

**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE SOSTENIBILIDAD EN LA
CONSTRUCCIÓN DE VIS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA**



**Universidad de
Cartagena**

Fundada en 1827



**Programa de
Ingeniería Civil**

Fundado en 1949

JUAN CARLOS GARCÍA MARTINEZ

JAVIER LORA AGRESOTT

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. T. Y C.

2018



**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE SOSTENIBILIDAD EN LA CONSTRUCCIÓN
DE VIS EN LA CIUDAD DE CARTAGENA**

**GRUPO DE INVESTIGACIÓN DE MODELACIÓN AMBIENTAL
(GIMA)**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MODELACIÓN AMBIENTAL

INVESTIGADORES

JUAN CARLOS GARCIA MARTINEZ

JAVIER JOSE LORA AGRESOTT

Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de ingeniero civil

DIRECTORA

MONICA ELJAIK URZOLA, MSc.

INGENIERA CIVIL

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

CARTAGENA DE INDIAS D. T. y C

2018.



Contenido

RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN	11
1. MARCO REFERENCIAL	16
1.1 MARCO TEORICO	16
1.1.1 Eficiencia energética.....	16
1.1.2 Características de los sistemas de recolección de aguas lluvias.....	17
1.1.3 Concepto de una cubierta verde	22
1.1.4 Paneles solares.....	23
1.1.5 Descripción de software.....	33
1.1.9. Programas institucionales.....	36
1.2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE	39
2. OBJETIVOS	49
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	49
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	49
3. ALCANCE DE LA INVESTIGACION	50
4. METODOLOGÍA	53
4.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO	55
4.1.1. Encuestas a la población.....	55
4.2 VALIDACION DE MODELOS Y DISEÑOS	61
4.2.1. Sistema de recolección de aguas lluvias	61
4.2.2. Paneles solares	62
4.2.3. Sistemas de techos verdes	75
4.3. POTENCIAL DE AHORRO	92
4.3.1. Análisis económico.....	92
5. RESULTADOS Y DISCUSIONES	94
5.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO	94



5.1.1.	Encuestas a la población	94
5.1.2	Características de la vivienda y la zona	99
5.1.3	Pre diseño conceptual	101
5.2.	RESULTADOS DE LOS MODELOS Y DISEÑOS	102
5.2.1.	Sistema de recolección de aguas lluvias	102
5.2.2.	Sistema de paneles solares	109
5.2.3.	Sistema de techos verdes.....	111
5.3.	POTENCIAL DE AHORRO.....	117
5.3.1.	Sistema de recolección de aguas lluvias	117
5.3.2.	Sistema de paneles de solares.....	118
5.3.3.	Sistema de techos verdes.....	119
6.	CONCLUSIONES	120
7.	LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES	123
7.1.	LIMITACIONES	123
7.2.	RECOMENDACIONES	123
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	125
ANEXOS	129



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la zona de estudio.	15
Figura 2 Sistema convencional de recolección de aguas lluvias.	18
Figura 3. Paneles solares	24
Figura 4. A) Instalación SFVC individual B) instalación SFVC colectiva.....	25
Figura 5. Elementos consecutivos de una instalación SFVC.	26
Figura 6. La oscilación térmica diaria y la temperatura media en diferentes módulos de techo verde con profundidades de sustrato de 5 cm (a, b, c), 10 cm (d, e, f, g, h) y 20 (i) (J).f	45
Figura 7. Localización de la zona de estudio	50
Figura 8. Esquema de metodología.....	54
Figura 9. Recorrido por la zona de estudio.	58
Figura 10. Encuestas a la población.....	58
Figura 11 Encuestas a la población.....	59
Figura 12 Encuestas a la población.....	60
Figura 13 Reunión con el Ingeniero Juan Baquero.....	63
Figura 14. Selección de tipo de proyecto fotovoltaico.	65
Figura 15. Introducción de datos del proyecto.	65
Figura 16. Configuración de planta.	66
Figura 17. Selección de inversores.	66
Figura 18. Dimensionamiento del cableado.	67
Figura 19. Herramientas Open Studio.....	75
Figura 20. Función crear un nuevo espacio.....	76
Figura 21. Geometría primer piso de la vivienda.	76
Figura 22. Geometría de la vivienda completa.....	77
Figura 23. Identificación de zonas térmicas.	77
Figura 24. Superficies expuestas a condiciones externas.....	78
Figura 25. Archivo IDF con las características de la vivienda y Archivo de clima de la zona de estudio.	79
Figura 26. Versión del software.....	80
Figura 27. Número de muestras por hora.....	80
Figura 28. Ubicación geográfica de la zona de estudio, zona horaria y altura sobre el nivel del mar.....	81
Figura 29. Programación de personas y su interacción con la vivienda.	82
Figura 30. Materiales de la vivienda.....	83
Figura 31. Propiedades del techo verde.	84
Figura 32. Constitución de los objetos de construcción.....	85



Figura 33. Verificación de Superficies de la vivienda.	86
Figura 34. Tipo de vegetación.	87
Figura 35. Capas de techo verde.	88
Figura 36. Formación de pendiente.	89
Figura 37. Aislamiento térmico.	90
Figura 38. Impermeabilización.	90
Figura 39. Capa separadora.	91
Figura 40. Capa drenante y filtrante.	91
Figura 41. Protección	92
Figura 42. Número de habitantes por vivienda de la población encuestada.	96
Figura 43. Nivel de escolaridad de la población encuestada.	96
Figura 44. Porcentaje de personas que depende de la cabeza del hogar en la población encuestada.	97
Figura 45. Ingreso mensual por hogar en SMMLV en la población encuestada.	98
Figura 46. Porcentaje de conformidad con el costo de los servicios públicos (Agua y Energía) de la población encuestada.	98
Figura 47. Porcentaje de conocimiento de estrategias para un consumo eficiente de energía y agua de la población encuestada.	99
Figura 48. Plano de vivienda tipo de la zona de estudio.	100
Figura 49. Temperatura al interior de la vivienda.	112
Figura 50. Temperatura al interior de la vivienda con techo verde.	113
Figura 51. Variación de temperatura en el segundo piso con y sin techo verde.	114
Figura 52. Esquema de sistema fotovoltaico de inyección a red.	119



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Funciones de Sunny Design Web.....	35
Tabla 2. Eco-tecnologías actuales financiadas por el INFONAVIT.....	40
Tabla 3. Temperatura media estacional, oscilación térmica media y temperaturas máximas en aire y sustrato en módulos de techo verde.	44
Tabla 4. Consumo promedio diario.....	64
Tabla 5. Datos iniciales para el dimensionamiento del sistema autónomo fotovoltaico	68
Tabla 6. Consolidado de energía mes a mes.....	68
Tabla 7. Características de los materiales de la vivienda.	82
Tabla 8. Propiedades de la planta	83
Tabla 9. Características de la vivienda.....	101
Tabla 10. Evaluación de características de la vivienda	101
Tabla 11. Datos iniciales para el sistema de recolección de aguas lluvias.....	103
Tabla 12. Datos de precipitación promedio.	104
Tabla 13. Resultados de precipitación promedio mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua.	105
Tabla 14. Datos de consumo promedio de agua suministrado por Acuacar.	106
Tabla 15. Resultados del potencial de ahorro de agua con base en los datos suministrados por Acuacar.	107
Tabla 16. Especificaciones técnicas electrobomba.	108
Tabla 17. Presupuesto instalación de sistema de recolección de aguas lluvias.	108
Tabla 18. Presupuesto techo verde instalado.....	115



LISTA DE REFERENCIA

- VIS: VIVIENDA DE INTERES SOCIAL
- DANE: DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADISTICAS
- VISS: VIVIENDA DE INTERES SOCIAL SOSTENIBLE
- SMLMV: SALARIO MINIMO LEGAL MENSUAL VIGENTE
- PROURE: PROGRAMA NACIONAL PARA EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGÍA Y PARA LAS ENERGÍAS RENOVABLES
- PAI: PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO
- MDL: MECANISMO DE DESARROLLO LIMPIO
- GEI: GASES DEL EFECTO INVERNADERO
- OLADE: ORGANIZACIÓN LATINOAMERICANA DE ENERGIA
- CMNUCC: LA CONVENCION MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO
- MISN: MACROPROYECTOS DE INTERÉS SOCIAL NACIONAL
- MADS: MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE
- BID: BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO
- ICES: INICIATIVA DE CIUDADES EMERGENTES Y SOSTENIBLES
- DNP: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN



RESUMEN

Esta publicación está enfocada en evaluar alternativas de sostenibilidad que permitan mejorar la calidad de vida de las comunidades de estratos 1 y 2 en el área urbana de la ciudad de Cartagena y a su vez se contribuya en la preservación del medio ambiente.

