya que el sistema de carga tipo BATCH se caracteriza por tener carga y descarga completa del digestor. Por lo tanto mientras el un digestor se encuentra en proceso

de carga o descarga, la producción de biogas se mantiene continua en el otro digestor. De acuerdo a algunos autores es mejor si se cuenta con al menos tres o cuatro digestores, esto generará una producción de biogas con menos altos y bajos. Una de las ventajas que presenta este sistema es que son ideales para el procesamiento de materia que no puede ser digerida en un sistema continuo ya que pueden generar taponamiento en los conductos. [10]

2. Carga continua

En los sistemas de carga continua o semicontinua, el volumen que sale del digestor es directamente reemplazado por un volumen entrante. Los sistemas continuos se cargan diariamente, mientras que los semicontinuos sufren el proceso de carga y descarga múltiples veces por año, pero no diariamente. El tiempo que permanecerá la carga total dentro del digestor es incierto, ya que depende directamente de la relación que haya entre la cantidad de materia añadida con respecto a la cantidad total de materia que exista previamente en la cámara anaeróbica. [10]

b. Tecnologías de producción por intensidad de mezclas

1. Mezclado completo

Los objetivos principales de los digestores con mezclado completo son dos. Por un lado se trata de asegurar que la mezcla de materia sea distribuida de manera similar en todo el digestor, de esta manera la digestión se dará evitando puntos en los que por dificultad de digestión las bacterias no actúen. El segundo objetivo es distribuir uniformemente el calor, en el caso de biodigestores con calentamiento, entre toda la materia que se encuentra dentro del biodigestor. Sin embargo es

importante saber que el mezclado no puede darse de manera violenta, tiene que ser progresivo y tratando de afectar lo menos posible a la vida bacteriana, que es muy sensible a cambios. [10]

2. Mezclado parcial o nulo

El mezclado parcial o nulo es el más utilizado en los digestores de pequeña escala, el único fin de la agitación manual es evitar la formación de una costra que impediría el correcto funcionamiento bacteriano y por lo tanto el nivel de biogás obtenido resultaría ser menor al que se podría obtener. Existen varios tipos de agitación, por un lado está la agitación manual, por medio de dispositivos mecánicos; se conoce como agitación nula al proceso por medio del cual la materia dentro del biodigestor se mezcla pero sin el aumento de trabajo por cualquier equipo mecánico, es decir que la mezcla se da únicamente por la configuración de las tuberías de carga y descarga, se puede, entonces, tener un tanque digestor con flujo ascendente, en el que el nivel de la tubería de carga se encontrará por debajo del nivel de la tubería de salida; también existe el de flujo descendente, en el que, por oposición, la tubería de carga se encuentra por encima del nivel de la tubería de descarga. Así mismo, dentro de los tanques se puede instalar una serie de tabiques que permitan que el flujo dentro del tanque no sea continuo. [10]

c. Tecnologías de producción por manejo del sustrato

1. Contacto anaeróbico

El manejo de sustrato es importante debido a que la población de bacterias debe ser conservada de la mejor manera posible. Las tecnologías de producción por manejo de sustrato de contacto anaeróbico intentan reducir el tiempo de

permanencia de la materia dentro del digestor así como los tamaños de los digestores mediante un manejo de la población bacteriana que permita recuperar la mayor cantidad de ésta. Las tecnologías de contacto anaeróbico utilizan el principio de sedimentación para recuperar la población bacteriana a la salida del digestor. El esquema siguiente muestra esquemáticamente un sistema de este tipo; después de la sedimentación de la población bacteriana el substrato puede ser retirado del sedimentador. [10]

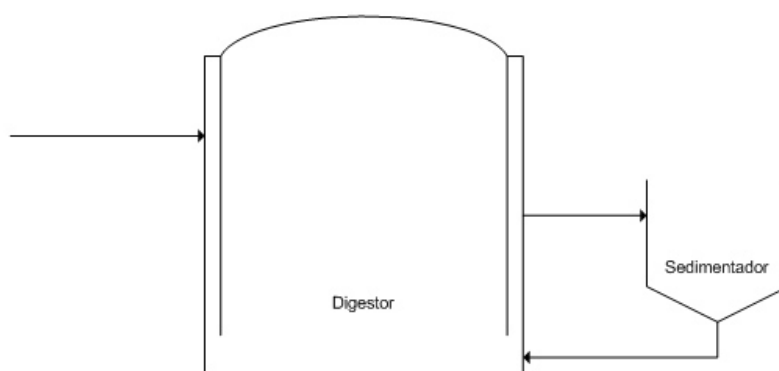


Figura 4.1. Sistema de manejo de substrato por contacto anaeróbico

2. Flujo ascendente de manta de lodo

Este tipo de digestores sólo admite materia líquida. Están compuestos de paredes y separadores donde la población bacteriana tiende a aumentar y a quedarse fijada en la estructura mientras que el fluido sube hasta la sección de descarga. Usando esta tecnología se evita que la población bacteriana salga del digestor junto con el efluente. Este tipo de sistemas se utiliza únicamente con carga continua ya que la materia que se utiliza tiene que ser líquida para evitar el arrastre de las bacterias a su paso por el digestor. [10]

3. Lecho fluidizado

El proceso de lecho fluidizado introduce pequeñas partículas que se encuentran en suspensión dentro de la cámara de digestión, las bacterias se adhieren a ella y crecen pegadas a estas partículas, en el proceso de descarga se filtra el efluente y las partículas, cubiertas de bacterias son recuperadas y reintroducidas en el digestor para el siguiente proceso de digestión. [10]

4. Filtro anaeróbico

La tecnología de filtro anaeróbico es similar a la de lecho fluidizado, la diferencia es que en este tipo de digestores las superficies a las que las bacterias se adherirán se encuentran fijas en el interior del digestor y de esta manera se conservan en los momentos de carga y de descarga. Este tipo de digestores, al tener obstáculos en el camino de la materia lo hace no deseable para el manejo de materia no soluble ya que el paso de los elementos no solubles puede verse afectado por la estructura interna del digestor. Los materiales sólidos insolubles pueden afectar el rendimiento del digestor ya que si se acumulan entre los elementos filtrantes, pueden dar como resultado un taponamiento general del digestor. [10]

d. Tecnologías de producción por manejo bioquímico.

1. Manejo bioquímico de una etapa

Por lo general los biodigestores para usos básicos se construyen en una sola etapa, es decir, la fase acidogénica, que es cuando las bacterias acetogénicas degradan la materia orgánica para convertirla en ácido acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$); y la fase metanogénica, fase en la que las bacterias anaeróbicas realizan la digestión y se libera el biogas; se dan en el mismo recipiente, la misma cámara de digestión. [10]

2. Manejo bioquímico de dos etapas

Este tipo de tecnología, si bien no se encuentra tan difundida como la anterior, representa una mejora ya que la fase acidogénica y la fase metanogénica se encuentran separadas en dos diferentes recipientes, lo que resulta en un mejor aprovechamiento de cada uno de los tipos de bacterias. [10]

4.1.3.2. Estructura de un biodigestor

a. Sección de carga

Dentro de la sección de carga se puede incluir el acarreamiento y recolección de materia prima, así como también las tuberías necesarias y la estructura de la cámara de carga necesaria para contener la materia que ingresará al biodigestor. En cuanto a los sistemas de acarreo y recolección es necesario que éstos sean capaces de recoger la materia prima de manera eficaz y sin maltratarla mucho para evitar cambios en temperatura u oxigenación del material. En lo que refiere a la cámara de carga es recomendable que ésta sea capaz de contener un volumen equivalente de al menos dos días de carga como medio de aseguramiento de provisión de carga. Es necesario que la cámara de carga tenga una toma de agua para poder realizar la dilución de la materia así como es necesario que exista alguna manera de agitar la mezcla con el fin de homogeneizarla. En cuanto a tuberías necesarias en la sección de carga se puede utilizar una tubería que conecte a la cámara de carga con el digestor, sin embargo, no es necesario que se trate de un ducto cerrado, puede ser un canal descendente que permita el paso de la biomasa (figura 4.2.). [16]

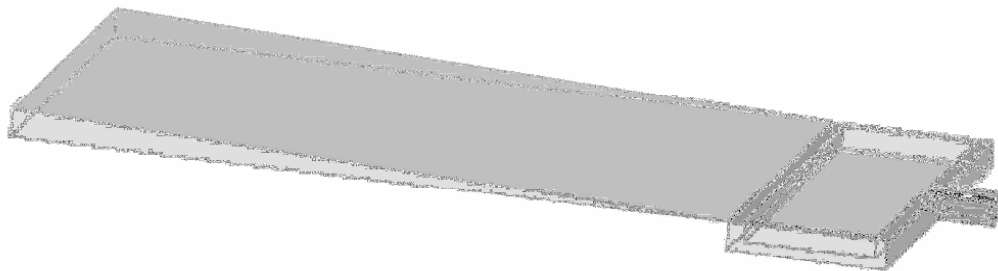


Figura 4.2. Esquema de una rampa de carga.

b. Sección de biodigestor

El transporte desde la cámara de carga hacia el digestor puede darse de varias maneras, se puede hacer uso de equipos mecánicos como bombas, sin embargo, al tratarse de fluidos no Newtonianos, es decir que su viscosidad no es constante, se debe preferir el uso de bombas de desplazamiento positivo en lugar de las bombas centrífugas. El tanque de digestión debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones: debe ser impermeable al agua, debe ser aislado térmicamente para evitar pérdidas de calor e intentar mantener una temperatura que sea adecuada para el funcionamiento bacteriano. Ya que el mantener el calor dentro del digestor es parte importante del proceso se debe evitar que existan pérdidas, es por esto que además de utilizar materiales aislantes en la construcción del digestor es necesario que la relación superficie volumen sea mínima, esto se consigue con formas circulares. Es importante tener algún tipo de mezcla de la materia, esto se puede conseguir de diferentes maneras, puede haber agitadores mecánicos, en forma de paletas o tornillos; puede haber reinyección del sustrato por medio de bombas de recirculación conectadas directamente a la cámara de digestión; puede haber

también inyección de gas hacia el sustrato para crear burbujas; finalmente se puede mezclar simplemente con la configuración de la toma y la descarga, el flujo ascendente o descendente crea una mezclas de manera natural, por lo que no será necesario ningún tipo de agitador mecánico. [16]

c. Sección de producto y desecho

Después del proceso de biodigestión se obtiene tanto biogas como el efluente. El efluente deberá ser descargado en una cámara capaz de contener al menos dos a tres veces el volumen de carga del digestor. No es necesario que la cámara de contención del efluente sea cerrada ni temperada, sin embargo, si se presume que puedan existir elementos que pudieran ser tóxicos es necesario que la cámara sea impermeable para evitar la contaminación al suelo, esto se vuelve importante en el caso de desechos municipales.

El almacenamiento de biogas muchas veces representa un problema ya que la producción de éste es continua a lo largo del día, sin embargo el uso no es continuo. Existen picos pero al mismo tiempo existen períodos del día en los que el consumo de gas es completamente nulo. Existen varios métodos para almacenar el gas, por un lado se puede almacenar en recipientes en estado gaseoso o bien se lo puede utilizar para cubrir otras necesidades energéticas inmediatas como agua caliente o energía eléctrica. Al ser el gas un portador energético es preferible almacenarlo en su estado natural. Puede ser almacenado a baja presión, media presión o alta presión. Los almacenamientos de gas a baja presión son conocidos como gasómetros. Existen algunas variantes, por un lado están los gasómetros de presión constante, en éstos la cámara de almacenamiento de gas presenta una cierta capacidad de expandirse y contraerse dejando que el volumen del gas cambie, manteniendo así la presión

constante. Las variantes de este tipo de almacenamiento de gas son tres, siendo la primera la de campana flotante (figura 4.3. a), la segunda, de cámara de hidropresión (figura 4.3. b) y la tercera la de balón inflable. En la primera una campana que actúa como cubierta superior del biodigestor tiene la capacidad de flotar y moverse verticalmente en dependencia de la cantidad de gas que exista. El segundo caso tiene una cámara en uno de los costados y a medida que el gas llena el espacio de aire por encima de la mezcla de materia todo el lecho fluido de la materia se desplaza hacia la cámara contigua. El tercer tipo de gasómetro de presión constante es el de balón inflable, en el que el digestor se encuentra cubierto por una membrana flexible que a medida que el gas se acumula la membrana se estira para así aumentar el volumen. La figura 4.3 ilustra dos tipos de gasómetros de presión constante. [16]

