

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“PROPUESTA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR CON  
SISTEMA SUSTENTABLE PARA UN CLIMA TROPICAL”**

**Realizado por:**

**JOSFMAR FRANCISCO MENESES.**

**Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como  
Requisito Parcial para optar al Título de Ingeniero Civil**

**PUERTO LA CRUZ, DICIEMBRE DE 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“PROPUESTA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR CON  
SISTEMA SUSTENTABLE PARA UN CLIMA TROPICAL”**

**Realizado por:**

---

**JOSFMAR FRANCISCO MENESES**

**Asesor:**

---

**PROF. ANA GHANEM**

**PUERTO LA CRUZ, DICIEMBRE DE 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**“PROPUESTA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR CON  
SISTEMA SUSTENTABLE PARA UN CLIMA TROPICAL”**

**El Jurado hace constar que asignó a esta tesis la clasificación de:**

**Asesor:**

---

**PROF. ANA GHANEM**

**Jurado:**

---

**PROF. HILDA MORALES**  
Jurado Principal

---

**PROF. MARIELY GÓMEZ**  
Jurado Principal

**PUERTO LA CRUZ, DICIEMBRE DE 2009**

## RESOLUCIÓN

*De Acuerdo Al Artículo 44 Del Reglamento De Trabajos De Grado: “Los Trabajos Son Propiedad Exclusiva De La Universidad Y Solo Podrán Ser Utilizados Con Otros Fines, Con El Consentimiento Del Consejo De Núcleo Respectivo, Quien Lo Participara Al Consejo Universitario”.*

## DEDICATORIA

Siempre soñé con este momento genial en el que escribiría la dedicatoria del primer esfuerzo de mi vida, esfuerzo que me llevará a una cima de innumerables metas por cumplir. Un esfuerzo que junto a mi familia, compañeros y amigos pude lograr. Hoy quiero dedicar este esfuerzo, este logro:

A Dios nuestro señor omnipotente y omnipresente, por escuchar mis súplicas y ruegos, estar conmigo en cada momento y por darme el conocimiento necesario para ser la persona que hoy gracias a él soy.

A Mi abuelo Francisco Manuel, por su ejemplo de tolerancia y paciencia, aunque no estés presente para poder leer estas letras que con amor y cariño te dedico, siempre estarás presente en mi mente y en mi corazón. Bendíceme desde el cielo. “Te quiero y te extraño”

A Mi abuela Haydee por sus consejos, los tendré presente y que Dios te de mas años de vida para que me des muchos más. “Te quiero”

A Mis padres Yanira y José, por apoyarme en cada momento de mi vida. En especial a mi madre, compañera y amiga excepcional. “Los amo”

A Mi hermana Desirée, espero que siempre sigas mi ejemplo y que Dios me dé la dicha de verte triunfar en la vida. “Te adoro”

A Mis tíos Miriam, Adriana, Lila, Yacelis, Haydee, Francisco J., Francisco M., por su cariño incondicional. “Mis respetos”

A Mis primos José Alexander, Karianna y en especial a Luís Carlos “Mi piña”. Espero verlos crecer siempre unidos y que sean el gran futuro de la familia, así como en un momento fueron sus padres. “Dios me los bendiga”

A Mis amigas Anabel “Temigosa”, Victoria “Vicky Boo”, Andreina “Refea”, Juddey “Gochona”, Matimar “Matica”. Nunca las olvidaré, siempre ocuparán un lugar especial en mi corazón. “Éxitos chicas”

## **AGRADECIMIENTOS**

*En la vida nos topamos con gratas personas que sin darse cuenta terminan formando parte de nuestras vidas, compartiendo desde un saludo hasta un agradecimiento eterno. En mi caso, me tope con personas maravillosas que forman parte de mi vida, y quiero agradecer en especial:*

- ✓ *A Dios todopoderoso por sus favores concebido, espero que siempre me escuches como hasta ahora lo has echo, mil gracias “Mi Dios”*
- ✓ *A Mis padres, Yanira y José. En especial a mi padre, por llevarme al principio de mi carrera y a mi madre por siempre estar pendiente de mí y darme todo lo que he necesitado.*
- ✓ *A Lugelia Febres y Lisbeth “La Linda” , por su apoyo incondicional.*
- ✓ *A la Prof. Ana Ghanem, por su valiosa asesoría y sus magníficos conocimientos aportados.*
- ✓ *Al Prof. Miguel Molano, por su apoyo y asesoría brindada.*
- ✓ *A los Arquitectos Yrani y Alberto. En especial a Yrani por su gran aporte, ayuda, asesoría y comprensión brindada. Sin ti, una parte de este proyecto no se habría realizado. Muchísimas gracias*

*A todas aquellas personas que formaron, parte de mi vida, y que de alguna u otra manera contribuyeron a la iniciativa de mi carrera y al logro de este trabajo de grado, mi esfuerzo.*

## RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo, la propuesta de una vivienda unifamiliar con arquitectura sustentable siendo esta un modo de concebir el diseño arquitectónico buscando como aprovechar los recursos naturales de tal modo de minimizar el impacto ambiental de las construcciones sobre el ambiente natural y los habitantes. Se diseñó a nivel de ingeniería conceptual un sistema de captación de energía solar a través de paneles solares, para generar energía eléctrica y un sistema de tratamiento natural para el agua proveniente de lavamanos, lavadora, duchas y fregadero (llamadas aguas grises) para su reutilización, en el riego de áreas verdes. Para las aguas negras, también se propuso un sistema de tratamiento natural para que su efluente fuera absorbido por el subsuelo. Se analizaron diversos sistemas de tratamientos naturales para llegar al diseño más eficiente del sistema, estudiando los diferentes procesos que se llevan a cabo en cada una de las unidades que lo integran. Se determinó que el sistema mas adecuado para el diseño del sistema, cumplía con los parámetros principales y los criterios de diseño establecidos en la literatura, tal como lo es la reducción de  $DBO_5$ . Además se determinó que la ubicación general del sistema de tratamiento obedece al espacio físico adecuado para su futura instalación. Al analizar las diferentes fuentes de energías naturales renovables, se tomaron en consideraciones las diversas formas de obtención, siendo la mas favorable la del sistema solar, ya que es una fuente que perdura por casi 8 horas continuas, así como se señalan en estudios y análisis de trabajos sobre la energía solar.

## ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS .....	vi
RESUMEN .....	vii
ÍNDICE GENERAL .....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xv
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	17
1.1. Planteamiento del problema .....	17
1.2. Objetivos.....	19
1.2.1. Objetivo general .....	19
1.2.2. Objetivos específicos.....	19
1.3. Antecedentes.....	20
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Arquitectura sustentable .....	21
2.1.1. Sustentabilidad.....	23
2.1.2. Sistema Sustentable .....	24
2.1.3.1. Características.....	26
2.2. Propuesta del diseño estructural.....	28
2.2.1. Clasificación de edificaciones según el uso, nivel de diseño .....	29
2.2.1.1. Clasificación según el grupo.....	29
2.2.1.2. Clasificación según el nivel de diseño .....	30
2.2.1.3. Clasificación según el tipo de estructura.....	31
2.2.2. Predimensionamiento y cuantificación de cargas propuestas .....	32



2.2.2.1. Carga muerta.....	32
2.2.2.2. Carga viva.....	32
2.2.2.3. Carga sísmica.....	33
2.2.3. Espectro de diseño.....	33
2.2.4. Espectro de respuesta.....	33
2.3. Instalaciones sanitarias.....	34
2.3.1. Demanda de agua.....	34
2.3.2. Consumo de agua.....	34
2.3.3. Dotación.....	35
2.3.4. Caudal.....	35
2.3.5. Sistemas de distribución de agua potable.....	37
2.3.6. Servicios hidrosanitarios para edificaciones.....	38
2.3.6.1. Tipos de instalaciones hidrosanitarias.....	38
2.3.7. Tuberías y accesorios de agua potable.....	39
2.3.8. Consideraciones para el diseño de instalaciones sanitarias.....	41
2.3.9. Unidades de gasto.....	42
2.3.10. Cálculo de las redes de distribución de agua en una edificación.....	42
2.3.10.1. Criterios para el cálculo de las redes de distribución..	43
2.3.11. Servicio de agua caliente.....	44
2.4. Aguas residuales.....	44
2.4.1. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas.....	45
2.4.1.1. Características físicas.....	45
2.4.1.2. Características químicas.....	48
2.4.1.3. Características biológicas.....	51
2.4.2. Aguas grises.....	59
2.4.2.1. Características de las aguas grises.....	60
2.4.3. Aguas negras.....	63

2.4.1. Características de las aguas negras .....	63
2.4.4. Aguas pluviales .....	64
2.5. Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas. ....	66
2.5.1. Trampa de grasas .....	67
2.5.2. Tanque séptico.....	70
2.5.2.1. Consideraciones para el diseño.....	72
2.5.2.2. Ecuaciones para el dimensionamiento de un Pozo Séptico .....	73
2.5.3. Campos de absorción.....	74
2.5.3.1. Consideraciones de diseño.....	75
2.5.4. Humedales artificiales .....	76
2.5.4.1. Sistemas de flujo libre (FLS).....	78
2.5.4.2. Sistemas de flujo subsuperficial (SFS) .....	80
2.5.5. Componentes de los humedales .....	88
2.5.5.1. Agua .....	88
2.5.5.2. Substratos, sedimentos y restos de vegetación.....	90
2.5.5.3. Vegetación.....	91
2.5.6. Consideraciones de construcción.....	95
2.5.6.1. Impermeabilización .....	96
2.5.6.2. Vegetación.....	98
2.5.6.3. Estructuras de entrada y salida .....	99
2.5.6.4. Control del buen funcionamiento del humedal.....	100
2.5.7. Lagunas facultativas.....	101
2.5.7.1. Tipos de lagunas .....	102
2.5.7.2. Aplicaciones.....	103
2.5.7.3. Terraplenes de las lagunas.....	104
2.5.7.4. Diseño hidráulico de las lagunas .....	105
2.6. Propuesta de las instalaciones eléctricas .....	109

2.6.1. Elementos que constituyen una instalación eléctrica .....	110
2.6.1.1. Acometida .....	110
2.6.1.2. Equipos de Medición.....	110
2.6.1.3. Interruptores .....	110
2.6.1.4. Arrancador .....	111
2.6.1.5. Transformador .....	111
2.6.1.6. Tableros .....	111
2.6.1.7. Motores y equipos accionados por motores. ....	112
2.6.1.8. Estaciones o puntos de Control .....	112
2.6.1.9. Salidas para alumbrado y contactos .....	113
2.6.1.10. Tierra o neutro en una instalación eléctrica. ....	113
2.6.1.5. Interconexión .....	114
2.6.2. Diseño de instalaciones eléctricas .....	115
2.7. Energías renovables .....	115
2.7.1. Energía solar .....	119
2.7.1.1. El sol .....	119
2.7.1.2. Constante solar.....	119
2.7.2. Energía solar fotovoltaica .....	120
2.7.2.1. Clasificación de las instalaciones .....	121
2.8. Paneles fotovoltaicos .....	125
2.8.1. Tipos de paneles solares.....	127
2.8.1.1. Silicio Monocristalino. ....	127
2.8.1.2. Silicio Policristalino. ....	127
2.8.1.3. Silicio Amorfo. (TFS).....	128
2.8.2. Estructura de los paneles fotovoltaicos .....	129
2.8.2.1. Características de los paneles .....	129
2.8.2.2. Orientación y conexiones de los colectores solares ...	132
2.8.3. Consideraciones de diseño .....	133
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....	140

3.1. Arquitectura.....	140
3.2. Estructura.....	142
3.3.1. Aguas blancas.....	142
3.3.2. Aguas residuales.....	143
3.3.3. Aguas pluviales.....	144
3.4. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	144
3.4.1. Aguas grises.....	144
3.4.1.1. Trampa de grasas.....	144
3.4.1.2. Pozo séptico.....	144
3.4.1.3. Humedal subsuperficial.....	144
3.4.1.3. Laguna de maduración.....	145
3.4.2. Aguas negras.....	146
3.4.2.1. Tanque séptico.....	146
3.4.2.2. Campo de absorción.....	146
3.5. Instalaciones eléctricas.....	150
3.5.1. Acumuladores.....	152
3.5.2. Disposición de tomacorrientes e interruptores de iluminación.....	153
.....	153
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	155
4.1. Arquitectura.....	155
4.2. Estructura.....	155
4.2.1. Especificaciones.....	155
4.2.1.1. Losas de techo.....	155
4.2.1.2. Sistema aporticado.....	156
4.2.2. Clasificación de la edificación.....	156
4.2.2.1 Según el grupo:.....	156
4.2.3. Cargas.....	157
4.2.3.1. Cálculo de cargas.....	158
4.3. Instalaciones sanitarias.....	158

4.3.1. Cálculo de la dotación .....	158
4.3.2. Cálculo del estanque subterráneo .....	159
4.3.2.1. Dimensiones .....	159
4.3.3. Cálculo del sistema de distribución de agua potable.....	159
4.3.4. Capacidad de bomba .....	162
4.3.4.1. Diámetro de tubería de succión y descarga de la bomba .....	162
4.3.4.2. Pérdidas por fricción (hfs) en la tubería de succión y descarga de la bomba $\geq 3m$ .....	162
4.3.4.2.1. Tubería de succión.....	163
4.3.4.2.2. Descarga de la bomba .....	163
4.3.4.3. Carga de la bomba “H” (Altura dinámica total).....	164
4.3.4.4. Potencia de la bomba .....	164
4.3.4.5. Potencia del motor .....	164
4.3.4.6. Capacidad del tanque de presión .....	165
4.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales .....	165
4.4.1. Cálculo del caudal de aguas grises, negras y pluviales ....	165
4.4.2. Cálculo del caudal de aguas pluviales .....	166
4.4.3. Sistemas de tratamiento de aguas grises.....	167
4.4.3.1. Cálculo de la DBO <sub>5</sub> de aguas grises .....	167
4.4.3.2. Diseño de la trampa de grasa .....	168
4.4.3.3. Diseño del pozo séptico.....	169
4.4.3.4. Diseño del humedal subsuperficial .....	170
4.4.3.5. Diseño de la laguna de maduración .....	172
4.4.4. Sistemas de tratamiento de aguas negras .....	174
4.4.4.1. Pozo séptico .....	174
4.4.4.2. Campo de absorción.....	175
4.5. Instalaciones eléctricas .....	175
4.5.1. Cálculo del consumo diario real .....	175

4.5.2. Consumo de cálculo .....	175
4.5.3. Potencia producida por el panel .....	176
4.5.4. Número de paneles .....	176
4.5.5. Capacidad de la batería .....	176
4.5.6. Demanda de la batería .....	176
4.5.7. Demanda recomendable .....	177
4.5.8. Autonomía de la batería .....	177
4.5.9. Capacidad total de almacenamiento .....	177
4.5.10. Número de baterías en serie .....	177
4.5.11. Número de baterías en paralelo .....	178
4.5.12. Total de baterías .....	178
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	179
5.1. Conclusiones .....	179
5.2. Recomendaciones .....	181
BIBLIOGRAFÍA .....	183
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS .....	189

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1:</b> Trampa de Grasas. ....	68
<b>Figura 2.2:</b> Tanque Séptico. ....	72
<b>Figura 2.3:</b> Sistema convencional pozo séptico y campo de absorción. .....	75
<b>Figura 2.4:</b> Plantas acuáticas mas comunes encontradas en los humedales. ....	77
<b>Figura 2.5:</b> humedal artificial de flujo libre. ....	79
<b>Figura 2.6:</b> Humedal de flujo subsuperficial.....	81
<b>Figura 2.7:</b> Esquema típico de planta emergente. ....	94
<b>Figura 2.8:</b> Estructura de entrada y salida con control de nivel. ....	100
<b>Figura 2.9:</b> Instalación aislada. ....	123
<b>Figura 2.10:</b> Instalación con conexión a red. ....	124
<b>Figura 2.11:</b> Instalación Híbrida.....	126
<b>Figura 2.12:</b> Panel fotovoltaico. ....	127
<b>Figura 2.13:</b> Panel solar monocristalino. ....	127
<b>Figura 2.14:</b> Panel solar policristalino.....	128
<b>Figura 2.15:</b> Panel solar Amorfo.....	129

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Dotaciones de agua para edificaciones destinadas a viviendas unifamiliares.....	36
Tabla 2.2: Clasificación de los Microorganismos.....	52
Tabla 2.3: DQO y DBO según fuentes de aguas residuales grises .....	61
Tabla 2.5: Rata de percolación.....	76
Tabla 2.6: Calidad del agua en el efluente según macrófitas empleadas en humedales SFS .....	83
Tabla 2.7: Características típicas de los diferentes medios utilizados en humedales SFS .....	84
Tabla 2.8: Funciones de las plantas en sistemas acuáticos.....	93
Tabla 2.9: Macrófitas existentes para uso en humedales.....	99
Tabla 2.10: Clasificación de las lagunas con base en la presencia de oxígeno .....	104
Tabla 2.11: Valores de TONC y SRC de paneles solares .....	130



# CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

## 1.1. Planteamiento del problema

La rápida evolución de la civilización contemporánea, conlleva a la necesidad de una revisión de los juicios que se han hecho acerca de ciertos problemas estrechamente ligados con el hombre, uno de ellos es todo el aspecto ecológico, el cual, si se liga con el constructivo, se encuentra que se ha abusado de materiales cuyo proceso de fabricación llega a derroches de energía eléctrica y agua, creando entre otros aspectos el agotamiento de recursos naturales esenciales para la vida.

El uso desmedido de la energía eléctrica, agua y otros recursos, nos ha llevado a sufrir graves consecuencias a nivel mundial como por ejemplo el deterioro de la capa de ozono y el calentamiento global, los cuales se volverán daños irreparables para el planeta si no se tiene uso consciente y racionalizado de estos recursos.

De esta preocupación, surge la búsqueda de métodos constructivos, de abastecimiento de agua y uso de la energía eléctrica, que sean no tradicionales y que respondan con una adaptación a las costumbres del ser humano, creando sistemas que contribuyan al bienestar ambiental del planeta, al no tener excesivo uso de energía eléctrica y agua, ni en su manufactura ni en su abasto. La mayor parte de las edificaciones, están construidas con materiales que respetan muy poco o nada el medio ambiente. Otros materiales proceden de las pinturas y barnices que son productos como por ejemplo, los que derivados del petróleo y en cuyo origen se incluyen elementos volátiles tóxicos como el xileno, cetonas, toluenos, etc. Son materiales que requieren un alto consumo de combustibles fósiles para

su producción, que además de ser cada vez más escasos y costosos, aumentan la contaminación porque en su combustión emiten grandes volúmenes de gases nocivos contaminantes.

Otros tipos de materiales por ejemplo los que la propia naturaleza proporciona y que se han sido utilizados en la construcción de viviendas durante miles de años: madera, barro, corcho, mármol, bambú, etc., y a los que se les pueden añadir nuevos materiales para lograr una utilización ecológica de los mismos: termoarcilla, sudorita, cables afumex,

En las décadas recientes, Venezuela ha experimentado un rápido crecimiento en sus poblaciones urbanas sin la correspondiente expansión en la provisión pública de infraestructura y servicios esenciales para la vida. El resultado es que, en todo centro urbano, desde las grandes ciudades y áreas metropolitanas hasta los centros regionales y los pequeños pueblos rurales, una gran proporción de la población vive en casas con muy poca o ninguna provisión de agua, saneamiento, recolección de basura y energía eléctrica.

De esta necesidad surge la idea de realizar un proyecto de vivienda sustentable para un clima tropical que contribuye a las necesidades básicas del ser humano y a la contribución ambiental del planeta, utilizando sistemas no tradicionales de energía eléctrica, agua y gas. Debido a lo antes expuesto y conociendo lo importante de formar a la generación de relevo en este ámbito, se ve la necesidad de presentar un trabajo de grado con una propuesta a nivel de ingeniería conceptual para la construcción de una

vivienda unifamiliar que colabore con el ambiente, usando energías renovables y sistemas de tratamiento de aguas servidas para su reutilización.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Proponer una vivienda unifamiliar con sistema sustentable para un clima tropical.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Proponer la arquitectura de una vivienda unifamiliar con sistema sustentable.
- Realizar el diseño estructural
- Realizar el diseño de las instalaciones sanitarias con reutilización del agua, incluyendo el tratamiento de aguas negras y grises por separado.
- Realizar el diseño de las instalaciones eléctricas utilizando energía solar.
- Dibujar los planos y detalles de estructuras, instalaciones sanitarias y eléctricas.
- Elaborar los cálculos métricos

### **1.3. Antecedentes**

En el año 2008 Vallejo y Ruíz, realizaron el diseño de un sistema de tratamiento natural, en el que incluían humedales artificiales del tipo subsuperficial y superficial para tratar las aguas provenientes del comedor de la Universidad de Oriente, núcleo Anzoátegui. Esto con la finalidad de reutilizar el agua tratada en el campus de la universidad. **[1]**

En el año 2007 Perales, elaboró una guía para instaladores de energías renovables, utilizadas en las construcciones de viviendas sustentables. Esta guía detalla y explica los métodos de instalaciones de captación de la energía renovable en estudio, así como también métodos de cálculos. **[2]**

En el año 2006 García y González, diseñaron y evaluaron un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de residuos agropecuarios, utilizado en la construcción de una vivienda sustentable. **[3]**

En el año 1994, Caso, elaboró un libro donde especifica con detalle la construcción de una vivienda sustentable. Este libro reúne una gran lista de tecnologías, algunas retomadas del ingenio antiguo de la propia arquitectura y otras de reciente invención que sumadas forman una gran lista de soluciones para afrontar el futuro inmediato, con nuevos estilos de proyectar, donde la premisa es considerar al entorno y su sensibilidad ecológica. **[4]**

En el año 1986, ASAL, diseñó una vivienda unifamiliar utilizando la energía solar. Esto con la finalidad de minimizar el tan elevado consumo de la energía eléctrica que se vive desde tiempos remotos. **[5]**

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Arquitectura sustentable

La arquitectura sustentable intenta reducir al mínimo las consecuencias negativas para el medio ambiente de edificios; realizando eficacia y moderación en el uso de materiales de construcción, del consumo de energía, del espacio construido manteniendo el confort. Para conseguir esto, se debe construir, considerando las condiciones climáticas del lugar, utilizando materiales de bajo contenido energético, es decir que no consuman mucha energía al momento de ser fabricados, minimizando el uso de materiales de alto contenido energético, reduciendo al mínimo la demanda de energía (calefacción, refrigeración, iluminación, equipamiento, otros) y la que se necesite para hacer funcionar el edificio, obtenerla de fuentes renovables [6]. Dentro de los materiales que la arquitectura llama sustentables, se denotan las siguientes características:

- ✓ Que tengan larga duración
- ✓ Que puedan ajustarse a un determinado modelo
- ✓ Que provengan de una justa producción
- ✓ Que tenga un precio accesible
- ✓ Que sean valorizables
- ✓ Que sean no contaminantes
- ✓ Que consuman poca energía en su ciclo de vida
- ✓ Que en su entorno tengan valor cultural
- ✓ Que provengan de fuentes abundantes renovables
- ✓ Que posean un porcentaje de material reciclado

La Arquitectura Sustentable reflexiona sobre el impacto ambiental de todos los procesos implicados en una vivienda, desde los materiales de fabricación (obtención que no produzca desechos tóxicos y no consuma mucha energía), las técnicas de construcción que supongan un mínimo deterioro ambiental, la ubicación de la vivienda y su impacto con el entorno, el consumo de energía de la misma y su impacto, y el reciclado de los materiales cuando la casa ha cumplido su función y se derriba.

La Arquitectura sustentable se basa en 5 pilares básicos:

- ✓ El ecosistema sobre el que se asienta.
- ✓ Los sistemas energéticos que fomentan el ahorro
- ✓ Los materiales de construcción
- ✓ El reciclaje y la reutilización de los residuos
- ✓ La movilidad de los materiales de construcción.

Cuando se habla de edificación ecológica no solo se refiere al ahorro en el consumo energético, sino que además, incluye todos los procesos de fabricación como la elaboración y transporte de los materiales, la puesta en marcha de la obra, la utilización o no del edificio y la posibilidad de recuperación de los materiales.

### **2.1.1. Sustentabilidad**

Significa producir lo que necesitamos sin dañar los recursos de la producción, es decir cosechar los frutos de la creación de tal manera que no se reduzca la capacidad de la creación de producir más frutos. El término sustentabilidad puede referirse a varias cosas: a un sistema de agricultura, a la recolección de madera y los productos del bosque, a como nos deshacemos de desperdicios humanos, como manejamos un programa de salud o hasta como un hogar o una nación maneja su propia economía.

El concepto de sustentabilidad en el uso y manejo de recursos fue desarrollado en Europa Central con la aparición del uso ordenado y permanente de los bosques desde el año 800 D.C, en respuesta al incremento de la escasez del recurso forestal y a los problemas ambientales. Ya en los 80's la Estrategia Mundial de la Conservación de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) planteó que el desarrollo en relación con la naturaleza se debía concebir como "la modificación de la biosfera" y la aplicación de los recursos humanos y financieros, tanto bióticos y abióticos, a la satisfacción de las necesidades humanas y al mejoramiento de la calidad de vida [6].

La sustentabilidad es función de las características naturales y de las presiones e intervenciones que sobre el se ejercen, dándole énfasis a la resiliencia del sistema y reconociendo la artificialización irreversible de los sistemas naturales como consecuencia de las intervenciones del hombre a lo largo de la historia.

Según Salazar [6] la sustentabilidad es el estado o calidad de la vida, en la cual las aspiraciones humanas son satisfechas manteniendo la

integridad ecológica. Esta definición, lleva implícito el hecho de que nuestras acciones actuales deben permitir la interacción con el medio ambiente y que las aspiraciones humanas se mantengan por mucho tiempo. El concepto de sustentabilidad planteado en la Declaración de Río de 1992 [7], incluyó tres objetivos básicos a cumplir:

- ✓ **Ecológicos:** que representan el estado natural (físico) de los ecosistemas, los que no deben ser degradados sino mantener sus características principales, las cuales son esenciales para su supervivencia a largo plazo.
- ✓ **Económicos:** debe promoverse una economía productiva auxiliada por el know-how de la infraestructura moderna, la que debe proporcionar los ingresos suficientes para garantizar la continuidad en el manejo sostenible de los recursos.
- ✓ **Sociales:** los beneficios y costos deben distribuirse equitativamente entre los distintos grupos, y estratos sociales.

### **2.1.2. Sistema Sustentable**

El sistema sustentable es aquel que por una parte puede mantener, producir y controlar las energías básicas requeridas para su uso, y por otra, ser concebida con materiales llamados ecológicos, que puedan considerarse reciclables, recuperables o reutilizables y en sintonía con el entorno donde se desarrolle.



En la presentación de este trabajo de grado se busca destacar algunos de los atributos de una vivienda ecológica y sustentable, caracterizada a grandes rasgos por:

- ✓ Utilización de materiales del entorno donde se construya la vivienda, que no dañe ni impacte negativamente al entorno.
- ✓ Integración natural con el entorno, que le permite regular correctamente los cambios climáticos.
- ✓ Racionalización y generación de energía, mediante el uso de la radiación solar, la energía eólica y la utilización de los desechos domésticos para convertirlos en gas, reutilización de aguas grises y pluviales.