Se propone una metodología para evaluar la viabilidad de alternativas sostenibles legales, las cuales son: sistema de techos verdes, recolección de aguas lluvias y sistema de paneles solares, que mejoren el confort y disminuyan los costos en el consumo de los servicios de agua y energía, obtenidas mediante una revisión bibliográfica referente a las tecnologías limpias y procesos metodológicos existentes, además del planteamiento de un conjunto de variables determinadas luego del análisis de cada uno de los parámetros de la sostenibilidad: técnico, sociocultural, ambiental y económico, los cuales serán evaluados para identificar las ventajas y desventajas que mejor se acomoden a las características de la comunidad y de la zona y ayuden al cumplimiento del objetivo. Esta metodología se aplicó al proyecto urbanístico Ciudad Bicentenario por contar con todas las características anteriormente mencionadas, donde solo resultó ser viable en todos los aspectos evaluados el sistema de paneles solares en inyección a red ya que asegura la disminución de CO₂ emitido a la atmósfera, permite a los habitantes ahorrarse el 100% del costo por consumo de electricidad con una inversión de \$ 10'141,281, lo cual permite inversión social, mientras que en los techos verdes a pesar de ser viable ambientalmente y brindar confort en la temperatura en interiores, resulta ser una propuesta no rentable económicamente puesto que no refleja ningún porcentaje de ahorro con respecto a la inversión inicial de instalación de \$5.143.125 y un mantenimiento cada 10 años de \$1.789.800 y en el caso del sistema de recolección de aguas lluvias no resulta ser viable bajo ningún aspecto ya que implica un gasto de energía adicional por el uso de la electrobomba y mínimo porcentaje de ahorro con respecto a la inversión inicial de \$2.862.291 y un costo de operación anual de \$55.485.



ABSTRACT

This publication is focused on evaluating sustainability alternatives that can improve the quality of life of the communities of strata 1 and 2 in the urban area of the city of Cartagena and at the same time contribute to the preservation of the environment.

A methodology is proposed to evaluate the feasibility of legal sustainable alternatives, which are: green roof system, rainwater harvesting and solar panel system, which improve comfort and lower costs in the consumption of water and energy services, obtained by means of a bibliographic review referring to clean technologies and existing methodological processes, in addition to the presentation of a set of variables determined after the analysis of each one of the parameters of sustainability: technical, sociocultural, environmental and economic, which will be evaluated to identify the advantages and disadvantages that best fit the characteristics of the community and the area and help meet the objective. This methodology was applied to the Ciudad Bicentenario urban development project because it has all the aforementioned characteristics, where only the system of solar panels injected into the grid is viable in all aspects evaluated, since it ensures the reduction of CO₂ emitted into the atmosphere, allowing the inhabitants save 100% of the cost for electricity consumption with an investment of \$ 10'141,281, which allows social investment, while green roofs, despite being environmentally viable and providing comfort in indoor temperature, result in be an economically unprofitable proposal since it does not reflect any savings percentage with respect to the initial installation investment of \$ 5,143,125 and a maintenance every 10 years of \$ 1,789,800 and in the case of the rainwater collection system it does not turn out to be viable under any aspect since it implies an additional energy expenditure for the use of the electric pump and minimum p Percentage savings compared to the initial investment of \$ 2,862,291 and an annual operating cost of \$ 55,485.



INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta los desafíos ambientales y urbanísticos del país, uno de los objetivos de gestión es contribuir al mejoramiento de la calidad del hábitat urbano, con una meta específica enfocada a la definición y establecimiento de principios y lineamientos ambientales para el diseño y la construcción de vivienda (Ministerio de Ambiente Desarrollo Sostenible, 2012).

La naturaleza de la necesidad de vivienda social ha cambiado considerablemente en los últimos años. El impacto de las tecnologías en la producción, la globalización y su influencia en los precios internos sobre todo los ligados al suelo, han hecho cada vez más difícil el acceso a una vivienda digna. El déficit es alto, los niveles de exclusión no bajan, debido a que muchas inversiones por su calidad constructiva y sobre todo urbanística ofrecen soluciones habitacionales no sostenibles (Falivene, José, & Artusi, 2014).

La construcción, además de ser indispensable para el desarrollo de la sociedad, es también uno de los principales responsables de residuos, contaminación, transformación del entorno y uso inadecuado de recursos naturales (energía, agua, etc.). Cada uno de los edificios y casas que habitamos produce una huella ecológica sobre el planeta. Su construcción, operación y, eventualmente, su demolición, consumen una gran cantidad de recursos y producen muchos residuos contaminantes. “Se calcula que el sector residencial y de oficinas, a nivel mundial, consume el 40% de energía, 30% de emisiones de carbono (CO₂) que van a la atmósfera, 50% materias primas, 40% de desperdicios y 20% de agua potable”(Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2014). Esto demuestra que es un error atribuir exclusivamente a la industria y al transporte el origen principal de la contaminación.

Por otra parte, el cambio climático y su influencia en el comportamiento hídrico y atmosférico han aumentado la incidencia de las catástrofes “naturales” como la lluvia ácida, la deforestación o la pérdida de biodiversidad. Además, la sociedad de consumo ha incrementado considerablemente el nivel de vida de muchos países, continua creciendo año



tras año a una velocidad que podría llegar a duplicar la población humana mundial antes de mediados del presente siglo. Una situación en que la actual utilización de los recursos naturales y del medio ambiente suponen una disminución del potencial de dichos recursos para las generaciones futuras (Buendía, 2010).

El gobierno nacional aprobó la Ley 1537 que busca entregar 100 mil viviendas prioritarias (de hasta 40 millones de pesos) a gente en extrema pobreza relacionada en la Red Unidos, situación desplazamiento, afectada por desastres naturales o que viven en zonas de alto riesgo no mitigable. Para ello, se destinaron 4,2 billones de pesos, se radicaron más de 540 ofertas de lotes para construirlas en 275 municipios de 26 departamentos del país. Luego de valoradas todas las condiciones técnicas relacionadas con la infraestructura civil y ambiental como por ejemplo títulos saneados, urbanismo, conexión de servicios, agua y saneamiento, la Financiera de Desarrollo Territorial expidió concepto de cumplimiento (Gabriel E. Flórez G., 2012).

Uno de los retos del Gobierno es proveer de servicios básicos los diferentes proyectos de vivienda. Los planes del Gobierno, a través del Ministerio de Vivienda, también han contemplado la atención servicios públicos de acueducto y alcantarillado. En años anteriores, se estructuró el programa de financiación de 90 mil conexiones intradomiciliarias, que buscan asegurar el acceso en el interior de las viviendas identificadas del estrato 1 y 2 del programa Red Unidos (Gabriel E. Flórez G., 2012).

Según el Consejo Mundial de Construcción Sostenible 2008, el sector de la construcción, a nivel mundial, es aquel que más potencial tiene para reducir sus impactos negativos al medio ambiente, ya que con pequeños cambios, que no incurren en grandes costos de producción, serían suficientes para reducir en promedio, un 30% el consumo de energía, 35% las emisiones de carbono (CO₂), hasta un 50% el consumo de agua, además de generar ahorros del 50% al 90% en el costo de la disposición de desechos sólidos.

La finalidad del desarrollo urbano es lograr un entorno no perjudicial contra el ambiente, al igual que garantizar el abastecimiento de los recursos para la población desde el punto de



vista de la eficiencia y funcionalidad, para lograr un lugar que sea mejor para vivir. Existen factores relevantes en la solución con miras hacia un hábitat sostenible como lo son: la localización, la correcta selección de los materiales de construcción, ser conscientes del papel finito de los recursos naturales y el diseño estratégico urbanístico y arquitectónico (EcuRed, 2010).

En la actualidad se vienen dando una situación a nivel mundial de mucho cuidado, debido al uso inadecuado de los recursos que ha provocado problemáticas como el cambio climático, sequias, entre otros, por lo cual es pertinente implementar la sostenibilidad en los diseños y ejecución al construir proyectos. A partir de lo anterior, un punto de partida ideal es la vivienda digna que cumplan con los aspectos legales y de habitabilidad, ya que Colombia tiene un déficit cuantitativo y cualitativo de la misma, al cual el Estado ha tratado de dar solución a través de la ejecución proyectos de VIS (Balaguera, Carvajal, Valencia, Vaga, & García, 2016).

Actualmente la demanda de vivienda para los estratos bajos se ha incrementado, debido a circunstancias de orden político, social y económico, entre los cuales podemos resaltar en el 2001 mostrando un aumento de 5,14%, esta reactivación se debe a la ley 546 de 1999: Por la cual se dictan normas en materia de vivienda, se señalan los objetivos y criterios generales a los cuales debe sujetarse el Gobierno Nacional para regular un sistema especializado para su financiación, posteriormente entre el año 2003 y 2004 el país entra en una favorable coyuntura en materia de construcción de edificaciones, se presenta un crecimiento del 14,84% y de 33,10% respectivamente, para el cuarto trimestre de 2005 la construcción tuvo una participación de 12,49% dentro del PIB nacional, siendo uno de los sectores de mayor dinamismo, mostrando un crecimiento con respecto a 2004 de 12,57%, lo que puede explicarse por el aumento de 27,87% en la producción de obras civiles y de 5,43% en la producción de edificaciones, en el primer semestre del 2006 el sector presentó un buen comportamiento ya que entre junio y julio se licenciaron 7,2 millones de metros cuadrados, equivalente a 8,4% más que el año anterior. De estos, 5,4 millones se destinaron a la vivienda. El metraje que se aprobó para vivienda en los últimos 12 meses del 2006



alcanzó 10 millones de metros cuadrados; le correspondieron 2,3 millones de metros cuadrados a la vivienda de interés social y 7,8 millones a la vivienda diferente de la social. Estas cifras representaron crecimientos del 4% y 1,4% respectivamente (Giraldo et al., 2006). Por lo tanto, en Colombia las VIS se proyectan en función del factor económico y se han desligado en gran medida de las condiciones de sostenibilidad (Falivene et al., 2014).