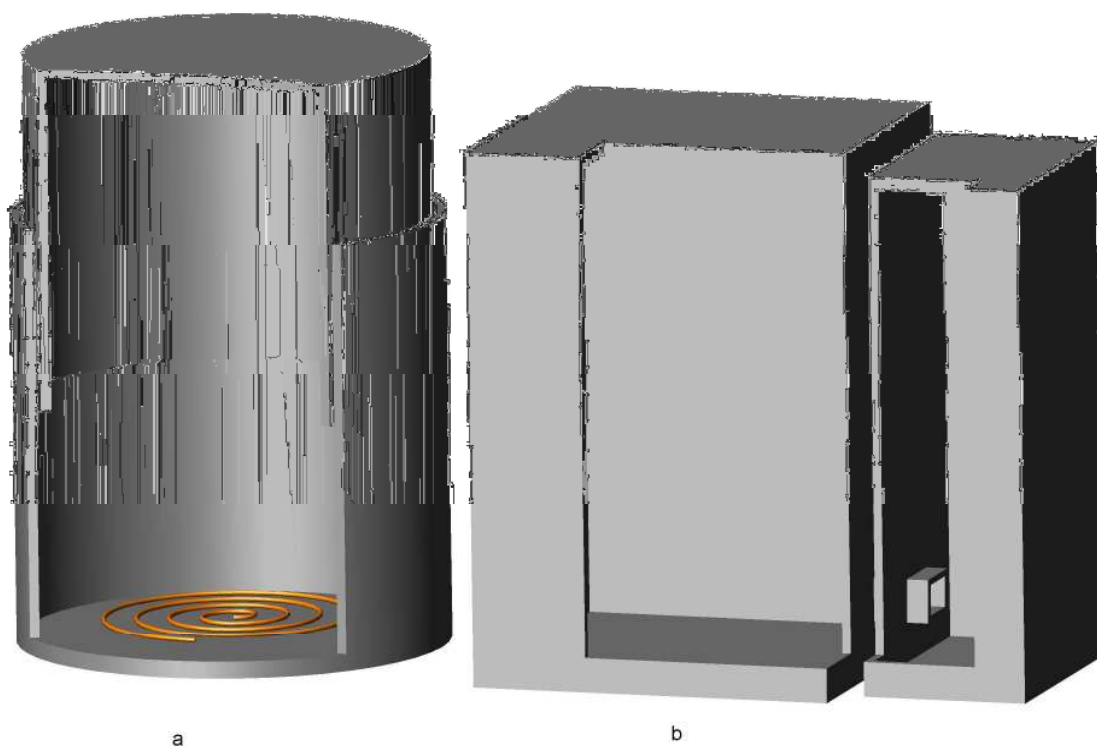


Figura 4.3. Gasómetros de presión constante

Un tipo de gasómetro diferente es el de volumen constante y presión variable. En este caso los digestores son robustos y el gas se comprime poco a poco dentro del tanque. Un almacenamiento más eficiente es el almacenamiento a presiones medianas y altas, sin embargo, es necesario deshacerse del dióxido de carbono, así como del vapor de agua presente en el biogas ya que éstos ocuparán sin duda un espacio que podría ser aprovechado por el metano. El proceso de comprimir el biogas reviste algunos costos adicionales, se vuelve necesario un compresor, así como un sistema de tratamiento del biogas para retirar las partes de vapor de agua y CO₂ de su composición. [16]

4.2. Recursos de biomasa en El Guadual

4.2.1. Descripción de la zona proveedora del recurso

El guadual cuenta con una gran extensión de terreno en la que generalmente el ganado pasta, sin embargo las instalaciones que permitirían recuperar el estiércol consisten en una zona de ordeño para las vacas y un grupo de establos para cerdos.



Figura 4.3. Lugar de ordeño

El espacio alrededor de los sitios de ordeño y de reunión del ganado es lo suficientemente amplio como para poder instalar el biodigestor no muy alejado, de esta manera se facilita el proceso de transporte de la materia hacia el digestor.

4.2.2. Cantidad de producción del recurso

De acuerdo a Jorge Hilbert, autor del Manual Para La Producción De Biogas del Instituto de Ingeniería Rural del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina, los valores de producción de estiércol de cada una de las especies se puede resumir en la tabla 4.5:

Especie	Peso Vivo (kg)	Producción promedio (kg/día)	Porcentaje de metano
Vacuno	400	25-40	65
Porcino	50	4.5-6	65-70
Equino	450	12-16	65
Ovino	45	2.5	63
Aves	1.5	0.06	60

Tabla 4.5. Producción de estiércol diaria de diferentes animales

De aquí se puede obtener un resultado preliminar de cuanto estiércol pueden producir todos los animales de El Guadual. La tabla 4.6 muestra un estimado de la cantidad de estiércol disponible en la hacienda.

Tipo de ganado	Cantidad	Estiércol por cabeza (kg/día)	Estiércol total (kg/día)
Vacuno	90	33,0	2970
Porcino	90	5,2	468
Equino	10	14,0	140
Total			3578

Tabla 4.6. Estiércol disponible en El Guadual

La disponibilidad de este recurso no es del 100% puesto que el ganado vacuno y equino no se encuentra confinado en un solo espacio durante todo el día, sino que pastan fuera de establo. Por el contrario el ganado porcino sí se encuentra en un sitio

todo el día, lo que hace más fácil la recolección de los desechos. Una cantidad de 30% de estiércol recogida cerca del establo es más convincente, ya que se pueden aprovechar los momentos de ordeño para hacer una limpieza y recolección de estiércol. De aquí se obtiene la tabla 4.7:

Tipo de ganado	Cantidad	Estiércol por cabeza (kg/día)	Posibilidad de recolección (%)	Estiércol total (kg/día)
Vacuno	90	33,0	30	891
Porcino	90	5,2	70	140,4
Equino	10	14,0	0	0
Total				1031,4

Tabla 4.7. Cantidad de estiércol real disponible en El Guadual

El recurso disponible es de aproximadamente 1031,4 kg diarios de estiércol, el paso siguiente será analizar si tal recurso es suficiente para la cantidad de gas que se necesita generar. La relación C-N no reviste mayor problema debido a que si bien hay una gran cantidad de estiércol disponible, también existe biomasa herbácea que puede ser utilizada para regular dicha relación.

4.2.3. Interpretación de datos

Los datos obtenidos anteriormente pueden ser utilizados para determinar la cantidad de biogas que podrá ser producida en la hacienda una vez hecho el biodigestor. De acuerdo a Dieter Deublein y Angelika Steinhauser, autores del libro “Biogas a Partir de Desechos y Recursos Renovables”, una cabeza de ganado vacuno es capaz de producir entre 0.56m³ y 1.5 m³ de biogas por día; mientras que un cerdo puede producir entre 0.6m³ y 1.25m³. La tabla siguiente muestra la cantidad de biogas que se podría llegar a producir con los animales disponibles. Se ha usado un valor promedio de generación por animal para obtener los valores presentados en la tabla 4.8.

Descripción	Cantidad	Posibilidad de recolección	Cantidad de estiércol kg/día	Posibilidad de producción de gas m ³ /día	Producción de biogas total m ³ /día
Ganado vacuno	90	30%	891	1,03	27,81
Ganado porcino	90	100%	5,2	0,925	83,25
Total					111,06

Tabla 4.8. Producción de metros cúbicos de gas diaria proyectada. [11]

Los recursos de biomasa tanto del ganado porcino como del vacuno permitirían disponer de 111,06 m³ de biogas al día. El biogas obtenido a partir de la degradación del estiércol de animales tiene las siguientes características, según Deublein y Steinhäuser:

<i>Composición</i>	<i>55-70% de metano (CH₄) 30-45% dióxido de carbono (CO₂) Trazas de otros gases</i>
Contenido energético	6.0 – 6.5 kWh.m ⁻³
Presión crítica	75-89 bar
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg.m ⁻³
Masa molar	16.043 kg.kmol ⁻¹

Tabla 4.9. Características del biogas [11]

A partir del dimensionamiento de la hostería y de la cantidad de equipos que serán alimentados por biogas para su funcionamiento, se obtiene un valor de 133 kg de GLP por semana como demanda energética. En las secciones siguientes se detallará el mecanismo por el cual se llegó a este estimado de consumo. El consumo de 133 kg de GLP por semana significa un consumo de 19 kg de GLP diario; sin embargo, éste no es equivalente a un consumo de 19 kg de biogas diarios ya que el contenido energético del biogas es diferente al del GLP como se muestra en la tabla 4.10.

Elemento	Contenido energético (kWh/kg)
GLP	12,805
Biogas	5,25

Tabla 4.10. Comparación de contenido energético entre GLP y biogas. [11]

El consumo de 19 kg de GLP diarios equivale a 243,295 kWh diarios en energía calórica. Esto es equivalente a 46.34 kg de biogas diarios. De la ficha de características del biogas el equivalente es de 38.61 m³ de biogas. Por lo tanto, si el estiércol disponible en la hacienda permite la generación de 111,06 m³ de biogas, la demanda se ve totalmente satisfecha.

4.3. Estudio y diseño de planta de biogas

4.3.1. Dimensionamiento y localización de planta de biogas

4.3.1.1. Localización

La planta de biogas deberá estar localizada muy próxima al sitio de ordeño, de tal manera que la recolección de estiércol se haga de manera ordenada, fácil y limpia. Dado que el lugar donde se sitúa el ordeño tiene frente hacia la vía que atraviesa la hacienda sería prudente hacer el digestor hacia atrás del ordeño, es decir que no molestaría ni al tránsito de personas, ni a la vista del lugar. Se debe tomar en cuenta, en la localización de la central de biogas, la construcción de una cámara de precarga así como de una cámara de descarga. El esquema en la figura 4.4 muestra la ubicación que éstas deberían tener.

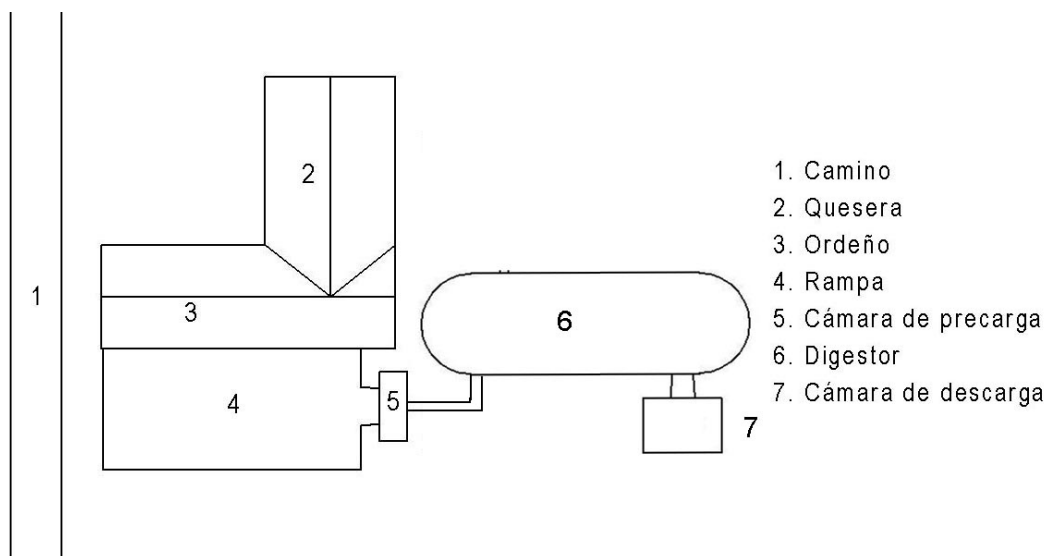


Figura 4.4. Esquema de implantación del biodigestor.

4.3.1.2. Dimensionamiento

El tamaño de la central de biogas, sobretodo el tamaño del digestor depende directamente de la cantidad de sustrato que será tratado para la generación del biogas.

La técnica utilizada involucra tanto la producción de biogas diaria, así como el consumo de biogas. Se conoce que el volumen de sustrato disponible puede desembocar en una producción total de 111,06 m³ de biogas, sin embargo para cubrir la demanda de El Guadual, de 38,61 m³, una producción de 40 m³ diarios de biogas es más que suficiente. Para fines de diseñar el tamaño de la cámara de digestión se asume que la producción realizada es igual a lo largo de las 24 horas del día, sin embargo, por factores de temperatura se dará una producción mayor a medio día que a media noche. Las horas de consumo de gas son igualmente importantes en el dimensionamiento de una cámara de digestión ya que el volumen que deberá tener la cámara de digestión deberá ser superior al volumen máximo que pueda

existir en almacenamiento en el día. La tabla 4.11 muestra la evolución diaria de la producción de biogas así como del consumo.

Hora	Cantidad de producción por hora (m ³)	Porcentaje de generación	Consumo de biogas por hora (m ³)	Porcentaje de consumo	Cantidad instantánea de biogas (m ³)	Volumen acumulado en reserva (m ³)
0	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	1,728
1	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	3,456
2	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	5,184
3	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	6,913
4	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	8,641
5	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	10,369
6	1,728	4,17	0,780	2,02	0,948	11,317
7	1,728	4,17	3,385	8,77	-1,657	9,660
8	1,728	4,17	3,079	7,97	-1,351	8,309
9	1,728	4,17	1,996	5,17	-0,268	8,042
10	1,728	4,17	1,996	5,17	-0,268	7,774
11	1,728	4,17	3,322	8,60	-1,594	6,180
12	1,728	4,17	3,322	8,60	-1,594	4,587
13	1,728	4,17	3,322	8,60	-1,594	2,993
14	1,728	4,17	3,322	8,60	-1,594	1,399
15	1,728	4,17	3,322	8,60	-1,594	-0,194
16	1,728	4,17	1,996	5,17	-0,268	-0,462
17	1,728	4,17	1,996	5,17	-0,268	-0,730
18	1,728	4,17	3,130	8,11	-1,402	-2,132
19	1,728	4,17	1,643	4,26	0,085	-2,047
20	1,728	4,17	1,643	4,26	0,085	-1,961
21	1,728	4,17	0,360	0,93	1,368	-0,593
22	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	1,135
23	1,728	4,17	0,000	0,00	1,728	2,863
total	41,475	100	38,612	100		

Tabla 4.11. Producción y consumo de biogas.