### **2.1.3 2.1.3. Clima Tropical**

Un clima tropical es un tipo de clima típico de los trópicos. La clasificación ampliamente reconocida de Wladimir Peter Köppen lo define como clima no árido en el que los doce meses tienen temperaturas superiores a los 18 °C hasta llegar a los 34 °C, las temperaturas mayores a esta última, pertenecen a temperaturas desérticas [8].

En este tipo de clima se ven lluvias no muy regulares las cuales no superan los 2.000 mm anuales. Esto da la posibilidad de que se creen las sabanas y también la posibilidad de una variedad de especies de fauna y flora [8].

### 2.1.3.1. Características

✓ Estación seca y estación húmeda

El clima tropical se caracteriza, porque en todas sus divisiones se encuentran bastante definidas dos estaciones: una estación seca cuya duración varía según la proximidad al Ecuador terrestre y centrada, para cada hemisferio, alrededor del solsticio de invierno y una estación húmeda con un gran número de precipitaciones llamada monzónica, en torno al solsticio de verano.

✓ Temperaturas

El Clima Tropical es propio de las regiones tropicales. Las temperaturas medias mensuales son elevadas y bastante uniformes a lo largo del año, siendo la media anual superior a los 20 °C. El régimen térmico varía entre 3 y 10 °C, (por ejemplo, 21° y 31° de medias mensuales extremas), siendo mayor en el interior y menor en las áreas costeras.

Los rayos solares, a mediodía, no están nunca lejos de la vertical; por eso la cantidad de calor recibida es grande y varía poco a lo largo del año.

El clima tropical no conoce el invierno; la temperatura media del mes menos cálido es superior a 18° (ésta es la temperatura media del mes más cálido en París). Pero esta media de 18° es la mínima de las medias; habitualmente, los países tropicales registran en el mes menos cálido temperaturas medias de 23° y 24°, y, por supuesto, no hiela nunca. Sin embargo los calores más fuertes no se registran en las zonas de clima

tropical y por ejemplo, la máxima absoluta de Sevilla (47°) es desconocida en la mayoría de las estaciones tropicales. Esto se debe a que la humedad del aire de las zonas tropicales dificulta la penetración de los rayos solares, modera la irradiación terrestre y, en suma, eleva al máximo la eficacia del «efecto de invernadero».

✓ Precipitaciones

La humedad relativa del aire es muy elevada, pues frecuentemente alcanza el 80% e incluso el 100%. En esta atmósfera cargada de humedad la transpiración es difícil y lenta. La atmósfera húmeda es mucho más penosa para el hombre que el calor seco.

En la zona tropical se produce un movimiento ascendente del aire debido a su calentamiento. Esta ascensión del aire origina las lluvias de convección. Además la zona tropical es el lugar de convergencia de los alisios. Los vientos alisios de ambos hemisferios, frecuentemente cargados de humedad, van uno al encuentro del otro.

El encuentro de las dos masas de aire tropicales produce un movimiento ascendente y al enfriarse provocan lluvias de frente. Las precipitaciones oscilan entre los 400 y los 1.000 mm anuales, aunque la variedad de clima monzónico alcanza valores muy superiores.

✓ Localización de este clima

Este clima se localiza en las regiones que están entre los 5° de latitud Sur hasta los 23° latitud Sur (Trópico de Capricornio) y desde los 10° de latitud Norte hasta los 23° de latitud Norte (Trópico de Cáncer).

Por su posición latitudinal (1° a 12° N), al norte de Sudamérica,

Venezuela está bajo la influencia de la hondonada intertropical de bajas presiones ecuatoriales, donde convergen los vientos alisios del noreste y del sureste. Como consecuencia de la circulación general de la atmósfera, de diciembre hasta abril la mayor parte del país está afectada por la zona del alisio del noreste, donde se produce subsidencia de las masas de aire, que origina fuertes inversiones de temperatura a alturas de 1500 a 2000 msnm (inversiones del alisio).

Por encima de esa altura, el aire carece por completo de humedad, por lo que el proceso convectivo de formación de nubes se ve muy limitado, produciendo así la temporada seca en Venezuela. La región norte del país se ve afectada con relativa frecuencia por perturbaciones de origen extratropical, especialmente frentes fríos, entre enero y abril, que provocan precipitaciones dentro de la temporada seca.

## **2.2. Propuesta del diseño estructural**

Todas las estructuras deben ser diseñadas y construidas para que, con seguridad sean capaces de soportar todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y el período de vida útil previsto en el proyecto así como la agresividad del medio. La propuesta del análisis estructural consiste en la determinación de los efectos originados por las acciones sobre la totalidad o parte de la estructura, con el objeto de efectuar comprobaciones en sus elementos resistentes. Para la realización del análisis y diseño estructural, se idealizan tanto la geometría de la estructura como las acciones y las condiciones de apoyo mediante un modelo matemático adecuado. El modelo elegido debe ser capaz siempre de reproducir el comportamiento estructural dominante. Generalmente, las condiciones de compatibilidad o las relaciones tenso-deformaciones de los materiales resultan difíciles de satisfacer estrictamente, por lo que pueden

adoptarse soluciones en que estas condiciones se cumplen parcialmente, siempre que sean equilibradas y que se satisfagan las condiciones de ductilidad apropiadas.

Es un error frecuente adoptar estructuras que tienen características incompatibles con las del edificio, el ejemplo más típico es la utilización de estructuras relativamente flexibles por ejemplo pórticos con vigas y columnas de ciertas dimensiones, ubicados dentro del edificio, en construcciones con cerramientos muy rígidos como mampostería, y todas las construcciones de la zona central. Otro error es utilizar estructuras que compiten por el espacio físico con los espacios funcionales de la edificación. Es lo que sucede si se pretende utilizar pórticos internos cuando la altura disponible para las vigas o el espacio para las columnas es muy limitado por las necesidades funcionales.

### **2.2.1. Clasificación de edificaciones según el uso, nivel de diseño**

#### **2.2.1.1. Clasificación según el grupo**

- ✓ **Grupo A:** edificaciones que albergan instalaciones esenciales, de funcionamiento vital en condiciones de emergencia o cuya falla pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas humanas o económicas. [9]

- ✓ **Grupo B1:** edificaciones de uso público o privado, densamente

ocupadas, permanente o temporales. [9]

- ✓ **Grupo B2:** edificaciones de uso público o privado, de baja ocupación que no excedan los límites indicados en el grupo B1. [9]
  
- ✓ **Grupo C:** construcciones no clasificables en los grupos anteriores, ni destinadas a la habitación o al uso público y cuyo derrumbe no pueda causar daños a edificaciones de los tres primeros grupos. [9]

#### **2.2.1.2. Clasificación según el nivel de diseño**

- ✓ **Nivel de diseño 1 (ND1):** el diseño en zonas sísmicas no requiere la aplicación de requisitos a los establecidos para acciones gravitacionales. [9]
  
- ✓ **Nivel de diseño 2 (ND2):** requiere la aplicación de los requisitos adicionales para este nivel de diseño, establecidos en la norma Covenin. [9]
  
- ✓ **Nivel de diseño 3 (ND3):** requiere de todos los requisitos adicionales para el diseño en zonas sísmicas. [9]

### 2.2.1.3. Clasificación según el tipo de estructura

- ✓ **Tipo I:** estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante sus vigas y columnas tales como los sistemas estructurales constituidos por pórticos. Los ejes de las columnas deben mantenerse continuos hasta su fundación. **[9]**
  
- ✓ **Tipo II:** estructuras constituidas por combinaciones de Tipo I y III, teniendo en cuenta el ND (Nivel de Diseño). **[9]**
  
- ✓ **Tipo III:** estructuras capaces de resistir la totalidad de las acciones sísmicas mediante pórticos diagonalizados o muros estructurales de concreto armado o de sección mixta acero-concreto, que soportan la totalidad de las cargas permanentes y variables. **[9]**
  
- ✓ **Tipo IV:** estructuras que no posean diafragmas con la rigidez y resistencia necesarias para distribuir eficazmente las fuerzas sísmicas entre los diversos miembros verticales. Estructuras sustentadas por una sola columna. Edificaciones con losas sin vigas. **[9]**

### **2.2.2. Predimensionamiento y cuantificación de cargas propuestas**

Debemos definir con punto de partida el sistema estructural idealizado para el cálculo, para lo cual debemos calcular dimensiones tentativas para evaluar preliminarmente las diferentes solicitaciones, que exigen funcionalidad de la estructura, esto debido al peso propio de la misma, de los elementos no estructurales, el peso de sus ocupantes y efectos del medio.

La estructura debe diseñarse para que tenga resistencia y rigidez adecuada ante las cargas mínimas de diseño, es decir debe diseñarse para resistir todas las cargas aplicables tales como cargas vivas, cargas permanentes, efectos sísmicos y de viento. Se debe prestar especial atención a los efectos de las fuerzas debidas al preesfuerzo, cargas de grúa, vibraciones, impactos, contracción, relajamiento, etc. Para el desarrollo de este trabajo de grado, solo se consideraran las cargas que a continuación se describen debido a lo extenso del mismo.

#### **2.2.2.1. Carga muerta**

De acción gravitatoria, se considera los elementos físicos constructivos de la estructura. Son todas las cargas de los elementos permanentes de construcción

#### **2.2.2.2. Carga viva**

Son aquellas cargas producidas por el uso y ocupación de la edificación, las cargas vivas que se utilicen en el diseño de la estructura debe ser las máximas cargas que se esperan ocurran en la edificación debido al uso que esta va atener



### **2.2.2.3. Carga sísmica**

Son inciertas tanto en magnitud, distribución e inclusive en el momento en que se pueden actuar. Por hallarse en la zona oriental de Venezuela, donde existe un alto riesgo sísmico, considerado de zona VI [9], la estructura en estudio debe someterse a estos esfuerzos. Para el diseño sísmico se utiliza lo establecido en la referencia [9], el cual indica los requisitos mínimos de cálculo y diseño sismo resistente, para el cortante basal de diseño y el cálculo de las fuerzas horizontales además, del control de derivas de piso y otros efectos

### **2.2.3. Espectro de diseño**

Las fuerzas sísmicas se pueden calcular mediante la relación entre el peso de la edificación y la aceleración generada por la vibración del sismo. Partiendo de estos datos, se han definido unas curvas llamadas espectros de diseño, las cuales recogen el conjunto de los máximos valores de aceleración que pueden afectar diferentes edificaciones de acuerdo a sus características vibratorias, estas dependen de su rigidez y número de pisos, entre otras variables. Un espectro de diseño, entonces, es la herramienta, que permite calcular las construcciones, teniendo en cuenta la actividad sísmica de la región, las condiciones locales de la respuesta del suelo, y las características de la estructura (periodo de vibración). El procedimiento para el cálculo del espectro de diseño, está establecido en la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) [9] Edificaciones Sismorresistentes.

### **2.2.4. Espectro de respuesta**

Es el esfuerzo de fluencia del sistema, necesario para limitarla demanda de ductilidad, impuesta por el movimiento del suelo, a un valor específico. Se calcula siguiendo los parámetros de la Norma COVENIN 1756-98 (Rev.

2001) Edificaciones Sismo resistentes.

## **2.3. Instalaciones sanitarias**

### **2.3.1. Demanda de agua**

Esta información es de gran importancia en el diseño, para el logro de sistemas funcionales, dentro del lapso económicamente aconsejable. Mediante investigaciones realizadas, se ha llegado a aproximaciones que hacen cada vez mas precisas las estimaciones sobre consumo de agua, las Normas Sanitarias Venezolanas [10], basadas en algunas investigaciones propias y apoyadas en las realizadas en otros países, asignan cifras para las dotaciones de agua tomando en cuenta el uso de la tierra, las zonificaciones y en otros casos las características de la población, o en casos de industrias, en función del tipo y de la unidad de producción. Estas cifras nos conducen a la determinación de un gasto o consumo medio, lo cual ha de constituir la base de todo diseño requiriéndose, por lo tanto un conocimiento de estas estimaciones.

### **2.3.2. Consumo de agua**

El consumo de agua es la cantidad de agua utilizada por un grupo en cierto lugar, el cual es directamente proporcional a la cantidad de personas y a las actividades industriales y comerciales que se realicen en el sitio. El consumo de agua total de una población lo representa el agua destinada a uso doméstico, industrial, comercial y de uso público.

Con la dotación de agua asignada a las diversas parcelas o zonas que conforman la población se pueden obtener los consumos medios por áreas respectivas. La asignación de la dotación de agua esta dada por el uso que tengan especificaciones las diversas zonificaciones, sin embargo, depende fundamentalmente del número de habitantes, cuando se trata de proyectos

de acueductos, y por el área de la parcela cuando se trata de una zona específica.

### **2.3.3. Dotación**

Es la cantidad de agua por unidad de tiempo que consume una persona. En nuestro país se ha separado la ejecución de programas de acueducto en dos sectores que se han definido como rural y urbano.

Las "Normas sanitarias para el proyecto, construcción, reparación, reforma y mantenimiento de edificaciones", en su artículo 109 establecen las dotaciones de agua para edificaciones destinadas a viviendas unifamiliares, se determinarán en función del área total de la parcela o del lote donde la edificación va a ser construida o existan, también por el número de habitaciones de acuerdo a la tabla 2.1

### **2.3.4. Caudal**

Se llama caudal, en una determinada sección, el volumen de líquido que atraviesa esta sección en una unidad de tiempo.

En el sistema STM (Sistema de transporte metropolitano), el caudal se expresa en m<sup>3</sup>/s y se calcula con

$$Q = V * A$$

**(Ec. 2.1)**

Donde:

Q = caudal (m<sup>3</sup>/s)

V = velocidad promedio (m/s)

A = área de la sección transversal del flujo (m<sup>2</sup>)

Tabla 2.1: Dotaciones de agua para edificaciones destinadas a viviendas unifamiliares

<b>Número de dormitorios de la unidad de vivienda</b>	<b>Dotación de agua correspondiente en litros por día (l/d)</b>
1	500
2	850
3	1200
4	1350
5	1500
> 5	1500 más 150 por cada dormitorio exceso de 5

**Fuente:** Referencia [10]

### **2.3.5. Sistemas de distribución de agua potable**

Es el conjunto de conductos que transporta el agua desde los puntos de abastecimiento hasta los diferentes puntos de consumo de la edificación. También se denomina red de distribución y está conformada por tuberías, conexiones, piezas sanitarias y accesorios. Dentro de los sistemas de distribución de agua potable encontramos:

- ✓ **Sistemas de alimentación directa:** es la forma de distribuir el agua en la edificación utilizando la presión disponible del acueducto a la salida del medidor.
  
- ✓ **Sistema de hidroneumático:** consiste en estanque de almacenamiento bajo, un sistema de bombeo y un estanque de presión que contiene volúmenes variables de agua y aire. La presión ejercida por el aire sobre el agua permite que esta abastezca las distintas piezas sanitarias de la edificación. Se recomienda su utilización cuando el abastecimiento público no garantiza presión suficiente para el funcionamiento adecuado de la distribución de agua en la edificación. **[11]**
  
- ✓ **Sistema estanque bajo, bomba de elevación, estanque alto:** requiere de un estanque bajo de almacenamiento desde el cual a través de una bomba hidráulica se envía el agua al estanque elevado del cual se distribuye el agua a la edificación. Se recomienda en aquellos casos donde el abastecimiento del

acueducto de agua no es continuo ni la presión es suficiente para llenar el estanque elevado. Se recomienda además en edificaciones grandes que requieren un estanque elevado de gran capacidad pero que no es conveniente estructuralmente en zonas sísmicas debido a su dimensión y peso.

### **2.3.6. Servicios hidrosanitarios para edificaciones**

Es el conjunto de tuberías, equipos y accesorios que se encuentran dentro del límite de propiedad de la edificación y que son destinados a suministrar agua libre de contaminación y a eliminar el agua servida. Estos servicios se encuentran dentro del límite de propiedad de los edificios, tomando como punto de referencia la conexión domiciliaria **[12]**

Sus objetivos son:

- ✓ Dotar de agua en cantidad y calidad suficiente para abastecer a todos los servicios sanitarios dentro de la edificación.
- ✓ Evitar que el agua usada se mezcle con el agua que ingresa a la edificación por el peligro de la contaminación.
- ✓ Eliminar en forma rápida y segura las aguas servidas; evitando que las aguas que salen del edificio reingresen a el y controlando el ingreso de insectos y roedores en la red.

#### **2.3.6.1. Tipos de instalaciones hidrosanitarias**

Las instalaciones hidrosanitarias de una edificación comprenden en general los siguientes tipos de sistemas:

- ✓ Distribución de agua fría
- ✓ Distribución de agua caliente
- ✓ Distribución de agua contra incendios
- ✓ Distribución de agua para recreación
- ✓ Redes de desagüe y ventilación
- ✓ Colección y eliminación de agua de lluvia
- ✓ Distribución de agua para instalaciones industriales (vapor, etc.)

Para el desarrollo de este trabajo de grado, solo serán calculados los sistemas de distribución de agua fría y agua caliente.

### **2.3.7. Tuberías y accesorios de agua potable**

Se pueden encontrar de los siguientes materiales:

- ✓ **Hierro galvanizado:** son las de mayor uso junto con las de plástico, por su mayor durabilidad; uso de accesorios del mismo material en las salidas de agua, menor riesgo de fractura durante su manipuleo.
  
- ✓ **Acero:** para uso industrial o en líneas de impulsión sujetas a grandes presiones.
  
- ✓ **Cobre:** son las mejores para las instalaciones de agua potable, sobre todo para conducir agua caliente, pero su costo es muy elevado y se requiere mano de obra especializado para su instalación.

- ✓ **Bronce:** solo tiene en la actualidad un uso industrial.
  
- ✓ **Plomo:** se utilizan en conexiones domiciliarias; han sido dejadas de lado al comprobarse que en determinados caso se destruyan rápidamente por la acción de elementos químicos hallados en el agua; sin embargo aun se utilizan como abastos de aparatos sanitarios.
  
- ✓ **Asbesto - cemento:** solo se utilizan en redes exteriores.
  
- ✓ **Plástico:** PVC rígido para conducción de fluidos a presión SAP (Standard Americano Pesado). Estas tuberías se fabrican de varias clases: clase 15, clase 10, clase 7.5 y clase 5, en función a la presión que pueden soportar.
  
- ✓ **Polietileno de alta densidad (PDAD):** es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos (como el polipropileno), o de los polietilenos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, *High Density Polyethylene*) o PEAD (*polietileno de alta densidad*). Este material se encuentran en envases plásticos desechables.

Poseen alta resistencia a la corrosión y a los cambios de temperatura, tienen superficie lisa, sin porosidades, peso liviano y alta resistencia al



tratamiento químico de aguas con gas cloro o flúor.

### **2.3.8. Consideraciones para el diseño de instalaciones sanitarias**

- ✓ Los tramos horizontales pueden ir por los muros o contrapisos de acuerdo a que los aparatos sanitarios descarguen por el muro o por el piso respectivamente.
- ✓ Al ir por los muros se hace economía en el recorrido de tuberías y accesorios, pero se tiene la desventaja que hay que picar las paredes y efectuar pases en las puertas y pasadizos.
- ✓ El ir por el piso resulta ventajoso cuando se debe efectuar una reparación, pues es más económica y fácil cambiar las losetas del piso que las mayólicas de las paredes.
- ✓ Los tramos verticales deber ir preferentemente en ductos, con una separación mínima de 0.15 m [10] de las tuberías de agua caliente y de 0.20 m de las montantes de aguas negras y de lluvia (distancia medida entre sus generatrices mas próximas)
- ✓ En lo posible debe evitarse cruzar elementos estructurales.
- ✓ Debe procurarse formar circuitos porque así se obtiene una mejor distribución de la presión y se pueden ubicar adecuadamente las válvulas de interrupción que permitan efectuar reparaciones sin paralizar todo el servicio.
- ✓ Las tuberías de aducción e impulsión deben llevar una válvula de retención.

- ✓ En los tramos horizontales las tuberías de agua fría deben instalarse siempre debajo de las de agua caliente y encima de las de desagüe, a una distancia no menor de 0.10 m **[10]** entre sus superficies externas.
- ✓ Al ingreso de cada ambiente debe instalarse en lo posible una válvula.
- ✓ Al delinear las redes de desagüe exteriores en el primer piso de debe tener presente que las cajas de registro estén ubicadas en forma tal que puedan ser revisadas cómodamente, sin causar molestias ni dañar la estética.

### **2.3.9. Unidades de gasto**

Es la unidad de estimación del gasto posible de aportar de un artefacto instalado al sistema de tuberías. La sumatoria de estas, se realiza por cada pieza existente en la vivienda, de acuerdo al diseño, o diagrama de distribución correspondiente a: agua fría, caliente o agua fría más agua a ser calentada. **[11]**

### **2.3.10. Cálculo de las redes de distribución de agua en una edificación.**

El método más utilizado para el cálculo de las redes de distribución interior de agua es el método de Roy B. Hunter o de los gastos probables. Este método se basa en la aplicación de la teoría de las probabilidades para el cálculo de los gastos. Específicamente consiste en asegurar a cada aparato sanitario un número de “unidades de gasto” determinadas experimentalmente.

La “unidad de gasto” es la que corresponde a la descarga de un lavatorio común que tiene una capacidad de 1 pie<sup>3</sup> ó 28.3168 L, el cual descarga en un minuto; es un valor adimensional. Este método considera

que cuanto mayor es el número de aparatos sanitarios, la proporción de uso simultáneo disminuye, por lo que cualquier gasto adicional que sobrecargue el sistema rara vez se notara; mientras que si se trata de sistemas con muy pocos aparatos sanitarios, la sobrecarga puede producir condiciones inconvenientes de funcionamiento. [12]

Para estimar la máxima demanda de agua en un edificio o una vivienda, debe tenerse en cuenta si el tipo de servicio que van a prestar los aparatos es público o privado.

Al aplicarse el método debe tomarse en cuenta si los aparatos son de tanque o de válvula, pues tienen diferentes unidades de gasto. Una vez calculada el total de unidades de gasto, se podrán determinar “los gastos probable” para la aplicación del Método Hunter.

#### **2.3.10.1. Criterios para el cálculo de las redes de distribución**

- ✓ Los diámetros de las tuberías de distribución se calcularán con los gastos probables obtenidos según el número de unidades de gasto de los aparatos sanitarios para servir. [12]
- ✓ La presión mínima en la salida de los aparatos sanitarios será de 3.5 m, salvo aquellos equipados con válvulas semi-automáticas o equipos especiales en los que la presión estará dada por las recomendaciones de los fabricantes, aproximadamente entre 7 y 10.5 m.
- ✓ Para el cálculo de las tuberías de distribución, la velocidad mínima será de 0.6 m/s, y la velocidad máxima [11]

### **2.3.11. Servicio de agua caliente**

Los sistemas de abastecimiento de agua caliente están constituidos por un calentador con o sin tanque acumulador, una canalización que transporta el agua hasta la toma mas alejada y a continuación una canalización de retorno que devuelve al calentado el agua no utilizada (esta tubería no es requerida en pequeñas instalaciones). De esta manera se mantiene una circulación constante y el agua caliente sale enseguida por el artefacto, sin necesidad de dar primero salida al agua enfriada que habría permanecido en la conducción si no existiera el escape del conducto de retorno. Los tubos de cobre son los mas aconsejables en las instalaciones de agua caliente, aunque los mas usados son los de plástico PVC.

### **2.4. Aguas residuales**

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales.

Para el desarrollo de este trabajo de grado, solo se estudiarán con más detalle las aguas residuales residenciales domésticas. Estas se clasifican en:

- ✓ Aguas residuales domésticas
  - Domiciliarias ó residenciales
  - Comerciales
  - Institucionales

Las aguas residuales domiciliarias son las procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas. Mientras que las residenciales son una

mezcla de las domésticas y las industriales. **[13]**

Y pueden ser de dos tipos:

- Grises
- Negras

### **2.4.1. Características físicas, químicas y biológicas de las aguas residuales domésticas**

#### **2.4.1.1. Características físicas**

Las características físicas más importantes del agua residual doméstica es el contenido de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

#### **✓ Sólidos**

Los sólidos totales analíticamente, se definen como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación de entre 103° y 105 °C. no se define como sólida aquella materia que se pierde durante la evaporación debido a su alta presión de vapor. Los sólidos sedimentables se definen como aquellos que se sedimentan en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono de Imhoff) en el transcurso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/l y constituyen una medida aproximada de la cantidad de

lodo que se obtendrá en la decantación primaria del agua residual. Los sólidos totales pueden clasificarse en filtrables o no filtrables (sólidos en suspensión) haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro.

La importancia de los sólidos totales en el tratamiento de aguas residuales se basa en que determinan la clase de proceso u operación más apropiada para su tratamiento.

#### ✓ **Olor**

Normalmente los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica.

El olor más característico del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (como huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. La problemática de los olores esta considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### ✓ **Temperatura**

La temperatura del agua residual doméstica suele ser siempre más elevada que la del agua del suministro, hecho principalmente debido a la

incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

La temperatura residual doméstica es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles.

#### ✓ **Color**

El agua residual doméstica suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro.

Cuando llega a este punto, suele clasificarse el agua residual doméstica como séptica. Su color gris, gris oscuro o negro del agua residual doméstica, es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

#### ✓ **Turbiedad**

La turbiedad, como medida de las propiedades de transmisión de la luz

de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad del agua vertida o del agua natural en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones.

#### **2.4.1.2. Características químicas**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual o negra. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

##### **✓ Materia orgánica**

Cerca del 75% de los sólidos en suspensión y el 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Son sólidos de origen animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en algunos casos de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%) y grasas y aceites (10%). Otro compuesto orgánico con muy importante presencia en el agua residual o negra es la urea, principal constituyente de la orina.



### ✓ **Contenido orgánico**

Los diferentes métodos para medir el componente orgánico pueden clasificarse en dos grupos: los empleados para determinar altas concentraciones de contenido orgánico, mayores a 1 mg/l, y los empleados para determinar concentraciones de 0.001 mg/l a 1 mg/l. el primer grupo incluye los siguientes ensayos de laboratorio: **1.** Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). **2.** Demanda química de oxígeno (DQO).

### ✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

El parámetro de contaminación orgánica mas empleado, que es aplicable tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días. La determinación de este esta relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de los ensayos de la DBO se emplean para **1.)** Determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente. **2.)** Dimensionar las instalaciones de tratamiento de las aguas residuales o negras. **3.)** Medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

### ✓ **Demanda química de oxígeno (DQO)**

En este ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la

materia orgánica que puede oxidarse. El dicromato potásico proporciona excelentes resultados en este sentido.

El ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de plata), puesto que algunos compuestos orgánicos interfieren con el normal desarrollo del ensayo.

#### ✓ **Materia inorgánica**

Las concentraciones de las sustancias inorgánicas en el agua, aumentan tanto por el contacto del agua con las diferentes formaciones geológicas, como por las aguas residuales, tratadas o sin tratar, que a ella se descargan. Las aguas naturales disuelven parte de las rocas y minerales con los que entran en contacto.