En este caso en particular se quiere volver a integrar a la naturaleza haciendo algunos arreglos que le permitan adaptarse a distintos campos y proyectos para dar un toque ambiental y ecológico a las grandes masas de concreto que han excluido a la vegetación de su desarrollo, lo que esperamos brinde ventajas tales como el ahorro de energía, ahorro de agua, regulación térmica y acústica, espacios de bienestar y contemplación, integración del paisaje urbano con lo natural, entre otros, sin que esto genere desde el punto de vista estructural y económico mayores exigencias.

Esta investigación pretende determinar qué alternativas de sostenibilidad son aplicables y eficientes en la ciudad de Cartagena teniendo en cuentas sus características y los efectos que genera la implementación de estas en viviendas de interés social en la zona urbana de Cartagena, con el fin de saber si estas alternativas en viviendas de interés social contribuyen o no a una solución técnica y económicamente viable para el sector.

Este trabajo se tomará como referencia inicial para una investigación cuyo objetivo es “Elaboración de una vivienda de interés social con mecanismo de sostenibilidad de la universidad de Cartagena” por el Grupo de Investigación de Modelación Ambiental (GIMA) basándose en la metodología de evaluación las distintas alterativas de sostenibilidad existentes desarrolladas durante esta investigación, y mediante un análisis seleccionar las más eficientes para desarrollarse en proyectos VIS de la ciudad de Cartagena; para ello se consideraron ejes temáticos tales como selección del sitio, materiales de construcción, calidad y consumo de servicios públicos, los cuales arrojaron



como resultado la necesidad de disminuir los impactos ambientales asociados a la construcción y el uso de las viviendas.

Para la investigación se seleccionó un proyecto de VIS ubicado en la zona sur de la ciudad de Cartagena donde se encuentran gran variedad de proyectos de viviendas de interés social; los estudios pertinentes se realizaran en Ciudad Bicentenario $10^{\circ}25'26.43''$ N $75^{\circ}26'52.87''$ O; megaproyecto de vivienda de interés social.

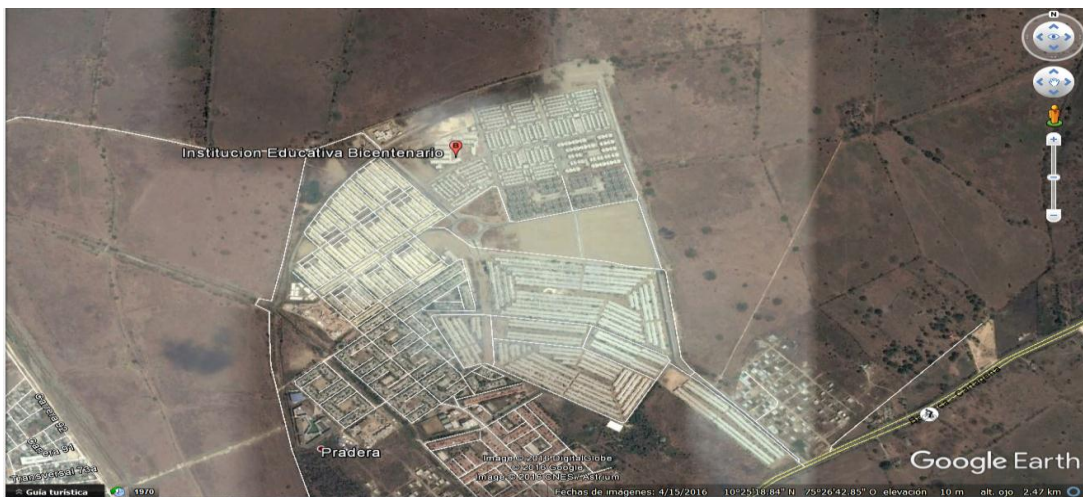


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

Fuente: Google earth, 2016.

El presente trabajo es solo el comienzo de lo que puede ser un proceso de incorporación de tecnologías sostenibles integradas dentro de las viviendas de interés social, así como la creación de nuevos esquemas que garanticen a los hogares el buen funcionamiento de las mismas, además este trabajo responde al reto de abarcar lo más posible con el menor recurso viable, puesto que la alta demanda de VIS impone límites presupuestales de inversión en las viviendas.



1. MARCO REFERENCIAL

1.1 MARCO TEORICO

En el siguiente subcapítulo se encuentra enunciado las teorías y conceptos con su definición que son necesarios para comprender el proyecto en cuestión, los términos están relacionado con vivienda sostenible, eficiencia energética, sistema de recolección de agua y sistema de muros verdes.

1.1.1 Eficiencia energética

El concepto de eficiencia energética encierra dos acciones importantes a la hora de prestar un servicio como lo son la oferta y la demanda , sin poner en riesgo el bienestar del consumidor ni la producción y permitiendo mejorar la seguridad del suministro ; mediante lo anterior se logra ahorros tanto en el consumo de energía como en la economía de la población en general y simultáneamente se logra reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero y mejora las finanzas de la empresa prestadora de servicio de energía y el consumidor.

En América Latina y el Caribe, la reducción de la intensidad energética desde 1990 fue solo del 0,2% anual. Lo anterior se da por numerosas razones, entre ellas está las faltas de programas de eficiencia a largo plazo y la baja incorporación de tecnologías eficientes. Asimismo, de acuerdo a estimaciones conservadoras realizadas por Organización Latinoamericana de Energía, la región en el período 2003 – 2018, podría acumular un ahorro de 156 mil millones de dólares en combustibles si emprendiera programas nacionales sólidos y de largo plazo en eficiencia energética (Poveda, 2007).

Gran parte de la energía que usamos se desperdicia por diversas razones. El uso eficiente de la energía es reducir la cantidad de energía eléctrica y de combustibles que utilizamos, pero conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios. Usualmente dicha reducción en el consumo de energía se asocia a un cambio tecnológico, ya sea por la creación de nuevas tecnologías que incrementen el rendimiento de los artefactos o por nuevos diseños de



máquinas y espacios habitables, los que pueden disminuir la pérdida de energía por calor. No obstante, no siempre es así, ya que la reducción en el consumo de energía puede estar vinculada a una mejor gestión o cambios en los hábitos y actitudes (Andrade, 2017).

Ahorrar energía, en cambio, puede significar reducir o dejar de realizar determinadas actividades, para evitar el consumo de energía. Por ejemplo, el ahorro energético se genera cuando apagamos la luz para reducir el consumo de energía. Si, en cambio, reemplazamos la ampolleta incandescente por una eficiente, estamos tomando una medida de Eficiencia Energética, que nos proporcionará una disminución en el consumo de energía, sin perjuicio del desarrollo de nuestras actividades.

Beneficios:

- Reduce el consumo de combustible en el transporte en general, tanto privado como público.
- Reduce los costos de producción u operación de las empresas, mejorando la competitividad de las empresas.
- Reduce los gastos de energía en los hogares, lo que es especialmente relevante para las familias de más bajos ingresos, porque ellas gastan un porcentaje mayor de sus ingresos en energía que las demás familias (Agencia Chilena de eficiencia energetica, 2012).

1.1.2 Características de los sistemas de recolección de aguas lluvias

La **Figura 2** muestra la configuración de un sistema típico para recolección de aguas lluvias in situ y la interacción de sus componentes principales. Las configuraciones de diseño y los protocolos de instalación de los sistemas de recolección de aguas lluvias se han definido en los manuales de diseño e implementación en todo el mundo (por ejemplo, Deutsches Institut für Normung, 1989, Texas Water Development Board, 2005, Master Plumbers y Mechanical Services Association of Australia, 2008, British Standards Institute, 2013). El componente central de cada sistema de recolección de aguas lluvia es el tanque de agua que permite la implementación de las funciones básicas de almacenamiento y tratamiento del



agua de lluvia recogida. Típicamente, la superficie de recolección es la azotea de la edificación, pero otras superficies de captación impermeables (normalmente aquellas estrechamente asociadas con la edificación) pueden conectarse al tanque. Durante los eventos de lluvia, la esorrentía generada se entrega al tanque a través del sistema de recolección (generalmente un sistema de canalones y bajantes) y se almacena temporalmente para satisfacer la demanda de agua de las viviendas. Normalmente se requiere una red de tubería separada para conectar el tanque de agua de lluvia a los electrodomésticos y / o grifos para el uso del agua de lluvia. Una o más bombas son comúnmente adoptadas para asegurar una presión apropiada para los diferentes usos. Los dispositivos complementarios para el control de calidad son los primeros desviadores de descarga, filtros de desechos y filtros. Los desviadores separan y transportan la parte más contaminada del volumen de escurrimento al sistema de alcantarillado, mientras que las pantallas y los filtros se utilizan para interceptar sólidos (sedimentos, escombros, hojas, etc.) y partículas para evitar que entren en el tanque (Campisano et al., 2017).