Los datos de consumo de la tabla 4.11 se obtuvieron a partir de los datos proporcionados por los fabricantes de cocinas. La tabla 4.12 muestra los consumos de las cocinas.

Cocinas industriales	Consumo Nominal Kg/h
Vulcan 4 hornillas	2,38
Vulcan 6 Hornillas	3,57
Coriat Multiple	3,26
Coriat EC-6-H Grill	3,36
Vulcan 6 hornillas+2hornos	5,36
Promedio de consumo sin vulcan grande	3,1425
Promedio de consumo total	3,586

Tabla 4.12. Consumo de gas de cocinas industriales

Los valores de consumo por lo tanto salen de la tabla 4.12 y de la tabla 4.13, que presenta las horas de funcionamiento de los diferentes equipos en El Guadual.

Horas de consumo de gas					
Hora	Cocinas domésticas	Cocina hostería	Quesería	Consumo total	
0	0,000	0,000	0,000	0,000	
1	0,000	0,000	0,000	0,000	
2	0,000	0,000	0,000	0,000	
3	0,000	0,000	0,000	0,000	
4	0,000	0,000	0,000	0,000	
5	0,000	0,000	0,000	0,000	
6	0,000	0,780	0,000	0,780	
7	0,609	0,780	1,996	3,385	
8	0,303	0,780	1,996	3,079	
9	0,000	0,000	1,996	1,996	
10	0,000	0,000	1,996	1,996	
11	0,142	1,184	1,996	3,322	
12	0,142	1,184	1,996	3,322	
13	0,142	1,184	1,996	3,322	
14	0,142	1,184	1,996	3,322	
15	0,142	1,184	1,996	3,322	
16	0,000	0,000	1,996	1,996	
17	0,000	0,000	1,996	1,996	
18	0,000	1,134	1,996	3,130	
19	0,509	1,134	0,000	1,643	
20	0,509	1,134	0,000	1,643	
21	0,360	0,000	0,000	0,360	
22	0,000	0,000	0,000	0,000	
23	0,000	0,000	0,000	0,000	
			23,95	38,612	
Total (m ³)	3,000	11,662	23,950	38,612	

Tabla 4.13. Horas de consumo de equipos de gas.

De la tabla 4.11 se pueden obtener algunas conclusiones, por un lado se puede ver que el volumen máximo que se llegará a alcanzar durante un día es igual a 11.31 m³. Los valores negativos en el cuadro significarían un déficit de gas en el digestor, sin embargo hay que tener en cuenta que el digestor comenzará a producir de manera estable aproximadamente después de cuatro a cinco semanas de instalado, por lo que el volumen inicial contenido en él no será de cero y dado que durante el día la producción se acelera como efecto de las temperaturas mayores que durante la

noche estos valores tenderán a estar cubiertos totalmente por la producción del digester. Por otro lado, si fuera necesario, existe suficiente recurso como para realizar cargas mayores de sustrato al digester, lo que proveería de más biogas. En el gráfico de la figura 4.5 se puede ver claramente el consumo y la producción de biogas.

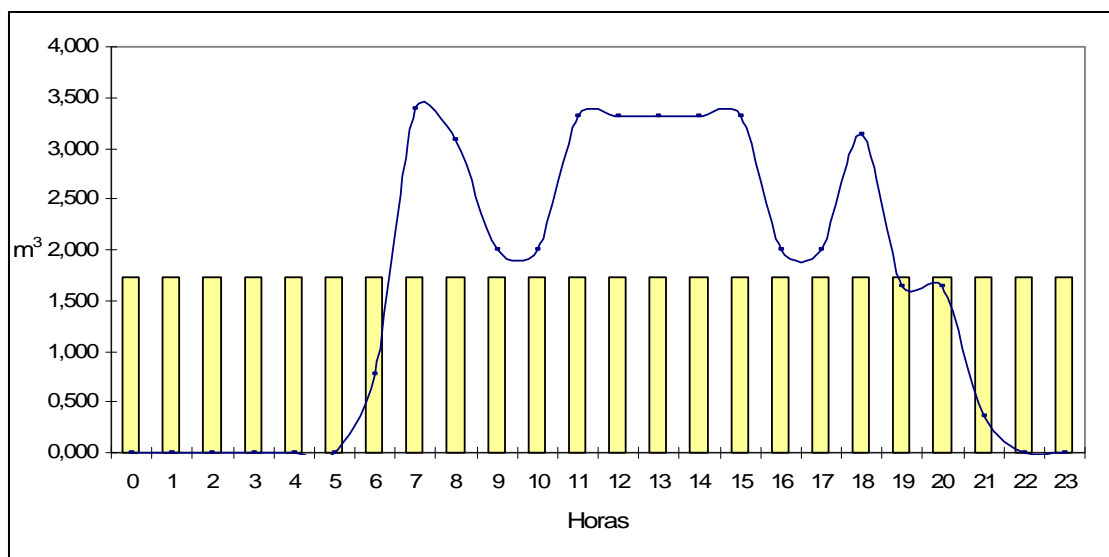


Figura 4.5. Tabla de producción y consumo de biogas por hora.

Se ha dimensionado la cámara de digestión con un resultado de 11.31 m^3 , sin embargo, no sería prudente hacer una cámara de digestión de apenas el valor teórico. Recomiendan algunos autores hacer una cámara de digestión de tamaño suficiente como para poder almacenar el gas producido durante un día y adicionar un 10 por ciento más del volumen para casos de sobreproducción. Lo más prudente en este caso sería realizar una cámara de digestión que se encuentre en un nivel intermedio con respecto a los dos criterios; por un lado el tamaño máximo que debería tener es de 42.471 m^3 (el valor de un día de producción más el 10%), mientras que el menor valor que podría tener la cámara es de 11.31 m^3 . Bajo un criterio de rendimiento del espacio un valor cercano a 11.31 m^3 debería ser escogido,

sin embargo hay que tomar en cuenta que si el consumo de biogas es menor al proyectado, entonces el volumen de almacenamiento quedaría demasiado corto para la producción. Es necesario, al mismo tiempo, tomar en cuenta el espacio que ocupará el sustrato en el digestor, los 1031,6 kg de biogas disponibles diariamente ocuparán un espacio de $0,72 \text{ m}^3$, de acuerdo al valor de la densidad del estiércol en un estudio publicado por la Universidad de Purdue. Un valor razonable es sin duda un tanque de 30 m^3 , de esta manera, aunque el consumo se reduzca a la mitad el volumen del digestor deberá ser suficiente para retener el biogas generado y el sustrato no será un problema en cuanto a espacio.

La dimensión de las cámaras, tanto la de carga como la de descarga, obedecerá simplemente a la cantidad de recurso disponible tanto para la carga del digestor así como para la descarga. La cantidad de estiércol es de 764 kg diarios, que, según la Universidad de Purdue en su estudio sobre el Programa De Almacenamiento Del Estiércol De Ganado, equivale a 0.5265 m^3 de estiércol. Por lo tanto la cámara de alimentación deberá tener un volumen no menor a 0.6 m^3 . En lo que respecta a la cámara de descarga, ésta deberá tener un volumen de al menos dos veces la cámara de carga, es decir 1.2 m^3 .

4.3.2. Almacenamiento de biogas

El almacenamiento del biogas puede darse de varias maneras, la primera es contar con un digestor que sea lo suficientemente grande como para que el sustrato se descomponga y el biogas resultante sea almacenado en un recipiente diferente pero conectado. La segunda manera, de hecho la más recomendable, es que el sustrato sea digerido en un gran recipiente y que este mismo recipiente sea el sitio de almacenamiento del biogas. Es por esto que en el punto anterior se trató la

dimensión de un digestor capaz de almacenar el volumen de biogas que no será consumido durante un día en El Guadual. Alternativamente el gas, dependiendo de las actividades, podría ser almacenado en tanques a alta presión, sin embargo el caso de El Guadual no requiere de un almacenamiento de gas a alta presión. El gas que salga directamente del gasómetro, de cualquiera que sea el tipo, servirá a los propósitos de El Guadual, es decir, no hace falta un almacenamiento a alta presión del gas. La mejor solución en este caso sería utilizar un tanque rígido, ya que el volumen, aproximadamente 3 veces mayor al volumen de producción diaria, permitirá una gran producción de gas sin presentar riesgos en cuanto a presiones se refiere, de esta manera se evitan los problemas de fugas que puede presentar un gasómetro de campana flotante.

4.3.3. Transmisión de biogas

El biogas, como fluido, circula a través de tuberías. No es necesaria ninguna consideración especial en cuanto al material de la tubería, puede usarse tubería de cobre sin ningún problema. En cuanto a válvulas, se deberá pensar en válvulas que permitan una total salida del gas directamente desde el digestor ya que antes de realizar la descarga se debe vaciar el gas del digestor; además deberá existir una válvula de seguridad que evitará una subida de presión inesperada del biodigestor. La figura 4.7 muestra un esquema de un digestor con las conexiones necesarias. Se deberá asimismo pensar en un sistema de agitación desde el exterior.

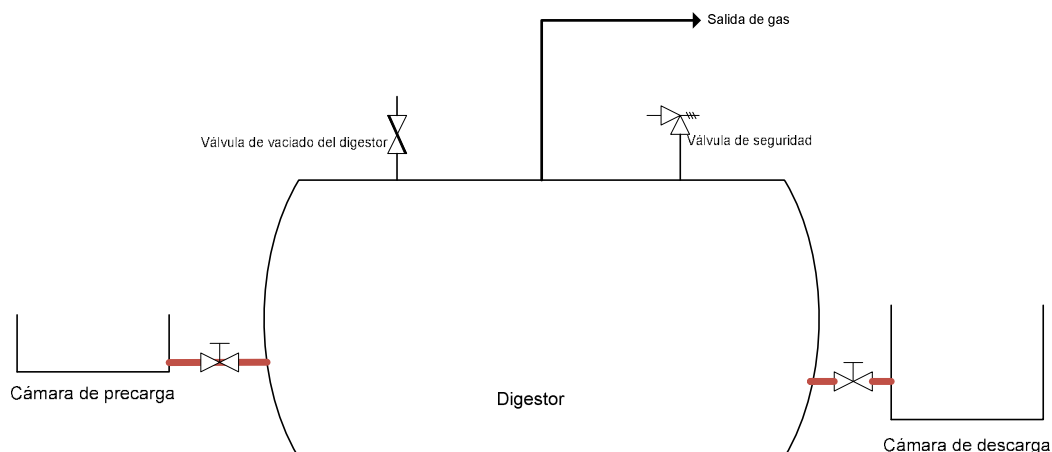


Figura 4.6. Diagrama de tuberías del digestor

4.3.4. Manejo de desechos de biomasa

El producto de interés en el caso concreto de El Guadual es el biogas, sin embargo no hay que desestimar tanto al sustrato del que luego se generará el gas ni a los desechos que salgan desde el digestor. Tanto a la entrada como a la salida del digestor se necesitan cámaras que permitan un manejo correcto de los materiales. En las secciones anteriores se dimensionaron las cámaras, resultando en la cámara de carga de un tamaño de 0.6 m³ y una cámara de descarga de al menos 1.2 m³.

La cámara de carga debe ser realizada en materiales de preferencia bastante impermeables y lisos, lo más recomendable es utilizar pisos y paredes de concreto o cemento con un tratamiento impermeabilizante, de tal manera que sea de fácil limpieza. Asimismo debe ser hecha de manera descubierta o amplia para que la tarea de limpieza se facilite. Una solución a la cámara de carga es hacer una caída al final de la rampa del ordeño seguida de una tubería que alimente al digestor, de tal manera que simplemente el estiércol de las vacas sea empujado hacia dentro del digestor.

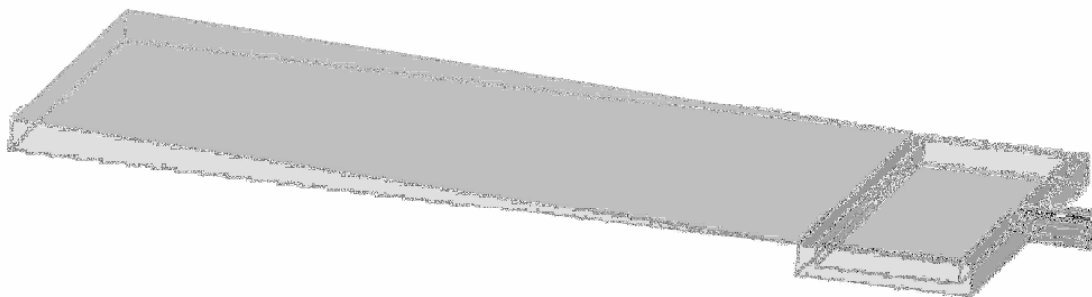


Figura 4.7. Rampa y cámara de carga del biodigestor.