Las aguas residuales salvo el caso de determinados residuos industriales, no se suelen tratar con el objetivo específico de eliminar constituyentes inorgánicos que se incorporan durante el ciclo de uso.

#### ✓ **pH**

Es la medida de la concentración de los iones hidrógeno, que se expresa por el logaritmo común de la recíproca de la concentración de iones

hidrógeno. La concentración de ión de hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales.

La forma habitual de expresar la concentración de ión de hidrógeno es como pH, que se define como el logaritmo decimal (con signo negativo) de la concentración de ión de hidrógeno, es decir:

$$\text{pH} = - \text{Log} [\text{H}^+ ]$$

(Ec. 2.2)

Donde:

$[\text{H}^+]$  = Concentración de iones de hidrógeno, (mol/L)

#### ✓ **Aceites y Grasas:**

Altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.

#### **2.4.1.3. Características biológicas**

Para el tratamiento biológico se deben tomar en cuenta las siguientes características del agua negra: principales grupos de microorganismos presentes, tanto en aguas superficiales como en residuales, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos, organismo patógenos

presentes en las aguas negras o residuales, organismo utilizados como indicadores de contaminación y su importancia, métodos empleados para determinar la toxicidad de las aguas tratadas.

### ✓ **Microorganismos**

Los principales grupos de organismos presentes tanto en aguas residuales como superficiales se clasifican en organismos eucariotas, bacterias y arqueobacterias como se muestra en la tabla 2.2.

Las bacterias desempeñan un papel amplio y de gran importancia en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismo y proceso de síntesis.

Los hongos desde el punto de vista ecológico, presentan ciertas ventajas sobre las bacterias, pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos.

Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

### **Tabla 2.2:** Clasificación de los Microorganismos

Grupo	Estructura Celular	Caracterización	Miembros Representativos
Eucariotas	Eucariota	Células con núcleo definido Multicelular con gran diferenciación de las células y el tejido  Unicelular, con escasas o nula diferenciación de tejidos.	Plantas (plantas de semilla, musgos y helechos). Animales (vertebrados e invertebrados)  Protistas (algas, hongos y protozoo)
Bacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas Células sin núcleo definido	La mayoría de las bacterias.
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintiva.	Metanógenos, halófilos termacidófilos.

**Fuente:** Referencia [13]

La presencia de algas afecta al valor del agua de abastecimiento ya que puede originar problemas de olor y sabor. Uno de los problemas mas importantes es encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas negras o residuales de diferentes orígenes de modo que los efluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas.

### ✓ **Organismos patógenos**

Se trata de un ente que entra a otro organismo, causa enfermedad, estos pueden ser bacterias, virus, parásitos, hongos y algas. Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismo patógenos presentes en las aguas negras o residuales son: Bacterias, Virus y Protozoarios.

Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como la fiebre tifoidea y paratifoidea, la disentería, diarrea y cólera. Debido a la alta infecciosidad de estos organismos, cada año son responsables de gran número de muertes en países con escasos recursos, especialmente zonas tropicales.

En lo referente a las aguas superficiales que recibirán la descarga del efluente de un sistema de tratamiento, los patógenos de interés son bacterias, y virus. Generalmente no es una preocupación la contaminación del agua subterránea, ni la transmisión a otros lugares vía aerosoles. El agua subterránea no se contaminará en sistemas que estén sellados por una arcilla impermeable o por una barrera de material sintético.

La investigación se ha dirigido a la transmisión de enfermedades parasitarias a los animales y el hombre por medio de la aplicación al terreno de aguas residuales municipales y lodos de depuradora. Estudios significativamente completos indican que los parásitos no aumentan en el ganado que ha estado en contacto con pastos regados por agua residual.

Los resultados son consistentes en varias regiones del mundo, como Estados Unidos, Polonia y Australia. Estos estudios, aunque no han sido realizados en sistemas de humedales artificiales, indican que el potencial de problemas serios no parece estar presente. [14]

#### ✓ **Fósforo**

El incremento de la concentración de fósforo en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas. Estos organismos usan grandes cantidades de oxígeno y previenen que los rayos de sol entren en el agua. Esto hace que el agua sea poco adecuada para la vida de otros organismos. El fenómeno es comúnmente conocido como eutrofización.

#### ✓ **Bacterias y virus**

Las principales vías de transmisión de enfermedades a los seres humanos desde el agua residual son: el contacto directo con el agua residual, transporte de aerosoles, cadena alimenticia, e inadecuado trato del agua de bebida. Los virus en la mayoría de los sistemas del tratamiento son más resistentes a la inactivación que las bacterias

Las aguas negras sin tratar llevan una peligrosa carga de bacterias infecciosas, virus, parásitos y sustancias químicas tóxicas. Cuando termina en el agua que bebemos o la usamos para fines recreativos, en los mantos freáticos y en los sótanos de nuestras casas, causan graves daños a la salud

de los seres humanos y en el medio ambiente.

### ✓ **Metales**

Los metales pesados son contaminantes medioambientales comunes que se producen como resultado de actividades industriales, comerciales y domésticas, y aunque las normas obligan a las industrias que vierten estos productos a alcanzar niveles de pretratamiento altos, la presencia o no en el agua residual, depende de la eficiencia del sistema de control de los vertidos industriales.

Las unidades de proceso convencionales de tratamientos primarios y secundarios en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales son inadecuadas para la remoción eficaz de metales pesados. Procesos avanzados, incluida la precipitación química, electrólisis, ósmosis inversa e intercambio iónico, son usados para el pretratamiento de fuentes conocidas de metales pesados en aguas residuales industriales.

El uso de estos procesos para quitar concentraciones bajas de metales pesados en agua residual municipal tiene la desventaja de un costo de capital alto y unos costes de funcionamiento y mantenimiento también altos. Las desventajas adicionales pueden ser costos de energía eléctrica relativamente altos para la electrólisis y la ósmosis inversa y la producción de cantidades grandes de lodos voluminosos con un alto tiempo de decantación en los procesos de la precipitación químicos.

Por tanto, un proceso del tratamiento que precipita y retiene metales



pesados en el área confinada de un humedal artificial logra el mismo nivel de remoción con menos mano de obra y menores costos de energía. El objetivo del tratamiento para los metales pesados es quitar los metales del medio ambiente y de la cadena alimenticia, sobre todo la cadena alimenticia en ríos y aguas marinas. Los metales pesados incluyen cadmio, cobre, cromo, plomo, mercurio, selenio y zinc.

#### ✓ **Trazas orgánicas**

Las aguas residuales domiciliarias contienen concentraciones variables de compuestos orgánicos, como por ejemplo: pesticidas, solventes, combustibles. Durante 1960-1970, los investigadores medioambientales se dieron cuenta de la tendencia de algunos contaminantes orgánicos a resistirse a ser removidos en el tratamiento convencional del agua residual y persistir en el ambiente por periodos muy largos.

Una observación más perturbadora era que esos compuestos tóxicos persistentes, fueron encontrados acumulándose en las cadenas alimenticias debido a la tendencia de los compuestos de ser liposolubles. Un compuesto puede desaparecer de la solución acuosa a través de varios mecanismos.

Entre estos están: las alternativas biológicas, químicas, fotoquímicas, y los procesos fisicoquímicos como absorción, sedimentación, y evaporación.

La degradación biológica de compuestos orgánicos fácilmente degradables se considera el más importante de éstos. Se piensa que la

absorción de trazas orgánicas por la materia orgánica y las partículas de la arcilla presentes en el sistema de tratamiento, es el principal mecanismo fisicoquímico para la remoción de compuestos refractarios en los humedales. Las trazas orgánicas incluyen compuestos sintéticos muy estables (sobre todo hidrocarburos clorados).

### ✓ **Nitrógeno**

El nitrógeno está limitado en el agua potable para proteger la salud de los niños y puede limitarse en aguas superficiales para prevenir eutrofización. Puede eliminarse nitrógeno en estos sistemas mediante procesos de nitrificación/desnitrificación y posterior pérdida de gas a la atmósfera.

Las aguas residuales presentan una elevada carga contaminante que responde, en gran parte, a la materia orgánica que contienen, en cuya composición se encuentran los compuestos de nitrógeno. Entre las formas de nitrógeno, unas de las de mayor interés en las aguas son el amoniacal y el total.

El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoniaco.

En general, la presencia de amoniaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos. El nitrógeno total

está compuesto por el nitrógeno amoniacal más el nitrógeno orgánico, y este está constituido por las formas de nitrógeno correspondientes al nitrato, nitrito y amonio.

En la actualidad las mediciones analíticas en el medio ambiente deben ser realizadas con calidad para satisfacer objetivos bien definidos, como es la vigilancia epidemiológica. En la presente década la química ambiental requiere del desarrollo, perfeccionamiento y validación de métodos de ensayos exactos, precisos y específicos para el análisis de los contaminantes del medio ambiente.

#### **2.4.2. Aguas grises**

Es el agua generada por los procesos de un hogar, tales como el lavado de utensilios y de ropa así como el baño de las personas, consumen un 70% de la cantidad total del agua [14].

Las aguas grises se distinguen de las cloacales contaminadas con desechos de las heces fecales, llamadas aguas negras, porque estas últimas contienen bacterias como la *Escherichia coli*. Las aguas grises son de vital importancia, porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico.

La reutilización de aguas grises consiste en la depuración del agua procedente de duchas, bañeras y lavabos convirtiéndola en agua no potable, pero apta para usos domésticos como lavar la ropa, rellenar la cisterna del inodoro, utilizar en la limpieza doméstica y para riego del jardín.

Las aguas grises, a pesar de ser aguas relativamente limpias, presentan una dificultad a la hora de su aprovechamiento.

Su ligero contenido en materia orgánica provoca si se emplean directamente, la aparición de ciertos gases volátiles debidos a la degradación anaeróbica (en ausencia de oxígeno).

Estos gases, a pesar de no ser habitualmente peligrosos, son desagradables al producir olores que normalmente no estamos dispuestos a admitir dentro de una vivienda

#### **2.4.2.1. Características de las aguas grises**

Las características de las aguas residuales grises dependen en primer lugar de la calidad del abastecimiento de agua, en segundo lugar del tipo de red de distribución para el agua potable y en tercer lugar de las actividades desarrolladas en el hogar.

La composición varía considerablemente en el consumo de agua en relación con las cantidades descargadas de contaminantes.

#### **❖ Parámetros físicos**

Los parámetros físicos relevantes son la temperatura, el color, la turbidez y el contenido de sólidos suspendidos. La temperatura de las aguas residuales grises varía entre 18 y 38 °C, siendo las altas temperaturas ocasionadas por el uso de agua caliente para la higiene personal.

Las altas temperaturas pueden generar problemas, ya que éstas

favorecen el crecimiento microbiológico. [14]

Los valores de turbidez en el agua residual proveniente de la zona de la lavandería varían mucho durante el ciclo de lavado, generándose turbidez alta durante el lavado de ropas y turbidez baja durante el ciclo de enjuague y secado de las mismas. [14]

Los sólidos suspendidos totales que varían entre 113 – 2.410 mg/l, donde los altos valores se generan en las zonas de lavandería y cocina. Las aguas residuales provenientes del lavado pueden contener partículas de arena y arcilla.

Las aguas grises provenientes de cocina también pueden contener partículas de arena y arcilla resultado del lavado de frutas y verduras.

#### ❖ **Parámetros Químicos**

La demanda química de oxígeno (DQO) muestra consideraciones alrededor de 8.000 mg/l, mientras que los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) son más bajos, reportando valores entre 5 – 1460 mg/l. [14]

En la tabla 2.3 se presentan las diferencias en los parámetros DQO y DBO según fuentes de generación de aguas residuales grises.

**Tabla 2.3:** DQO y DBO según fuentes de aguas residuales grises

<b>Fuente</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>DBO (mg/l)</b>
<b>Baño</b>	184-633	76-300
<b>Cocina</b>	725-1815	48-472
<b>Lavadero</b>	26-1380	5-1460

**Fuente:** Referencia [14]

Los detergentes son la fuente primaria de fosfatos encontrada en las aguas residuales grises. Concentraciones de fósforo total entre 6 – 23 mg/l se pueden encontrar en áreas en las cuales el uso de detergentes con altos contenidos de fósforo común, mientras que en áreas donde se ha reducido el uso de estos detergentes, las concentraciones encontradas son del orden de los 4 – 14 mg/l.

Lo anterior justifica el porque de las concentraciones de fosfato son generalmente más altas en aguas residuales grises provenientes de lavanderías 0,1 – 57 mg/l que las provenientes de las duchas y lavamanos 0,1 – 2 mg/l.

Las aguas grises contienen sólo 1 – 10 mg/l. de nitrógeno comparado con las aguas negras, es el más serio y difícil de retirar como agente de polución que afecta al agua potable. Las aguas grises contienen menos nitrógeno y no es necesario que lleve el mismo proceso de tratamiento que las aguas negras.

### **2.4.3. Aguas negras**

Es el agua contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

#### **2.4.1. Características de las aguas negras**

El conocimiento de la naturaleza del agua negra, es fundamental para el proyecto y explotación de las infraestructuras, tanto de recolección como de tratamiento y evacuación de las aguas negras, así como para la calidad medioambiental.

##### **❖ Parámetros físicos**

Los parámetros físicos relevantes, al igual que las aguas grises son la temperatura, el color, la turbidez y el contenido de sólidos en suspensión. La temperatura es mayor a la del agua de suministro, esto dificulta la disolución de O<sub>2</sub>, puede variar entre un rango de 18 a 27 °C

El 99.9 % es agua y el 0.01 % son sólidos y el 70 % son sólidos orgánicos y el 30 % son inorgánicos (arenas, sales y metales). La concentración de nitrógeno puede llegar hasta una concentración de 85 mg/l.

##### **❖ Parámetros químicos**

La demanda química de oxígeno (DQO), muestra consideraciones de 10.000 mg/l, y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) puede variar en un

rango de 300 a 1000 mg/l.

Los diferentes tipos de formas de nitrógeno que puede contener el afluente son nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitrato y nitrito. La concentración de nitrógeno total oscila entre 20,5 y 80 mg/l.

La concentración de fósforo llega a ser hasta de 21,6 mg/l, oscilando los valores entre 18,6 y 24,1 mg/l, estando estos valores cercanos a la concentración de fósforo total estimado en las características del agua a ser tratada.

El cloro como cloruro es uno de los principales aniones inorgánicos en aguas residuales. En estas aguas la concentración de cloruro es alta llegando hasta un rango de 250 mg/l ya que el cloruro de sodio es un artículo común de la dieta humana y pasa sin ser alterado a través del sistema digestivo.

#### **2.4.4. Aguas pluviales**

Son las aguas provenientes de las lluvias que escurren superficialmente por cunetas o por alcantarillas. La recuperación del agua pluvial consiste en filtrar el agua de lluvia captada en una superficie determinada, generalmente el tejado o azotea, y almacenarla en un depósito.

Posteriormente el agua tratada se distribuye a través de un circuito hidráulico independientemente del agua potable.

Al igual que las aguas grises y negras, el agua pluvial se utiliza en usos



donde no se requiere agua potable: lavadora, lavado de coche, aunque el uso mas utilizado es el riego de jardines.

Para calcular el sistema de aguas de lluvia, es necesario el registro de intensidad de lluvia de la zona en estudio, de los últimos 15 años por lo mínimo. Con estos datos se grafican las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) las cuales nos muestran la intensidad de la lluvia, el período de retorno y el tiempo de duración de la misma. Para el cálculo y grafico de las curvas IDF, se recurren a varios métodos estadísticos. Para el desarrollo de este trabajo de grado solo será explicado el método más común, el método de Gumbel.

Este método es una distribución de valores extremos, formulada por Gumbel (1941) y posteriormente Chow (1954) que es una distribución logarítmica normal, para lo cual, el valor extremo o valor máximo  $X$  se obtiene mediante la ecuación 2.3 de análisis de frecuencia.

$$X = \bar{X} + K * S_x$$

(Ec. 2.3)

Donde:

$X$  = media de la muestra de valores de intensidad de precipitación,

$S_x$  = desviación estándar de tal muestra

$K$  = factor de frecuencia, éste depende del período de retorno.

El valor de  $K$  se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Y - Y_n}{S_n} \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Donde:

$Y$  = variable reducida, la cual es función del período de retorno y del tamaño del registro o muestra;

$Y_n$  = media de la variable reducida;

$S_n$  = desviación de la variable reducida. Estos valores se obtienen de tabla 2.4

Según la Gaceta oficial # 4044 (GO) **[10]** establece un periodo de retorno recomendable de 10 a 15 años. La ecuación que se utiliza para el cálculo del caudal de aguas de lluvia es la siguiente:

$$Q_{ll} = C * I * A \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

$Q_{ll}$  = caudal de aguas de lluvia, ( $\text{m}^3/\text{d}$ )

$C$  = coeficiente de superficie, (0.80) adimensional

$I$  = intensidad de lluvia, ( $\text{mm}/\text{h}$ )

$A$  = área de captación de la lluvia, ( $\text{m}^2$ )

## 2.5. Clasificación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales

## **domesticas.**

A continuación se presentan los sistemas de tratamiento de las aguas residuales domesticas, haciendo énfasis en que solo se darán con más detalles los del nivel domiciliario, ya que es el tipo de sistema que usado para la realización de este trabajo de grado.

Los objetivos del tratamiento biológico son tres: reducir el contenido en materia orgánica de las aguas, reducir su contenido en nutrientes, y eliminar los patógenos y parásitos.

Estos objetivos se logran por medio de procesos aeróbicos y anaeróbicos, en los cuales la materia orgánica es metabolizada por diferentes cepas bacterianas.

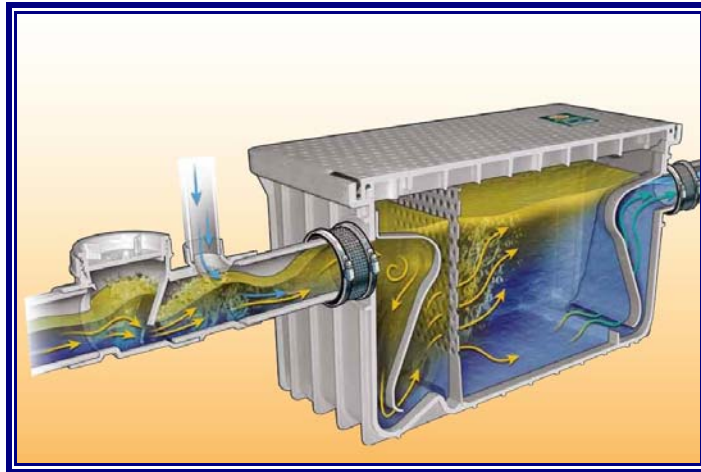
El tratamiento a nivel domiciliario obedece a los mismos principios que las grandes plantas depuradoras, sin embargo es posible mejorar la eficiencia en la relación costo por m<sup>3</sup> de agua tratada, si se observan algunos principios básicos tales como la separación de las aguas grises y negras, el consumo racional y limitado de detergentes y la exclusión de productos químicos agresivos en la limpieza cotidiana. [15]. Se presentan los diversos tratamientos a nivel domiciliario:

### **2.5.1. Trampa de grasas**

Es un sistema que consiste en un tanque subterráneo, el cuál esta diseñado para que capture el aceite, la grasa y otros residuos provenientes del desagüe de una vivienda o de un establecimiento de comida.

Las trampas de grasas, varía de tamaño, hasta un máximo de 18925 Litros o más de capacidad, dependiendo de las dimensiones de la vivienda o

del establecimiento de comida. (ver figura 2.1)



**Figura 2.1:** Trampa de Grasas.  
Fuente: Referencia [16]

Las trampas de grasas, remueven de un 8 a 10% de la DBO [16] y necesitan mantenerse con cantidades bajas de grasa, para así evitar que se tapen los sistemas de desagüe o las líneas de drenaje. Para mantener el sistema funcionando sin problemas, hace falta limpiar las tuberías, y bombear la trampa periódicamente.

Cuando se utilicen tanques sépticos para remover grasas es necesario revisar las condiciones asociadas, ya que dependiendo de la configuración del tanque puede ser necesario modificarlas. Por lo general, la entrada del tanque se ubica por debajo del nivel del agua y la salida cerca del fondo del mismo.

**Tabla 2.4:** Media y desviación variable reducida

<b>Nº Datos</b>	<b>Y<sub>n</sub></b>	<b>S<sub>n</sub></b>	<b>Nº Datos</b>	<b>Y<sub>n</sub></b>	<b>S<sub>n</sub></b>
<b>1</b>	0,36651	0,00000	<b>21</b>	0,52522	1,06938
<b>2</b>	0,40434	0,49838	<b>21</b>	0,52678	1,07547
<b>3</b>	0,42859	0,64348	<b>23</b>	0,52823	1,08115
<b>4</b>	0,44580	0,73147	<b>24</b>	0,52959	1,08646
<b>5</b>	0,45879	0,79278	<b>25</b>	0,53086	1,09145
<b>6</b>	0,46903	0,83877	<b>26</b>	0,53206	1,09613
<b>7</b>	0,47735	0,87493	<b>27</b>	0,53319	1,10054
<b>8</b>	0,48428	0,90432	<b>28</b>	0,53426	1,10470
<b>9</b>	0,49015	0,92882	<b>29</b>	0,53527	1,10864
<b>10</b>	0,49521	0,94963	<b>30</b>	0,53622	1,11237
<b>11</b>	0,49961	0,96758	<b>31</b>	0,53713	1,11592
<b>12</b>	0,50350	0,98327	<b>32</b>	0,53799	1,11929
<b>13</b>	0,50695	0,99713	<b>33</b>	0,53881	1,12249
<b>14</b>	0,51004	1,00948	<b>34</b>	0,53959	1,12555
<b>15</b>	0,51284	1,02057	<b>35</b>	0,54034	1,12847
<b>16</b>	0,51537	1,03060	<b>36</b>	0,54105	1,13126
<b>17</b>	0,51768	1,03973	<b>37</b>	0,54174	1,13394
<b>18</b>	0,51980	1,04808	<b>38</b>	0,54239	1,13650
<b>19</b>	0,52175	1,05575	<b>39</b>	0,54302	1,13896
<b>20</b>	0,52355	1,06282	<b>40</b>	0,54362	1,14131

**Fuente:** Referencia [15]

Cuando se utilicen tanques sépticos para remover grasas es necesario revisar las condiciones asociadas, ya que dependiendo de la configuración del tanque puede ser necesario modificarlas. Por lo general, la entrada del tanque se ubica por debajo del nivel del agua y la salida cerca del fondo del mismo.

Los tanques sépticos proporcionan mayor volumen con respecto a las trampas de grasa, lo cual resulta positivo para el tratamiento por cuanto permite alcanzar una máxima separación de grasas y aceites.

El volumen de las unidades para la separación de grasas y aceites debe permitir un tiempo promedio de retención entre 1 y 3 días bajo condiciones de caudal promedio diario.

Aunque se han utilizado volúmenes de tanques interceptores con un volumen correspondiente al caudal promedio diario, volúmenes de tanque más grandes son altamente recomendados

### **2.5.2. Tanque séptico**

El tanque séptico es la unidad fundamental del sistema de fosa séptica, siendo esta última un sistema de tratamiento primario de las aguas negras domésticas; en ellas se realiza la separación y transformación físico-química de la materia sólida contenida en esas aguas por un proceso de sedimentación simple; a demás se realiza en su interior lo que se conoce como proceso séptico, que es la estabilización de la materia orgánica por acción de las bacterias anaerobias, convirtiéndola entonces en lodo inofensivo. Se dispondrá de tanques sépticos cuando no sea posible disponer de un sistema cloacal [17].

Un tanque séptico generalmente consiste en un tanque que está conectado a una tubería de entrada de aguas residuales de un extremo y con un campo de drenaje séptico en el otro. Estas conexiones de tubería se hacen generalmente con una tubería tipo “T” que permita la entrada y la salida de líquidos sin molestar ninguna corteza en la superficie. En la figura 2.2 se muestra un sistema de tanque séptico.

El diseño del tanque incorpora hoy día básicamente dos compartimientos (cada cual está equipado con una cubierta en la boca de acceso) que se separan por medio de una pared de división que tenga aberturas localizadas cerca de la mitad de la distancia entre el piso y el techo del tanque.

Las aguas residuales entran al primer compartimiento del tanque, permitiendo que los sólidos floten. Los sólidos son digeridos de tal manera que reduce así el volumen de sólidos. También pueden ser de una cámara, según lo especificado en el artículo 499 de la GO # 4044 [10].

El componente líquido atraviesa la pared divisora y entra al segundo compartimiento donde posteriormente se asienta y toma lugar el líquido que entonces se drena en condiciones relativamente claras por la salida en el campo del lecho, también designado como campo del drenaje, o el campo de la filtración, dependiendo de lugar.

Las impurezas restantes se descomponen en el suelo, y el agua se elimina con la filtración en el suelo, y eventualmente se toma a través del sistema de la raíz de plantas o se agrega a las aguas subterráneas.

Una red de tuberías, es a menudo construida en un foso lleno de

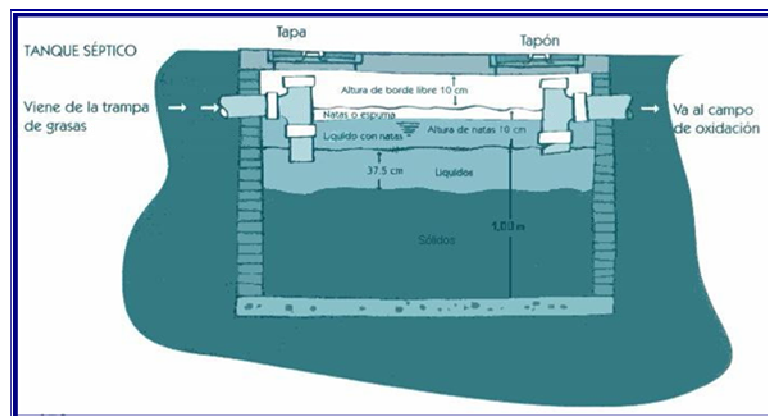
piedra, que distribuye las aguas residuales a través del campo con un drenaje de agujeros múltiples en la red. El tamaño del campo de drenaje es proporcional al volumen de aguas residuales e inversamente proporcionales a la porosidad del campo del drenaje.

El sistema séptico entero puede funcionar por gravedad solamente, o donde las consideraciones topográficas lo requieren, con la inclusión de una bomba de elevación.

### 2.5.2.1. Consideraciones para el diseño.

Los sólidos al acumularse y las aguas residuales en el tanque permitan que parte de los sólidos, se asienten en el fondo del tanque. Para darles tiempo a los sólidos a asentarse, el tanque debe retener aguas por lo menos 24 horas.

[17]



**Figura 2.2:** Tanque Séptico.  
Fuente: Referencia [18]

Para dimensionar el pozo séptico, nos basamos en el cálculo del número de personas equivalentes, ya que las dimensiones de pozo séptico



que están establecidas en la GO # 4044 [10] son para la descarga de sistemas convencionales, es decir, la mezcla de aguas grises y aguas negras en una misma.