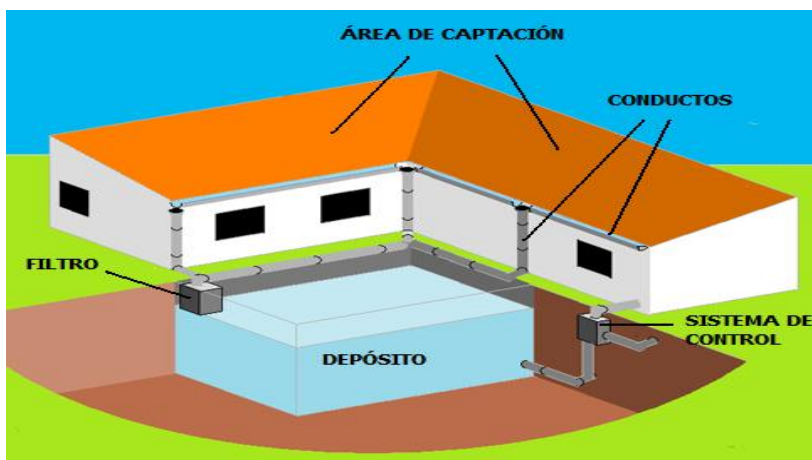


Figura 2 Sistema convencional de recolección de aguas lluvias.

Fuente: (Sitio Solar, 2013)

- **Factibilidad**

En el diseño de un sistema de captación de agua de lluvia es necesario considerar los factores técnicos, económicos y sociales.



Los factores técnicos a tener presente son la producción u oferta y la demanda de agua:

a) Producción u “oferta” de agua; está relacionada directamente con la precipitación pluvial durante el año y con las variaciones estacionales de la misma. Por ello es necesario contar con datos suministrados por la autoridad competente del país o de la región donde se pretende ejecutar el proyecto.

b) Demanda de agua; La demanda depende de las necesidades del interesado y los usos que quiere darle al agua.

Factor económico: Existe una relación directa entre la inversión requerida para implementar el sistema y el área de captación y el volumen de almacenamiento, resultando muchas veces una restricción para la mayor parte de los interesados. En la evaluación económica es necesario tener presente que en ningún caso la dotación de agua debe ser menor a 20 litros de agua por familia y por día, la misma que permite satisfacer sus necesidades básicas elementales. Los aspectos de higiene personal y lavado de ropa deben atenderse con otras fuentes de agua. Asimismo, los costos del sistema propuesto deben ser comparados con los costos de otras alternativas destinadas al mejoramiento del abastecimiento de agua, teniendo presente el impacto que representa la cantidad de agua en la salud de las personas beneficiadas por el servicio de agua (OPS/CPEIS, 2010).

Factor social: En la evaluación de las obras de ingeniería a nivel comunitario, siempre se debe tener presente los factores sociales, representados por los hábitos y costumbres que puedan afectar la sostenibilidad de la intervención. Se debe discutir con la comunidad las ventajas y desventajas de este sistema. Los análisis deben considerar la conveniencia de adoptar soluciones individuales y colectivas, el tipo de material empleado en la fabricación de sus techos, la existencia de materiales alternativos en el lugar o sus alrededores y el grado de participación de la comunidad en la implementación del proyecto (OPS/CPEIS, 2010).

- **Criterios de diseño**

El cálculo del volumen del tanque de almacenamiento toma como base de datos la precipitación de los 10 o 15 últimos años. Mediante este cálculo se determina la cantidad de



agua que es capaz de recolectarse por metro cuadrado de superficie de techo y a partir de ella se determina a) el área de techo necesaria y la capacidad del tanque de almacenamiento, o b) el volumen de agua y la capacidad del tanque de almacenamiento para una determinada área de techo (OPS/CPEIS, 2010).

Los datos complementarios para el diseño son:

- ✓ Número de usuarios
- ✓ Coeficiente de esorrentía
 - Calamina metálica 0.9
 - Tejas de arcilla 0.8 - 0.9
 - Madera 0.8 - 0.9
 - Paja 0.6 - 0.7
- ✓ Demanda de agua.

Los pasos a seguir para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia son:

Determinación de la precipitación promedio mensual; a partir de los datos promedio mensuales de precipitación de los últimos 10 o 15 años se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados. Este valor puede ser expresado en mm/mes, litros/m²/mes, capaz de ser recolectado en la superficie horizontal del techo (OPS/CPEIS, 2010).

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n} \quad \text{Ec. 1}$$

Donde Pp_i es la precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados en (mm/mes), p_i es la precipitación mensual del mes “i” en (mm) y n es el número de años evaluados.

Determinación de la demanda; a partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia o familias a ser beneficiadas en cada uno de los meses (OPS/CPEIS, 2010).



$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde D_i es la demanda mensual en (m^3), Nu es el numero de usuarios que se benefician del sistema, Nd es el numero de dias mes analizado y Dot es la dotacion en (Litros/persona*día)

Determinación del volumen del tanque de abastecimiento; teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo por mes.

$$A_i = \frac{Pp_i * Ce * Ac}{1000} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde A_i es la oferta de agua en el mes “i” en (m^3), Pp_i es la precipitacion promedio mensual en (litros/ m^2), Ce es el coeficiente de escorrentia y Ac es el area de captacion en (m^2).

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses. Las áreas de techo que conduzcan a diferencias acumulativas negativas en alguno de los meses del año se descartan por que no son capaces de captar la cantidad de agua demandada por los interesados (OPS/CPEIS, 2010).

El área mínima de techo corresponde al análisis que proporciona una diferencia acumulativa próxima a cero (0) y el volumen de almacenamiento corresponde a la mayor diferencia acumulativa. Áreas de techo mayor al mínimo darán mayor seguridad para el abastecimiento de los interesados. El acumulado de la oferta y la demanda en el mes “i” podrá determinarse por:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i * Ce * AC}{1000} \quad \text{Ec. 4}$$



$$Da_i = Da_{(i-1)} + \frac{Nu * Nd_i * Dd_i}{1000} \quad Ec. 5$$

Donde Aa_i es la oferta acumulada al mes “i” y Da_i es la demanda acumulada al mes “i”

$$V_i = A_i - D_i \quad Ec. 6$$

Donde V_i es el volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i” en (m^3), A_i es el volumen de agua que se captó en el mes “i” en (m^3) y D_i es el volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i” en (m^3).

1.1.3 Concepto de una cubierta verde

Es un tipo de cubierta que contribuye a mantener la sostenibilidad del paisaje vegetal en una estructura mediante la integración vegetación en cubiertas o azoteas. En general se considera como cubierta verde a cualquier superficie horizontal o inclinada con componente horizontal que cubra un espacio bien sea terrazas, azoteas, cubiertas planas, cubiertas inclinadas, placas en espacios interiores, semi-interiores, exteriores, entresijos o sótanos; teniendo en cuenta que este tipo de cubiertas va más allá de lo meramente cosmético, pues no solo hay presencia de plantas, sino también empiezan a observarse micro fauna (animales en el suelo) y también iniciarán a observarse algunas especies de aves, que dependiendo del sector esta puede variar tanto en tamaños, especies y si está cerca de zonas verdes y otras áreas similares se acentuará mucho más (Albarracín & Arévalo, 2016).

Clasificación de las cubiertas verdes

En Colombia y particularmente según la secretaría distrital de medio ambiente y de acuerdo a la guía para el diseño de cubiertas verdes para el Distrito Capital, se pueden clasificar teniendo en cuenta:

- El propósito y grado de seguimiento luego de la instalación de la cubierta.
- La robustez del sistema utilizado en función del tamaño y los requerimientos del material vegetal empleado y del peso del sistema cuando está saturado (Albarracín & Arévalo, 2016).



1.1.4 Paneles solares

Por su ubicación geográfica, Colombia es un país privilegiado y podría aprovechar mejor la energía solar para producir energía fotovoltaica, limpia y amigable con el medio ambiente, que no genere gases ni efecto invernadero, es decir, que no contamine.

Con el fin de captar esa energía de la radiación solar se han desarrollado paneles solares que gracias a sus celdas compuestas de silicio y boro, las paneles transforman la energía solar en energía eléctrica.

A esta transformación la denominan energía fotovoltaica, “tiene un principio basado en la unión de una serie de celdas que forman un panel encargado de capturar y convertir los rayos del sol para producir corriente eléctrica que luego es llevada a unos equipos llamados inversores, que adecuan la energía para su uso final” (Montoya, 2016).