Debido a que el estiércol no se descompone únicamente dentro del digestor y que los elementos que deja libres al momento de la descomposición son tóxicos para el suelo es necesario que la base de la rampa así como la depresión de precarga sean de materiales sólidos y de preferencia impermeables. Una buena opción es que sean hechos en cemento, por otro lado la tubería que une a la precarga con la entrada del digestor puede ser hecha en mampostería, al igual que la rampa y la depresión o bien puede ser de PVC, sin embargo hay que tener en cuenta el diámetro de la tubería, deberá ser lo suficientemente grande como para poder soportar una carga grande de estiércol (ver figura 4.7).

Si bien la cámara de carga o precarga debe ser un espacio lo suficientemente grande como para soportar la producción de estiércol de un día en la hacienda es recomendable que se sobredimensione un poco. La cámara de descarga, por otro lado, será del doble del tamaño de la cámara de carga.

El desecho del digestor es bastante más contaminante si está en grandes cantidades que el sustrato, por lo tanto es recomendable que la cámara de descarga sea de paredes altas y en materiales de tipo mampostería, esto para evitar que, en

caso de lluvia, los elementos que están en el desecho se filtren a la tierra y eventualmente a depósitos de agua subterráneos. Existen dos tipos diferentes de cámaras de descarga, las cerradas o las abiertas. La diferencia no es mayor, ya que la cámara de descarga no es un lugar hermético, sin embargo, si se utiliza una cámara de descarga cerrada se puede lograr recuperar un poco más de biogas que podría generarse ya en la cámara de descarga si el desecho no es retirado pronto. Las ventajas de hacer una cámara de descarga cerrada no son mayores, contrariamente a las desventajas, una cámara cerrada involucra un costo mayor dado que habrá que hacer un techo en la cámara, para evitar un aumento de presión habrá que tener un dispositivo de seguridad, puede ser una válvula de seguridad o bien una válvula de una vía que permita salida de presión pero no entrada de aire o finalmente la manera más sencilla es utilizar un cuello de ganso. Es preferible hacer una cámara de descarga de área grande y paredes no muy altas ya que esto facilitará el acceso para la limpieza de la cámara.

La figura 4.8 ilustra como debería ser una cámara de descarga.

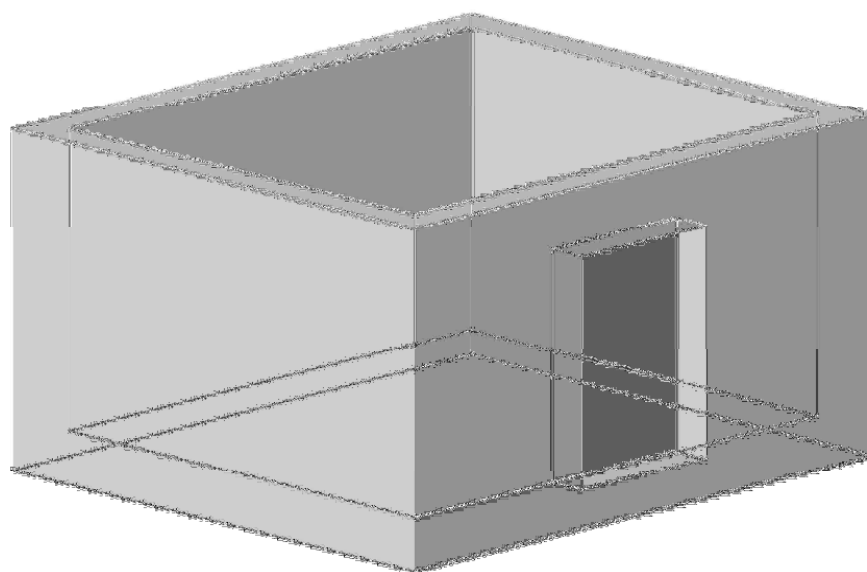


Figura 4.8. Cámara de descarga.

5. Estudio integrado de los diferentes componentes del proyecto

5.1. Estudio económico del proyecto

La integración del proyecto comprende las tres partes por separado, se verá tanto el costo de implementar cada una de las partes así como un análisis en cuanto a la vida útil y el aprovechamiento de cada uno de ellos. Por otro lado se determinará si realizar un proyecto de esta naturaleza involucra en el largo plazo un ahorro de dinero o si el gasto inicial, siendo muy fuerte, no es significativamente más beneficioso a largo plazo para la Hacienda. Se hará un estudio separado para cada una de las partes del proyecto y finalmente se analizarán los resultados.

Proyecto micro hidroeléctrico

Si bien el gasto más fuerte en el proyecto micro hidroeléctrico es el complejo turbina-generador, no hay que dejar de lado los gastos incurridos en fase de construcción tanto de la casa de máquinas como de elementos necesarios para el funcionamiento de la central. Los costos de represamiento del agua no serán tomados en cuenta en esta parte del proyecto ya que el plan de crear un estanque para la crianza de truchas es independiente del proyecto hidroeléctrico, sin embargo la generación de energía a partir del agua viene como un aprovechamiento de esta estructura ya construida. Los gastos en los que se deberá incurrir para completar el proyecto micro hidroeléctrico están dados por la construcción de la casa de máquinas, la adquisición de la turbina y los demás componentes que permitirán la generación eléctrica y el tendido de la red de transmisión.

La tabla 5.1 muestra los gastos en los que se deberá incurrir para la implementación de la central hidroeléctrica.

Material	Precio unitario	cantidad	precio total
Tubería Novaloc d=475mm L=6m	328,16	2	656,32
Casa de máquinas			
Pisos	338,72	1	338,72
Techo	18,67	10	186,70
Paredes	272,20	1	272,20
Ventanas	47,77	4	191,08
Puertas	34,01	2	68,02
Total casa de máquinas			1056,72
Transmisión			
Postes	100,00	33	3300,00
Cables	1,43	1000	1430,00
Total transmisión			4730,00
Turbina y elementos			
Opción 3HC R313	70430,30	1	70430,30
Opción Savoia	37275,81	2	74551,63
Opción Mancini MR	57054,82	1	57054,82
Total con opción 3HC			76873,34
Total con opción Savoia			80994,67
Total con opción Mancini MR			63497,86

Tabla 5.1. Costos de construcción hidroeléctrica

El gasto más fuerte que se debe hacer al momento de la construcción y puesta en marcha de la central hidroeléctrica es sin duda la turbina. Para calcular los precios de las turbinas en Ecuador se hizo un cuadro, tomando en cuenta los precios FOB de las turbinas en su país de embarque y todos los aranceles que la Aduana ecuatoriana carga sobre los bienes importados fueron tomados en cuenta. La tabla 5.2 muestra un desglose del precio final de la turbina.

Fabricante	3HC	SAVOIA	Mancini MR
Turbina	R313	XJ30-15SCT4/6-Z	Banki
Precio FOB turbina	33200,00	17136,00	26500,00
Flete	500,00	700,00	800,00
Seguro	6740,00	3567,20	5460,00
Precio CIF	40440,00	21403,20	32760,00
Ad-Valorem	8088,00	4280,64	6552,00
Fodinfra	202,20	107,02	163,80
ICE	0,00	0,00	0,00
Salvaguardia	14154,00	7491,12	11466,00
Subtotal para IVA	62884,20	33281,98	50941,80
IVA	7546,10	3993,84	6113,02
Total	70430,30	37275,81	57054,82

Tabla 5.2. Precios y aranceles de importación de turbinas

La figura 5.1 muestra las turbinas de los tres proveedores.



Figura 5.1. Turbinas Michell – Banki

Entre las turbinas si bien la 3HC R313 es la más cara, es recomendable instalarla ya que es la que más se aproxima tanto a las necesidades de El Guadual y en el precio están incluidos todos los equipos adicionales a la turbina-generador, es decir está incluido el costo del regulador de velocidad y el panel de control; a diferencia de las otras dos opciones en las que habría que añadir un grupo de control que puede estar entre los US\$ 2500 y US\$ 5000 FOB por turbina, es decir que los precios finales serían bastante similares ya que en el caso de las turbinas Savoia hace falta instalar dos turbinas pequeñas ya que no tienen turbinas más grandes que de 15 kW.

Un estudio del valor presente neto (VPN) permitirá saber en cuánto tiempo se recupera la inversión realizada para la construcción e implementación de este proyecto. Basta con comparar el valor presente (costo de implementar el proyecto) contra las anualidades de ahorro al no pagar por la energía eléctrica. El consumo de energía eléctrica se ve detallado en la tabla 5.3.

Instalaciones proyectadas de El Guadual							
Tipo	Cantidad	Potencia individual (W)	Potencia total (W)	Horas de uso al día (h)	Consumo (kWh/día)	Consumo anual (kWh)	
Casa 1							
Focos	5	60	300	4	1,20	438,00	
Televisión	1	79	79	2	0,16	57,67	
Refrigeradora	1	300	300	6,4	1,92	700,80	
Licuadaora	1	300	300	0,5	0,15	54,75	
Plancha	1	1100	1100	1	1,10	401,50	
Equipo de música	1	80	80	4	0,32	116,80	
Casa 2							
Focos	4	60	240	4	0,96	350,40	
Refrigeradora	1	300	300	6,4	1,92	700,80	
Plancha	1	1100	1100	1	1,10	401,50	
Equipo de música	1	80	80	4	0,32	116,80	
Casa Principal							
Focos	15	60	900	3	2,70	985,50	
Televisión	1	79	79	2	0,16	57,67	
Equipos de cocina							
Refrigeradora	1	300	300	6,4	1,92	700,80	
Horno de microondas	1	2000	2000	1,5	3,00	1095,00	
Licuadaora	1	300	300	0,5	0,15	54,75	
Quesera							
Motor de bomba	1	370	370	8	2,96	1080,40	
Descremadora	1	65	65	8	0,52	189,80	
Motor Yogurt	1	190	190	4	0,76	277,40	
Cuarto frío (2mx1,80mx3m a 1°C-4°C)	1	500	500	6,4	3,20	1168,00	
Vitrina refrigerada (1,4mx4mx1,7m)	1	350	350	6,4	2,24	817,60	
Ordeño							
Motor de bomba de succión	1	1500	1500	2	3,00	1095,00	
Computadora	1	300	300	2	0,60	219,00	
Trituradora	1	2200	2200	0,5	1,10	401,50	
Focos	36	60	2160	3	6,48	2365,20	
Instalaciones previstas de El Guadual							
Habitaciones (30)							
Focos	120	60	7200	4	28,80	10512,00	
Televisión	30	79	2370	4	9,48	3460,20	
Ventiladores	30	60	1800	7	12,60	4599,00	
Mini refrigeradora	30	72	2160	6,4	13,82	5045,76	
Piscina e instalaciones recreativas							
Equipos de piscina							
Filtros							
Bomba	2	2237	4474	12	53,69	19596,12	
Focos 300W-12V	4	300	1200	6	7,20	2628,00	
Equipos de hidromasaje							
Bomba (220V)	1	2237	2237	8	17,90	6532,04	
Equipos de hostería							
Cocina							

Refrigeradoras (2 compartimientos 46.5 ft ³)	2	300	600	6,4	3,84	1401,60
Congeladores (2 compartimientos)	1	300	300	8,7	2,61	952,65
Hornos	2	4000	8000	4	32,00	11680,00
Licuadora	1	450	450	2	0,90	328,50
Batidora	1	300	300	3	0,90	328,50
Plancha	3	1000	3000	4	4,00	1460,00
Jugueras	2	250	500	1	0,50	182,50
Cafetera	1	750	750	4	3,00	1095,00
Ventilación	4	60	240	8	1,92	700,80
Focos	12	60	720	10	7,20	2628,00
Lavadora de platos	1	2250	2250	3	6,75	2463,75
Limpieza						
Lavadoras	1	2800	2800	3	8,40	3066,00
Secadoras	1	2000	2000	4	8,00	2920,00
Aspiradoras	1	1200	1200	2	2,40	876,00
Varios						
Televisión	1	79	79	7	0,55	201,85
Computadoras	1	80	80	8	0,64	233,60
Bombas de agua	1	380	380	14	5,32	1941,80
Ventiladores	4	60	240	6	1,44	525,60
Total			60423		271,80	102125,91
Costo anual eléctrico de la hostería						8170,07

Tabla 5.3. Consumo y costos de electricidad proyectados en El Guadual.

El costo anual eléctrico de la hostería será tomado como un ingreso anual, siempre teniendo en cuenta una tasa de inflación del 4,4% anual de acuerdo al Banco Central en el año 2009.