Por lo tanto, se hará por el número de personas equivalentes. Lo mismo se hará para el pozo séptico de las aguas grises y aguas negras en una misma fosa.

#### 2.5.2.2. Ecuaciones para el dimensionamiento de un Pozo Séptico

- **Número de personas equivalentes**

$$N^{\circ} PE = Q/250$$

(Ec. 2.6)

Donde:

Q = Caudal máximo (m<sup>3</sup>/d)

250 = dotación diaria para una persona (l/d) = 0,250 m<sup>3</sup>/d

- **Volumen del pozo séptico**

De la ecuación 2.6 se despeja el Q (caudal)

$$Vol_{PS} = Q * TR$$

(Ec. 2.7)

Donde:

$Vol_{Ps}$  = volumen de pozo séptico

$Q$  = Caudal ( $m^3/d$ )

$TR$  = Tiempo de retención

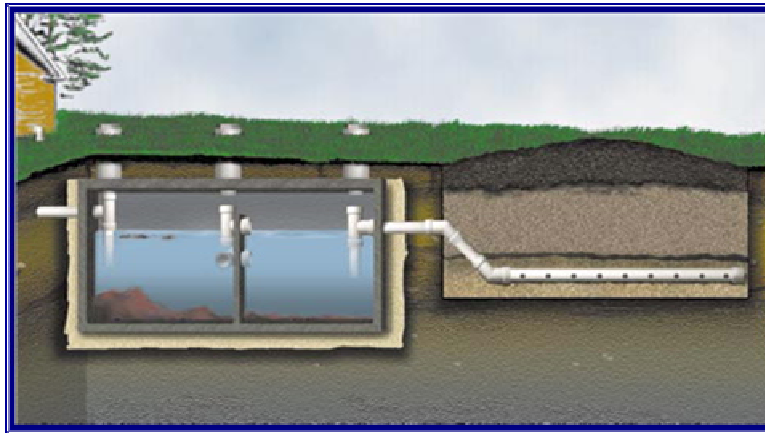
### **2.5.3. Campos de absorción**

El campo de absorción permite el tratamiento final y la distribución de las aguas negras. Los campos de absorción se utilizan, en algunos casos, cuando se proyecte disponer subsuperficialmente el efluente de un tanque séptico, determinándose las características de absorción del suelo por medio de la prueba de percolación, cuyo procedimiento se encuentra establecido en el artículo 513 de la GO # 4044 [10]. En este caso, para el desarrollo de este trabajo de grado, se describirá en que consiste un campo de absorción ya que es uno de los sistemas a adoptar.

Un sistema convencional de campos de absorción consiste en tuberías perforadas rodeadas de materiales, tales como grava, o cubiertos de tela geotextil y suelo arcilloso, para disponer las aguas residuales efluentes de un tratamiento primario. Este sistema depende mucho del suelo donde los microorganismos ayudan a eliminar la materia orgánica, los sólidos y los nutrientes que permanecen en el agua. Mientras que el efluente fluye continuamente hacia el suelo, los microbios que digieren los componentes de las aguas residuales forman una capa biológica. La figura 2.3 muestra un sistema de campo de absorción y tanque séptico.

La capa reduce el movimiento del agua por el suelo y ayuda a evitar que el área debajo de la capa se sature. El agua debe correr por el suelo que no esté saturado para que los microbios que se encuentran allí y en la capa

puedan ingerir los desperdicios y los nutrientes del efluente. El césped que cubre el sistema de campo de absorción también usa los nutrientes y el agua para crecer



**Figura 2.3:** Sistema convencional pozo séptico y campo de absorción.  
Fuente: Referencia [18]

La descarga del efluente del tanque séptico deberá hacerse en forma tal, que el líquido se distribuya uniformemente en el sistema de zanjas, para cuyo fin deberán emplearse tanquillas de distribución. Estas deberán ubicarse después del séptico, en el lugar que permita la uniforme distribución del efluente.

#### **2.5.3.1. Consideraciones de diseño**

En cuanto a sus dimensiones, se adoptarán también de la GO # 4044 [10], con la diferencia de que en este sistema hay que tener en cuenta la rata de percolación del suelo.

Quando se realice la prueba de percolación establecida en el artículo 513 de esa gaceta, se toma la rata de percolación establecida en la **tabla 2.5.**

**Tabla 2.5:** Rata de percolación

<b>Rata de precolación (Tiempo en minutos requeridos por el agua para caer 2,50 cm)</b>	<b>Área de absorción. Requeridas en m<sup>2</sup> por cada 1000 l/d</b>
1	4,90
2	7,00
3	8,50
4	9,80
5	11,00
10	15,60
15	19,10
20	22,00
25	24,60
30	26,90
40	31,10
50	34,80
60	38,10

**Fuente:** Referencia [10]

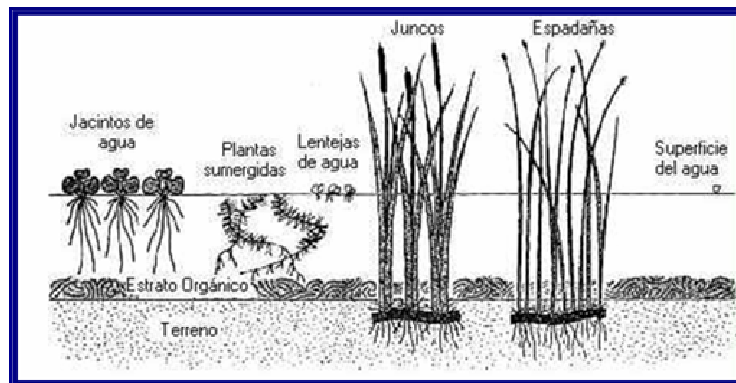
#### **2.5.4. Humedales artificiales**

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos.

La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la absorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración solar.

Los humedales artificiales tienen tres funciones básicas que los hacen un atractivo potencial para el tratamiento de aguas negras o residuales, las cuales son:

- ✓ Fijar físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica.
- ✓ Utilizar y transformar los elementos por intermedio de los microorganismos.
- ✓ Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y mantenimiento.



**Figura 2.4:** Plantas acuáticas mas comunes encontradas en los humedales.  
**Fuente:** Referencia [19]

Existen dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual, los cuales son:

- ✓ Sistemas a flujo libre (FLS)

✓ Sistemas subsuperficial (SFS)

Para desarrollo de este trabajo de grado, solo se hablará con más detalle el humedal subsuperficial.

**2.5.4.1. Sistemas de flujo libre (FLS)**

Se definen como humedales artificiales de flujo libre superficial (FLS, free water surface wetlands) aquellos sistemas en los cuales el agua está expuesta a la atmósfera.

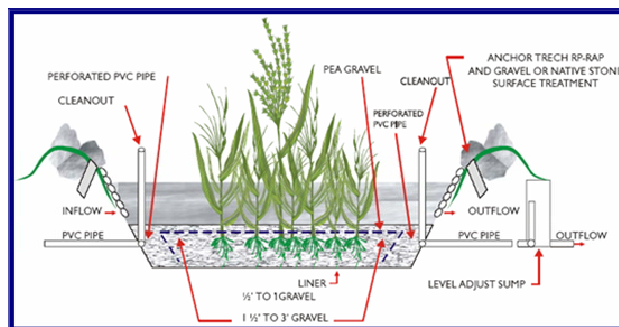
La mayoría de los humedales naturales son sistemas FLS entre los que se incluyen a los fangales (principalmente con vegetación de musgos), zonas pantanosas (principalmente de vegetación arbórea), y las praderas inundadas (principalmente con vegetación herbácea y macrófitas emergentes).

La observación de la mejora en la calidad del agua en humedales naturales llevó al desarrollo de humedales artificiales para tratar de reproducir en ecosistemas construidos los beneficios de calidad del agua y hábitat.

La mayoría de los humedales artificiales FLS son praderas inundadas, pero se tienen también algunos ejemplos de fangales y zonas pantanosas. En los humedales FLS el agua fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta el punto de descarga.

En algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal.

Un diagrama de un humedal FLS se presenta en la figura 2.5 La profundidad del medio en estos humedales, tiene un rango de 0,1 a 0,6 m, siendo el valor más común 0,50 m [21].



**Figura 2.5:** humedal artificial de flujo libre.  
**Fuente:** Referencia [22]

La vegetación emergente más comúnmente utilizada en humedales FSL incluye las espadañas y aneas (*Typha* spp.), los juncos (*Scirpus* spp.) y los carrizos (*Phragmites* spp.) [21]. En sistemas diseñados principalmente para tratamiento, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. La cubierta vegetal producida por la vegetación emergente da sombra a la superficie del agua, previene el crecimiento y persistencia del agua y reduce la turbulencia inducida por el viento en el agua que fluye por el sistema.

Quizás aún más importante son las porciones sumergidas de las plantas vivas, los ramales erguidos de las plantas muertas, y los detritos acumulados del crecimiento vegetal previo. Estas superficies sumergidas proporcionan el sustrato físico para el crecimiento de organismos perifíticos adheridos que son responsables por la mayoría del tratamiento biológico en el sistema.

El afluente a estos humedales se distribuye sobre un área extensa de agua somera y vegetación emergente. La lenta velocidad que se produce y el flujo esencialmente laminar proporcionan una remoción muy efectiva del material particulado en la sección inicial del sistema. Este material particulado, caracterizado como sólidos suspendidos totales (SST), contiene componentes con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) la cual, al igual que los humedales SFS son removidas en un 60 – 90% [23], distintos arreglos de nitrógeno total y fósforo total, y trazas de metales y compuestos orgánicos más complejos.

La oxidación o reducción de esas partículas libera formas solubles de DBO, nitrógeno total y fósforo total al medio ambiente del humedal en donde están disponibles para la absorción por el suelo y la remoción por parte de las poblaciones microbianas y vegetales activas a lo largo del humedal. El oxígeno está disponible en la superficie del agua, en microzonas de la superficie de plantas vivas y en superficies de raíces y rizomas, lo cual permite que se produzca actividad aeróbica en el humedal. Se puede asumir, sin embargo, que la mayor parte del líquido en el humedal FLS es anóxico o anaeróbico

#### **2.5.4.2. Sistemas de flujo subsuperficial (SFS)**

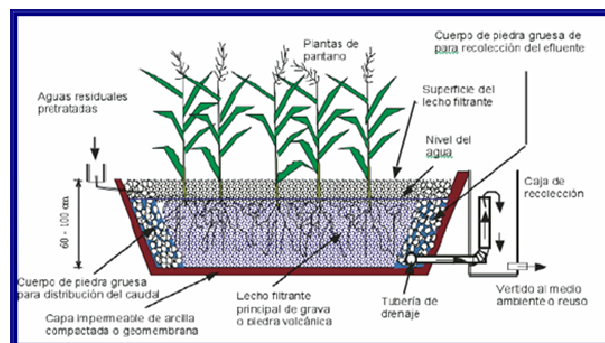
Estos se diseñan con el objeto de proporcionar tratamiento secundario o avanzado y consisten en canales o zanjas excavadas y rellenos de material granular, generalmente grava. Las mismas especies vegetales se usan para los dos tipos de humedales.

Un humedal artificial de flujo subsuperficial está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o



canal que contiene un medio apropiado. Un ejemplo de un humedal SFS se muestra en la figura 2.6

La grava es el medio más utilizado, aunque también se ha utilizado roca triturada, grava, arena y otro tipo de materiales del suelo. El medio se planta normalmente con los mismos tipos de vegetación emergentes presentes en las praderas inundadas y, por diseño, el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio. Las principales ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua son la prevención de mosquitos y olores y la eliminación del riesgo de que el público entre en contacto con el agua residual parcialmente tratada. En contraste, la superficie del agua en los pantanales naturales y en los humedales artificiales de flujo libre superficial.



**Figura 2.6:** Humedal de flujo subsuperficial.

**Fuente:** Referencia [24]

Las estructuras de entrada y descarga se emplean para asegurar la distribución adecuada y la recolección uniforme del agua residual aplicada. El método más comúnmente utilizado en los sistemas de menor tamaño consiste de una tubería múltiple perforada.

La vegetación emergente más comúnmente utilizada en humedales SFS incluye las espadañas y aneas (*Typha* spp.), los juncos (*Scirpus* spp.) y los carrizos (*Phragmites* spp.) [23]. Las raíces de estas plantas son las encargadas de proporcionar un hábitat adecuado para los microorganismos, de forma tal que estas absorben y metabolizan los azúcares y aminoácidos que estos producen debido a consumos de minerales y otros químicos que contiene el agua y al mismo tiempo les proporcionan oxígeno y nutrientes [23]. La tabla 2.6 muestra la relación entre la profundidad de las raíces y los niveles de remoción de contaminantes de las diferentes especies

Los humedales SFS están mejor adaptados para aplicaciones de tamaño pequeño y mediano ( $\leq 227,100$  l/d) y en sistemas de mayor tamaño en los cuales se tiene un potencial significativo de contacto con el público, mosquitos o generación de olores. Su uso en sistemas de tratamiento en el punto de origen proporciona un efluente de alta calidad para la aplicación al terreno, y en algunos estados las autoridades de permiten una reducción significativa en el terreno requerido para disposición final del efluente.

**Tabla 2.6:** Calidad del agua en el efluente según macrófitas empleadas en humedales SFS

Tipos de Planta	Profundidad de raíces (m)	Calidad del efluente (mg/l)		
		DBO	SST	NH <sub>3</sub>
Scirpus	0,80	5	4	2
Phragmites	0,60	22	8	5
Typha	0,30	30	6	18
Sin Vegetación	0,00	36	6	22

**Fuente:** Referencia [23]

Los humedales SFS remueven en forma confiable la DBO de (60-90%) [23], la DQO y los SST, y con tiempos de retención suficientemente largos también pueden producir bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo. Los metales son también removidos eficazmente y se puede esperar también una reducción de un orden de magnitud en coliformes fecales en sistemas diseñados para producir efluentes de tratamiento secundario o avanzado.

La profundidad del medio en estos humedales, tiene un rango de 0,3 a 0,9 m, siendo el valor más común 0,6 m. La profundidad del agua, por tratarse de humedales de flujo subsuperficial, debe aproximarse de 95% de la profundidad del medio [21].

El tamaño del medio utilizado comúnmente va desde la grava fina ( $\geq 0,6$  cm o  $\geq 0,5$  pulg.) hasta roca grande triturada ( $\geq 15,2$  cm o  $\geq 6$  pulg.), la combinación de tamaños de 1,3 a 3,8 cm es la mas utilizada [26]. La tabla 2.7 muestra las características físicas que se pueden obtener para el medio seleccionado.

**Tabla 2.7:** Características típicas de los diferentes medios utilizados en humedales SFS

Tipo de Medio	Tamaño (mm)	Porosidad “n” (%)	Conductividad Hidráulica (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /día)
Arena gruesa	2	32	1000
Arena y grava	8	35	5000
Grava fina	16	38	7500
Grava mediana	32	40	10000
Roca triturada	128	45	100000

**Fuente:** Referencia [27]

✓ **Consideraciones para el diseño**

En esencia, el mecanismo de remoción de la DBO<sub>5</sub> en un humedal subsuperficial es el mismo que el descrito para los de tipo libre. Sin embargo, el rendimiento puede ser mejor en los de flujo subsuperficial ya que tienen un área sumergida mucho mayor que incrementa el potencial de crecimiento de biomasa fija.

Las ecuaciones utilizadas para los humedales de flujo libre son las mismas para este tipo de humedales, la única diferencia es la magnitud de la porosidad “n” y de la constante de temperatura K<sub>20</sub>. Para humedales subsuperficiales, la porosidad varía con el tipo de relleno usado, de acuerdo con la tabla anterior y puede ser medida por los procedimientos ya estipulados. En cuanto a la constante de temperatura, su valor es 1,104.

Tienen una profundidad típica alrededor de los 0,60 m. Este, algunas veces, tiene encima una capa de grava fina que puede ser de 76 a 150mm de espesor.

Esta grava fina, sirve para el enraizamiento inicial de la vegetación y se mantiene seca en condiciones normales de operación.

Si se selecciona grava relativamente pequeña, <20mm para la capa principal donde se realiza el tratamiento, la capa fina superior probablemente no será necesaria, pero entonces, la profundidad total debe incrementarse ligeramente para asegurar que tenga una zona seca en la parte superior del lecho.

✓ **Ecuaciones para el dimensionamiento de un humedal SFS**

La DBO residual que queda de la DBO del afluente original, viene a ser una de las componentes de la DBO en el afluente proveniente de los humedales anteriores, acompañada en este tipo de humedal por la degradación vegetal.

- **Área del humedal**

$$A_s = \frac{Q_o * Ln(C_o / C)}{K_{o(T)} * y * n} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

As = área del humedal subsuperficial, (m<sup>2</sup>)

Q<sub>o</sub> = caudal por pérdidas de evapotranspiración, (m<sup>3</sup>/d)

Co = concentración de DBO afluente (mg/l)

C = concentración de DBO efluente (mg/l)

y = profundidad del medio (m)

n = relación de espacio vacío respecto al número de plantas, en general va de 0,65 a 0,75

#### - Tasa de remoción aparente

El K<sub>o(T)</sub> es Constante de velocidad, dependiente de la temperatura, se expresa en d<sup>-1</sup>.

$$K_{o_T} = K_{20^\circ C} * 1,06^{(T - 20)}$$

(Ec. 2.9)

Donde:

K<sub>o(T)</sub> = tasa de remoción de DBO corregida a una temperatura T (d<sup>-1</sup>)

K<sub>20°C</sub> = tasa de remoción de DBO a 20°C, su valor es 0,678, (d<sup>-1</sup>), para aguas residuales domésticas

1,06 = coeficiente de temperatura

#### - Caudal por pérdidas de la evapotranspiración

La evapotranspiración como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. La siguiente fórmula expresa el caudal por evapotranspiración, la cual se obtuvo de la referencia [28]

$$Q_o = \frac{Q + 0,80Q}{2}$$

(Ec. 2.10)

- **Tiempo de retención hidráulico**

$$t = \frac{-\ln(C / C_o)}{K_{o(T)}}$$

(Ec. 2.11)

✓ **Diseño Hidráulico**

El diseño hidráulico de un humedal artificial es crítico para el éxito de su rendimiento. Todos los modelos de diseño que se usan actualmente asumen condiciones uniformes de flujo a pistón y que además no existen restricciones para el contacto entre los constituyentes del agua residual y los organismos responsables del tratamiento.

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia es impuesta por la vegetación y la capa de sedimentos en los FLS, y el medio, las raíces de las plantas y los sólidos acumulados en los SFS.

La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. La mejor solución en lo referente a construcción, es proveer al humedal de un fondo con una inclinación que sea suficiente para permitir un drenaje completo cuando sea necesario y una salida de altura variable con el nivel de agua.

La relación largo-ancho tiene una gran influencia en el régimen hidráulico y en la resistencia al flujo del sistema. En teoría grandes relaciones largo:ancho 10:1 o mayores asegurarían un flujo a pistón, pero tienen el inconveniente de que en la parte alta se desbordan debido al incremento en la resistencia al flujo causado por la acumulación de residuos de vegetación, principalmente en sistemas FLS.

Por tanto, relaciones de 1:1 hasta aproximadamente 3:1 o 4:1 son aceptables [29]. Los cortocircuitos pueden ser minimizados con una cuidadosa construcción y mantenimiento del fondo del humedal, con el uso de múltiples celdas, y con la intercalación de zonas abiertas (sin vegetación) para la redistribución del flujo.

## **2.5.5. Componentes de los humedales**

### **2.5.5.1. Agua**

Es probable que se formen humedales en donde se acumulen una pequeña capa de agua sobre la superficie del terreno y donde exista una capa del subsuelo relativamente impermeable que prevenga la filtración del agua en el



subsuelo.

Estas condiciones pueden crearse para construir un humedal casi en cualquier parte, modificando la superficie del terreno para que pueda recolectar agua y sellando la cubeta para retener el agua.

La hidrología es el factor de diseño mas importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del humedal.

Mientras la hidrología de un humedal construido no es muy diferente que la de las otras aguas superficiales y cercanas a superficie, difieren en aspectos importantes, tales como:

- ✓ Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- ✓ Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, el sistema actúa recíprocamente y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (pérdida combinada de agua por evaporación de la superficie de agua y pérdida a través de la transpiración de las plantas).
- ✓ La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, primero, obstruyendo caminos de flujo, siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de tallos, hojas, raíces y rizomas y, segundo, bloqueando la exposición al viento y al sol.

### **2.5.5.2. Substratos, sedimentos y restos de vegetación**

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost.

Los sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El substrato, sedimento y los restos de vegetación son importantes por las siguientes razones:

- ✓ Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal
- ✓ La permeabilidad del substrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- ✓ Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del substrato.
- ✓ El substrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- ✓ La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismo, y es una fuente de energía para algunas de las mas importantes reacciones biológicas del humedal.

Las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se

alteran cuando se inundan.

En un sustrato, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno de la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un sustrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y metales.

### **2.5.5.3. Vegetación**

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (los tallos, las raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporte al oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

Lo más importante en los humedales FLS es que las porciones sumergidas de las hojas y tallos muertos se degradan y se convierten en lo que hemos llamado restos de vegetación, que sirven como sustratos para el crecimiento de la película microbiana fija que es la responsable de gran parte del tratamiento que ocurre.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual o agua negra y esorrentía de las siguientes maneras:

- ✓ Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo
- ✓ Dan lugar a velocidades de aguas bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.

- ✓ Toman el carbono, nutrientes y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- ✓ Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- ✓ El escape de oxígeno desde las estructuras superficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del substrato.
- ✓ El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

La tabla 2.8 muestra las funciones de las plantas en sistemas de tratamiento acuático.

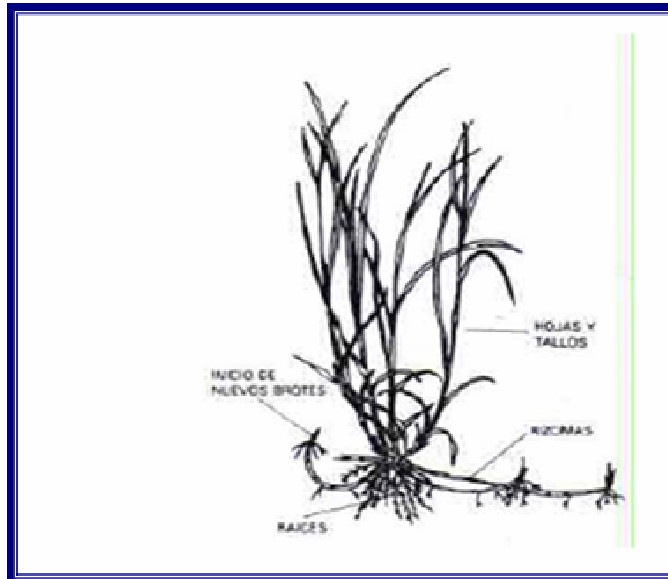
**Tabla 2.8:** Funciones de las plantas en sistemas acuáticos.

Tipo	Función
<p><b>Raíces y/o tallos en la columna de agua</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficie sobre la cual la bacteria crece.</li> <li>• Medio de filtración y absorción de sólidos.</li> </ul>
<p><b>Tallos y/o hojas sobre la superficie del agua</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Atenúan la luz del sol y así previenen el crecimiento de algas.</li> <li>• Reducen los efectos del viento en el agua. Es decir, transferencia de gases entre la atmósfera y el agua.</li> <li>• Importante en la transferencia de gases para y desde las partes sumergidas de la planta.</li> </ul>

**Fuente:** Referencia [1]

Las plantas emergentes que frecuentemente se encuentran en la mayoría de los humedales para aguas residuales o negras, incluyen espadañas, carrizos, juncos y juncos de laguna. La figura 2.7 muestra un tipo de planta emergente.

Los juncos de laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies, son las dominantes en la mayoría de los humedales en los Estados Unidos. También existen algunos sistemas con carrizos siendo esta especie la dominante en los humedales artificiales europeos.



**Figura 2.7:** Esquema típico de planta emergente.  
**Fuente:** Referencia [28]

### ❖ Microorganismos

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias, hongos y protozoarios.

La biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes. La actividad microbiana realiza lo siguiente:

- ✓ Transforma un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.
- ✓ Altera las condiciones de potencial redox del substrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.

- ✓ Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre).

Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía.

Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivos durante años.

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales.

#### **2.5.6. Consideraciones de construcción**

Los aspectos mas importantes a tener en cuenta para la construcción de humedales, son básicamente: la impermeabilización de la capa subsuperficial de terreno, la selección y colocación del medio granular para el caso de los

sistemas SFS, el establecimiento de la vegetación, y por último las estructuras de entrada y salida.

Estaciones de bombeo, instalaciones de desinfección y tuberías de conducción pueden ser también necesarias, pero estas instalaciones, como otras que pueden llegar a ser indispensables, no son únicas de los humedales y se tratan en otros textos.

Puesto que los niveles de oxígeno disuelto pueden llegar a ser tan bajos, en algunos casos pueden ser necesarias también unas instalaciones de post aireación. Donde la topografía lo permita, una caída de cascada cubierta de cemento para protegerla puede ser suficiente para este propósito.

#### **2.5.6.1. Impermeabilización**

Los dos tipos de humedales requieren generalmente que se coloque una barrera impermeable para impedir que se contamine con agua residual el subsuelo o el agua subterránea. Algunas veces esta barrera está presente naturalmente por una capa de arcilla o por los materiales que se encuentran in-situ y que pueden ser compactados hasta un estado cercano al impermeable.

Otras posibilidades son los tratamientos químicos, una capa de bentonita o de asfalto, o algún tipo de membrana.

El fondo del humedal, debe ser cuidadosamente alisado antes de la colocación del impermeabilizante, sobre todo si éste es del tipo de alguna fibra sintética, que pueda llegar a perforarse.

El terreno que corresponde a la cubierta vegetal debe retirarse de forma



cuidadosa, para que pueda reservarse para ser utilizado en los humedales FLS como base para la vegetación o usarse después de la otra.

El fondo debe ser nivelado cuidadosamente de lado a lado del humedal y en la totalidad de la longitud del lecho.

Los dos tipos de humedales deben tener una ligera pendiente para asegurar el drenaje, de forma que se asegura que se proporcionarán las condiciones hidráulicas necesarias para el flujo del sistema.

El gradiente hidráulico que se requiere y el control del nivel de agua en cada caída se realizan con el dispositivo de salida, que debe ser regulable.

Durante las operaciones finales de afinación de la rasante, el fondo del humedal debería ser compactado de forma similar a como se hace con la subrasante de una carretera.

El propósito es mantener la superficie de diseño durante las subsecuentes actividades de construcción.

Muchos sistemas de humedales construidos de ambos tipos, han tenido flujos preferenciales debido a errores en esta parte de la construcción. En el caso particular de los humedales SFS, los camiones que transportan la grava pueden ser un problema.

Las huellas de los neumáticos sobre el fondo del lecho pueden inducir flujos preferentes permanentes en la totalidad del sistema. Por tanto, no debe estar permitido el tráfico pesado por el fondo de las celdas cuando se tengan

condiciones climáticas de humedad.