Nuestro país cuenta con sol durante todo el año, que le permite tener muy buenas condiciones de radiación. Los desarrollos tecnológicos seguirán permitiendo que el aprovechamiento de la energía del sol sea cada vez más eficiente. “Los paneles de hace 5 años eran de 250 vatios en 1,64 metros cuadrados, el año pasado se llegó a 315 vatios, y el último panel de LG, ganador del premio del 2016 en la exposición mundial de paneles solares en Alemania, es de 400 vatios en la misma área”. Eso indica que el beneficio que se obtiene del sol es cada vez más fuerte y su rendimiento es cada vez mejor (Montoya, 2016).

La implementación de energías renovables inagotables busca el cuidado del medio ambiente y quiere implementarse en hoteles, fábricas, centros comerciales e instituciones que generan un alto consumo de energía eléctrica durante el día.

Los paneles solares se pueden instalar sobre cualquier superficie a la que lleguen los rayos del sol, es decir, sobre el piso, cubiertas de parqueaderos o techos de los edificios o residencias; hay unas especificaciones mínimas para su instalación; es ideal que no les dé sombra, para una mayor eficiencia de la radiación del sol (Montoya, 2016).



Las ventajas de esta energía alternativa son para todos y las inversiones que se realizan en su implementación tienen un retorno rápido, de cerca de cuatro años si se trata de un proyecto con las garantías que brinda una empresa con excelentes desarrollos e investigación en el tema. Las plantas de generación solar tienen una vida útil de más o menos 25 años, eso quiere decir que durante 21 años se estarían obteniendo beneficios.

En cada edificio en el que se contemple instalar un panel solar, hay que realizar un cálculo por medio de un software para determinar la generación eléctrica que se obtendrá en un año y, de ese modo, precisar el tiempo de retorno de la inversión y las utilidades que puedan tener a largo plazo, basados en el consumo previsto y el pago que se hace en la actualidad (Montoya, 2016).



Figura 3. Paneles solares

Fuente: (Montoya, 2016)

Tecnología solar fotovoltaica

Un panel o modulo solar fotovoltaico es considerado dentro del ámbito eléctrico como un generador de electricidad que gracias al efecto fotoeléctrico genera una diferencia de potencial y finalmente una corriente eléctrica.

Las instalaciones solares fotovoltaicas se dividen en dos grandes segmentos:

- Instalación solar fotovoltaica aislada
- Instalación solar fotovoltaica conectada a la red o SFVC



La diferencia fundamental entre ambas estriba en el almacenamiento de la energía generada por los paneles solares. En el caso de una instalación solar fotovoltaica aislada la energía es almacenada en baterías, mientras que en el segundo caso la energía generada es inmediatamente consumida en el hogar, y de existir un excedente este se envía a la red eléctrica para su consumo en algún otro hogar.

En la actualidad, en zonas urbanas donde generalmente hay red eléctrica, el tipo de instalación más común es la solar fotovoltaica conectada a la red (SFVC) principalmente porque ésta prescinde de baterías, con lo que un importante monto de inversión es evitado (Guía solar, 2003).

Sistema fotovoltaico conectado a la red "SFVC"

Es posible que el usuario doméstico pueda generar un determinado porcentaje de su propia energía eléctrica conectado a la red eléctrica, lo cual está únicamente permitido con el uso de fuentes renovables de energía, y una capacidad a instalar limitada.

Actualmente existen dos modelos de contratos de interconexión, uno el contrato individual en el cual CFE y un solo usuario son los firmantes, este caso aplica para una hogar unifamiliar (ver inciso a) la **Figura 4** . Sin embargo a partir de 2012 se aprobó un modelo de contratación colectiva donde varios usuarios que poseen una instalación fotovoltaica firman el contrato (inciso b) de la **Figura 4**. Este caso está dirigido principalmente para edificios de departamentos que comparten un área de propiedad comunal donde se encuentra la instalación (guía solar, 2003).



Figura 4. A) Instalación SFVC individual B) instalación SFVC colectiva.

Fuente: (Castro Sagado, 2015)



Una instalación solar fotovoltaica conectada a la red de tipo colectivo o de forma abreviada "SVFC colectiva" se puede dividir en tres componentes fundamentales que se muestran en la **Figura 5**.

- Paneles fotovoltaicos
- Inversor CD/CA e interruptores DC y AC
- Medidor bidireccional

El funcionamiento de la instalación SFVC colectiva se detalla a continuación: La energía generada por los módulos solares en corriente directa llega al inversor de CD/AC.

El inversor CD/AC transforma la corriente directa a corriente alterna y se sincroniza con la red eléctrica para trabajar bajo los mismos parámetros de voltaje y frecuencia.

El medidor bidireccional mide la energía total entregada a la red eléctrica, a la salida del medidor bidireccional se conecta a la red eléctrica, esta unión se conoce como el punto de conexión y se representa en la **Figura 4** con el punto azul. La energía de ambas fuentes se envía como normalmente ocurre a los usuarios finales.

Del medidor bidireccional se toma el dato de cuánta energía fue generada por la instalación fotovoltaica y dicho valor en kWh se divide y resta del consumo habitual de cada hogar.

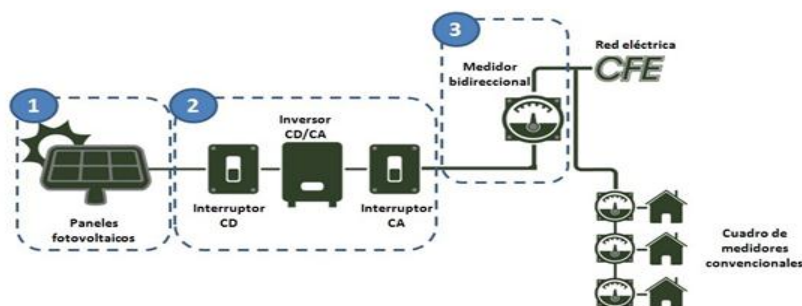


Figura 5. Elementos consecutivos de una instalación SFVC.

Fuente: (Castro Sagado, 2015)



Sistema fotovoltaico aislado

Una instalación solar fotovoltaica aislada es un sistema de generación de corriente sin conexión a la red eléctrica que proporciona al propietario energía procedente de la luz del sol. Normalmente requiere el almacenamiento de la energía fotovoltaica generada en acumuladores solares -o baterías- y permite utilizarla durante las 24 horas del día (Krannich, 2017).

Estas instalaciones fotovoltaicas aisladas son ideales en regiones donde la conexión a la red eléctrica no es posible o no está prevista debido a los altos costes de desarrollo de la construcción de los sistemas eléctricos de la línea, especialmente en las zonas rurales remotas.

Las instalaciones fotovoltaicas aisladas generalmente se diferencian por su tensión del sistema (corriente continua o corriente alterna). En los sistemas off-grid acoplados en corriente continua, el panel solar se conecta a través de reguladores de carga de CC/ CC.

En un sistema aislado realizado en corriente alterna se utiliza un inversor fotovoltaico convencional para inyectar corriente a la red eléctrica. Este sistema fotovoltaico normalmente está compuesto por paneles solares, regulador de carga, acumuladores solares, inversor fotovoltaico, etc. Se recomienda el uso de un monitor de acumulador para controlar el estado de carga de las baterías (Krannich, 2017).

La instalación de un sistema fotovoltaico aislado debe ser debidamente planificada, estudiada y diseñada, teniendo en cuenta, principalmente, estos cinco factores:

La potencia de conexión necesaria, el consumo de energía, el tipo de consumo (corriente continua, alterna, monofásica, trifásica, etc.), el período de uso, la localización y el clima.

Aplicaciones del sistema fotovoltaico aislado:

- ✓ Electrificación rural: bombeo de agua, regadío, cámaras de refrigeración, etc.
- ✓ Señalización terrestre: alumbrado, señales de advertencia, semáforos, etc.



- ✓ Aplicaciones industriales: torres de telecomunicaciones, antenas, sistemas de vigilancia en las refinerías de petróleo y gas.
- ✓ Actividades de ocio: en refugios de montaña, casas de jardín, barcos o caravanas (Krannich, 2017).

Criterios de diseño

La instalación requiere de una serie de cálculos previos necesarios para saber qué tipo de dispositivos y aparatos son los óptimos para ese proyecto concreto. El factor determinante a tener en cuenta es el consumo previsto (Soliclima, 2017).

Por eso, es de vital importancia decidir, en caso de que aún no esté previsto y enumerar detalladamente, con datos exactos de número, potencias, tipología, etiqueta energética, etc., los aparatos para cuya alimentación se prepara el proyecto.

También se debe calcular un consumo medio de horas al día, por ejemplo, dos horas de televisión al día, e incluso la regularidad con la que se consumirá, porque no es lo mismo consumir regularmente cada día que concentrar el consumo durante los fines de semana o vacaciones (Soliclima, 2017).

Además se debe tener en cuenta la radiación horizontal en la zona de estudio a través de instituciones meteorológicas confiables, como por ejemplo la NASA.

Por último se debe aclarar si la superficie o cubierta donde se ubicarán los paneles es plana o por el contrario obtener su inclinación.