La fórmula que relaciona el VPN con las anualidades es la siguiente:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Donde P es el valor presente (gasto de construcción del proyecto), A es la anualidad (ahorro por no pagar energía eléctrica), i es la tasa de interés (inflación anual) y n es el período de años. Por lo tanto si se resuelve la fórmula para n se obtiene que el proyecto recupera su inversión después de 8 años. Debido a que las

centrales hidroeléctricas son hechas con una visión a largo plazo, el período de recuperación de diez años es un tiempo razonable.

Proyecto Solar térmico

En el Guadual, la instalación de paneles eléctricos tiene un costo que ya fue tratado en la sección de dimensionamiento de la central solar térmica. La tabla 5.4 resume los costos de instalación de la central solar térmica.

Material	precio unitario	cantidad	precio total
Malla	28,00	20 u	560,00
Concreto			
Cemento	0,13	2000 kg	263,20
Piedra	8,40	7 m ³	58,80
Arena	7,00	4 m ³	28,00
Total Estructura			910,00
Con paneles premium			
Paneles de agua sanitaria	1,10	44250 W	48675,00
Paneles de agua de piscina	1,10	32000 W	35200,00
Con paneles tipo israelí			
Paneles de agua sanitaria	0,40	44250 W	17700,00
Paneles de agua de piscina	0,40	32000 W	12800,00
Total con opción premium			83875,00
Total con opción israelí			30500,00

Tabla 5.4. Costos de construcción de la central solar térmica.

Para determinar el tiempo de recuperación de la central solar térmica se comparará el costo de construcción de la central contra el costo que tendría calentar la piscina con calderas y el agua sanitaria con calefones con una configuración de uno por cada módulo de dos cuartos. El promedio de potencia de los calefones comerciales es de 12000W, lo que se traduce en un consumo de aproximadamente 33 m³ de gas tomando en cuenta que el 60% de cuartos están ocupados y cada calefón abastece a dos cuartos. El promedio de uso de la ducha es de 30 minutos, lo que resulta en 18 horas de uso de gas al día. Que multiplicando para la potencia da

un consumo de 39 kg de gas al día, un equivalente a 2.6 tanques de gas diarios. En 30 días de un mes en promedio se gastaría aproximadamente US\$199,00 en gas para calentamiento de agua sanitaria.

El calentamiento de la piscina requiere de una bomba de calor. En la revisión de diferentes alternativas, bombas de calor eficientes, como las Zodiac Endopac, son ideales para el calentamiento de una piscina del tamaño de la proyectada en El Guadual. Éstas tienen una potencia de 5980W en configuración monofásica a 230V. Según el fabricante, se debe asumir un factor de utilización de 12 horas por día; el resultado es que en un día la bomba de calor consumirá 71,76kWh. Este consumo representa un gasto de US\$ 5,74 diarios y asumiendo meses de treinta días, un gasto de US\$ 172,22 mensual.

El acumulado mensual, resultante de la suma de valor que se dejaría de pagar para calentamiento tanto de agua de piscina como agua sanitaria y de cocina, es de US\$ 371,22; este valor servirá para hacer el análisis en cuanto a recuperación de inversión se refiere, poniéndolo en oposición contra un costo inicial para el conjunto de paneles solares.

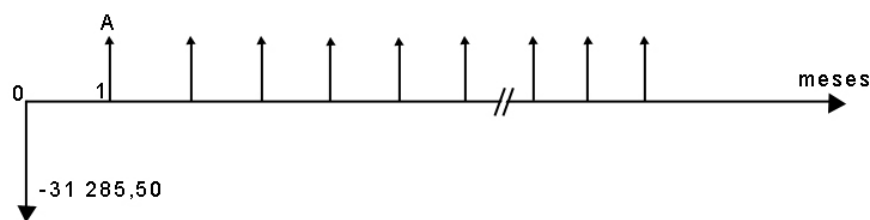


Figura 5.2. Diagrama de ingresos y egresos relativos a la planta solar

De acuerdo a la fórmula de ingeniería económica que pone en relación un valor presente y las anualidades se puede determinar una cantidad de tiempo hasta que el

valor presente gastado en construir la central sea igual al valor ahorrado por motivo de no consumo de energía convencional para el calentamiento de agua. La fórmula es la siguiente:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Se ha tomado como tasa de interés el valor de la inflación anual al año pasado para el Ecuador, es decir 4,4%; P será en el caso de paneles israelíes, US\$ 30 500,00 y en el caso de paneles Premium US\$ 83 875.

En caso de utilizar paneles de tipo israelí el período de recuperación de la inversión será de 72 meses aproximadamente, lo que significa 6 años. Mientras que utilizando los paneles de tipo Premium la inversión se recupera en un período de 165 meses, es decir en 13 años y 9 meses.

En principio el costo de utilizar paneles solares no sería rentable, sin embargo hay que tomar en cuenta que calentar el agua ya sea por medio de calefones o con bomba de calor eléctrica es de bajo costo ya que estos dos tipos de portadores de energía son subsidiados por el Estado. Sería muy poco prudente utilizar el sistema de paneles israelí, ya que dado que tienen una garantía de tres años y una vida útil de cinco, sería imposible terminar de pagar la instalación de los paneles antes de que estos produzcan algún tipo de ahorro. La mejor alternativa, en este caso, sería instalar paneles de tipo Premium, que sin duda son más caros, pero tienen una vida útil mucho mayor. Un estudio comparativo, como el realizado, muestra que es muy poco rentable utilizar este tipo de tecnología para el proyecto, sin embargo, el atractivo que puede generar el uso de paneles solares puede llevar a una fijación de tarifas en la hostería que compensen estos gastos.

Proyecto de biogas

El proyecto de biogas consta de un gasto inicial bastante fuerte ya que es en la etapa inicial cuando se realiza la construcción tanto del digester como de los elementos necesarios para la recolección del sustrato y las tuberías que transportarán al biogas. Para tener una visión más clara de la magnitud del proyecto se utilizarán dos opciones de digester, una metálica y una de cemento con campana móvil.

La tabla 5.5 muestra un detalle de los costos de la construcción de un biodigestor.

Material	Precio unitario	Cantidad	Precio total
Cámara de precarga			
Bloques	0,30	30	9,00
Concreto		0,30 m ³	
Cemento	0,13	120 kg	15,79
Piedra	8,40	0,12 m ³	1,01
Arena	7,00	0,04 m ³	0,26
Malla	28,00	0,30 und	8,40
Cámara de descarga			
Bloques	0,30	84	25,20
Concreto		0,30 m ³	0,00
Cemento	0,13	120 kg	15,79
Piedra	8,40	0,12 m ³	1,01
Arena	7,00	0,37 m ³	2,62
Malla	28,00	0,30 und	8,40
Tuberías y mangueras			
Diámetro 1"	3,97	7 m	27,79
Manguera de gas	1,50	4 m	6,00
Total accesorios			121,27
Digestor opción concreto			
Bloques	0,30	554	166,20
Concreto		3,5 m ³	
Cemento	0,13	600 kg	78,00
Piedra	8,40	0,60 m ³	5,04
Arena	7,00	0,19 m ³	1,31
Malla	28,00	1 unidad	28,00
Campana			1000,00
Total			1278,55
Digestor opción Metálico			
Tanque de 20 m ³ A-36	4500,00	1	4500,00
Tanque de 20 m ³ Inox	25500,00	1	25500,00
Total con opción concreto			1399,82
Total con opción metálica			4621,27
<i>Observación: Tanque en inox es demasiado caro y no amerita.</i>			

Tabla 5.5. Costos de construcción de biogas.

Para determinar la rentabilidad del proyecto el estudio que se conducirá es bastante simple. En base al consumo de gas actual y al consumo proyectado se comparará el costo de construir un biodigestor contra el costo de seguir operando con GLP.

De las fórmulas de ingeniería económica se puede utilizar la siguiente:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$$

Donde: P es el valor presente, en este caso será el costo de construcción de la planta de biogas; A es la anualidad, en el caso de El Guadual este valor es representado por el costo de operar toda la hacienda con GLP más el gasto en el que se incurriría si se pone en marcha la hostería es decir el consumo de 19 kg de GLP diarios con un costo promedio de US\$ 3 por cada tanque de 15 kg; i es la tasa de interés, que para el propósito de este estudio será la inflación nacional anual; finalmente n es el número de anualidades necesarias para igualar el costo de construir la planta con el costo de operar usando GLP. La figura 5.3 ilustra la comparación entre costo de construcción y operación con GLP. El gasto en GLP mensual sería de US\$ 114,00.

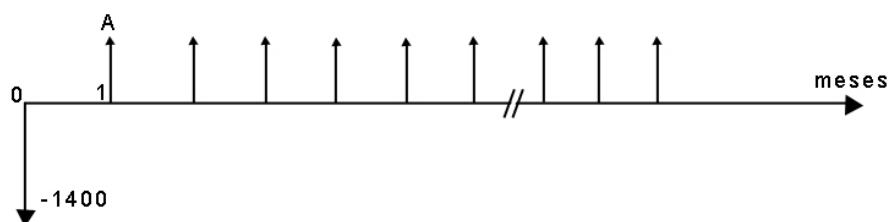


Figura 5.3. Comparación entre construcción y uso de GLP.

El costo de construcción en el gráfico, para una planta con opción concreto, es el valor presente, ubicado en el año cero con flecha hacia abajo para demostrar que es

un valor negativo, un egreso. Las flechas hacia arriba son los “ingresos”, que en realidad son los ahorros de no utilizar GLP. Usando la fórmula anterior y los datos que se han tomado en cuenta se llega a la conclusión de que la inversión realizada para la construcción, de la planta de biogas con opción concreto, será recuperada en un equivalente de 12 meses usando GLP.

Para el proyecto de construcción de una planta de biogas con opción metálica, al ser más cara, la recuperación de la inversión se da en un período de 38 meses, es decir prácticamente en tres años.

Sin considerar los gastos periódicos por mantenimiento se puede decir que los proyectos son rentables y que un período de recuperación de seis años es bastante satisfactorio teniendo en cuenta que la construcción con metal es de mejor calidad que la construcción con cemento.

5.2. Implantación del proyecto

Cada una de las partes del proyecto deberán implantarse cercanas al sitio proveedor del recurso pero al mismo tiempo cercanas al sitio. Por lo tanto la planta hidroeléctrica deberá estar situada de preferencia sobre el curso del río.

Implantación hidroeléctrica.

La casa de máquinas deberá estar aguas abajo con respecto al reservorio de agua, la figura 5.3 es una ilustrativa volumétrica de cómo se vería una casa de máquinas ya a la llegada aguas abajo del río, sin embargo por la construcción de la represa seguramente la locación física de la casa de máquinas será diferente.

Los elementos dentro de una casa de máquinas son varios, debe encontrarse tanto las tuberías de carga y descarga de la turbina, la turbina, el generador y un

sistema de control. La figura 5.4 ilustra una casa de máquinas con una turbina, su toma y descarga y el generador de eje compartido con la turbina.

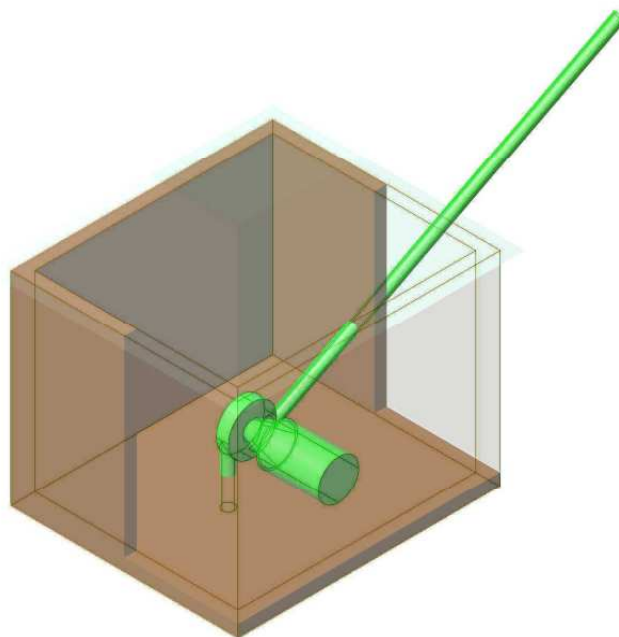


Figura 5.4. Casa de máquinas con turbina y generador.

Las líneas de transmisión tendrán que ir desde la salida de la casa de máquinas hasta el sitio dónde sean necesarias. Se deberá buscar el camino que menos afecte, tanto a la vegetación y a la fauna pero al mismo tiempo que sea lo más corto posible y sin peligros para las redes.

Implantación solar

Para el montaje de la planta de energía solar térmica hace falta mucho espacio, hace falta para los paneles solares de la piscina un espacio entre un 30 a un 50% más grande que la superficie del espejo de agua de la piscina, es decir si la piscina tiene 90 m² aproximadamente de superficie entonces los paneles que calentarán la piscina deberán ser de al menos 117 m². por otro lado hacen falta 150 paneles y aproximadamente 30 tanques pequeños de almacenamiento de agua caliente que se

extenderán en una superficie de aproximadamente 300 m². La figura 5.5 muestra una volumetría de los paneles solares con los tanques. Estos podrían ser emplazados del otro lado del camino que lleva al río (ver figura 5.6).