#### **2.5.6.2. Vegetación**

En la construcción de los dos tipos de humedales, es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Si están disponibles, deben ser preferidas las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio.

Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua.

Adicionalmente, presenta el problema del posible consumo de semilla por parte de pájaros, por lo que lo más aconsejable es plantar mediante trasplante de rizomas al lecho previamente preparado.

Con el fin de conocer las plantas que se utilizan de acuerdo a las condiciones locales, se presenta la tabla 2.9, que resume según el tipo de vegetación.

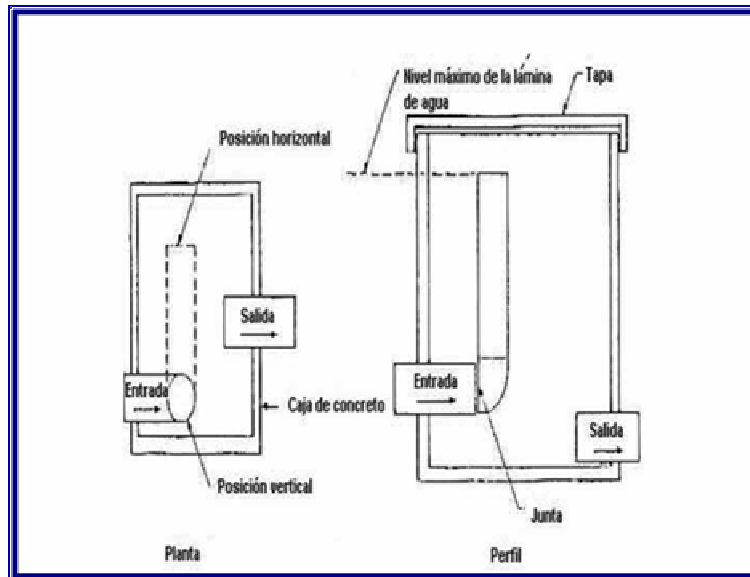
**Tabla 2.9:** Macrófitas existentes para uso en humedales

Tipo de Vegetación	Macrófitas
<b>Emergentes</b>	Juncos ( <i>Juncos effusus</i> , <i>Scirpues californicus</i> )
	Enea ( <i>Typha dominguensis</i> )
	Clavito ( <i>Ludwigia peploides</i> )
	Lengua de vaca ( <i>Rumex conglomeratus</i> )
	Botoncillo ( <i>Bidenslaevis</i> )
	Cortadera ( <i>Carex sp1</i> , <i>Carex sp2</i> . Coralito ( <i>galium assendens</i> )
	Barbasco de pantano ( <i>Polygonum hydropiperoides</i> )
	Cebolleta de agua ( <i>Eleocharis sp</i> )
<b>Flotantes</b>	Buchón ( <i>Eichhornia crassipes</i> , <i>Limnobium laevigatum</i> )
	Sombrilla de agua ( <i>Hydrocotile rannunculoides</i> )
	Lenteja de agua ( <i>Lemna sp</i> )
	Helecho de agua ( <i>Azolla filiculoides</i> )

**Fuente:** Referencia [29]

### 2.5.6.3. Estructuras de entrada y salida

Los dos sistemas, FLS y SFS, requieren condiciones de flujo uniforme para alcanzar los rendimientos esperados. Esto se alcanza en sistemas de pequeños o moderados tamaños con tuberías de recolección perforadas que se extienden a lo ancho de toda la celda, tanto para la entrada como para la salida. La figura 2.8 muestra la estructura de entrada y de salida.



**Figura 2.8:** Estructura de entrada y salida con control de nivel.  
**Fuente:** Referencia [28]

Un colector de entrada sobre la superficie permite el acceso para ajustes y control, por lo que se prefiere para muchos sistemas. Este colector generalmente consiste en una tubería plástica de 100 a 200 mm de diámetro, con una “T” ubicada sobre la línea, aproximadamente cada 3m. el operario puede mover cada “T” alrededor de una arco vertical y de ese modo puede hacer un ajuste visual e igualar los caudales. Los pequeños sistemas SFS incluyen normalmente una tubería perforada colocada en el fondo del lecho y rodeada por material rocoso.

#### **2.5.6.4. Control del buen funcionamiento del humedal**

Los humedales deben controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Debe supervisarse la vegetación periódicamente para evaluar su salud y abundancia. Para humedales que no reciben cargas altas, la supervisión de

la vegetación no se necesita que sea cuantitativa. Normalmente bastará con observaciones cualitativas. Los sistemas grandes y aquéllos que están muy cargados requerirán ser supervisados más frecuente, y de forma cuantitativa. En general, esta supervisión debe ser más frecuente durante los primeros cinco años después de la instalación del sistema.

La composición de las especies y densidad de las plantas se determina fácilmente, inspeccionando parcelas cuadradas, normalmente de 1 m x 1 m, dentro del humedal. Los cambios a tener en cuenta incluyen un aumento en el número de especies no deseadas o agresivas, una disminución en la densidad de la capa vegetativa, o señales de enfermedad en las plantas.

La vegetación del humedal construido está sujeta a cambios graduales de año en año, así como en los humedales naturales. Puede haber tendencia a que algunas especies mueran y sean reemplazadas por otras. Dado que los cambios vegetativos son a menudo lentos, no son obvios a corto plazo y, por tanto, es esencial mantener buenos registros.

El aumento de los sedimentos acumulados así como de la capa de residuos, disminuye la capacidad de almacenamiento de agua, afectando la profundidad de está en el humedal y posiblemente alterando los caminos de flujo. Los sedimentos, la capa de residuos, y la profundidad del agua deben verificarse de vez en cuando.

#### **2.5.7. Lagunas facultativas**

Las lagunas son excavaciones realizadas en un terreno, para el tratamiento de aguas residuales. Los trabajos de investigación realizados, sobre lagunas en la década de 1940 permitieron el desarrollo de estos sistemas como una alternativa a bajo costo para el tratamiento de aguas residuales.

### **2.5.7.1. Tipos de lagunas**

Las lagunas usadas en el tratamiento de aguas residuales poseen una profundidad variable, pueden ser poco profundas, o bastante profundas.

Las lagunas se clasifican teniendo en cuenta la concentración de oxígeno disuelto (nivel de aerobividad), y la fuente que suministra el oxígeno necesario para la asimilación bacteriana de compuestos orgánicos presentes en el agua residual. **[30]**

A continuación se presentan los diferentes tipos de lagunas:

- ✓ Lagunas de retención total
- ✓ Lagunas con descarga total
- ✓ Lagunas con descarga de control hidrológico
- ✓ Lagunas con descarga continua

Las lagunas de retención total, o lagunas de evaporación, se deben considerar sólo en lugares donde la tasa de evaporación supera la precipitación anual.

Las lagunas con descarga controlada son las que regulan de la descarga del agua residual cruda para eliminar las variaciones extremas de caudal y calidad, vierten su efluente periódicamente, cuando la fuente receptora presenta condiciones óptimas para recibir la descarga del efluente tratado.

Las lagunas con descarga de control hidrológico (DCH) son una variación de aquellas de descarga controlada, bajo este concepto la laguna se diseña en forma tal que permita la descarga del efluente tratado cuando la fuente receptora presenta caudal por encima de un mínimo aceptado.

La tabla 2.10 señala la clasificación de las lagunas. Muchas de las lagunas con descarga controlada o con descarga de control hidrológico son facultativas. Todas las clases de lagunas pueden funcionar con descarga continua.

#### **2.5.7.2. Aplicaciones**

La tecnología de tratamiento con lagunas, se utiliza principalmente en comunidades pequeñas, sin embargo, las lagunas aireadas y facultativas son de uso frecuente en comunidades medianas.

**Tabla 2.10:** Clasificación de las lagunas con base en la presencia de oxígeno

<b>Clase de lagunas</b>	<b>Presencia de oxígeno</b>
Aerobia	La fotosíntesis suministra el oxígeno necesario para mantener condiciones aerobias en toda la columna de agua
Facultativa	La zona superficial es aeróbica La zona subsuperficial puede ser anóxica o anaeróbica.
Aireada con mezcla parcial	La aireación superficial produce una zona aerobia que puede alcanzar la totalidad de la profundidad, dependiendo del ingreso de oxígeno y de la profundidad de la laguna
Anaeróbica	La totalidad de su profundidad es anaerobia

**Fuente:** Referencia [30]

Estos sistemas pueden funcionar en forma independiente o en combinaciones con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales.

### **2.5.7.3. Terraplenes de las lagunas**

Los taludes o terraplenes son barreras en tierra construidas para estabilizar y proteger el perímetro de la laguna de la erosión, del oleaje y de la presencia de roedores. De acuerdo con el tipo de suelo empleado en la construcción de terraplenes, el grado de inclinación de los mismos debe ser recomendado por un ingeniero de suelos.



La mayoría de lagunas se construyen por medio de excavaciones en el terreno, extrayendo material que sirve para construir los terraplenes y demarcar la laguna.

#### **2.5.7.4. Diseño hidráulico de las lagunas**

Entre los elementos de importancia en la hidráulica de una laguna están las estructuras de entrada y salida, el uso de deflectores y los efectos ocasionados por la acción del viento y la estratificación en la laguna. El diseño hidráulico más común que se encuentra en la mayoría de las lagunas comprende la utilización de la tubería de entrada en el centro de la laguna para el ingreso del agua residual.

Sin embargo, se ha demostrado en estudios hidráulicos y de eficiencia del sistema, que la instalación de una alimentación central no es el método más eficiente para introducir el agua residual a la laguna.

El agua residual del afluente debe distribuirse en múltiples entradas, utilizando un difusor. Tanto las entradas como las salidas, se deben ubicar en forma tal que el perfil de la velocidad de flujo a través de la laguna sea uniforme, entre los diferentes puntos de acceso y evacuación. Una tubería ubicada en el fondo de la laguna, con tubos múltiples o boquillas apuntando en la misma dirección y con un ligero ángulo sobre la horizontal, produce una distribución uniforme del afluente.

#### **✓ Consideraciones para el diseño de una laguna de facultativa.**

Un buen número de variables afectan el desempeño de lagunas facultativas, entre otras, se pueden citar: crecimiento y degradación de las

poblaciones algales, la mezcla inducida por el viento, a temperatura y los cambios térmicos. Para apreciar las complejas interacciones que ocurren en la laguna, se sugiere considerar crecimiento y degradación de as diferentes poblaciones algales.

En general, las lagunas facultativas contienen concentraciones elevadas de algas. Para evitar la formación de algas, y larvas de mosquitos, se utilizara un sistema de acuicultura, utilizando peces del tipo *Dhapia*, ya que este tipo de peces filtran el agua para capturar su alimento y de esta forma pueden remover algas y sólidos suspendidos. También es aceptable usar peces, con una concentración de oxígeno disuelto de 2 mg/l.

La profundidad para lagunas facultativas oscila entre 1.5 a 2.5m [7]. El aporte de oxígeno se logra por fotosíntesis y por reaeración natural superficial. El diseño para el efluente que proviene del humedal artificial se asume que la cantidad de coliformes fecales (CF) en el afluente es de: 24000 por cada 100 ml [26].

#### ✓ **Ecuaciones utilizadas para el diseño de lagunas facultativas**

Esta parte trata de los distintos métodos utilizados para el diseño de lagunas facultativas. Aunque el operador de las lagunas se encuentra con la planta ya construida, es muy conveniente que conozca los principios en que se basa su diseño, ya que de esta forma será capaz de detectar posibles fallos, e intentar mejorar el rendimiento de la instalación modificando en lo posible su esquema operativo.

El diseño de lagunas de estabilización se ha llevado a cabo tradicionalmente mediante procedimientos simplificados, basados por lo general en la eliminación de una sola variable (materia orgánica como DBO5 es la variable de diseño por excelencia).

Existe una gran variedad de métodos de diseño, lo que constituye un reflejo de las múltiples condiciones en las que éstos han sido deducidos (distintos tipos de alimentación, situación geográfica, condiciones climáticas, etc.). Los parámetros en los que se basan normalmente los cálculos son uno o varios de los siguientes:

- **Constante de remoción  $K_T$**

Esta constante se considera únicamente función de la temperatura. Se utiliza para la remoción de los coliformes fecales.

$$K_T = 2,6 * (1,19)^{(T-20)} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

$K_T$  = constante de remoción a la temperatura establecida, ( $d^{-1}$ )

2,6 = constante de temperatura a 20°C

- **Tiempo de retención de la laguna**

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e(1+K_T*\theta_a)(1+K_T*\theta_f)(1+K_T*\theta_f)} \right)^{1/n} - 1}{K_T} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Donde:

$\Theta_m$  = tiempo de retención de la laguna, (d)

$N_i$  = número de coliformes fecales por cada 100 ml de afluente, (NMP/100 ml)

$N_e$  = número de coliformes fecales por cada 100 ml de efluente, (NMP/100 ml)

$K_t$  = constante de remoción, tratamiento primario, ( $d^{-1}$ )

$\Theta_a$  = tiempo de retención, tratamiento secundario, (d)

$\Theta_f$  = tiempo de retención, tratamiento secundario, (d)

$\Theta_f'$  = tiempo de retención tratamiento secundario, (d)

$n$  = número de lagunas en paralelo

- **Área de la laguna**

$$A_l = \frac{2Q_e \theta_m}{(2D + 0,001 * ET * \theta_m)}$$

**(Ec. 2.14)**

Donde:

$A_l$  = área de la laguna ( $m^2$ )

$Q_e$  = caudal del efluente ( $m^3/d$ )

$\Theta_m$  = tiempo de retención de la laguna (d)

ET = Evapotranspiración (mm/d)

D = profundidad (m)

## **2.6. Propuesta de las instalaciones eléctricas**

Se le llama instalación eléctrica al conjunto de elementos que permiten transportar y distribuir la energía eléctrica, desde el punto de suministro hasta los equipos que la utilicen.

Entre estos elementos se incluyen: tableros, interruptores, transformadores, bancos de capacitares, dispositivos, sensores, dispositivos de control local o remoto, cables, conexiones, contactos, canalizaciones, y soportes.

Las instalaciones eléctricas pueden ser abiertas (conductores visibles), aparentes (en ductos o tubos), ocultas, (dentro de paneles o falsos plafones), o ahogadas (en muros, techos o pisos).

## **2.6.1. Elementos que constituyen una instalación eléctrica**

### **2.6.1.1. Acometida**

Se entiende el punto donde se hace la conexión entre la red, propiedad de la compañía suministradora, y el alimentador que abastece al usuario. La cometida también se puede entender como la línea aérea o subterránea según sea el caso que por un lado entronca con la red eléctrica de alimentación y por el otro tiene conectado el sistema de medición. **[31]**

Además en las terminales de entrada de la cometida normalmente se colocan aparatos para proteger la instalación y el equipo de alto voltaje.

### **2.6.1.2. Equipos de Medición**

Por equipo de medición se entiende a aquél que se coloca en la cometida con el propósito de cuantificar el consumo de energía eléctrica de acuerdo con las condiciones del contrato de compra-venta. Este equipo está sellado y debe de ser protegido contra agentes externos, y colocado en un lugar accesible para su lectura y revisión **[31]**.

### **2.6.1.3. Interruptores**

Un interruptor es un dispositivo que está diseñado para abrir o cerrar un circuito eléctrico por el cual está circulando una corriente. Se clasifica en:

- Interruptor general: Se le denomina interruptor general o principal al que va colocado entre la acometida (después del equipo de medición) y el resto de la instalación y que se utiliza como medio de desconexión y protección del sistema o red suministradora.

- Interruptor derivado: También llamados interruptores eléctricos los cuales están colocados para proteger y desconectar alimentadores de circuitos que distribuyen la energía eléctrica a otras secciones de la instalación o que energizan a otros tableros.
- Interruptor termo magnético: Es uno de los interruptores más utilizados y que sirven para desconectar y proteger contra sobrecargas y cortos circuitos. Se fabrica en gran cantidad de tamaños por lo que su aplicación puede ser como interruptor general. Tiene un elemento electrodinámico con el que puede responder rápidamente ante la presencia de un corto circuito

#### **2.6.1.4. Arrancador**

Se conoce como arrancador al arreglo compuesto por un interruptor, ya sea termo magnético de navajas (cuchillas) con fusibles, un conductor electromagnético y un relevador bimetálico. El contacto consiste básicamente de una bobina con un núcleo de hierro que cierra o abre un juego de contactos al energizar o desenergizar la bobina.

#### **2.6.1.5. Transformador**

El transformador eléctrico es un equipo que se utiliza para cambiar el voltaje de suministro al voltaje requerido. En las instalaciones grandes pueden necesitarse varios niveles de voltaje, lo que se logra instalando varios transformadores (agrupados en subestaciones). Por otra parte pueden existir instalaciones cuyo voltaje sea el mismo que tiene la acometida y por lo tanto no requieran de transformador.

#### **2.6.1.6. Tableros**

El tablero es un gabinete metálico donde se colocan instrumentos con

interruptores arrancadores y/o dispositivos de control [31]. El tablero es un elemento auxiliar para lograr una instalación segura confiable y ordenada. Se clasifican en:

- Tablero general: el tablero general es aquel que se coloca inmediatamente después del transformador y que contiene un interruptor general. El transformador se conecta a la entrada del interruptor y a la salida de este se conectan barras que distribuyen la energía eléctrica a diferentes circuitos a través de interruptores derivados.
- Centros de Control de Motores: en instalaciones industriales y en general en aquellas donde se utilizan varios motores, los arrancadores se agrupan en tableros compactos conocidos como centros de control de motores.
- Tableros de Distribución o derivado: estos tableros pueden tener un interruptor general dependiendo de la distancia al tablero de donde se alimenta y del número de circuitos que alimenten.

#### **2.6.1.7. Motores y equipos accionados por motores.**

Los motores se encuentran al final de las ramas de una instalación y su función es transformar la energía eléctrica en energía mecánica, cada motor debe tener su arrancador propio. [32]

#### **2.6.1.8. Estaciones o puntos de Control**

En esta categoría se clasifican las estaciones de botones para control o elementos del proceso como: limitadores de carreras o de par, indicadores de nivel de temperatura, de presión entre otros.



Todos estos equipos manejan corrientes que por lo general son bajas comparadas con la de los electos activos de una instalación.

#### **2.6.1.9. Salidas para alumbrado y contactos**

Las unidades de alumbrado, al igual que los motores, están al final de las instalaciones y son consumidores que transforman la energía eléctrica en energía luminosa y generalmente también en calor. [33]

Los contactos sirven para alimentar diferentes equipos portátiles y van alojados en una caja donde termina la instalación.

#### **2.6.1.10. Tierra o neutro en una instalación eléctrica.**

- Tierra: se consideran que el globo terráqueo tiene un potencial de cero se utiliza como referencia y como sumidero de corrientes indeseables.
- Resistencia a tierra: este término se utiliza para referirse a la resistencia eléctrica que presenta el suelo de cierto lugar.
- Toma de tierra: se entiende que un electrodo enterrado en el suelo con una Terminal que permita unirlo a un conductor es una toma de tierra.
- Tierra remota: se le llama así a un a toma de tierra lejana al punto que se esté considerando en ese momento.
- Sistemas de Tierra: es la red de conductores eléctricos unidos a una o mas tomas de tierra y provisto de una o varias terminales a las que

puede conectarse puntos de la instalación.

- Conexión a tierra: la unión entre un conductor y un sistema de tierra.
- Tierra Física: cuando se une solidamente a un sistema de tierra que a su vez está conectado a la toma de tierra.
- Neutro Aislado: es el conductor de una instalación que está conectado a tierra a través de una impedancia.
- Neutro del generador: se le llama así al punto que sirve de referencia para los voltajes generados en cada fase.
- Neutro de trabajo: sirve para conexión alimentado por una sola fase
- Neutro conectado sólidamente a tierra: se utiliza generalmente en instalaciones de baja tensión para proteger a las personas contra electrocución.
- Neutro de un sistema: es un potencial de referencia de un sistema que puede diferir de potencial de tierra que puede no existir físicamente.
- Neutro Flotante: se la llama así al neutro de una instalación que no se conecta a tierra.

#### **2.6.1.5. Interconexión**

Para la interconexión pueden usarse alambres, cables de cobre o aluminio, estos pueden estar colocados a la vista en ductos, tubos o charolas. El empalme de la conexión de las terminales de los equipos debe de hacerse de manera que se garantice el contacto uniforme y no existan defectos que representen una disminución de la sección. Las tuberías que se utilizan para

proteger los conductores pueden ser metálicas o de materiales plásticos no combustibles también se utilizan ductos cuadrados o charolas. El soporte de todos estos elementos debe de ser rígido y su colocación debe hacerse de acuerdo con criterios de funcionalidad, estética, facilidad de mantenimiento y economía

### **2.6.2. Diseño de instalaciones eléctricas**

Para el diseño de las instalaciones eléctrica se utilizará la norma venezolana Covenin 200:1999, 6<sup>ta</sup> revisión, Código Eléctrico Nacional [33]

### **2.7. Energías renovables**

Las fuentes renovables de energía se basan en los flujos y ciclos naturales del planeta. Son aquellas que se regeneran y son tan abundantes que perdurarán por cientos o miles de años, las utilicemos o no; además, usadas con responsabilidad no destruyen el medio ambiente. La electricidad, calefacción o refrigeración generadas por las fuentes de energías renovables, consisten en el aprovechamiento de los recursos naturales como el sol, el viento, los residuos agrícolas u orgánicos. Incrementar la participación de las energías renovables, asegura una generación de electricidad sostenible a largo plazo, reduciendo la emisión de CO<sub>2</sub>. Aplicadas de manera socialmente responsable, pueden ofrecer oportunidades de empleo en zonas rurales y urbanas y promover el desarrollo de tecnologías locales. A continuación se describen algunas fuentes de energías renovables, estudiándose con más detalle la energía solar, la cual será la fuente de fuente de obtención para el desarrollo de este trabajo de grado.

- **Energía Hidráulica:** La energía potencial acumulada en los saltos de agua puede ser transformada en energía eléctrica. Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía de los ríos para poner en funcionamiento unas turbinas que mueven un generador eléctrico.
- **Biomasa:** La formación de biomasa a partir de la energía solar se lleva a cabo por el proceso denominado fotosíntesis vegetal que a su vez es desencadenante de la cadena biológica. Mediante la fotosíntesis las plantas que contienen clorofila, transforman el dióxido de carbono y el agua de productos minerales sin valor energético, en materiales orgánicos con alto contenido energético y a su vez sirven de alimento a otros seres vivos. La biomasa mediante estos procesos almacena a corto plazo la energía solar en forma de carbono. La energía almacenada en el proceso fotosintético puede ser posteriormente transformada en energía térmica, eléctrica o carburantes de origen vegetal, liberando de nuevo el dióxido de carbono almacenado.
- **Energía solar:** La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, esta puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica utilizando paneles solares. Mediante colectores

solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica, y utilizando paneles fotovoltaicos la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

- **Energía Eólica:** La energía eólica es la energía obtenida de la fuerza del viento, es decir, mediante la utilización de la energía cinética generada por las corrientes de aire. El término eólico viene del latín *Aeolicus*, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega y, por tanto, perteneciente o relativo al viento. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas. Es un tipo de energía verde. La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales. [34]
- **Energía geotérmica:** Parte del calor interno de la Tierra (5.000 °C) llega a la corteza terrestre. En algunas zonas del planeta, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar temperaturas de ebullición, y, por tanto, servir para accionar turbinas eléctricas o para calentar. La energía geotérmica es aquella energía que puede ser obtenida por el hombre mediante el aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. El calor del interior de la Tierra se debe a varios

factores, entre los que destacan el gradiente geotérmico y el calor radiogénico. Geotérmico viene del griego *geo*, "Tierra"; y de *thermos*, "calor"; literalmente "calor de la Tierra".

- **Energía mareomotriz:** se debe a las fuerzas gravitatorias entre la Luna, la Tierra y el Sol, que originan las mareas, es decir, la diferencia de altura media de los mares según la posición relativa entre estos tres astros. Esta diferencia de alturas puede aprovecharse en lugares estratégicos como golfos, bahías o estuarios utilizando turbinas hidráulicas que se interponen en el movimiento natural de las aguas, junto con mecanismos de canalización y depósito, para obtener movimiento en un eje. Mediante su acoplamiento a un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía eléctrica, una forma energética más útil y aprovechable.

## 2.7.1. Energía solar

### 2.7.1.1. El sol

El sol es la estrella más próxima a la tierra y nuestra fuente energética desde los primeros tiempos. Ocupa la posición central del sistema que lleva su nombre y dista de la tierra una media de 149,5 millones de kilómetros. Está formado por hidrógeno (90%), helio (7%) y otros componentes. Su potente fuerza de gravedad como consecuencia de su masa, contiene el 99% de la masa del sistema solar [35]. Es el motor de los nueve planetas y de los miles de pequeños cuerpos que giran a su alrededor. Sin embargo, en la galaxia es una estrella de tamaño reducido entre los millones que la pueblan.

### 2.7.1.2. Constante solar

La radiación solar incide sobre la superficie terrestre después de atravesar nuestra atmósfera, en la que se debilita como consecuencia de los reflejos y la absorción de energía en las nubes, las cuales presentan diferentes estados que determinan la magnitud de la recibida.

La necesidad de cuantificar tal energía para poder dimensionar las instalaciones receptoras terrenas conforme a los requerimientos de sus usuarios, ha dado lugar a la denominada constante solar, con la que se indica la energía incidente de la atmósfera, por  $m^2$ . Si se tiene en cuenta, el sol irradia cada segundo en todas las direcciones una energía correspondiente a  $4 \times 10^{26}$  Joule y que la distancia que nos separa tiene un valor medio de 149,50 millones de kilómetros, se da [35]:

$$I = \frac{P}{4\pi d^2} \cong 1,35 Kw / m^2 \quad (\text{Ec.})$$

## 2.15)

Donde:

P = Energía del Sol (J)

$d^2$  = Distancia Sol-Tierra (m)

Pero, dado que su trayectoria es una elipse, la distancia de separación tiene los siguientes límites:

- En el Solsticio de verano = 1,07 d (23° de latitud sur)
- En el Solsticio de invierno = 0,987 d (10 a 23° de latitud norte)

El valor de la irradiación  $1,35 \text{ Kw/m}^2$  se ha dado en aproximación por tal motivo. No obstante, teniendo en cuenta el valor medio, su valor de referencia es de  $1,367 \text{ Kw/m}^2$ . Sin embargo, la constante solar también se puede indicar en calorías  $\text{cm}^2/\text{min.}$ , con lo que:

$$1,367 \text{ Kw/m}^2 = 1,367 \text{ Julios/m}^2 \times \text{s} = 1,367 \times 0,24 \text{ Cal/m}^2 \times \text{s}$$

### 2.7.2. Energía solar fotovoltaica

Se denomina energía solar fotovoltaica a una forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos.

Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por



dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos.

A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica, operación que es muy rentable económicamente pero que precisa todavía de subvenciones para una mayor viabilidad.

El proceso, simplificado, sería el siguiente: se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor en corriente alterna. Mediante un centro de transformación se eleva a Media tensión (15 ó 25 kV) y se inyecta en las redes de transporte de la compañía.

**[35]**

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.