Una vez obtenidos todos los datos previos se procede a diseñar el sistema fotovoltaico autónomo mediante las siguientes ecuaciones con base en la metodología utilizada en el estudio “*dimensionado de los sistemas fotovoltaicos*” (Alonso Abella, 2011):

Energía real necesaria es el resultado la relación entre la energía del peor mes según los datos obtenidos por la empresa prestadora de servicio eléctrico o encuestas.



$$En = \frac{\text{Energía del peor mes}}{\text{Factor de rendimiento}} \quad \text{Ec. 7}$$

El Factor de rendimiento R está dado por la siguiente ecuación:

$$R = 1 - \left((1 - Kb - Kc - Kv) * Ka * \frac{N}{Pd} \right) - Kb - Kc - Kv \quad \text{Ec. 8}$$

Kb = Coeficiente de perdidas por acumulador

Kc = Coeficiente de perdidas por convertidor o inversor

Kv = Coeficiente de perdidas globales

Ka = Coeficiente de perdidas de autodescarga

Posteriormente se obtienen una lista de valores los cuales están relacionados con la energía que puede ser captada por los paneles en relación al sol, con el fin de determinar la radiación total sobre los paneles teniendo en cuenta que para este caso de estudio estarán ubicados sobre un plano inclinado.

- Declinación solar δ

$$\delta = 23.45 * \text{Sen} \left(360 * \frac{284+dn}{365} \right) \quad \text{Ec. 9}$$

dn = Día medio del peor mes Ejemplo dn=1 Cuando es primero de enero, dn=365 cuando se toma 31 de diciembre

- Angulo de salida del sol us

$$us = -\arccos(-\text{Tan}(\delta) * \text{Tan}(\Phi)) \quad \text{Ec. 10}$$

Φ = Latitud del lugar

δ = Declinacion solar

- Angulo de salida del sol sobre un plano inclinado uss

$$uss = \text{Max}\{us, -\arccos(-\text{Tan}(\delta) * \text{Tan}(\Phi - \beta))\} \quad \text{Ec. 11}$$

Φ = Latitud del lugar



δ = Declinacion solar

β = Angulo de inclinación del techo

us = Angulo de salida del sol

- Factor de excentricidad ϵ

$$\epsilon = 1 + 0.033 * \cos(2\pi * \frac{dn}{265}) \text{ Ec. 12}$$

dn = Día medio del peor mes

- Radiación sobre el plano horizontal $H_{d,m(0)}$

$$H_{d,m(0)} = \left(\frac{T}{\pi}\right) I_0 * \epsilon * \left\{ -\left(\frac{\pi}{180}\right) * (uss * \sin(\Phi) * \sin(\delta)) - (\cos(\Phi) * \cos(\delta) * \sin(uss)) \right\} \\ \text{Ec. 13}$$

T = Longitud del día 24h

I_0 = Constante solar

Φ = Latitud del lugar

δ = Declinacion solar

uss = Angulo de salida del sol sobre un plano inclinado

- Índice de claridad K_{TM}

$$K_{TM} = \frac{G_{d,m(0)}}{H_{d,m(0)}} \text{ Ec. 14}$$

$G_{d,m(0)}$ = Radiacion solar global (Valor menor Datos de Radiacion solar)

- Fracción difusa de la radiación F_{Dm}

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 * K_{TM} \text{ Ec. 15}$$

- Radiación difusa $D_{d,m(0)}$

$$D_{d,m(0)} = F_{Dm} * G_{d,m(0)} \text{ Ec. 16}$$



- Radiación que llega al plano inclinado H

$$H = G_{d,m(0)} - D_{d,m(0)} \text{ Ec. 17}$$

- Factor de corrección K

$$K = \left(\frac{\text{uss} * \left(\frac{\pi}{180}\right) * \sin(\Phi - \beta) * \sin(\delta) + (\cos(\delta) * \cos(\Phi - \beta) * \sin(\text{uss}))}{\text{us} * \left(\frac{\pi}{180}\right) * \sin(\Phi) * \sin(\delta) + \cos(\Phi) * \cos(\delta) * \sin(\text{us})} \right) \text{ Ec. 18}$$

I_0 = Constante solar (1367W/m²)

Φ = Latitud del lugar

δ = Declinacion solar

uss = Angulo de salida del sol sobre un plano inclinado

β = Angulo de inclinación del techo

us = Angulo de salida del sol

- Radiación directa sobre el panel inclinado $H_{\beta,\alpha}$

$$H_{\beta,\alpha} = H * K \text{ Ec. 19}$$

- Radiación difusa sobre el plano inclinado $D_{\beta,\alpha}$

$$D_{\beta,\alpha} = D_{d,m} * \left(\frac{1 + \cos \beta}{2}\right) \text{ Ec. 20}$$

- Radiación albedo sobre el plano inclinado $AL_{\beta,\alpha}$

$$AL_{\beta,\alpha} = \frac{\rho * G_{d,m} * (1 - \cos \beta)}{2} \text{ Ec. 21}$$

- Radiación total sobre el panel inclinado $G_{\beta,\alpha}$

$$G_{\beta,\alpha} = H_{\beta,\alpha} + D_{\beta,\alpha} + AL_{\beta,\alpha} \text{ Ec. 22}$$

Al obtener la radiación total sobre el plano inclinado se obtienen las horas pico solar



- Hora pico solares Hsp

$$Hsp = \frac{G_{\beta,\alpha} kWh / m2dia}{1kWh / m2dia} \text{ Ec. 23}$$

- Potencia pico Pp

$$Pp = \frac{En}{Hsp} \text{ Ec. 24}$$

En = Energia real necesaria calculada en la ecuacion

- Número de paneles solares Np

$$Np = \frac{Pp}{0.9 * Pmodulo} \text{ Ec. 25}$$

Pmodulo = Potencia del panel (elección del diseñador)

Una vez obtenido el número de paneles se procede a calcular el número de baterías necesaria para el almacenamiento de la energía, para realizar este procedimiento se debe partir de los siguientes datos iniciales

- ✓ Energía necesaria (En)
- ✓ Días de autonomía = 2 Días N (Corresponde a los días nublados al mes)
- ✓ Voltaje CC = 24 V (Voltaje de corriente continua elección del diseñador)
- ✓ Profundidad de descarga = 50% (Pd) (el porcentaje máximo en el que se descargará las batería).

Con base en los valores anteriores se procede a calcular la capacidad para posteriormente obtener el número de baterías necesarias para el sistema.

- Capacidad nominal Cn

$$Cn = \frac{En * N}{Voltaje CC} \text{ Ec. 26}$$

- Capacidad total Ct

$$Ct = \frac{Cn}{Pd} \text{ Ec. 27}$$



- Número de baterías

$$\text{Número total de baterías} = \frac{\text{Capacidad total}}{\text{Capacidad comercial}} \text{ Ec. 28}$$

1.1.5 Descripción de software

1.1.5.1 *Energy plus*

Es un programa de simulación de energía de edificaciones que los ingenieros, arquitectos e investigadores utilizan para modelar tanto el consumo de energía, como el uso del agua en los edificios. Algunas de las características y capacidades notables de EnergyPlus incluyen:

- La solución integrada y simultánea de las condiciones de la zona térmica y la respuesta del sistema HVAC no supone que el sistema HVAC pueda cumplir con las cargas de zona y puede simular espacios sin acondicionar y sin acondicionar.
- Solución basada en el equilibrio de calor de efectos radiantes y convectivos que producen temperaturas térmicas superficiales y cálculos de condensación.
- Pasos de tiempo sub-horarios, definibles por el usuario para la interacción entre las zonas térmicas y el medio ambiente; con pasos de tiempo variados automáticamente para interacciones entre zonas térmicas y sistemas HVAC. Estos permiten a EnergyPlus modelar sistemas con una dinámica rápida al tiempo que intercambia la velocidad de simulación por precisión.
- Modelo combinado de transferencia de calor y masa que considera el movimiento de aire entre las zonas.
- Cálculos de iluminancia y deslumbramiento para informar el confort visual y controlar los controles de iluminación.
- Resumen estándar e informes de resultados detallados, así como informes definibles por el usuario con resolución temporal seleccionable de anual a sub horas, todos con multiplicadores de fuentes de energía (ENERGY PLUS, 2017).



Este programa no cuenta con interfaz gráfica, es decir las salidas y entradas son solamente textos, es por ello que Energy plus interactúa con herramientas que le permitan reconocer la geometría de la edificación.

La interfaz utilizada para modelar la parte geométrica de la vivienda del presente estudio es un software multi-plataforma que se utiliza para apoyar la modelización energética de todo el edificio usando Energy plus y realizar análisis avanzados de la luz del día mediante radiación. Dicha interfaz utilizada dentro del proceso de modelación es conocida como Open Studio y se encuentra incluida como un plugin para el programa de dibujo Sketch Up, dicho plugin facilita la creación y edita la geometría de la edificación en los archivos de entrada Energy plus, además añade una serie de herramientas de gran uso para el diseño del edificio en 3-D y permite lanzar simulaciones en Energy plus sin dejar Sketch-UP. Este plugin es de mucha importancia ya que este sirve como puente entre el programa de dibujo y el motor de cálculo, además permite la importación o exportación de archivos a cualquiera de los programas mediante la extensión IDF (Lopez & Sarmiento, 2015).