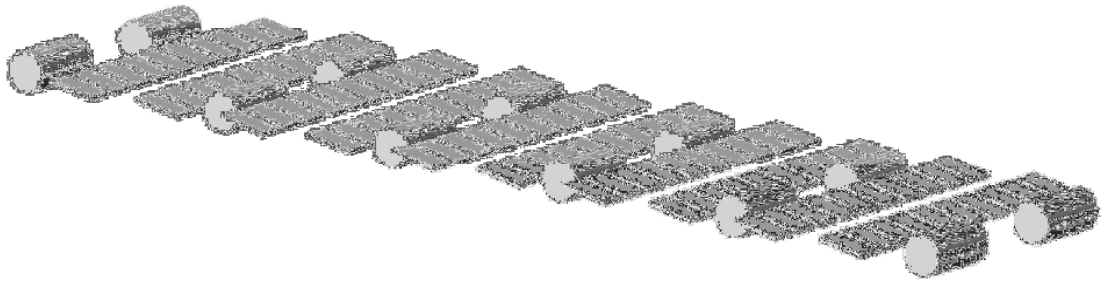


Figura 5.5. Volumetría de paneles solares con tanques de almacenamiento

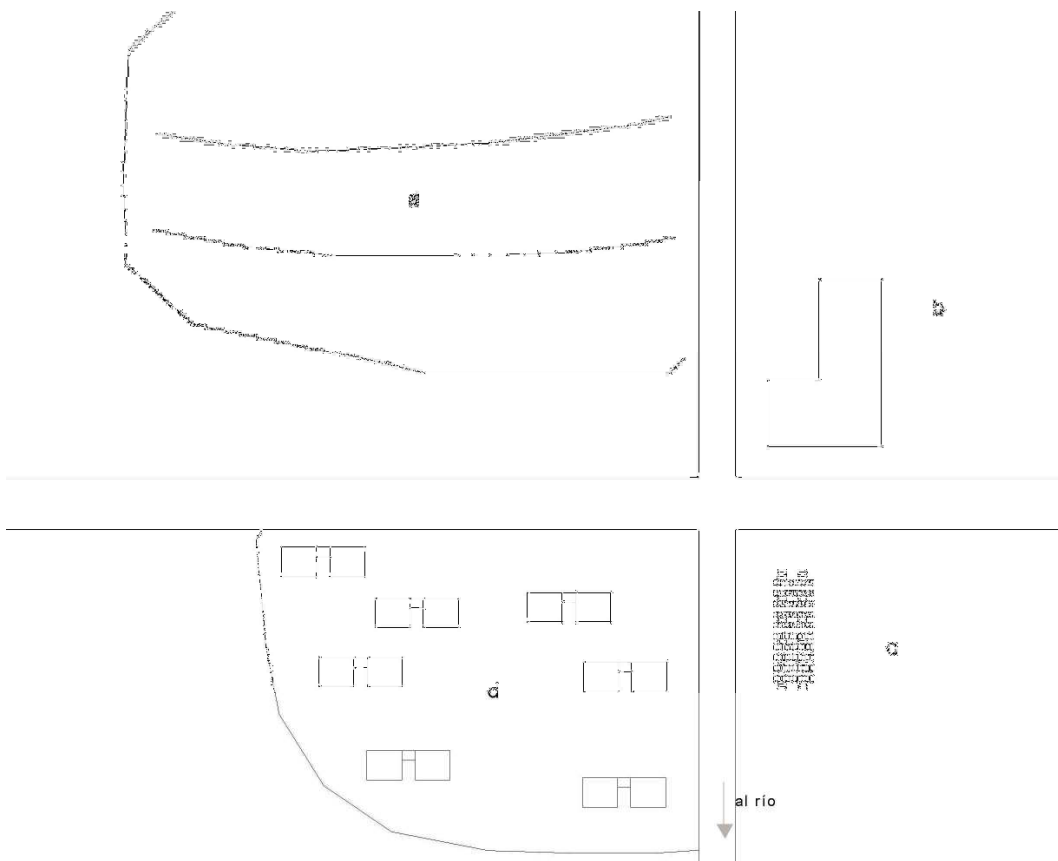


Figura 5.6. Implantación de paneles solares con referencia a la hacienda.

En la figura 5.6 se puede ver claramente que los paneles solares se situarán al otro lado de la calle que lleva al río. En la figura, a es la zona renovada de ruinas y jardines, b es el ordeño y la quesera, c es el sitio de implantación de los cuartos y d es el sitio de implantación de la central solar.

Implantación de biomasa

La central de biomasa deberá estar implantada lo más cerca posible al sitio de obtención del recurso, es decir, por facilidad de manejo de recurso la central deberá ser implantada cercano al lugar de ordeño de las vacas. Si bien los establos porcinos no están en el mismo sitio, la cantidad de recurso que se obtiene es considerablemente menor que los excrementos de las vacas, por lo tanto puede ser transportado hasta la cámara de precarga del digestor. De mayor beneficio resulta que la quesera, principal consumidor de gas, se encuentre en la misma construcción que el ordeño, por lo tanto las tuberías y mangueras necesarias no serán tan largas. La figura 5.7 muestra una implantación en la que se aprovecha tanto la cercanía del ordeño como la quesera para no tener que utilizar demasiadas tuberías que podrían causar pérdidas. La figura 5.8 esquematiza la implantación con respecto a los otros elementos de El Guadual.

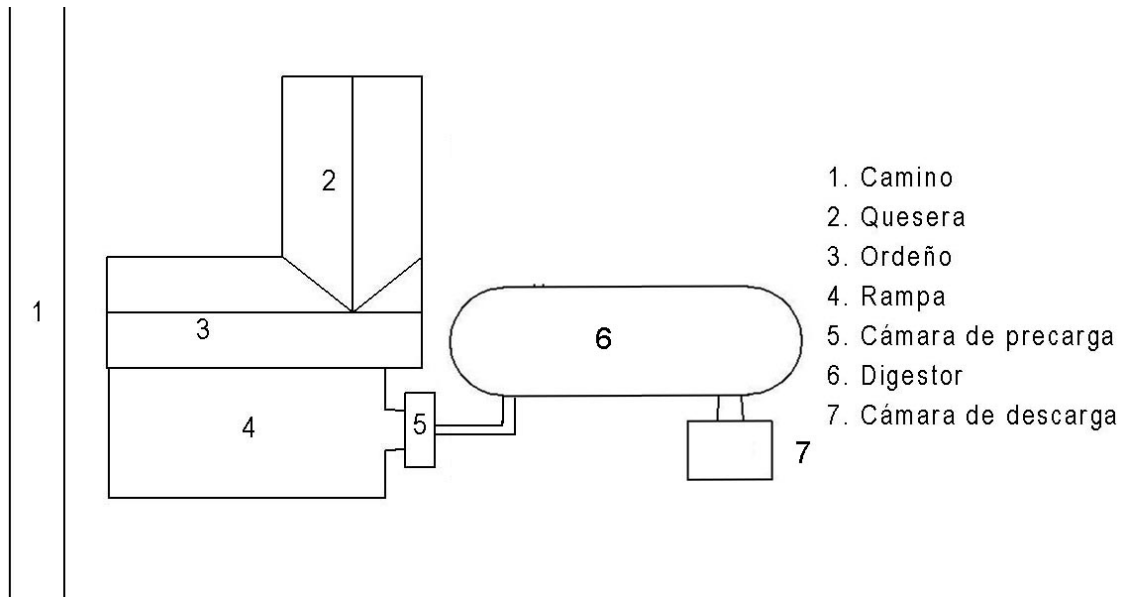


Figura 5.7. Lugar del digestor con respecto a la quesera y el ordeño.

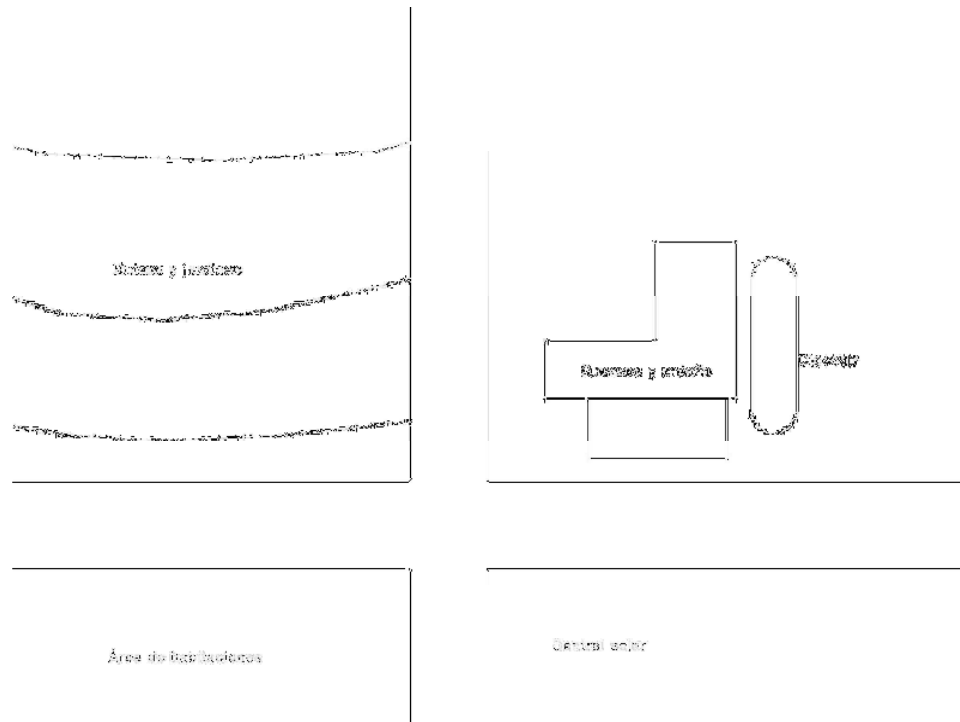


Figura 5.8. Implantación de la planta de biogas con referencia a la hacienda.

6. Conclusiones y recomendaciones

Del trabajo realizado se puede concluir que si bien implementar un proyecto de energía renovable es bastante costoso, en este caso un total de US\$ 165 369,00, la inversión se recupera de manera exitosa en un tiempo razonable. La parte hidroeléctrica será recuperada en ocho años aproximadamente, mientras que la central de biogas se recuperará en un período de un año a tres años dependiendo del tipo de digestor que se decida utilizar. Por otro lado la central solar tiene un período de recuperación de 6 a 13 años, que sin duda es un período demasiado largo, aún si la vida útil de los paneles es permanente y tienen garantía de veinte años.

Se puede concluir, también, que vale la pena invertir en un proyecto de esta naturaleza siempre y cuando exista una recuperación de la inversión no solamente por ahorro de energía convencional sino también por medio de tarifas para hospedaje que incluyan un rubro adicional que tenga relación con el atractivo renovable de El Guadual.

Dentro de las recomendaciones, una de las principales es insistir en que un cambio en el uso de la energía es más importante que el cambio de fuentes de energía de convencionales a renovables. El uso responsable de la energía y del agua debería primar en un sitio cuyo atractivo principal será el concepto de hacienda renovable.

Se debe incentivar la posibilidad de diseñar una central solar con previsión a una ocupación máxima de 60% de la hostería en vista de reducir los costos, obviamente existiría en ese caso la necesidad de disponer de un sistema de calentamiento de agua de apoyo en caso de un una demanda de habitaciones mayor al 60%.

Siguiendo la línea del manejo responsable de la energía y el agua sería importante crear un plan de incentivo para los huéspedes que eventualmente harán

uso de las instalaciones de El Guadual para que el interés por la protección y correcta convivencia con el medio ambiente aumente.

Finalmente se puede exhortar a una conciencia ecológica tanto a visitantes del proyecto de hostería como a todas las personas involucradas en El Guadual.