#### **2.7.2.1. Clasificación de las instalaciones**

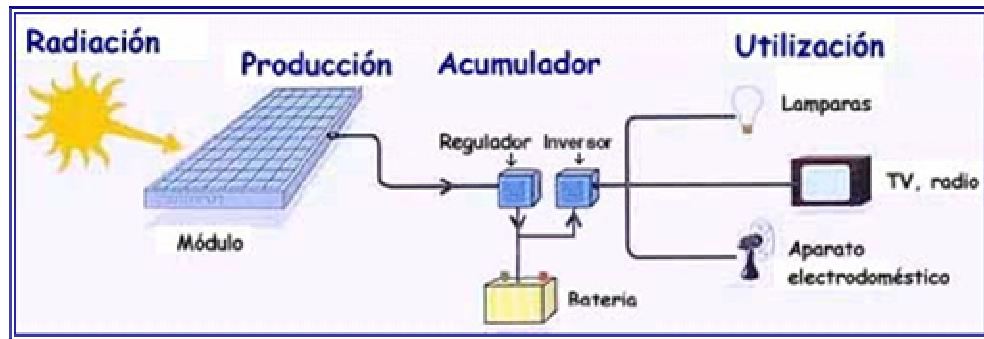
Las instalaciones basadas en los paneles solares fotovoltaicos están clasificadas en tres versiones en correspondencia con su arquitectura y utilización. Tales versiones son descritas a continuación:

- ✓ Instalaciones aisladas de la red
- ✓ Instalaciones con conexión a la red
- ✓ Instalaciones híbridas

✓ **Instalaciones aisladas de la red**

Las instalaciones fotovoltaicas destinadas a la obtención de energía eléctrica para cualquier aplicación, que no tengan ningún punto de conexión con las redes públicas de distribución de energía para inyectar en ellas corriente, se denominan aisladas. Tales aplicaciones, se derivan a su vez en dos tipos:

- **Instalaciones centralizadas:** son las que cubren la necesidad de un conjunto de viviendas, y cuya justificación está en la reducción del impacto ambiental y en motivos económicos.
- **Instalaciones descentralizadas:** corresponden a las que cubren la necesidad de un solo usuario, ya sea vivienda, repartidor, etc.



**Figura 2.9:** Instalación aislada.  
**Fuente:** Referencia [36]

✓ **Instalaciones con conexión a la red**

Corresponden tales instalaciones a las que están conectadas a la red pública de distribución de energía para dos posibles finalidades, que son:

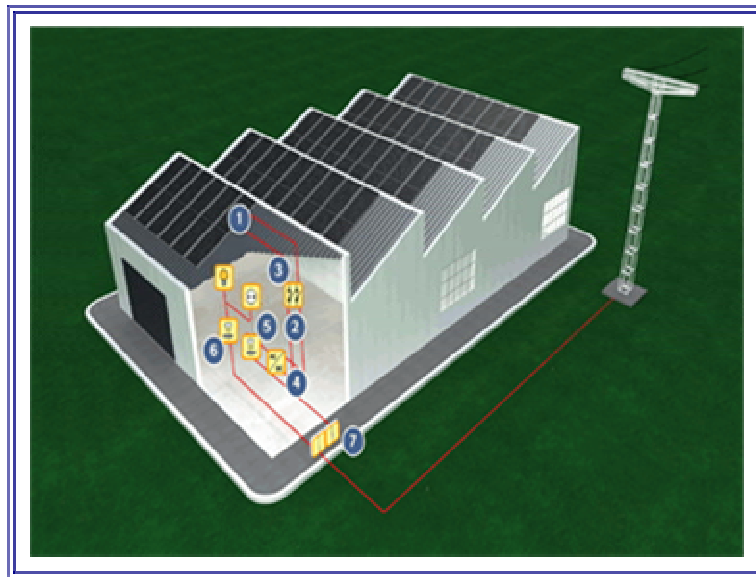
- Venta de la totalidad de la energía eléctrica generada
- Venta de la energía eléctrica sobrante con respecto a la necesidad del lugar de generación.

En tales instalaciones intervienen dos nuevos componentes no empleados en la versión anterior, los cuales son:

- Un inversor de red, cuya finalidad es sincronizar la fase de la energía a inyectar con la de la red pública, único modo que permite el aporte

energético.

- Un contador de energía eléctrica para medir la inyección de energía a la red a efectos de cobro.



**Figura 2.10:** Instalación con conexión a red.  
Fuente: Referencia [37]

### ✓ Instalaciones Híbridas

Se consideran híbridas las instalaciones que incorporan diferentes fuentes generadoras de energía eléctrica, para una misma aplicación.

La finalidad es la de obtener el máximo aprovechamiento de los

recursos energéticos en todo momento, y así reducir la dependencia de las condiciones atmosféricas y de las franjas horarias del sol [33].

Considerando que tales instalaciones están dotadas de paneles fotovoltaicos, dos son las fuentes adicionales que pueden complementarlas, las cuales son:

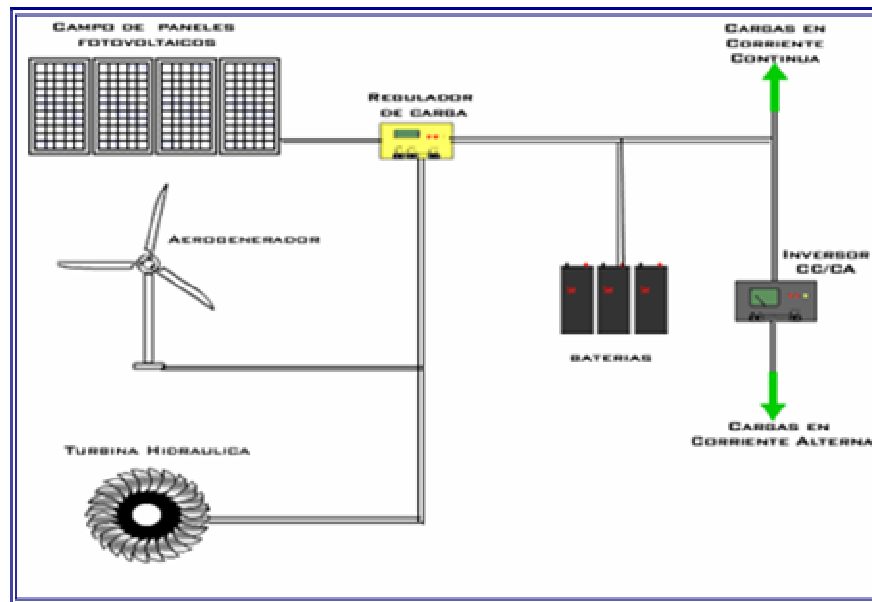
- **Aerogeneradores:** su energía se suma a la de los paneles fotovoltaicos en condiciones de presencia de vientos y durante el día, para ser el suministrador principal durante la noche, cuando los paneles cesen su actividad
- **Generadores:** están basados en un motor alimentado con combustible, los cuales pueden entrar en funcionamiento de modo automático cuando la energía disponible procedente del sistema fotovoltaico sea inferior a la que requiere la aplicación.

## 2.8. Paneles fotovoltaicos

El panel o módulo fotovoltaico, es un sistema captador de la energía solar en la que tiene lugar una conversión directa, para proporcionar corriente eléctrica.

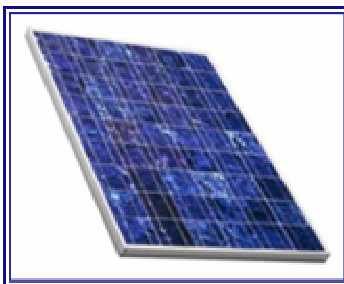
Su tamaño (superficie de captación) el rendimiento de sus componentes semiconductores, la irradiación solar en un momento dado y el ángulo sobre

el que se proyectan los rayos del sol determinan la potencia proporcionada.



**Figura 2.11:** Instalación Híbrida.  
Fuente: Referencia [38]

El componente principal del panel es la célula solar, cuyo número y modo de conexión entre ellas determina sus características eléctricas de tensión y corriente.



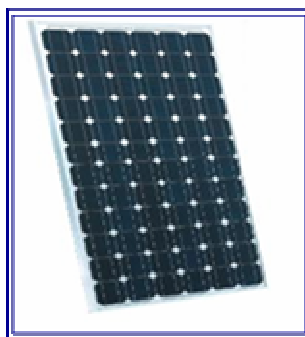
**Figura 2.12:** Panel fotovoltaico.  
Fuente: Referencia [39]

### **2.8.1. Tipos de paneles solares**

En función de los materiales

#### **2.8.1.1. Silicio Monocristalino.**

Basados en secciones de una barra de silicio perfectamente cristalizado en una sola pieza. En laboratorio se han alcanzado rendimientos máximos del 24,7% para éste tipo de paneles siendo en los comercializados del 16%.

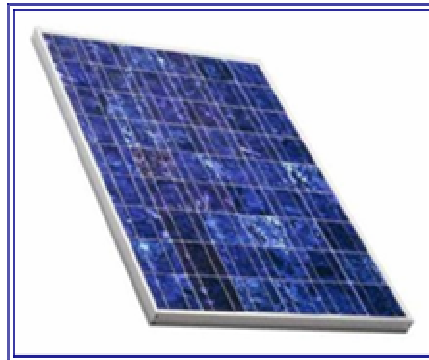


**Figura 2.13:** Panel solar monocristalino.  
Fuente: Referencia [39]

#### **2.8.1.2. Silicio Policristalino.**

Los materiales son semejantes a los del tipo anterior aunque en este caso el proceso de cristalización del silicio es diferente. Los paneles policristalinos se basan en secciones de una barra de silicio que se ha estructurado

desordenadamente en forma de pequeños cristales. Son visualmente muy reconocibles por presentar su superficie un aspecto granulado. Se obtiene con ellos un rendimiento inferior que con los monocristalinos (en laboratorio del 19.8% y en los módulos comerciales del 14%)



**Figura 2.14:** Panel solar policristalino  
Fuente: Referencia [36]

### **2.8.1.3. Silicio Amorfo. (TFS)**

Basados también en el silicio, pero a diferencia de los dos anteriores, este material no sigue aquí estructura cristalina alguna. Paneles de este tipo son habitualmente empleados para pequeños dispositivos electrónicos (Calculadoras, relojes) y en pequeños paneles portátiles. Su rendimiento máximo alcanzado en laboratorio ha sido del 13% siendo el de los módulos comerciales del 8%.





**Figura 2.15:** Panel solar Amorfo  
Fuente: Referencia [36]

### **2.8.2. Estructura de los paneles fotovoltaicos**

Las células del tipo Monocristalino y Policristalino, cuya forma es seudocuadrada, están hechas sobre sustrato que da al conjunto unidad. El número de células sobre sustrato y el conexionado entre ellas determinan la potencia y la tensión a proporcionar. Se pueden observar en cualquier panel fotovoltaico comercial las células y las conexiones a modo de pistas que las unen, formando un circuito de configuraciones semi-paralelo, pistas que finalizan, en la denominada caja de conexiones, que es su comunicación con el exterior

#### **2.8.2.1. Características de los paneles**

Los paneles fotovoltaicos se definen por un conjunto de parámetros expresados en las condiciones denominadas TONC (Temperatura de operación nominal de la célula) o en la SRC (Condición de prueba estándar), cuyos valores son mostrados en la tabla 2.11.

Tabla 2.11: Valores de TONC y SRC de paneles solares

Condiciones	TONC	SRC
Irradiación	800 W/m <sup>2</sup>	1000 W/m <sup>2</sup>
Distribución Espectral	AM 1.50	
Temperatura Ambiente	20 °C	25 °C
Velocidad del Viento	1 m/s	

**Fuente:** Referencia [35]

Respecto a los parámetros eléctricos que definen los paneles, los fundamentales son los siguientes:

- **Potencia Máxima ( $P_{max}$ ):** indica la máxima potencia obtenida en las condiciones especificadas. Su valor corresponde al producto de los parámetros voltaje (V) e intensidad (I) máximos.
- **Tensión de Potencia Máxima ( $V_{mp}$ ):** valor de la tensión cuando el panel esta suministrando la máxima intensidad de corriente
- **Intensidad de Potencia Máxima ( $I_{mp}$ ):** corriente suministrada a la potencia máxima. Se considera este parámetro el representativo de la corriente nominal.
- **Corriente de Cortocircuito ( $I_{sc}$ ):** representa la máxima corriente que

puede proporcionar el panel bajo condiciones de tensión cero.

- **Tensión a Circuito abierto ( $V_{OC}$ ):** especifica la tensión máxima que puede proporcionar el panel sin carga.
- **Coeficiente de Temperatura de  $I_{SC}$ :** indica, en porcentaje, la alteración de este parámetro con la temperatura. Por ejemplo 0,085%/C.
- **Coeficiente de Temperatura de  $V_{OC}$ :** indica, en mV/°C, la alteración de la tensión en circuito abierto con la temperatura. Por ejemplo 80 mV/°C.
- **Coeficiente de la Temperatura de la Potencia:** indica el signo y valor de la alteración de la potencia con la temperatura. Por ejemplo - 0,57%/°C.

Las instalaciones solares admiten múltiples configuraciones para adaptarse a otras tantas necesidades. Si aplicación en viviendas unifamiliares, edificios residenciales, hoteles, etc., requiere dimensionamientos diferentes para poder dar el servicio adecuado a sus usuarios.

### 2.8.2.2. Orientación y conexiones de los colectores solares

La instalación de los colectores solares, como componentes principales del sistema, requieren atención sobre tres puntos básicos, que son:

- **Integración arquitectónica:** se tenderá a emplear los colectores solares y elementos de sujeción más adecuados para conseguir la mejor integración en el entorno, colocándolos, si se dan las condiciones adecuadas, de modo paralelo a la envoltura del edificio y, no es posible esta solución, al menos mantener la alineación de sus ejes principales.
- **Orientación e inclinación:** los colectores se orientarán al sur en el hemisferio norte y al norte en el hemisferio sur, teniendo en cuenta que no se proyecten sombras sobre ellos, lo que repercutiría en el rendimiento, con una inclinación respecto al sol que depende de tres condiciones que son: **1.)** El valor de la longitud geográfica del lugar para instalaciones de utilización en todas las estaciones del año. **2.)**  $+10^\circ$  respecto de lo anterior, si la utilización principal se produce sólo durante el invierno. **3.)**  $-10^\circ$  si la utilización principal es sólo durante el verano.

No siempre es posible orientar los paneles solares al punto geográfico indicado, que corresponde al de máxima captación. Razones arquitectónicas pueden imposibilitar esa orientación, por ejemplo porque los paneles deban

estar dispuestos sobre las tejas o situaciones similares. En tal circunstancia se producen pérdidas cuyo valor depende del grado de alejamiento o punto óptimo. Su cálculo puede ser experimental. Midiendo para ello la irradiación presente en el lugar proyectado para la instalación de los paneles.

- **Energía calorífica necesaria:** la superficie de captación y el rendimiento energético de los colectores elegidos para la instalación debe corresponder con la demanda energética prevista. De tal cálculo se desprende la superficie en m<sup>2</sup> a instalar, lo que puede requerir más de un colector por razones de temperatura a alcanzar y por el valor del caudal a suministrar.

### 2.8.3. Consideraciones de diseño

#### - Consideraciones para el diseño del sistema fotovoltaico

El sistema fotovoltaico a considerar en este estudio, estará constituido por varias partes: una transforma la radiación solar en electricidad, otra almacena la energía no utilizada para ser entregada posteriormente y otra supervisa y controla el sistema. A continuación se presentan las ecuaciones que se utilizan para este diseño:

- **Consumo diario real**

$$CDR = CM / 30 \text{ días}$$

**(Ec. 2.16)**

Donde:

CDR = consumo diario real (Kw/día)

CM = consumo mensual (Kw-h/día) (Ver tabla)

- **Consumo de cálculo**

$$CC = CF * CDR$$

**(Ec. 2.17)**

Donde:

CC = consumo de cálculo (Kw/día)

CF = coeficiente de falla (adimensional)

- **Potencia producida por el panel**

$$PPP = PP * HS$$

**(Ec. 2.18)**

Donde:

PPP = potencia producida por el panel (W-h/día)

PP = potencia del panel (W) (ver especificaciones en Cap. IV)

HS = horas sol (h/día)

- **Número de paneles**

$$N^{\circ} P = \frac{CC}{PPP}$$

(Ec. 2.19)

Donde:

N°P = número de paneles (adimensional)

- **Capacidad base de la batería**

$$CB = CC/VS$$

(Ec. 2.20)

Donde:

CB = capacidad de la batería (A-h)

VS = voltaje del sistema (V) (ver especificaciones en Cap. IV)

- **Demanda de la batería**

$$D = CB/R$$

(Ec. 2.21)

Donde:

D = demanda (A-h)

R = rendimiento (80%)

- **Demanda recomendable**

$$DR = D/DM$$

(Ec. 2.22)

Donde:

DR = demanda recomendable (A-h/día)

DM = demanda máxima (50%)



- **Almacenamiento de la batería**

$$AB = D * DSS$$

(Ec. 2.23)

Donde:

AB = almacenamiento de batería (A-h/día)

DSS = días sin sol (día)

- **Capacidad total de almacenamiento**

$$CTA = DR + Au$$

(Ec. 2.24)

Donde:

CTA = capacidad total de almacenamiento (A-h/día)

Au = Autonomía (A-h/día)

- **Número de baterías en serie**

$$N^{\circ} BS = VS/TN$$

(Ec. 2.25)

Donde:

N°BS = número de baterías en serie

VS = voltaje del sistema (V) (ver anexo)

TN = tensión nominal (V) (ver anexo)

- **Número de baterías en paralelo**

$$N^{\circ} BP = CTA/CB$$

(Ec. 2.26)

Donde:

N°BP = numero de batería en paralelo

CTA = capacidad total de almacenamiento (A-h)

CB = capacidad de la batería (V)

- **Total de baterías**

$$\boxed{TB = N^{\circ}BS * N^{\circ}BP}$$

**(Ec. 2.27)**

## CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

### 3.1. Arquitectura

El modelo de vivienda propuesto en este trabajo, tiene factibilidad para realizarse en lugares donde predomine específicamente un clima tropical, por las consideraciones de diseño que fueron tomadas, al respecto. Este proyecto plantea una propuesta de vivienda cuya proyección enlaza el desarrollo integral y sustentable, el cual da una visión de cómo podría ser la “vivienda del futuro”.

La vivienda propuesta, tiene un área de construcción de 248,60 m<sup>2</sup> de 2 plantas y un área de mezzanina, con un diseño innovador y práctico, la cual puede construirse por etapas o módulos, según sean las necesidades del usuario en cuanto al número de habitaciones requeridas por los ocupantes. Estará desarrollada en una parcela de **1200 m<sup>2</sup>**, con los espacios y medidas mínimas de diseño, para garantizar un buen funcionamiento. Estará constituida por los siguientes espacios:

#### **Planta baja:**

- 1 Baño
- 1 Habitación sencilla
- Sala-comedor
- Cocina
- Porche
- Sala de estar
- Lavadero
- Garaje (2 puesto de estacionamiento)
- Área de jardín

**Mezzanina:**

- Bar
- Sala de estar

**Planta alta:**

- 2 Habitaciones con baños y con balcón
- 1 Habitación sencilla
- Sala de estar

La orientación de la vivienda deberá responder a las condiciones climáticas (del asoleamiento y de la dirección del viento). De esta forma, la fachada principal debe estar ubicada con cara al norte o al sur, evitando el asoleamiento severo que se presenta en la zona en la cual sea construida, igualmente se aprovecha la dirección de los vientos que permite una adecuada ventilación.

Las ventanas se utilizan para maximizar la entrada de la luz y energía del sol al ambiente interior mientras se busca reducir al mínimo la pérdida de calor a través del cristal (un muy mal aislante térmico). En el hemisferio sur implica generalmente instalar mayor superficie vidriada al norte para captar el sol en invierno y restringir al máximo las superficies vidriadas al sur. Esta estrategia es adecuada en climas templados a muy fríos. En climas cálidos a tropicales se utilizan otras estrategias.

El uso del doble vidriado hermético (DVH) reduce a la mitad las pérdidas de calor aunque su costo es sensiblemente más alto. Es

recomendable plantar delante de las ventanas orientadas a los cuadrantes NO-N-NE (Norte-Oeste, Norte, Norte-Este), árboles de hojas caducas para bloquear el sol excesivo en verano y a su vez permitir el paso de la luz solar en invierno cuando desaparecen sus hojas.

Las plantas perennes se plantan a menudo al sur del edificio para actuar como una barrera contra los fríos vientos del sur<sup>[1]</sup>.

### **3.2. Estructura**

La Superestructura de esta vivienda, estará constituido por una serie de Pórticos en Estructuras Metálicas orientados según el plano de Arquitectura, pudiendo existir estos, generalmente en las direcciones perpendiculares definidas X y/o Y. Las dimensiones de las columnas son de 200x200 mm, y las de las vigas de 100x80 mm

### **3.3 3.3. Instalaciones sanitarias**

#### **3.3.1. Aguas blancas**

Se asumirá que la fuente de obtención de agua blanca provendrá del acueducto de la red.

Para la distribución de agua fría y agua caliente que se tendrá en la vivienda, se utilizará tubería de PVC con coeficiente de rugosidad de 140, según lo establecido en las tablas (Ver anexo). Así como también el diámetro de la tubería de aducción y descarga del estanque subterráneo

La vivienda tendrá un estanque subterráneo, así como también el diámetro de la tubería de aducción y descarga, dicho estanque será de 2 m<sup>3</sup>.

Las dimensiones están establecidas en el capítulo IV.

La vivienda constará de un sistema con hidroneumático, el cual tendrá un tanque de presión con un volumen de 160 L elegido entre las capacidades convencionales existentes en el mercado (160, 220, 300 y 450) L para la tubería de distribución. Este sistema con hidroneumático consta de una electrobomba, con una potencia de 1 HP, la cual permite bombear 0,23 l/s hasta un H = de 42 m, calculada siguiendo los artículos 181 al 210 de la GO # 4044 [10], las curvas características y a las condiciones de los sistemas de distribución.

### **3.3.2 Aguas residuales**

La tubería de aguas residuales (grises y negras) se adoptará un sistema individual, es decir, se harán por separado. Las instalaciones sanitarias fueron proyectadas y calculadas bajo las normas sanitarias según la GO # 4044[10].

Se utilizarán tuberías por separados para las aguas grises y negras porque las aguas grises contienen menor grado de microorganismos dañinos al medio ambiente, en cambio las aguas negras contienen una mayor cantidad de microorganismos, los cuales para su eliminación conllevaría a sistemas de tratamientos más avanzados, los cuales no están especificados en este trabajo de grado.

Los diámetros de los bajantes y ramales de aguas servidas que se describen en la gaceta son para aguas residuales domésticas sin existir separación entre tuberías de aguas grises y negras.

Por lo tanto, el diámetro asumido para las aguas grises es de 2" ya que no existen sólidos y para las aguas negras de 4" por la existencia de

sólidos. Estos diámetros fueron asumidos de la literatura existente.

### **3.3.3. Aguas pluviales**

Las aguas pluviales provenientes del techo de la vivienda serán destinadas a la laguna de maduración para un tratamiento previo antes de ser descargada al medio ambiente en mezcla con las aguas grises tratada. El diámetro de tubería para este tipo de agua será de PVC de 6”.

## **3.4. Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

### **3.4.1. Aguas grises**

#### **3.4.1.1. Trampa de grasas**

En un inicio, las aguas grises se reciben en una trampa de grasas. La trampa retiene las grasas, que forman una nata en la superficie del agua. De esta forma, la trampa protege el filtro, pues evita que éste se tape. Las dimensiones de la trampa de grasas están definidas en el capítulo IV.

#### **3.4.1.2. Pozo séptico**

El pozo séptico tendrá dos funciones, la primera es la de retener los sólidos que la trampa de grasas por algún motivo no pueda retener y la segunda será la disminución de la DBO<sub>5</sub>. Al igual que la trampa de grasas, sus dimensiones están establecidas en el capítulo IV.

#### **3.4.1.3. Humedal subsuperficial**

La profundidad del medio del humedal será de 0,60 m, ya que es el valor más común, la profundidad del agua es de aproximadamente del 95% de la profundidad [15].

Se utilizará como medio grava fina, de porosidad 40% y 16 mm de



diámetro. Se seleccionó este medio porque tiene ventajas, ya que hay mayor área para el tratamiento y los vacíos de menor tamaño son mas adecuados para el desarrollo de las raíces de las plantas, adicionalmente asegura el flujo laminar.

La grava debe de estar compuesta de piedras limpias, duras y duraderas, con capacidad de retener su forma y permeabilidad del lecho del humedal a largo plazo.

Teniendo en cuenta que en los humedales de flujo subsuperficial, la resistencia al flujo por fricción debido a la presencia del medio de grava, las raíces de las plantas y los detritos, se hace mayor a medida que la distancia de flujo aumenta, se tomó un cociente de longitud a ancho de 4:1, considerando así un mejor aprovechamiento del terreno.

Para la vegetación se tomaran plantas emergentes, ya que estas están enraizadas en los sedimentos y se desarrollan sobrepasando la superficie, estas también reducen la penetración de la luz disminuyendo la presencia de algas. Para desarrollo de este trabajo de grado se utilizarán las espadañas, juncos y carrizos, ya que las raíces de estas plantas son las encargadas de proporcionar un hábitat adecuado para los microorganismos, de forma tal que estas absorben y metabolizan los azúcares y aminoácidos que estos producen debido al consumo de minerales y otros químicos que contiene el agua y al mismo tiempo les proporcionan oxígeno y nutrientes.

#### **3.4.1.3. Laguna de maduración**

La función de la laguna es remover del agua residual gris la materia orgánica que ocasiona la contaminación, eliminar microorganismos patógenos que representan un peligro para la salud y así reutilizar el efluente

para el riego de jardines y limpieza.

La creación de algas dentro de la laguna es importante, ya que proporcionan el oxígeno producido por fotosíntesis. El oxígeno es usado por las bacterias aeróbicas que descomponen la materia orgánica. Esto produce nutrientes solubles y dióxido de carbono que las algas necesitan para su crecimiento y multiplicación.

Su aumento puede ser controlado criando peces, permitiendo así que se alimenten de las algas. La profundidad utilizada en el diseño de este sistema es de 1,5 m.

### **3.4.2. Aguas negras**

Para el sistema de tratamiento del agua residual negra, se utilizó un pozo séptico y un campo de absorción. El sistema se describe a continuación:

#### **3.4.2.1. Tanque séptico**

En este tanque séptico es donde se acumularán las aguas negras, dándoles un tratamiento primario, separando los sólidos de las aguas a al acumular las aguas negras en el tanque y permitiéndole que parte de los sólidos se asienten en el fondo. Para que los sólidos se asienten, se debe retener el agua por lo menos 24 h (1 día). Las dimensiones del tanque séptico están establecidas en el capítulo IV tomando en consideración que se realizó en función de personas equivalentes. Este paso será explicado en el capítulo IV, mencionado anteriormente.