La asociación de Energy plus con Sketch-Up mediante Open Studio permite de forma relativamente fácil modelar edificios para simularlos energéticamente. Sketch-Up se encarga de la parte “geométrica”, Open Studio de la modelización de sistemas y el cálculo y la visualización de resultados se realiza mediante Energy plus con sus utilidades. Al finalizar este proceso se pueden observar los resultados esperados a través de las utilidades de este software (Lopez & Sarmiento, 2015).

1.1.8.2. Sunny design web

Sunny Design es un software para planificar y configurar plantas fotovoltaicas y sistemas fotovoltaicos híbridos. Sunny Design genera una recomendación de diseño de la planta fotovoltaica o del sistema fotovoltaico híbrido que planifique. Para ello, Sunny Design le propone una combinación de uno o varios generadores fotovoltaicos e inversores que se aproxime a lo que desea, por ejemplo, en cuanto a clase de potencia, rendimiento energético y rentabilidad (SMA Solar technology AG, 2017).



Además, le permite determinar y optimizar su autoconsumo potencial y dimensionar cables, conocer la rentabilidad, así como configurar gensets para sistemas fotovoltaicos híbridos.

Con Sunny Design puede planificar diferentes casos de diseño con todos los inversores de SMA en forma de proyectos teniendo en cuenta las disposiciones legales y normativas actuales. En Sunny Design están disponibles estos tipos de proyectos:

- Proyecto fotovoltaico: para planificar una planta fotovoltaica
- Proyecto fotovoltaico con autoconsumo: para planificar una planta fotovoltaica con autoconsumo
- Proyecto fotovoltaico híbrido: para planificar una planta fotovoltaica con generadores Según el tipo de proyecto escogido, Sunny Design tiene estas funciones:

Tabla 1. Funciones de Sunny Design Web

Función	Proyecto Fovoltaiico	Proyecto Fovoltaiico con autoconsumo	Proyecto Fovoltaiico híbrido
Determinar y optimizar el autoconsumo		✓	
Determinar el posible ahorro de combustible y CO2			✓
Utilizar perfiles de carga predefinidos, importar datos de consumo propios, importar datos de consumo desde Sunny Porta, crear perfiles de carga propio		✓	✓
Configurar los gensets			✓
Dimensionar los cables	✓	✓	✓
Planificar la monitorización de la planta	✓	✓	✓
Analizar la rentabilidad	✓	✓	✓
Introducir los precios de módulos fotovoltaicos e inversores	✓	✓	✓
Almacenar como archivo PDF o imprimir la documentación del proyecto	✓	✓	✓

Fuente: (SMA Solar technology AG, 2017)



1.1.9. Programas institucionales

PROURE (Programa Nacional para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y para las Energías Renovables)

El PROURE establece sus principales líneas de acción a través del Plan de Acción Indicativo (PAI) 2010-2015, teniendo como objetivo “promover el uso racional y eficiente de la energía y demás formas de energía no convencionales, para contribuir a asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías renovables de manera sostenible con el ambiente y los recursos naturales” (PROURE 2010). En su apartado SR-4, el plan designa el desarrollo de un sub-programa de eficiencia energética enfocado a la vivienda social, que busca mejorar la calidad de vida de los habitantes mediante el uso materiales adecuados y térmicos, mejor iluminación y uso de electrodomésticos con eficiencia energética (Téllez, Villareal, Armenta, Ponsen, & Bremer, 2014).

El sub programa establece las siguientes líneas de acción: (a) El desarrollo de normatividad en eficiencia energética para vivienda y adoptar reglamentos de diseño, construcción y uso eficiente y sostenible de edificaciones. (b) Desarrollo de sistemas de arquitectura bioclimática para viviendas con conceptos de eficiencia energética, y energías renovables. c) Fortalecimiento de programas educativos y de investigación en sistemas de construcción, diseño arquitectónico, aprovechamiento y obtención de materiales, equipos eficientes y manejo de residuos y reciclaje. d) Capacitación a los usuarios de vivienda en temas de eficiencia energética. e) Desarrollo de proyectos piloto de eficiencia energética en viviendas, en el marco de proyectos urbanísticos y f) Creación de un programa de venta de energía eléctrica en prepago para viviendas de barrios de bajos recursos y sector rural (Téllez et al., 2014).

El PAI 2010-2015 tiene el objetivo de implementar el PROURE y a través del Proyecto de Eficiencia Energética en Edificaciones, enfoca algunas de sus líneas de acción hacia la



eliminación de las barreras institucionales para lograr el desarrollo e implementación del plan.

En relación al desarrollo de políticas públicas, el PAI revisa e impulsa algunas modalidades de servicios de eficiencia energética, incentiva la capacitación técnica especializada en diseño y construcción, promueve la transferencia de tecnología y el uso mecanismos financieros que faciliten el acceso y uso de créditos existentes (Téllez et al., 2014).

Macroproyectos de Interés Social Nacional (MISN)

Los MISN de segunda generación se desarrollan en el contexto del PND 2010-2014, que contempla el desarrollo de Vivienda y Ciudades Amables. Son promovidos por el Gobierno Nacional con el fin de aumentar la oferta de espacio urbanizable para el desarrollo de programas de vivienda social, especialmente en los territorios en donde existe un importante déficit habitacional. El MADS expidió la resolución no. 1968 de 2012, mediante la cual se establecen los términos de referencia para la elaboración de un Estudio Ambiental de Prefactibilidad de los MISN. Dichos términos de referencia permiten evaluar los MISN, para que las Corporaciones Autónomas Regionales emitan el pronunciamiento ambiental favorable de perfectibilidad (Téllez et al., 2014).

Políticas, Leyes, Decretos y Normas

La Ley de Promoción de la Eficiencia Energética y las Energías Renovables (Ley 697/2001) y su decreto reglamentario 3683 establecen la eficiencia energética como una prioridad nacional y establecen programas, políticas y directrices que forman el marco regulatorio para el diseño e implementación de medidas que promuevan el uso eficiente de la energía. Tal es el caso del Programa Nacional para el Uso Racional y Eficiente de la Energía y para las Energías Renovables (PROURE), que busca establecer parámetros de eficiencia energética para el diseño, construcción y uso eficiente de la energía en las viviendas.



El Proyecto de Ley 119 de 2012 (no aprobado aún) propone fijar los parámetros generales para otorgar beneficios tributarios y otro tipo de incentivos para fomentar construcciones ambientalmente sostenibles. Por ello, se autorizaría a las entidades territoriales la autoridad para exonerar del pago del impuesto predial y del impuesto de delineación urbana, construcción y complementarios, a aquellas construcciones ambientalmente sostenibles que acrediten el lleno de los requisitos enunciados en el proyecto de ley. Las exenciones serían otorgadas por términos renovables de un año.

En el año 2014, el Ministerio de Minas y Energía suscribió la ley 1715 de 2014 mediante la cual se reguló la integración de las energías renovables no convencionales al sistema energético nacional, incentivando así la inversión, la investigación y el desarrollo del sector. Esta ley incluye entre sus disposiciones: i) la autorización a los autogeneradores a pequeña y gran escala a entregar sus excedentes a la red de distribución y/o transporte; ii) la autorización del uso de sistemas de medición bidireccional y mecanismos simplificados de conexión y entrega de excedentes a los autogeneradores a pequeña escala y iii) la venta de energía por parte de generadores distribuidos, entre otros. Adicionalmente, promueve el desarrollo de proyectos basados en energías no convencionales mediante incentivos tributarios, arancelarios y contables. Estas disposiciones benefician en términos prácticos y financieros el desarrollo de este tipo de proyectos, que hasta el momento, no habían contado con el ambiente regulatorio propicio para su implementación. La Ley 1715 de 2014 constituye un gran avance en materia de sostenibilidad en el país, pues no solo promueve el uso eficiente de los recursos y la protección del medio ambiente, sino que también constituye una alternativa de solución e integración para las poblaciones que actualmente no gozan del servicio de energía eléctrica.

Al momento en el país no se han desarrollado normas técnicas de construcción sostenible, sin embargo, de acuerdo al Departamento Nacional de Planeación (DNP), algunos de los avances más relevantes en el desarrollo de políticas públicas para la construcción sostenible son:



- La constitución, en el año 2012, de la mesa de trabajo interinstitucional de construcción sostenible en la cual participan dependencias gubernamentales, no gubernamentales y universidades.
- Las iniciativas de la mesa interinstitucional actualmente en desarrollo son: desarrollo del Reglamento de Eficiencia Energética en Agua y Energía para edificaciones, Sello Ambiental Colombiano para Edificaciones Sostenibles, sellos para la Vivienda Sostenible, Guía Bioclimática de Urbanismo y Vivienda, perfil energético de edificaciones y estudio de emisiones de GEI en vivienda urbana (Téllez et al., 2014).