7. Bibliografía

- [1] Çengel, Y. Boles, M. *Termodinámica*. Quinta Edición: McGraw-Hill. 2007, México.
- [2] Sørensen, B. *Renewable Energy, its physics, engineering, environmental impacts, economics & planing*. Tercera Edición: Elsevier. 2004, Londres.
- [3] Linsley, R. Franzini, J. *Ingeniería de los Recursos Hidráulicos*. Primera Edición: Compañía Editorial Continental S.A. de C.V. 1984, México.
- [4] Chow, V. *Open Chanel Hydraulics*. International Student Edition. McGraw-Hill. 1972, Tokyo.
- [5] Tablado, C. Gallego, J. *Manual de Higiene y Seguridad Alimentaria en Hostelería*. Primera Edición: Thomson – Paraninfo. 2004, Madrid.
- [6] Gallego, J. *Gestión de Alimentos y Bebidas para Hoteles, Bares y Restaurantes*. Primera Edición: Thomson – Paraninfo. 2002, Madrid.
- [7] Penche, C. *Manual de Pequeña Hidráulica. Como llevar a buen fin un proyecto de minicentral hidroeléctrica*. Edición: Dirección General Europea (DG XVII). 1998, Bruselas.
- [8] Calahorrano, M. *Notas de clase de Energía y Medioambiente*. USFQ 2008-2009.
- [9] Pontificia Universidad Católica del Perú. Grupo de apoyo al sector rural. *Selección de turbinas hidráulicas*.
<<http://www.pucp.edu.pe/grupo/energias/hidraulica/afichehidra.jpg>>
- [10] Hilbert, J. *Manual Para La Producción de Biogas*. Edición: Instituto de Ingeniería Rural, I.N.T.A. 1992, Castelar.
- [11] Deublein, D. Steinhauser, A. *Biogas From Waste And Renewable Resources*. An Introduction. Primera Edición: Wiley-VHC. 2008, Weinheim.
- [12] Quaschnig, V. *Understanding Renewable Energy Systems*. Primera Edición: Earthscan. 2005, Londres.
- [13] Da Rosa, A. *Fundamentals of Renewable Energy Processes*. Segunda Edición: Elsevier. 2009, Londres.
- [14] Laughton, M. THE WATT COMMITTEE ON ENERGY. *Renewable Energy Resources*. Edición: Elsevier Science Publishers LTD. 2003, Essex.

- [15] Nersesian, R. *Energy for the 21st Century*. Edición: M. E. Sharpe. 2007 New York
- [16] Guevara, A. *Fundamentos Básicos Para el Diseño de Biodigestores Anaeróbicos Rurales*. Edición: Organización Panamericana de la Salud. 1996, Lima.
- [17] Zoppetti, G. *Redes Eléctricas*. Edición: Editorial Gustavo Gili. 1978, Barcelona.
- [18] Johnson, W. *Transmission Lines And Networks*. International Student Edition: McGraw-Hill. 1950, New York.
- [19] Schmelcher, T. *Manual de Baja Tensión*. Edición: Siemens-Aktiengesellschaft. 1984, Berlin.
- [20] University of Massachusetts Lowell, *Solar Database*.
<<http://energy.caeds.eng.uml.edu/fpdb/irrddata.asp>>
- [21] FifeDirect. *Electrical Appliances*. <www.fifedirect.org.uk> 2010, Fife.
- [22] Outils Solaires. *La Productivité des Capteurs*.
<<http://www.outilssolaires.com/Fabricants/prin-compare.htm>>. Perpignan.
- [23] 3HC. *Centrales hidroeléctricas*. <<http://www.turbinas3hc.com/index.html>>
- [24] Savoia Power. *Miniturbinas hidroeléctricas*.
<<http://www.savoiapower.com/mhidro.html>>
- [25] Fundación para la Investigación de Purdue, West Lafayette, Indiana.
Almacenamiento del Estiércol del Ganado: Características del estiércol.
<<http://www.purdue.edu/envirosoft/manure/spanish/src/species2.htm>>. 2001, West Lafayette.
- [26] Visible Earth, NASA. *Measuring Solar Insolation*.
<http://visibleearth.nasa.gov/view_rec.php?id=1683> 2001, Langley.
- [27] Odum. Sarmiento. *Ecología: El Puente Entre Ciencia Y Sociedad*. Editorial McGraw-Hill, México 1998.
- [28] Empresa Eléctrica Quito. *Normas Para Sistemas de Distribución – Parte A – Guía Para Diseño*. <<http://www.eeq.com.ec/EE652BF4-C785-487D-8234-623D4A915A56/FinalDownload/DownloadId-AA5AFA3BA64B006D3DCF66D44828916E/EE652BF4-C785-487D-8234-623D4A915A56/upload/normas/partea.pdf>> Quito, 2009

8. Anexos

Solar Database - UMass Lowell Solar Energy Engineering

CODE	SITE	LAT	LONG	ELE	YRSI	SJAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	AVG	SRC
ECU5A	Ambato	1,28 S	78,63 W	2540	18	I	4,64	4,56	4,56	4,42	4,39	3,97	4,28	4,50	4,50	4,97	5,00	4,81	4,55 H
ECU1A	Astronomico	0,22 S	78,48 W		25	I	4,48	4,60	4,68	4,35	4,55	4,28	5,22	5,10	5,11	4,68	4,39	4,69	4,68 U
ECU1A	Astronomico					S	1,14	1,28	1,21	1,20	1,17	1,36	1,30	1,36	1,19	1,48	1,23	1,06	0,51 U
ECU5A	Babahoyo (I, Maria)	1,82 S	79,55 W	7	18	I	3,67	3,97	4,36	4,31	3,81	3,25	3,39	3,69	3,78	3,72	3,69	3,72	3,78 H
ECU5A	Bahia De Caraquez	0,60 S	80,38 W	3	3	I	3,83	4,14	4,67	4,53	4,14	3,31	3,64	3,94	3,89	3,92	4,06	4,17	4,02 H
ECU1A	Bahia de Caraquez	0,60 S	80,43 W		4	I	3,88	4,32	4,86	4,49	3,94	3,39	3,83	4,13	4,08	3,68	4,23	4,27	4,09 U
ECU1A	Bahia de Caraquez					S	0,17	0,28	0,10	0,06	0,44	0,19	0,36	0,82	0,95	0,41	0,42	0,21	0,21 U
ECU5A	Ba?os	1,40 S	78,42 W	843	9	I	4,25	4,28	3,94	4,11	4,08	3,61	3,89	4,11	4,19	4,75	4,69	4,50	4,20 H
ECU5A	Boyaca	0,57 S	80,18 W	30	2	I	3,33	3,36	4,36	3,83	3,67	3,31	3,56	3,94	3,81	4,11	3,94	3,83	3,75 H
ECU5A	Bucay	2,17 S	79,27 W	317	9	I	3,22	3,39	3,75	3,50	3,31	2,86	3,28	3,50	3,28	3,42	3,39	3,42	3,36 H
ECU5A	Camposano	1,58 S	80,40 W	120	2	I	3,56	3,86	4,36	4,31	4,19	3,53	4,28	4,11	4,28	4,64	4,39	3,89	4,12 H
ECU5A	Ca?ar	2,62 S	78,93 W	3104	2	I	4,47	4,28	4,36	4,28	4,56	4,31	4,92	4,89	4,58	4,78	4,83	4,75	4,58 H
ECU5A	Cariamanga	4,32 S	79,57 W	1950	2	I	4,28	4,22	4,36	4,33	4,64	4,81	5,08	5,39	4,67	5,75	5,33	4,64	4,79 H
ECU5A	Charles Darwin	0,73 S	90,30 W	6	2	I	4,69	5,03	5,39	5,50	4,53	4,19	3,64	3,53	3,69	4,14	4,36	4,17	4,41 H
ECU5A	Coca	0,45 S	76,98 W	200	3	I	3,83	4,53	3,53	4,14	4,14	3,39	3,83	3,83	3,78	4,33	4,25	4,56	4,01 H
ECU5A	Cotopaxi	0,62 S	78,57 W	3560	2	I	4,31	4,25	3,94	3,64	3,75	3,86	4,14	4,64	4,00	4,44	4,56	4,17	4,14 H
ECU5A	Cuenca-Ricaurte	2,85 S	78,95 W	2562	6	I	4,58	4,58	4,56	4,28	4,25	3,92	4,22	4,39	4,39	4,78	5,06	4,97	4,50 H
ECU5A	El Puyo	1,58 S	77,90 W	950	14	I	3,56	3,56	3,64	3,53	3,69	3,44	3,69	4,00	4,00	4,33	4,28	3,89	3,80 H
ECU5A	Flavio Alfaro	0,40 S	79,60 W	150	1	I	3,17	3,56	4,06	3,53	3,64	3,31	2,94	3,03	3,28	3,81	3,83	3,75	3,49 H
ECU5A	Guayaquil	2,20 S	79,88 W	6	9	I	4,00	4,17	4,67	4,58	4,56	3,86	4,17	4,50	4,67	4,56	4,31	4,44	4,37 H
ECU1A	Guayaquil-Aeropuerto	2,20 S	79,88 W		9	I	3,43	4,41	3,40	4,35	4,32	3,59	4,36	3,63	5,69	4,16	3,72	4,61	4,14 U
ECU1A	Guayaquil-Aeropuerto					S	1,20	1,54	1,45	1,46	1,38	1,10	1,16	1,32	1,81	1,30	1,35	1,51	0,41 U
ECU5A	Hacienda Sangay	1,70 S	77,90 W	970	9	I	3,47	3,47	3,75	3,61	3,69	3,44	3,61	4,00	4,00	4,25	4,08	3,81	3,77 H
ECU1A	Hda, San Vicente	0,57 S	80,43 W		4	I	3,91	4,23	4,17	4,81	4,05	3,63	2,99	3,18	3,02	3,36	3,17	3,71	3,68 U
ECU1A	Hda, San Vicente					S	0,61	0,46	0,63	0,52	0,76	1,27	0,70	0,44	0,25	0,37	0,05	0,20	0,38 U
ECU5A	Ibarra	0,35 N	78,13 W	2228	17	I	4,44	4,42	4,36	4,36	4,58	4,36	4,89	4,97	4,61	4,72	4,50	4,50	4,56 H
ECU1A	Ibarra	0,35 N	78,13 W		22	I	4,56	4,38	4,22	4,16	4,35	4,21	4,79	4,93	4,58	4,60	4,37	4,30	4,45 U
ECU1A	Ibarra					S	0,47	0,42	0,47	0,50	0,50	0,60	0,28	0,47	0,48	0,47	0,48	0,42	0,33 U
ECU5A	Inguincho	0,25 N	78,40 W	3380	2	I	4,72	4,92	4,56	4,25	4,47	4,61	4,97	5,08	5,00	5,03	4,92	4,81	4,78 H
ECU1A	Isabel Maria	1,80 S	79,53 W		18	I	3,52	3,83	4,28	4,33	3,62	3,11	3,08	3,41	3,55	3,19	3,24	3,36	3,54 U
ECU1A	Isabel Maria					S	0,25	0,38	0,39	0,38	0,36	0,50	0,37	0,32	0,38	0,24	0,23	0,37	0,14 U
ECU1A	Izobamba	0,37 S	78,55 W		22	I	4,33	4,39	4,70	4,18	4,23	4,40	5,24	5,02	4,99	4,42	4,56	4,43	4,57 U
ECU1A	Izobamba					S	1,08	1,31	1,12	0,83	1,05	1,14	1,13	1,01	0,73	1,17	1,02	0,99	0,37 U
ECU5A	Izobamba	0,37 S	78,55 W	3058	17	I	4,50	4,44	4,56	4,33	4,64	4,33	5,14	5,06	4,78	4,83	4,75	4,75	4,68 H
ECU7A	Izobamba	0,37 S	78,55 W	3058	4	S	4,23	4,11	4,05	3,75	4,10	4,04	4,21	4,45	4,47	4,15	4,17	4,21	4,16 U
ECU7A	Izobamba					I	0,37	0,30	0,14	0,42	0,14	0,30	0,18	0,21	0,24	0,09	0,31	0,29	0,11 U
ECU5A	Jama	0,20 S	80,27 W	5	1	I	3,61	3,64	4,36	3,83	3,75	2,94	4,72	3,44	3,50	4,03	3,94	3,86	3,80 H
ECU5A	Julcuy	1,47 S	80,62 W	230	3	I	3,56	3,78	4,25	4,11	4,08	3,44	4,28	4,92	4,50	4,33	4,39	4,11	4,15 H
ECU5A	La Clementina	1,67 S	79,35 W	20	9	I	3,78	3,78	4,06	4,11	3,61	3,06	3,31	3,39	3,50	3,53	3,58	3,81	3,63 H