#### **3.4.2.2. Campo de absorción**

Este sistema permite el tratamiento final y la distribución de las aguas negras. El sistema convencional consistirá en tuberías perforadas, rodeadas

de materiales, tales como grava. Este sistema depende mucho del suelo, donde los microorganismos ayudan a eliminar la materia orgánica, los sólidos y los nutrientes que permanecen en el agua.

Mientras que el efluente fluye continuamente hacia el suelo, los microbios que digieren los componentes de las aguas negras, forman una capa biológica. La capa reduce el movimiento del agua por el suelo, y ayuda a evitar que el área debajo de las capas se sature.

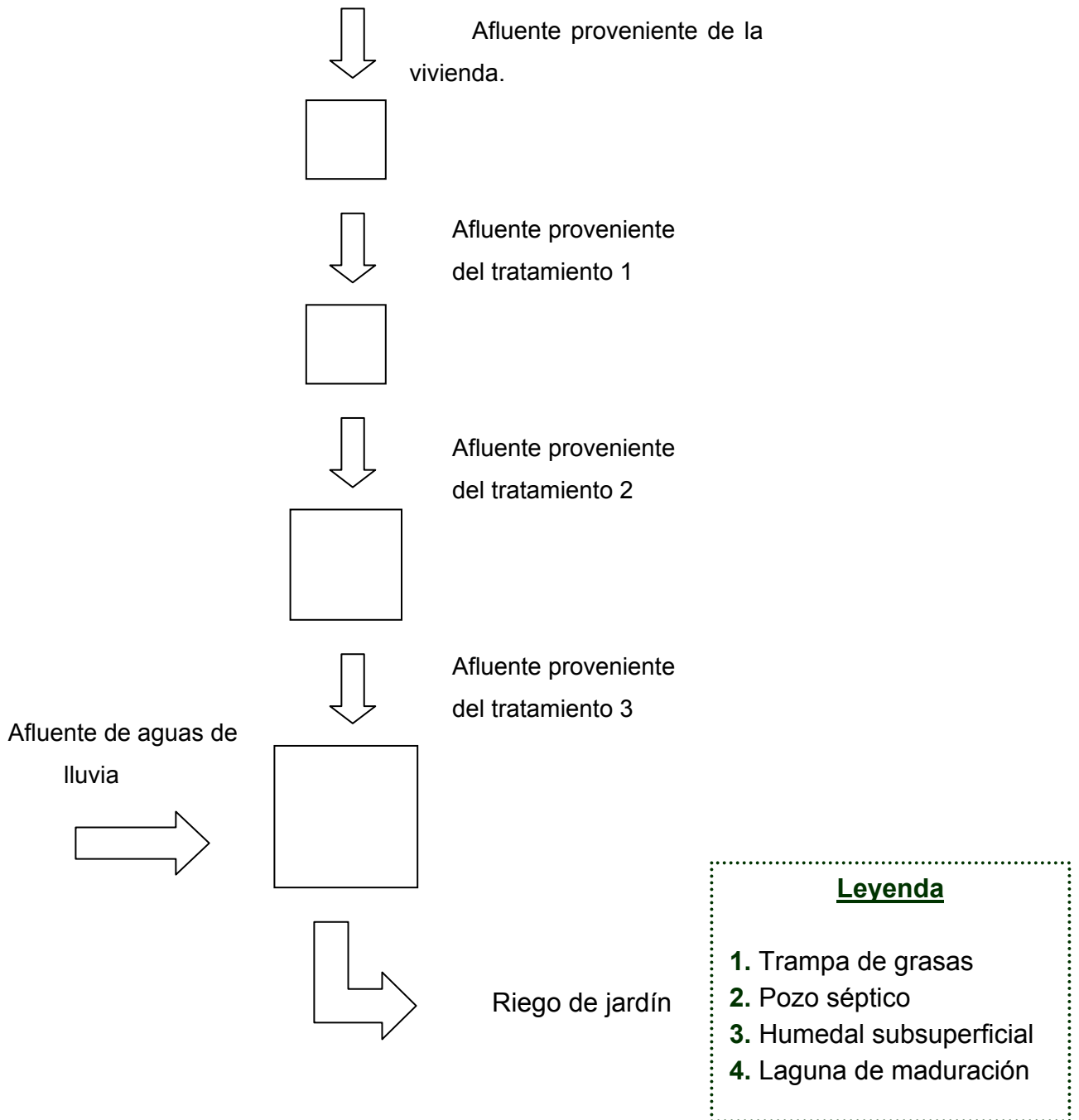
El agua debe correr por el suelo que no esté saturado para que los microbios que se encuentren allí y en la capa puedan ingerir los desperdicios y los nutrientes del efluente. El césped que cubre el sistema del campo de absorción también usa los nutrientes y el agua para crecer.

Utilizando apropiadamente el sistema de campo de absorción y el tanque séptico trabajarán bien. El uso de un tanque séptico para el pretratamiento de aguas residuales negras, también hacen que otros sistemas de tratamiento secundarios sean mas eficaces. El efluente del tanque séptico es suave, consistente, fácil de transportar y puede tratarse fácilmente con procesos aeróbicos (con oxígeno libre) o anaeróbicos (sin oxígeno libre).

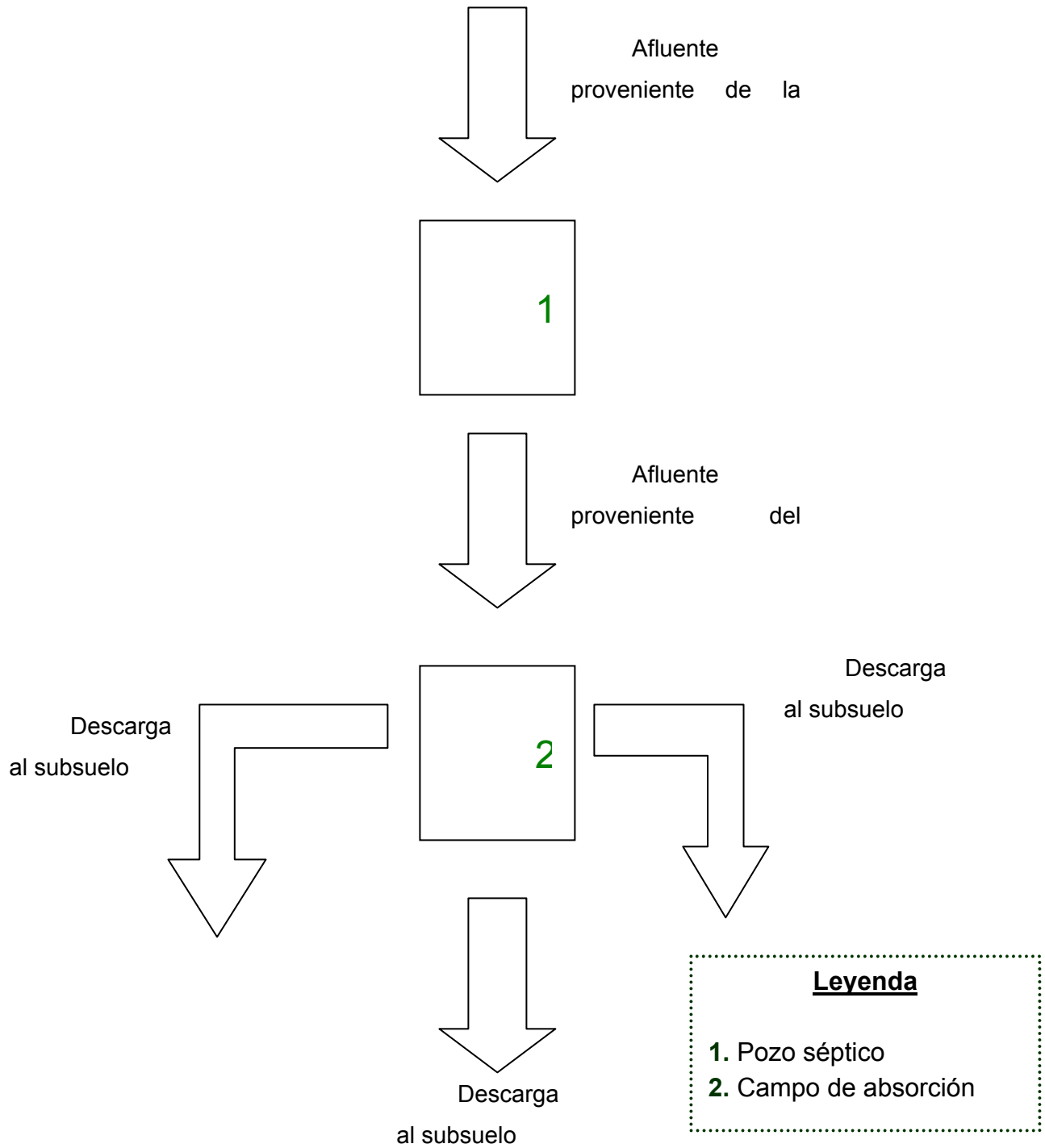
Las dimensiones del campo de absorción, al igual que los otros sistemas, están establecidas en el capítulo IV.

A continuación se presenta un diagrama de los sistemas de tratamientos adoptados para las aguas residuales.

## SISTEMA ADOPTADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES



## SISTEMA ADOPTADO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS



### **3.5. Instalaciones eléctricas**

Como se estableció en el capítulo II, la fuente de abastecimiento de energía será una fuente natural. Para el desarrollo de este trabajo de grado se eligió la energía solar, ya que es una fuente inagotable y constante durante 5 horas aproximadamente. Tiempo suficiente para almacenar energía y convertirla en electricidad a través de procesos explicados en el capítulo II.

El consumo mensual de la vivienda que se desarrolla en este trabajo de grado es de 3181,56 Kw/mes. El consumo de energía de cada artefacto está descrito en el anexo "I"

Para el presente estudio, se consideraron paneles por células de silicio monocristalino, fabricados por CENSOLAR, modelo M55, para su elección, no se consideró su costo, por cuanto este es muy similar entre sí. La escogencia se basó en el potencial del panel. Las características del panel seleccionado se presentan a continuación:

#### **a. Características físicas:**

- Largo: 157,50 cm
- Ancho: 82,60 cm
- Grosor: 0,46 cm
- Peso: 17 kg

#### **b. Características de potencia**

- Potencia: 175 watt
- Corriente: 4,95 A

- Voltaje: 35,40 V

### **c. Características del módulo**

- 36 células cuadradas de silicio monocristalino de alta eficiencia
- Células solares de silicio monocristalino para la eficiencia conversión de ambas radiaciones, la directa y la difusa
- Células químicamente texturizadas y revestidas para un mejoramiento anti-reflexivo
- Circuitos colocados entre capas de acetato vinílico de etileno (EVA) para resistencia a la humedad y para ser eléctricamente aisladas.
- Polímero posterior colocado en fuertes capas para resistir la abrasión, el rasgamiento y el punzonamiento.
- Marco de metal negro ligero y corrugado.
- 15 años de garantía
- Corriente de dispersión inferior a 40  $\mu$ A a 3000 V de corriente continua.
- Rosca de conexión a tierra para seguridad eléctrica.

Estas características permiten determinar el número de paneles, cantidad aproximada de 123, tanto en serie como en paralelo, requeridos por el generador solar, la agrupación en serie permite obtener la tensión de salida del sistema y la agrupación en paralelo la potencia requerida. Para los efectos del cálculo de la agrupación en serie se consideró como tensión del diseño la correspondiente a la entrada del inversor de corriente DC/AC, fijada en 48 V

### **3.5.1. Acumuladores**

Para este estudio se consideraron baterías recargables para conformar el sistema de almacenamiento. Las más comunes del mercado son las de plomo-ácido, de tipo estacionario y de ciclo profundo de descarga diseñada para garantizar continuidad del servicio de electricidad en cargas que así lo requieren y las de níquel-cadmio con electrolitos.

Las de plomo-ácido son más eficientes que las de níquel-cadmio por cuanto estas últimas requieren mayor tensión para ser recargadas lo que implica una mayor dimensión del arreglo fotovoltaico. Por estas características se decidió seleccionar para el presente estudio las de plomo-ácido del tipo estacionario diseñadas para ciclo profundo de descarga, con ventajosas características como son: su diseño estacionario, menor coeficiencia de descarga, mayor capacidad, resisten mayor cantidad de ciclos carga-descarga, además de tener un tiempo de vida mayor.

Las baterías tubulares estacionarias son las más adecuadas para las instalaciones fotovoltaicas, ofreciendo la máxima capacidad útil por unidad de volumen y peso, con una larga duración. El mantenimiento es mínimo, estando facilitado por las características de su recipiente que permite ver el nivel de electrolito.

Las características técnicas de la batería marca TUDOR modelo 24EAN120 escogida para este generador son:

- Capacidad: 3917 A-h
- Tensión nominal: 12 V
- Dimensiones:



- Largo: 57,60 cm
- Ancho: 21,2 cm
- Alto: 86,8 cm
- Peso: 238 Kg
- Alta potencia de masa
- Seguridad de empleo
- Alta energía volumínica
- Extraordinaria aptitud para soportar los más severos regimenes de descarga.

Estos componentes (regulador, diodo, inversor y accesorios son obviados porque corresponden a especialidades eléctricas no exclusivas de la energía solar.

### **3.5.2. Disposición de tomacorrientes e interruptores de iluminación**

- ✓ Los tomacorrientes de uso general irán a 0,40 m del nivel de piso, en cajetines rectangulares de 4 X 2 X  $\frac{3}{4}$  de pulgada e instalados en forma horizontal.
  
- ✓ Los interruptores irán a 1,20 m del nivel de piso, en cajetines rectangulares de 4 X 2 X  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
  
- ✓ Los puntos de luz en losas de techo, serán instalados en cajetines

octogonales de 4 X 2 x  $\frac{3}{4}$  de pulgada.

- ✓ Todos los cajetines deben ser metálicos y galvanizados en caliente.
  
- ✓ Los tomacorrientes de 120 V, no serán agrupados en más de 8 por circuito.
  
- ✓ Los circuitos ramales serán diseñados para un factor de demanda no mayor al 80 % de su capacidad de carga, cumpliendo con las normas de caída de tensión, factor de temperatura y número de conductores por ducto.
  
- ✓ Los ductos tanto en alimentadores del tablero principal y subtableros, así como en circuitos ramales, no podrán ser ocupados más del 40 % de su sección transversal.
  
- ✓ El nivel de iluminación en cada ambiente será determinado por un estudio y considerado en lux, según lo normalizado por el Código Eléctrico Nacional.

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **4.1. Arquitectura**

Para determinar la arquitectura de este trabajo de grado, fue necesario la propuesta de una vivienda que cumpla con los criterios de sustentabilidad mencionados en el Capítulo II. Sección 2.1 Arquitectura sustentable. (Ver planos de arquitectura). Fue necesaria la participación de Arquitectos de la zona para el diseño de dicha vivienda. Este diseño innovador fue realizado por el Arquitecto Yrani Benavidez.

### **4.2. Estructura**

Se determinaron las Fuerzas Sísmicas según su orientación. (COVENIN MINDUR 1756-1756 Rev. 2001.) [9]

#### **4.2.1. Especificaciones**

La Superestructura Sismo Resistente de este proyecto, estará constituida por los siguientes elementos:

##### **4.2.1.1. Losas de techo**

Esta losa será de tipo ligera, la cual se realiza colocando en los intermedios de los nervios estructurales bloques de anime con el fin de reducir el peso de la estructura. Las dimensiones de las losas (Nervios Perfiles Conduven o IPN), fueron escogidos de manera que garantizan básicamente una deflexión adecuada, entendiéndose por esto que su deflexión a corto y largo plazo sea menor que la permitida por las NORMAS, sin llegar nunca a la sobre dimensión. La deflexión a corto plazo, depende en mayor grado de la luz del tramo (distancia entre apoyos (cerchas), y en menor grado de las condiciones de apoyo, de las dimensiones de la sección y de la naturaleza del material. El diseño se ejecutará mediante un programa de computación SAP 2000 Plus.

#### **4.2.1.2. Sistema aporticado**

Las Pórticos constituyen la Estructura Portante Principal. Las vigas de éstos reciben las cargas transmitidas por las losas, tanto las verticales como las horizontales. Las primeras se supondrán repartidas y puntuales, en tanto que las segundas se aplican como cargas horizontales puntuales en los nodos, según las direcciones del sismo: X, Y, y/o XY.

#### **4.2.2. Clasificación de la edificación**

##### **4.2.2.1 Según el grupo:**

El uso de la edificación será habitacional, por lo tanto, según la Norma COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) **[9]** Edificaciones Sismorresistentes, este tipo de edificaciones pertenece al grupo B2

##### **4.2.2.2 Según el nivel de diseño**

Debido a la zona (Anzoátegui, Zona Sísmica VI), está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, por lo tanto, según la Norma mencionada anteriormente, el Nivel diseño será ND3

##### **4.2.2.3 Según el tipo de estructura:**

El sistema estructural, será de Tipo II, ya que según la norma sismo resistente esta clasificación es para edificaciones tipo pórtico.

### 4.2.3. Cargas

Las cargas verticales que se adoptarán para el cálculo son las especificadas en la Norma Venezolana “Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones” COVENÍN Mindur (Provisional) 2002-88 [40].

Si fuera necesaria la adaptación de otras normativas éstas se especificarán en las hojas de cálculos y en Bibliografía, en el desarrollo de este trabajo de grado.

Para el análisis de cargas horizontales totales por nivel, se seguirán las recomendaciones de la NORMA COVENIN 1756-98 (Rev. 2001) [9] Edificaciones Sismorresistentes.

A efectos sísmicos en las hojas de cálculo se indicará el tipo de estructura, el grupo al cual corresponde, así como el Método de Análisis Sísmico empleado.

La distribución de estas fuerzas horizontales basada en la rigidez de cada marco, se procesa electrónicamente a través del programa SAP 2000

Para el diseño de los elementos estructurales, se determinan las máximas solicitaciones (envolvente), tomando para ello el caso más desfavorable de las combinaciones de carga establecidos en la Norma Venezolana COVENÍN. Con la Envolvente de Solicitaciones, tanto para las fuerzas Cortantes, Fuerzas Axiales y Momentos Flectores se procede a diseñar los diferentes Elementos Estructurales.

Para el diseño de las **Fundaciones y/o Vigas de Riostra** , una vez calculadas las fuerzas en los elementos que llegan a las fundaciones, se

determinarán las máximas solicitaciones (envolvente) sobre las fundaciones, tomando para ello el valor mas crítico de las combinaciones de carga, conforme a la Norma Venezolana COVENIN (**Ver anexo**).

#### 4.2.3.1. Cálculo de cargas

##### ❖ Carga permanente

Tipo	Peso (Kg/m <sup>2</sup> )
Losa	125
Nervios	125
Bloques	110
Base de pav.+ piso	80
Friso	30
<b>Total</b>	<b>470</b>

##### ❖ Carga variable

Para viviendas unifamiliares, la carga es de 175 Kgf/m<sup>2</sup>. (Ver tabla de mínimas cargas distribuidas y variables sobre entrepisos en el anexo H)

#### 4.3. Instalaciones sanitarias

##### 4.3.1. Cálculo de la dotación

La dotación, según la tabla 2.1 establecida en el capítulo número II, será de 1350 l/d, ya que la vivienda, consta de 4 habitaciones (Ver plano de

planta)

Por lo tanto:

$$\text{Dot} = 1350 \text{ l/s}$$

#### 4.3.2. Cálculo del estanque subterráneo

El estanque subterráneo, el cual fue calculado siguiendo los artículos 157 al 160 y 167 al 172 de la G.O # 4044 [10]. El volumen del estanque subterráneo será la 2/3 partes de la dotación diaria.

$$V_{ES} = \frac{2}{3} \text{Dotación}$$

$$V_{ES} = \frac{2}{3} * 1350 \text{ l/s} \quad \rightarrow \quad V_{ES} = 900 \text{ l} = 0,90 \text{ m}^3$$

##### 4.3.2.1. Dimensiones

	Largo (L)	Ancho (A)	Profundidad (P)
<b>Netas</b>	1	0,90	1
<b>Totales</b>	1	1	1

Se tomarán las dimensiones totales por factor de seguridad.

#### 4.3.3. Cálculo del sistema de distribución de agua potable

Como se mencionó en el capítulo II, para el desarrollo de este trabajo de grado, se escogió el sistema de hidroneumático. A continuación se

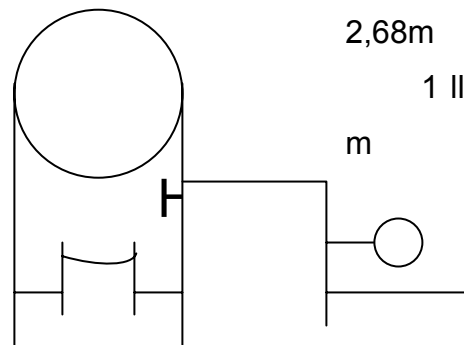
muestran a modo de ejemplo 4 despieces de 4 tramos de tubería. Ver el anexo C.

Para la determinación de la tubería de agua caliente se utilizaron los artículos 229 al 236 y del 239 al 263 de la G.O # 4044, para determinar la capacidad del calentador. Se utilizará un calentador eléctrico de 60 l/h.

Para la determinación de los gastos, se sumaron dichos gastos en cada tramo, los cuales fueron adoptados siguiendo el artículo 293 de la G.O # 4044. El diámetro de la tubería, en cada tramo fue calculado según las especificaciones de los artículos 293 al 302 de dicha norma.

#### 4.3.3.1 4.3.3.1. Despiece de 4 tramos de tubería

##### - Tramo H – 27



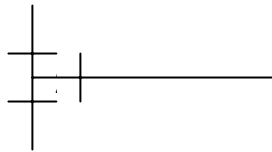
$$2 \text{ Codos de } 90 \text{ de } 2'' = 1,34 * 2 = \underline{\hspace{2cm}} \\ 2,68\text{m}$$

$$1 \text{ llave de comp. Abierta } 2'' = 0,37$$

**3,05 m**



**- Tramo 27 – 28**

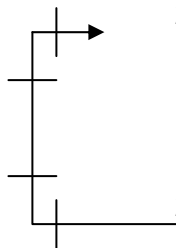


1 Tee c/cam 2" = 3,66 m

1 reduc. 2" → 3/4" = 0,31m

3,97 m

**- Tramo 28 – 29 (Batea)**

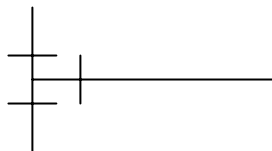


2 codos 3/4" 90° = 2\*0,64 = 1,28 m

1 Red. 3/4" → 1/2" = 0,18 m

1,46 m

**- Tramo 27 – 25**



1 Tee normal 2" = 1,07 m

#### 4.3.4. Capacidad de bomba

$$Q_{(B)} = \frac{Dot * (8a10)}{86400seg}$$
$$Q_{(B)} = \frac{1350 * 10}{86400} \rightarrow Q_{(B)} = 0,16l / s$$

##### 4.3.4.1. Diámetro de tubería de succión y descarga de la bomba

Succión	Q = 0,20/s	$\varphi = \frac{3}{4}$ "	V = 0,71 m/s	J = 0,05 m/m
Descarga	Q = 0,20	$\varphi = \frac{3}{4}$ "	V = 0,71 m/s	J = 0,05 m/m

##### 4.3.4.2. Pérdidas por fricción (hfs) en la tubería de succión y descarga de la bomba $\geq 3m$

###### ✓ Succión de la bomba

hs = 2,00 m

Válvula de retención  $\frac{3}{4}$ " = 1,75 m

Codo 90° de  $\frac{3}{4}$ " = 0,64 m

Tee normal = 0,40 m

Llave compuerta  $\frac{3}{4}$ " = 0,15 m

**hfs = 4,94 m**

#### 4.3.4.2.1. Tubería de succión

$$q = \frac{\text{vol}}{t} \rightarrow q = \frac{900l}{14400s} \rightarrow q = 0,0625 < 0,20$$

$$Q_{AD} = 0,20 \text{ l/s}$$

$$\Phi = \frac{3}{4}'' \rightarrow \text{ok. Ya que el } \Phi_{\min} = \frac{3}{4}''$$

$$V = 0,71 \text{ m/s} \rightarrow \text{ok ya que } 0,6 < 0,71 < 3$$

$$J = 0,05$$

#### 4.3.4.2.2. Descarga de la bomba

$$h_i = 6,90$$

$$\text{Tee c/cam } \frac{3}{4}'' = 1,37 \text{ m}$$

$$2 \text{ codos } \frac{3}{4}'' 90^\circ = 0,64 * 2 = 1,28 \text{ m}$$

$$\text{Llave de comp. Abierta } \frac{3}{4}'' = 0,15$$

---

$$h_i = 9,70 \text{ m}$$

✓ Tubería de descarga

$$\Phi_{DES} = \frac{3}{4}''$$

$$V = 0,71 \text{ m/s}$$

$$J = 0,05$$

#### 4.3.4.3. Carga de la bomba "H" (Altura dinámica total)

\* Altura de succión  $h_s = 2$  m

\* Altura del edificio  $h = 8,08$  m

\* Pérdida  $h_{fs}$  de succión y descarga = 3 m

\* Pérdidas  $h_{fd}$  desde la pieza mas alejada hasta el hidroneumático = 3 m

\* Presión mínima en la pieza menos favorecida = 7 m

\* Presión diferencial entre el arranque y parada de la bomba = 14 m

$$H = 37,08 \text{ m}$$

#### 4.3.4.4. Potencia de la bomba

$$HP_{(B)} = \frac{Q * H}{45}$$

$$HP_{(B)} = \frac{0,20 * 37,08}{45} \rightarrow HP_{(B)} = 0,16$$

#### 4.3.4.5. Potencia del motor

$$HP_{(M)} = 1,44 * HP_{(B)}$$

$$HP_{(M)} = 1,44 * 0,16 \rightarrow HP_{(M)} = 0,23$$

El equipo recomendado para el desarrollo de este trabajo de grado es una electrobomba de 1 HP, que permite bombear 0,23 l/s hasta un H = 42 m

#### **4.3.4.6. Capacidad del tanque de presión**

Seleccionamos en la tabla de la bibliografía [11] el factor multiplicador FM, entrando en la tabla con una presión de 22m y una máxima de 36 y 6 arranques, obtenemos:

$$Vol_{TP} = Q * FM$$
$$Vol_{TP} = 0,20 * 540 \rightarrow Vol_{TP} = 108l/s$$

El tanque seleccionado entre las capacidades comerciales (160, 220, 300, 450) L es de 160 L

### **4.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales**

#### **4.4.1. Cálculo del caudal de aguas grises, negras y pluviales**

Según lo establecido en el capítulo II, el porcentaje de aguas grises que se genera en una vivienda unifamiliar es de 70%.

Los diámetros de los bajantes y ramales de aguas negras y grises fueron calculados utilizando los artículos 357 al 360 de la G.O # 4044 [10]. La ventilación será en conjunto, por lo decretado en el artículo 395 de la GO mencionada anteriormente

Por lo tanto, se tiene que:

$$Q_{AG} = 1350 * 0,70 = 945 \text{ l/d} = \mathbf{0,945 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$Q_{AN} = 1350 * 0,30 = 405 \text{ l/d} = \mathbf{0,405 \text{ m}^3/\text{d}}$$

#### **4.4.2. Cálculo del caudal de aguas pluviales**

La vivienda tiene un techo de 18,40 m de largo y de ancho 13,50. Por lo tanto el área del techo será de: 248,40 m<sup>2</sup>

Según, las curvas IDF (Ver anexo A), para un periodo de retorno de 10 años y un tiempo de duración de 10 minutos, la precipitación será de 448 mm/h

Por lo tanto:

$$Q_{ALL} = C * I * A$$

$$\text{Como } 1 \text{ mm/h} = 2,78 \text{ l/s-ha}$$

Entonces 448 mm/h son 1245,54 l/s-ha, siendo esta última, la nueva intensidad expresada en litros por segundo por metros cuadrados.

$$Q_{ALL} = 248,40 \text{ m}^2 * 1245,54 \text{ l/s-ha} * 0,80$$

$$Q_{ALL} = 30,54 \text{ l/s}$$

Donde C es el factor de escorrentía del techo, en este caso de 0,80

Para el sistema de aguas de lluvia, se consultaron los artículos 454 al 470 de la GO # 4044. El caudal de aguas de lluvia se calculó en base al área

del techo, el cual es de 248,40 m<sup>2</sup> y a las precipitaciones de la zona, según lo establecido en el artículo 459 de la G.O # 4044 **[10]**

Para este trabajo de grado, se tomó como referencia Barcelona, capital del estado Anzoátegui. Para ello, se consultaron las curvas IDF (Ver anexo A) con los datos de precipitación de la zona de los últimos 31 años. El sistema se diseñó para un periodo de retorno de 10 años y 10 minutos de duración, exigidos por el artículo 460 de la G.O # 4044. De la gráfica se tomó la intensidad de la lluvia, la cual es de 448 l/s-ha. Los diámetros de los bajantes de aguas de lluvia fueron calculados en base a los artículos 466 al 468 de la G.O # 4044. Las aguas pluviales serán descargadas en la laguna facultativa, por una tubería de 6" de diámetro

#### **4.4.3. Sistemas de tratamiento de aguas grises**

##### **4.4.3.1. Cálculo de la DBO<sub>5</sub> de aguas grises**

Ericksson establece en la **Tabla 2.2**, la DBO que genera cada espacio de la vivienda unifamiliar. La vivienda consta de 3 baños, 1 cocina y 1 lavadero

La DBO generada por la vivienda es la siguiente

$$\text{Baño} = 76 \cdot 3 = 228 \text{ mg/l}$$

$$\text{Cocina} = 1 \cdot 48 = 48 \text{ mg/l}$$

$$\text{Lavadero} = 1 \cdot 5 = 5 \text{ mg/l}$$

$$\text{Total DBO} = 281 \text{ mg/l}$$

La DBO calculada, será la DBO que entra al sistema.

#### 4.4.3.2. Diseño de la trampa de grasa

La trampa de grasa se calculó en base al caudal max, asumiendo un tiempo de retención de 1 día.

$$V_{TG} = Q_{AG} * TR$$

$$V_{TG} = 0,945m^3/d * 1d \rightarrow V_{TG} = 0,945 m^3$$

- **Dimensiones de la trampa de grasa**

	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Profundidad</b>
<b>Totales</b>	1	0,945	1
<b>Reales</b>	1	1	1

Se tomarán las dimensiones reales, por factor de seguridad.

- **Remoción de DBO**

Como se estableció en el capítulo II, las trampas de grasa remueven un 10% de DBO.

$$DBO_5 = 281 * 0,10 \rightarrow DBO_5 = 28,10 \text{ mg/l} \rightarrow DBO_5 = 281 - 28,10$$

$$DBO_5 = 252,90 \text{ mg/l}$$



#### 4.4.3.3. Diseño del pozo séptico

El volumen pozo séptico se calculó para un TR = 1 día, y con el Q máx de aguas grises.

$$PS = Q_{AG} * TR$$

$$V_{PS} = 0,945 \text{ m}^3/\text{d} * 1 \text{ d} \rightarrow V_{PS} = 0,945 \text{ m}^3$$

- **Dimensiones del pozo séptico**

Como se explicó en el capítulo anterior, las dimensiones se harán por personas equivalentes.

$$N^{\circ} PE = Q_{AG}/250 \text{ l/d}$$

$$N^{\circ} PE = 945/250 \approx 3 \text{ personas}$$

Las dimensiones del pozo séptico se harán en base a tres personas y no a 6, por lo establecido en las consideraciones de diseño de pozos sépticos en el capítulo II

	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Profundidad</b>
<b>Reales</b>	1,60	0,80	1,20

- **Remoción de DBO**

Suponiendo que el PS remueve un 55%

$$\text{DBO}_5 = 252,90 * 0,55 \rightarrow \text{DBO}_5 = 139,10 \text{ mg/l} \rightarrow \text{DBO}_5 = 252,90 - 139,10$$

$$\text{DBO}_5 = 113,90 \text{ mg/l}$$

#### 4.4.3.4. Diseño del humedal subsuperficial

- **Cálculo de la DBO efluente**

Suponiendo que el humedal remueve un 85%

$$\text{DBO}_{\text{AFLUENTE}} = 113,90 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO}_{\text{EFLUENTE}} = 113,90 - 113,90 * 0,70 = 17,08 \text{ mg/l}$$

$$\text{DBO}_{\text{EFLUENTE}} = 17,08 \text{ mg/l}$$

- **Cálculo de la tasa de remoción aparente**

Utilizamos la **EC.**, la temperatura del medio ambiente adoptada para este trabajo de grado fue de 22 °C

$$K_{o(T)} = K_{20} * 1,06^{(T-20)}$$

$$K_{o(22^\circ\text{C})} = 1,104 * 1,06^{(22-20)}$$

$$\mathbf{K_{o(22^\circ\text{C})} = 1,24 \text{ d}^{-1}}$$

- **Cálculo del área del humedal**

Para calcular el área, utilizamos la **EC.**, y adoptando una profundidad de 0,47 y 3 cm para el medio de grava media, obteniéndose un “n” = 0,40, según lo establecido en la **TABLA** en el capítulo II. Tenemos:

$$A_s = \frac{Q * Ln(C_o / C)}{K_{o(T)} * y * n}$$

$$A_s = \frac{0,945 * Ln(113,90 / 17,08)}{1,24 * 0,60 * 0,35} \rightarrow A_s = 6,88 \text{ m}^2$$

Aumentando de un 15 a 20% el área, como factor de seguridad, tenemos que el área del humedal será:

$$A_s = (6,88 * 0,15) + 6,88 \rightarrow \mathbf{A_s = 8 \text{ m}^2}$$

- **Dimensiones**

Para la determinación de las dimensiones, nos basamos en la relación L:W = 4:1

$$W = \sqrt{\frac{A_s}{4}} = \sqrt{\frac{8}{4}} \rightarrow \mathbf{W = 1,41 \text{ m}}$$

$$L = 4W = 4 * 1,41 \rightarrow \mathbf{L = 5,64 \text{ m}}$$

- **Cálculo del tiempo de retención**

Para determinar el tiempo de retención, utilizamos

$$t = \frac{-\ln(C / C_0)}{K_{o(T)}}$$

$$t = \frac{-\ln(17,08 / 113,90)}{1,24} \rightarrow t = 1,53 \text{ d}$$

#### 4.4.3.5. Diseño de la laguna de maduración

- **Constante de Remoción**

$$K_T = 2,60(1,19)^{T-20}$$

$$K_{22^\circ C} = 2,60(1,19)^{22-20}$$

$$K_{22^\circ C} = 3,68d^{-1}$$

- **Tiempo de retención**

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{N_i}{N_e (1 + K_T * \theta_a)(1 + K_T * \theta_f)} \right)^{1/n} - 1}{K_T}$$

$$\theta_m = \frac{\left( \frac{24000}{100(1 + 3,68 * 1)(1 + 3,68 * 1,53)} \right)^{1/2} - 1}{3,68}$$

$$\theta_m = 0,25d$$

- **Área de la laguna**

$$Al = \frac{2Q_e \theta_m}{(2D + 0,001 * ET * \theta_m)}$$

$$Al = \frac{2 * 0,945 * 0,25}{(2 * 1,50 + 0,001 * 6,03 * 0,25)}$$

$$Al = 12m^2$$

- **Dimensiones**

Usando una relación de 4:1, determinamos las dimensiones

$$W \sqrt{\frac{Al}{4} = \frac{12}{4}} = 1,73 \text{ m}$$

$$L = 4 * 1,73 = 6,92 \text{ m}$$

- **Volumen**

$$Vol_{LF} = (17,95 + 2662,71) / 2 = 1322,38 \text{ m}^3$$

#### 4.4.4. Sistemas de tratamiento de aguas negras

##### 4.4.4.1. Pozo séptico

$$\text{N}^\circ \text{ PE} = Q_{AG} / 250 \text{ l/d}$$

$$\text{N}^\circ \text{ PE} = 405 / 250 \approx 2 \text{ personas}$$

Las dimensiones del pozo séptico se harán en base a dos personas, por el mismo criterio usado en el pozo séptico de aguas grises. Las dimensiones son las siguientes:

	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
<b>Reales</b>	1,20	0,60	1,20

#### 4.4.4.2. Campo de absorción

Una vez realizada la prueba de percolación, se escogerá la rata de percolación. En este caso, para efectos de este trabajo de grado, se escogerá la rata de percolación más desfavorable, la cual es mayor a 60 minutos. Por lo tanto se usaran zanjas filtrantes, ya que con una rata de percolación comprendida entre 30 a 60 minutos se utilizan solo zanjas de absorción y para mayores de 60 minutos se usan zanjas filtrantes.

Las dimensiones del campo de absorción son:

	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)
Reales	15	1,50	1,70

#### 4.5. Instalaciones eléctricas

##### 4.5.1. Cálculo del consumo diario real

$$\text{CDR} = \text{CM}/30 \text{ días}$$

$$\text{CDR} = \frac{3181,56}{30} \rightarrow \text{CDR} = 107 \text{ kwh/d}$$

##### 4.5.2. Consumo de cálculo

Usando la ecuación 2.17 obtenemos:

$$\text{CC} = 1,20 * 107 \rightarrow \text{CC} = 128,40 \text{ kw/d}$$

#### 4.5.3. Potencia producida por el panel

Para determinar la potencia producida por el panel, utilizamos la ec. 2.18

$$PPP = 175 \text{ w} * 6 \text{ h/día} \rightarrow \mathbf{PPP = 1050 \text{ wh/d}}$$

#### 4.5.4. Número de paneles

El número de paneles a utilizar viene descrito por la ec. 2.19

$$N^{\circ}P = \frac{128400}{1050} \rightarrow \mathbf{N^{\circ}P = 123 \text{ paneles}}$$

#### 4.5.5. Capacidad de la batería

La capacidad de la batería no las da la ecuación 2.20

$$CB = 128400/48 \rightarrow \mathbf{CB = 2675 \text{ A-h}}$$

#### 4.5.6. Demanda de la batería

Con la ecuación 2.21 obtenemos la demanda de la batería. Con un rendimiento del 80% del sistema de acumulación, la demanda será:

$$D = 2675/0,80 \rightarrow \mathbf{D = 3343,75 \text{ A-h}}$$



#### 4.5.7. Demanda recomendable

La profundidad de descarga máxima recomendable es de aproximadamente 50%. Usando la ecuación 2.22 obtenemos la demanda recomendable

$$DR = 3343,75/0,50 \rightarrow \mathbf{DR = 6687,50 A-h/d}$$

#### 4.5.8. Autonomía de la batería

Empleando la ec. 2.23 y Considerando una capacidad de autonomía de 3 días sin sol, el sistema de almacenamiento será:

$$A = 3343,75*3 \rightarrow \mathbf{A = 10031,25 A-h/d}$$

#### 4.5.9. Capacidad total de almacenamiento

Usando la ecuación 2.24 obtenemos la capacidad total

$$CTA = 6687 + 10031,25 \rightarrow \mathbf{CTA = 16718,25 A-h}$$

La vivienda en estudio necesitará un sistema de almacenamiento de energía conectada en serie para lograr un voltaje de 48 V y un sistema en paralelo para alcanzar la potencia deseada.

#### 4.5.10. Número de baterías en serie

Usamos la ecuación 2.25 para determinar el número de baterías en serie, por lo tanto:

$$N^{\circ}BS = 48/12 \rightarrow \mathbf{N^{\circ}BS = 4}$$

#### **4.5.11. Número de baterías en paralelo**

Usamos la ecuación 2.26 y así determinamos el número de baterías en paralelo

$$\text{N}^\circ\text{BP} = 16718,25/3917 \rightarrow \text{N}^\circ\text{BP} = 5$$

#### **4.5.12. Total de baterías**

Utilizando la ecuación 2.27 obtenemos el número de baterías a emplear

$$\text{TB} = 4*5 \rightarrow \text{TB} = 20 \text{ baterías}$$

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- ✓ La arquitectura de la vivienda propuesta, presenta un nuevo estilo de confort para sus habitantes, ya que su diseño esta estructurado con ventanales permitirán a los propietarios un sistema de iluminación natural diurna y de ventilación.
- ✓ El sistema sustentable presente en este trabajo de grado se basa principalmente en el tratamiento de aguas grises a través de sistemas de tratamientos naturales para su futura reutilización para riego, también en captar energía solar a través de paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica, y adoptar una nueva forma de vida amigable con el ambiente.
- ✓ El sistema de tratamiento natural elegido, presenta ventaja, de que en él intervienen procesos y operaciones, los cuales permiten alcanzar un nivel de tratamiento eficiente de las aguas residuales.
- ✓ La trampa de grasas y el pozo séptico son sistemas que deben tener estrecha relación, ya que a través de ellos, se obtiene un nivel de tratamiento adecuado, debido a que son eficientes en remoción de grasas, aceites y sólidos, respectivamente.

- ✓ Los humedales artificiales incorporados al sistema, llevan a una alta eficiencia en cuanto a remoción de  $\text{DBO}_5$ , ya que su porcentaje de remoción va desde un 75% hasta un 90%.
  
- ✓ La selección del humedal subsuperficial para incorporarse al sistema se debe a los siguientes factores:
  - Soportan variaciones de caudales
  - No generan malos olores ni mosquitos.
  - Pueden construirse en armonía con el paisaje
  - No requiere mantenimiento permanente ni trabajos de operación
  
- ✓ La energía solar es una fuente renovable gratuita y su forma de obtención es fácil y sencilla, solo depende de las horas de asoleamiento del lugar elegido.
  
- ✓ La propuesta de la laguna de maduración en el sistema se debe a que, estas presentan un alto rendimiento en remoción de coliformes fecales.
  
- ✓ El vertido de las aguas negras en un campo de absorción es debido a la cantidad microorganismos, virus, bacterias, etc., presentes en esta agua. Para su reutilización sería necesario sistemas de tratamientos avanzados que permitan la disminución y eliminación de estos.

## 5.2. Recomendaciones

- ✓ La reutilización del efluente de aguas grises, es un campo que presenta grandes expectativas para futuros tratamientos, por lo que se cree que desde las viviendas unifamiliares, hasta conjuntos residenciales debería de tener un sistema de tratamiento de aguas grises para riego de jardines o áreas verdes, y así se podría minimizar el alto consumo de agua potable.
- ✓ Con la finalidad de mantener el sistema funcionando sin problemas, se sugiere la limpieza de las tuberías y bombear continuamente los desechos de la trampa de grasas y los pozos sépticos, así se podría impedir la obstrucción de las estructuras de entrada y salida de los mismos.
- ✓ Debe evitarse la compactación del terreno donde se construirá el pozo séptico y campo de absorción, ya que reduce la capacidad de absorción y evapotranspiración del suelo.
- ✓ Debe mantenerse una capa de césped y arbustos sobre el campo de drenaje. La vegetación elimina una buena cantidad de agua del sistema
- ✓ En la laguna de maduración, se podrían emplear peces para evitar el crecimiento excesivo de algas.

- ✓ Es conveniente realizar trabajos posteriores, para la evaluación del sistema, esto, con la finalidad de verificar la eficiencia en cada proceso y de ser necesario la incorporación de nuevas unidades de tratamiento para una mejor calidad en el efluente.
- ✓ Se recomienda no dejar los artefactos encendidos sin darle uso racional, ya que esto conllevaría al agotamiento de la batería y así al inmediato daño de esta. El sobrecalentamiento de la batería podría provocar pérdidas de almacenamiento.
- ✓ No utilizar artefactos que consuman mucha energía en horas nocturnas, ya que esto provocaría el agotamiento de la energía almacenada en la batería. Se recomienda usarlos en horas donde el sol esté en resplandor, para luego cargar la batería.
- ✓ Se recomienda realizarle mantenimiento al panel solar una vez al mes, ya que no se necesita un mantenimiento constante. Este mantenimiento mensual es para quitar el exceso de polvo o cualquier otro objeto que pueda afectar de un modo u otro el funcionamiento del panel
- ✓ Por tratarse este trabajo de una propuesta, en caso de que se vaya a realizar la construcción de la vivienda se deben completar los planos de detalles de cada uno de los elementos estructurales, instalaciones eléctricas y sanitarias y también del sistema de tratamiento, así mismo completar los cálculos métricos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] VALLEJO, P. y RUÍZ, G. **“Diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales, con posible reutilización del efluente en el campus de la Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui”**. Trabajo de grado. Departamento de Ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de Oriente, Núcleo Anzoátegui, Venezuela. (2008)
  
- [2] PERALES, T. **“Guía del instalador de energías renovables: Energía Fotovoltaica, Térmica y Eólica”**. Segunda edición. Editorial Limusa, México (2007)
  
- [3] GARCÍA, O. y GONZALEZ, L. **“Diseño y evaluación de un biodigestor para obtener gas metano y biofertilizante a partir de la fermentación de cachaza y residuos agropecuarios”**. Trabajo de grado. Departamento de Agropecuaria. Centro Universitario Sancti Spiritus, Cuba (2006)
  
- [4] CASO, A. **“La casa ecológica autosuficiente para climas cálido y tropical”**. Editorial Árbol, México (1994)
  
- [5] ASAL, G. **“Diseño de una vivienda unifamiliar utilizando energía solar”**. Trabajo de grado. Departamento de ingeniería Civil. Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas. Universidad de Oriente. Núcleo Anzoátegui (1986).
  
- [6] SALAZAR, L. **“Sustentabilidad y desarrollo rural”**. Manual de la

- arquitectura sustentable. Edición de prueba, España (2007)
- [7] Informe de la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Río de Janeiro, Brasil (1992).
- [8] Wikipedia. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponibile en: [http://es.wikipedia.org/wiki/clima\\_tropical](http://es.wikipedia.org/wiki/clima_tropical)
- [9] Edificaciones Sismorresistentes. Norma Covenin 1756-98 (Rev. 2001)
- [10] Ministerio de Sanidad y Asistencia Social y Desarrollo Urbano. “**Normas Sanitarias para Proyectos, Construcción, Repartición, Reforma y Mantenimiento de Edificaciones**”. Gaceta Oficial N° 4044 (1998)
- [11] LOPEZ, A. LUIS, R. “**Agua. Instalaciones Sanitarias en los Edificios**”. Edición de prueba. Maracay, Venezuela (1990).
- [12] PEIMBERT, J. “**Instalaciones Hidrosanitarias**”. Costo y presupuesto. Tercera Edición. México (2000).
- [13] METCALF & EDDY. “**Ingeniería de Aguas Residuales**”. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Tomo I, II. McGraw-Hill. Tercera Edición. México (1996)
- [14] ERICKSSON, E. AUFFARTH, K. “**Characteristics of Grey Wastewater**”. Environment & Resources, Technol. Universit of Denmark (2001).
- [15] ARROYABE, F. “**Remoción de contaminación de aguas residuales**



**con humedales artificiales de flujo subsuperficial**". Tesis de maestría. Universidad de los Andes. Bogotá, Colombia (2006)

[16] Unidad de Apoyo Técnico para el Saneamiento Básico del Área Rural. **"Especificaciones técnicas para el diseño de trampa de grasas"**. Centro panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú (2003)

[17] Organización Mundial de la Salud. **"Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques inhoff y lagunas de estabilización"**. Área de desarrollo sustentable y salud Ambiental. Lima, Perú (2005)

[18] Wanadoo. **"Enciclopedia Libre"**.  
Disponible en: [www.solomantenimiento.com/images/pozo-sept.jpg](http://www.solomantenimiento.com/images/pozo-sept.jpg)

[20] Wikipedia. **"Enciclopedia Libre"**.  
Disponible en:  
[www.maomalina.tripod.com/trabajos5/elagu/image658.gif](http://www.maomalina.tripod.com/trabajos5/elagu/image658.gif)

[21] U.S. Environmental Protection Agency. Desig Manual: Construted Wetlands and Aquic Plant System for Municipal Wastewater Treatmen. EPA/625/1-88/022. US EPA, Washington (1998).

[22] Wanadoo. **"Enciclopedia Libre"**.  
Disponible en: [www.agroturismesonllado.com/new/wp-content\\_/](http://www.agroturismesonllado.com/new/wp-content_/)

[23] U.S. Environmental Protection Agency. Desig Manual: Construted Wetlands and Aquic Plant System for Municipal Wastewater Treatmen. EPA/832/R-93/088. US EPA, Washington (1998).

- [24] Wikipedia. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en:  
[www.cortolima.gov.co/galeria/data/media/6&humedal.JPG](http://www.cortolima.gov.co/galeria/data/media/6&humedal.JPG)
- [25] CRITES, R. TCHOBANOGLOUS, G. “**Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados**”. McGraw-Hill Interamericana, S.A. Santafé de Bogotá (1996).
- [26] MESA, J. “**Tratamiento y reutilización de aguas grises en proyectos de viviendas de interés social a partir de humedales artificiales**”. Tesis de grado Magíster en Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes, Bogotá Colombia (2006).
- [27] LARA, J. “**Depuración de aguas residuales domésticas con humedales artificiales**”. Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña, España (1998).
- [28] Wanadoo. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en:  
[www.4.bp.blogspot.com/\\_9XBTb7g271w/SlvEhhwvhl/AAABE/wmwwna6kLNM/s320/image108.jpg](http://www.4.bp.blogspot.com/_9XBTb7g271w/SlvEhhwvhl/AAABE/wmwwna6kLNM/s320/image108.jpg)
- [29] RIVAS, G. “**Tratamiento de Aguas Residuales**”. Ediciones Vega. Segunda Edición, España (1978).
- [30] CUBILLOS, A. “**Laguna de Estabilización**”. Tercera Edición, Mérida,

España (1985).

- [31] Wikipedia. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en: [http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa\\_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar)
- [33] Wikipedia. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en: [www.venezuelasite.co.ve/portal/Detalles/2174.html](http://www.venezuelasite.co.ve/portal/Detalles/2174.html)
- [33] Tubería para canalizaciones eléctricas. Norma Covenin 410-83
- [34] Wanadoo. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en:  
[www.es.wikipedia.org/wiki/Energ](http://www.es.wikipedia.org/wiki/Energ)
- [35] Wanadoo. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en: <http://perso.wanadoo.es/delocalmx/Solar.htm>
- [36] Censolar. “**Centro de Estudios de la Energía Solar**”.  
Disponible en: [www.censolar.com](http://www.censolar.com)
- [37] Wikipedia. “**Enciclopedia Libre**”.  
Disponible en: [www.energyspain.com/energiasolar/fvconx.a](http://www.energyspain.com/energiasolar/fvconx.a)

**[38]** Wanadoo. “**Enciclopedia Libre**”.

Disponible en: [www.aragonsostenible.blogia.com](http://www.aragonsostenible.blogia.com)

**[39]** Wanadoo. “**Enciclopedia Libre**”.

Disponible en: [www.esocan.com/web/paneles/amorfo.jog](http://www.esocan.com/web/paneles/amorfo.jog)

**[40]** Criterios y acciones mínimas para el Proyecto de Edificaciones”.

Norma Covenin Mindur (Provisional) 2002/88

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS

<b>TÍTULO</b>	“PROPUESTA DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR CON SISTEMA SUSTENTABLE PARA UN CLIMA TROPICAL”
<b>SUBTÍTULO</b>	

### AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Meneses., Josfmar F.	<b>CVLAC: 18.128.836</b> <b>EMAIL: <a href="mailto:josfmar@gmail.com">josfmar@gmail.com</a></b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E-MAIL:</b>
	<b>CVLAC:</b> <b>E-MAIL:</b>

### PALABRAS O FRASES CLAVES:

1. Sustentabilidad
2. Arquitectura sustentable
3. Vivienda unifamiliar
4. Sistema sustentable

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS**

<b>ÁREA</b>	<b>SUB ÁREA</b>
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

**RESUMEN (ABSTRACTO):**

Esta investigación tiene como objetivo, la propuesta de una vivienda unifamiliar con arquitectura sustentable siendo esta un modo de concebir el diseño arquitectónico buscando como aprovechar los recursos naturales de tal modo de minimizar el impacto ambiental de las construcciones sobre el ambiente natural y los habitantes. Se diseñó un sistema de captación de energía solar a través de paneles solares, para generar energía eléctrica y un sistema de tratamiento natural para el agua proveniente de lavamanos, lavadora, duchas y fregadero (llamadas aguas grises) para su reutilización, en el riego de áreas verdes. Para las aguas negras, también se propuso un sistema de tratamiento natural para que su efluente fuera absorbido por el subsuelo. Se analizaron diversos sistemas de tratamientos naturales para llegar al diseño más eficiente del sistema, estudiando los diferentes procesos que se llevan a cabo en cada una de las unidades que lo integran. Se determinó que el sistema mas adecuado para el diseño del sistema, cumplía con los parámetros principales y los criterios de diseño establecidos en la literatura, tal como lo es la reducción de DBO5. Además se determinó que la ubicación general del sistema de tratamiento obedece al espacio físico adecuado para su futura instalación.

## METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS

### CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU X	JU
Ghanem R., Ana V.	CVLAC:	5396725			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Morales, Hilda.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	5189811			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Gomez, Mariellys.	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	15155952			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU
	CVLAC:				
	E_MAIL				
	E_MAIL				

### FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

<b>AÑO</b> 09	<b>MES</b> 12	<b>DÍA</b> 08
------------------	------------------	------------------

LENGUAJE. SPA

**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS:****ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
Tesis. Propuesta vivienda unifamiliar. doc	Application/msword

**CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS:** A B C D E F  
 G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t  
 u v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

**ALCANCE****ESPACIAL:** Barcelona. Edo. Anzoátegui**TEMPORAL:** 8 Meses**TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Ingeniero Civil**NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:**Pregrado**ÁREA DE ESTUDIO:**Departamento de Ingeniería Civil**INSTITUCIÓN:**UNIVERSIDAD DE ORIENTE/ Núcleo Anzoátegui



**METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSOS**

“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva propiedad de la Universidad, y sólo podrán ser utilizados a otro fin con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quién lo participará al Consejo Universitario”

**AUTOR(ES)****Meneses, Josfmar****TUTOR****Ghanem, Ana****JURADO****Morales, Hilda****JURADO****Gomez, Mariely****POR LA SUBCOMISION DE TESIS**