ECU1A	La Clementina	1,67 S	79,35 W		8	I	3,37	3,54	3,81	3,90	3,23	2,74	2,80	3,10	3,34	3,05	3,14	3,43	3,29	U
ECU1A	La Clementina					S	0,35	0,32	0,20	0,49	0,25	0,14	0,20	0,22	0,14	0,17	0,20	0,27	0,12	U
ECU5A	La Concordia	0,10 N	79,42 W	300	14	I	3,50	3,83	4,14	4,06	3,94	3,33	3,69	3,56	3,39	3,47	3,39	3,33	3,64	H
ECU5A	La Naranja	1,37 S	80,47 W	528	16	I	3,28	3,47	3,83	3,83	3,69	3,17	3,50	3,81	3,78	3,92	3,67	3,50	3,62	H
ECU1A	La Naranja-Jipijapa	1,37 S	80,47 W		18	I	2,89	3,17	3,48	3,69	3,39	3,03	3,17	3,62	3,67	3,44	3,17	2,98	3,31	U
ECU1A	La Naranja-Jipijapa					S	0,25	0,27	0,38	0,37	0,29	0,40	0,29	0,61	0,58	0,25	0,30	0,24	0,22	U
ECU5A	Latacunga	0,92 S	78,62 W	2785	17	I	4,53	4,25	4,36	4,03	4,31	4,11	4,53	4,61	4,50	4,64	4,58	4,58	4,42	H
ECU1A	Latacunga	0,92 S	78,62 W		20	I	4,47	4,38	4,21	4,01	4,07	4,09	4,32	4,53	4,44	4,51	4,44	4,37	4,32	U
ECU1A	Latacunga					S	0,52	0,50	0,39	0,41	0,33	0,44	0,26	0,53	0,48	0,51	0,51	0,68	0,26	U
ECU5A	Loja	4,00 S	79,20 W	2135	16	I	4,06	4,22	4,17	4,06	4,28	3,86	4,25	4,33	4,36	4,69	4,89	4,61	4,31	H
ECU5A	Macara	4,38 S	79,28 W	430	10	I	4,22	4,11	4,25	4,06	4,31	4,00	5,06	5,19	5,06	5,22	5,08	4,61	4,60	H
ECU5A	Macas	2,30 S	78,10 W	1070	1	I	4,17	4,17	4,06	3,92	4,28	3,50	3,78	3,69	4,17	4,36	4,72	4,22	4,09	H
ECU5A	Machala	3,27 S	79,95 W	6	1	I	4,42	4,81	5,00	4,56	4,78	4,00	3,72	4,17	3,78	3,86	3,83	4,69	4,30	H
ECU5A	Malchingui	0,07 N	78,33 W	2900	4	I	4,67	4,61	4,78	4,75	4,78	4,44	5,19	5,08	4,78	4,92	4,81	4,78	4,80	H
ECU5A	Manta	0,95 S	80,70 W	6	2	I	4,33	4,44	4,78	4,81	4,50	4,00	4,31	4,33	4,39	4,03	4,28	4,47	4,39	H
ECU5A	Milagro	2,15 S	79,60 W	13	17	I	3,69	3,97	4,36	4,39	3,89	3,22	3,47	3,69	3,78	3,83	3,81	3,94	3,84	H
ECU1A	Milagro	2,15 S	79,60 W		19	I	3,51	3,77	4,24	4,38	3,67	3,06	3,13	3,47	3,66	3,35	3,35	3,49	3,59	U
ECU1A	Milagro	2,15 S	79,60 W			S	0,30	0,31	0,36	0,45	0,35	0,39	0,31	0,28	0,37	0,23	0,23	0,30	0,15	U
ECU5A	Mutile	0,08 N	79,65 W	25	2	I	3,31	3,92	4,03	4,56	4,28	3,53	4,19	3,97	3,69	4,08	3,31	3,50	3,86	H
ECU5A	Napo-San Vicente	0,57 S	80,43 W	5	4	I	4,11	4,72	4,47	4,72	4,25	3,47	3,56	3,64	3,39	3,81	3,75	4,17	4,00	H
ECU5A	Nuevo Rocafuerte	0,92 S	75,40 W	265	3	I	4,72	4,56	4,06	3,92	4,03	3,72	4,22	4,33	4,69	4,64	4,58	4,47	4,33	H
ECU5A	Olmedo	0,13 N	89,62 W	6	6	I	5,06	4,89	4,67	4,56	4,89	4,94	5,42	5,39	5,00	5,00	5,00	4,47	4,94	H
ECU5A	Olmedo Manabi	1,38 S	80,22 W	60	1	I	3,36	3,97	3,64	3,53	3,61	3,17	3,69	4,42	3,89	3,83	3,56	4,31	3,75	H
ECU5A	Pasaje	3,32 S	79,93 W	6	15	I	3,64	3,81	4,25	4,08	3,72	3,19	3,44	3,36	3,28	3,33	3,42	3,56	3,59	H
ECU1A	Pasaje	3,35 S	79,83 W		17	I	3,38	3,68	4,12	4,17	3,48	3,08	3,04	3,07	3,01	2,72	2,80	3,31	3,35	U
ECU1A	Pasaje					S	0,32	0,31	0,30	0,33	0,37	0,55	0,37	0,40	0,16	0,24	0,17	0,98	0,22	U
ECU5A	Pedernales	0,07 S	80,07 W	10	1	I	3,69	3,83	4,89	4,08	3,75	3,50	3,47	3,44	3,61	3,92	3,83	3,44	3,79	H
ECU3A	Pedernales	0,07 s	80,07 w		1	I	5,02	5,80	6,41	6,00	5,65	5,39	4,68	4,82	5,06	4,98	4,70	4,62	5,36	U
ECU5A	Pichilingue	1,10 S	79,48 W	93	16	I	3,56	3,86	4,36	4,11	3,83	3,19	3,44	3,61	3,58	3,72	3,56	3,67	3,71	H
ECU1A	Pichilingue	1,10 S	78,48 W		21	I	3,02	3,72	3,74	4,13	3,65	2,89	3,07	3,44	3,65	3,43	3,22	3,35	3,44	U
ECU1A	Pichilingue					S	0,88	0,85	1,15	1,30	1,10	0,84	1,16	0,86	1,27	0,98	0,92	1,05	0,31	U
ECU5A	Pisayambo	1,07 S	78,42 W	3615	5	I	3,64	3,86	3,94	3,92	3,92	3,56	3,83	3,92	4,00	4,33	4,36	4,17	3,95	H
ECU5A	Portoviejo	1,07 S	80,33 W	44	11	I	3,64	3,86	4,47	4,42	4,22	3,47	4,50	4,22	4,39	4,33	4,17	4,17	4,16	H
ECU1A	Portoviejo	1,07 S	80,43 W		21	I	3,13	3,89	3,80	4,32	4,31	3,37	3,25	4,02	4,47	4,61	3,83	4,00	3,92	U
ECU1A	Portoviejo	1,07 S	80,43 W			S	0,92	1,09	0,99	1,17	1,07	0,94	1,05	1,42	1,51	1,34	1,39	1,11	0,43	U
ECU1A	Puerto Baquerizo	0,90 S	89,78 W		10	I	4,96	5,68	6,44	6,21	5,97	5,25	4,91	4,88	4,68	4,81	4,88	4,86	5,31	U
ECU1A	Puerto Baquerizo					S	0,36	0,91	0,44	0,44	0,49	0,45	0,35	0,25	0,76	0,38	0,40	0,28	0,23	U
ECU5A	Puerto Bolivar	3,35 S	80,00 W	6	15	I	4,42	4,81	5,00	4,56	4,78	4,00	3,72	4,17	3,78	3,86	3,83	4,69	4,30	H
ECU1A	Puerto Bolivar	3,27 S	80,00 W		4	I	4,40	4,64	4,91	4,86	3,82	3,33	3,37	3,24	3,73	3,08	3,48	3,82	3,89	U
ECU1A	Puerto Bolivar					S	0,03	0,30	0,22	0,52	0,37	0,11	0,13	0,18		0,38	0,16			U
ECU5A	Puerto Ila	0,38 S	79,55 W	260	16	I	3,44	3,64	4,06	3,83	3,56	3,11	3,36	3,44	3,39	3,50	3,44	3,36	3,51	H

ECU1A	Puerto Ila	0,55 S	79,37 W		16	I	3,11	3,52	3,77	3,84	3,33	2,86	2,93	3,19	3,22	2,98	2,91	2,88	3,21	U
ECU1A	Puerto Ila					S	0,25	0,38	0,39	0,34	0,41	0,47	0,45	0,41	0,28	0,24	0,21	0,28	0,23	U
ECU5A	Puerto Lopez	1,57 S	80,80 W	6	1	I	4,25	4,56	5,00	4,69	4,28	3,08	3,22	3,42	3,08	3,31	3,67	3,89	3,87	H
ECU5A	Quininde	0,33 S	79,47 W	95	1	I	3,50	3,72	4,14	3,86	3,47	3,42	3,47	3,64	3,39	3,81	4,03	3,53	3,66	H
ECU5A	Quito-Naquito	0,13 S	78,48 W	2812	4	I	4,94	4,64	4,78	4,53	4,83	4,69	5,53	5,47	4,89	5,25	5,14	5,14	4,99	H
ECU5A	Riobamba	1,67 S	78,63 W	2754	17	I	4,44	4,56	4,36	4,22	4,39	4,06	4,47	4,61	4,50	4,75	4,61	4,72	4,47	H
ECU1A	Riobamba	1,63 S	78,67 W		19	I	4,67	4,57	4,33	4,30	4,37	4,15	4,34	4,68	4,65	4,67	4,55	4,57	4,49	U
ECU1A	Riobamba					S	0,39	0,33	0,25	0,38	0,27	0,44	0,51	0,45	0,65	0,34	0,55	0,40	0,18	U
ECU3A	Riobamba	1,67 s	78,63 w		1	I	4,53	3,45	6,51	6,70	6,09	4,24	5,12	5,00	3,98	4,96		4,69		U
ECU5A	Rumipamba	1,02 S	78,58 W	2628	3	I	4,72	4,56	4,56	4,22	4,61	4,28	4,50	4,72	4,69	4,64	4,89	4,86	4,60	H
ECU5A	Salinas	2,18 S	80,98 W	6	4	I	4,67	5,17	5,19	5,17	4,92	4,03	3,67	3,69	3,39	3,53	4,00	4,86	4,36	H
ECU1A	Salinas-La Puntilla	2,20 S	81,02 W		2	I	4,14	5,02	4,79	5,41	4,53	3,80	2,79	2,83	3,02	2,81	3,25	4,62	3,92	U
ECU1A	Salinas-La Puntilla					S	0,45	0,06	0,38	0,12	0,60	0,32	0,05	0,01	0,09	0,27	0,61	0,15	0,16	U
ECU5A	San Carlos	2,28 S	79,42 W	35	9	I	3,50	3,58	4,06	3,92	3,58	3,06	3,28	3,39	3,39	3,53	3,50	3,72	3,54	H
ECU1A	San Carlos	2,28 S	79,42 W		14	I	3,22	3,33	3,85	3,84	3,34	2,84	2,79	3,04	3,17	3,09	3,00	3,22	3,23	U
ECU1A	San Carlos					S	0,26	0,25	0,34	0,30	0,42	0,52	0,21	0,28	0,28	0,23	0,20	0,21	0,24	U
ECU5A	San Cristobal	0,90 S	89,62 W	6	6	I	4,72	5,44	5,92	5,58	5,50	4,92	4,89	4,83	4,58	4,86	4,97	4,86	5,09	H
ECU5A	San Juan-La Mana	0,95 S	79,32 W	223	10	I	3,28	3,47	3,83	3,64	3,33	3,00	3,22	3,42	3,39	3,50	3,44	3,39	3,41	H
ECU5A	San Lorenzo	1,28 N	78,85 W	5	9	I	3,64	4,00	4,44	4,28	4,00	3,56	3,83	3,78	3,81	3,89	3,67	3,47	3,86	H
ECU5A	San Simon	1,65 S	78,98 W	2600	9	I	4,14	4,06	4,36	4,11	4,28	4,17	4,89	5,00	4,58	4,75	4,58	4,61	4,46	H
ECU5A	Santa Isabel	3,33 S	79,33 W	1598	16	I	3,92	3,92	4,06	3,89	4,00	4,06	4,58	4,64	4,47	4,78	4,89	4,50	4,31	H
ECU1A	Santa Rosa	3,43 S	79,97 W		1	I	2,77	3,04	3,77	4,03	3,69	2,94	3,13	3,06	2,85	2,79	2,64	3,46	3,18	U
ECU5A	Santa Rosa	3,45 S	79,97 W		3	I	4,03	4,11	4,47	4,28	3,92	3,00	3,14	3,36	3,17	3,44	3,42	3,53	3,66	H
ECA5A	Santo Domingo	0,23 S	79,27 W	600	2	I	3,14	3,50	3,83	3,75	3,50	3,11	3,47	3,50	3,39	3,50	3,33	3,25	3,44	H
ECU5A	Tabacundo	0,05 N	78,22 W	2876	1	I	4,64	4,50	4,56	4,56	4,58	4,17	4,72	4,89	5,00	4,42	4,19	4,50	4,56	H
ECU5A	Taura	2,33 S	79,82 W	17	1	I	3,50	3,78	4,17	4,00	3,78	3,22	3,58	3,89	3,69	3,72	3,81	3,42	3,71	H
ECU5A	Tiputini	0,75 S	75,53 W	220	8	I	4,53	4,33	4,17	3,83	3,94	3,64	3,92	4,53	4,58	4,69	4,56	4,47	4,27	H
ECU5A	Tulcan	0,82 S	77,70 W	2950	17	I	4,06	4,11	4,14	3,86	4,17	3,92	4,31	4,39	4,19	4,31	4,19	4,00	4,14	H
ECU1A	Tulcan	0,82 S	77,70 W		21	I	4,01	4,05	3,92	3,78	4,04	3,93	4,06	4,21	4,15	4,06	3,96	3,65	3,98	U
ECU1A	Tulcan					S	0,62	0,40	0,38	0,32	0,31	0,38	0,28	0,31	0,45	0,28	0,26	0,40	0,19	U