1.2. ANTECEDENTES Y ESTADO DEL ARTE

Luego del análisis de la información secundaria directamente relacionada con los métodos de sostenibilidad aplicados en viviendas, este es de considerarse como parte esencial para una adecuada comprensión e interpretación sobre la problemática que abarca el proyecto de investigación que se pretende llevar a cabo, para lo cual se requiere de la revisión bibliográfica concerniente a la problemática planteada y así como también a las soluciones dadas a las mismas. Es importante resaltar que para el desarrollo de este proyecto de investigación, a continuación se muestran avances e investigaciones que se desarrollaron a través de la historia así como también estudios que se han llevado a cabo a nivel internacional con aspectos particulares sobre la viabilidad de algunos métodos de sostenibilidad aplicados a viviendas, debido a que en el país son pocos los estudios realizados sobre los efectos que originan estos métodos que afectan directamente a la población y al medio ambiente. Del mismo modo, se realiza consulta de estudios a nivel local sobre la evaluación de viviendas sostenibles, en donde el objetivo fue monitorear las variaciones económicas que tenían como consecuencias las aplicaciones de dichos sistemas. Como primera iniciativa para la reducción de los consumos de agua y energía eléctrica de la vivienda, se debe empezar por la evaluación de los productos utilizados comúnmente en una casa y que son indispensables para mantener un buen ambiente e higiene habitacional. En ese orden de ideas México es uno de los países que utilizó este



mecanismo como estudios preliminares con el apoyo del INFONAVIT impulsando el plan de “hipoteca verde” con el objetivo de promover el uso de eco-tecnologías.

El plan “hipoteca verde” consiste en financiar la adquisición de un paquete fijo de eco-tecnologías que se tenía que elegir entre distintas opciones de paquetes de acuerdo a la zona climática . A partir del 2011 se aprobó un nuevo esquema, llamado programa Hipoteca Verde Flexible, que permite a los derechohabientes seleccionar las eco-tecnologías que mejor satisfacen sus necesidades a partir de una lista amplia aprobada por el INFONAVIT.

Con el paso del tiempo la organización logro estandarizar un catálogo de los pedidos de eco-tecnologías más usados y para los cuales brinda una financiación para los habitantes de las viviendas que deseen, siendo dicha institución la que paga directamente al constructor o a los distribuidores el costo adicional de las mismas, las cuales se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Eco-tecnologías actuales financiadas por el INFONAVIT.

Producto	Segmento	Detalles
Lámparas Fluorescentes y LED	Ahorro eléctrico	Cumplir con NOM-017-ENER/SCFI-2008 o NOM-017-ENER/SCFI-2012
Aire acondicionado de alta eficiencia	Ahorro eléctrico	Uno o dos equipos con capacidad de 1 o 1.5 Ton cumplir con NOM-023-ENER-2010
Recubrimientos reflectivos	Ahorro eléctrico	Reflectancia solar mayor al 80% en clima cálido y el 70% en clima templado
Inodoro	Ahorro de agua	Consumo máximo 5 litros por descarga certificación grado ecológico y NOM-009-CONAGUA 2001
Regadera Grado ecológico	Ahorro de agua	Certificadas según la norma NOM-008-CONAGUA-1998
Llaves con dispositivos de ahorro de agua en lavabos de baño	Ahorro de agua	Certificadas según la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999
Llaves con dispositivos de ahorro de agua en lavabos de cocina	Ahorro de agua	Certificadas según la norma NMX-C-414-ONNCCE-1999
Filtros de agua purificada	Ahorro en salud	Cumplir con la NOM-244-SSA1-2008
Calentadores solares de agua	Ahorro en gas	Cumplimiento con el dictamen técnico de Energía solar Térmica en vivienda

Fuente: (Castro Sagado, 2015)



Este estudio sirvió como referente a esta investigación dado que “Hipoteca Verde” es una iniciativa que fomenta el uso del eco tecnología que repercute en el cuidado del medio ambiente a un bajo costo.

Por otra parte en Sicilia (sur de Italia) se realizó un estudio que tuvo como objetivo analizar la fiabilidad de un sistema de recolección de aguas lluvia instalada para suministrar agua con el propósito de lavado de inodoro con referencia a una casa unifamiliar en una zona residencial. Se analizaron los datos históricos de consumo de agua para obtener un patrón de demanda de agua de lavado, luego se realizó una simulación del equilibrio hídrico del tanque de almacenamiento de agua de lluvia y se usó un algoritmo de rendimiento después del derrame para definir la regla de liberación del tanque. El rendimiento del modelo se evaluó utilizando datos de más de 100 sitios diferentes ubicados en todo el territorio siciliano.

Este análisis regional proporcionó resultados que tenían aplicaciones prácticas. La identificación del tamaño óptimo del tanque de agua de lluvia y las curvas anuales de fiabilidad del sistema en función de la precipitación anual media. De igual forma se evaluó la incertidumbre relacionada con las predicciones del modelo regional. Los resultados mostraron que los sistemas de recolección de aguas lluvias pueden proporcionar ventajas ambientales y económicas en Sicilia sobre los métodos tradicionales de suministro de agua. En particular, el análisis regional identificó áreas en las que la aplicación de este sistema sería más efectiva (Notaro, Liuzzo, & Freni, 2016).

En este mismo sentido en una zona residencial de Rengam (Malasia), se realizó un estudio para el desarrollo y planificación de un sistema de recolección de aguas lluvias a gran escala para una comunidad de 200 casas con un promedio de cuatro personas por casa y una demanda media total de agua diaria de 160 m³. Se encontró que el tanque de almacenamiento de tamaño óptimo para una superficie de techo de 20.000 m² es de 160 m³ con una fiabilidad del 60%. La aplicación de este modelo al estudio de caso reveló un ahorro significativo de agua hasta el 58%. El coste total para este sistema es de 443.861



USD durante una vida útil de 25 años. El análisis mostró que, el área del techo y la demanda de agua afectarán significativamente el tamaño del tanque de almacenamiento, y el ahorro de agua (Hashim, Hudzori, Yusop, & Ho, 2013).

Este modelo se puede aplicar tanto al sistema de pequeña escala como a los sistemas de recolección de agua de lluvia a gran escala. La implementación a gran escala de este sistema podría reducir la presión sobre los proyectos de recursos hídricos, cada vez más extensos, que surgen del continuo aumento de la demanda, proporcionando un suministro de agua relativamente limpio y confiable (Ibid, 2013).

Un estudio similar se llevó a cabo en cinco lugares de la región de Greater Sydney (Australia) cuyo objetivo fue comprender los impactos plausibles del cambio climático en los resultados (es decir, el ahorro de agua, la confiabilidad y la seguridad del agua) de un sistema residencial de recolección de agua de lluvia, basado en las futuras condiciones de lluvia proyectadas. Se desarrolló un modelo de balance de agua de simulación diaria continua basado en análisis de comportamiento y criterios de rendimiento después del derrame para simular los resultados de un sistema de recolección de agua de lluvia (Haque, Rahman, & Samali, 2016).

El análisis definitivo indicó que los resultados de un sistema de recolección de agua de lluvia se verán afectados negativamente debido a las condiciones del cambio climático en el futuro. Se encuentra que un tamaño de tanque dado en las ubicaciones seleccionadas no sería capaz de suministrar el volumen de agua previsto en condiciones climáticas cambiantes en el futuro. El ahorro de agua va a ser reducido de un sistema de recolección de agua de lluvia en el futuro (por ejemplo, una reducción del 2% - 14% para un tanque de 3 m³ para la demanda de agua en interiores). Además, es probable que el número de días en un año para satisfacer la demanda de agua por un sistema de recolección de agua de lluvia (es decir, confiabilidad) sea reducido (por ejemplo, una reducción del 3% -16% para el tanque de 3 m³ para la demanda de agua en interiores). Además, el porcentaje de días en



que un tanque de agua de lluvia permanecería completamente vacío probablemente aumentará en el futuro (por ejemplo, 12% en las condiciones climáticas futuras en comparación con el 8% en condiciones históricas para la demanda de agua en interiores). Además, se encuentra que el rendimiento de un sistema de recolección de agua de lluvia será más afectado en la estación seca que la estación húmeda. Los hallazgos del estudio ayudarán a las autoridades competentes, así como a los propietarios de viviendas a mejorar su comprensión del impacto del cambio climático en el sistema de extracción de agua de lluvia residencial y les ayudará a seleccionar el tamaño apropiado del tanque de agua de lluvia en el contexto del cambio climático (Ibid, 2016).

En Santiago, Chile se realizó una experimentación basada en el funcionamiento y desempeño de los tejados verdes en regiones áridas y semiáridas para lo cual se construyeron módulos de 114 m² y se monitorearon durante un año. La instalación consistió en 11 módulos diferentes, evaluando tres profundidades de sustrato (5 cm, 10 cm y 20 cm) y cuatro sistemas de drenajes diferentes y se instrumentaron para medir la temperatura del aire, precipitación y el contenido de agua del sustrato (Reyes et al., 2016).

Los resultados mostraron que la profundidad del sustrato controla la amplitud en la temperatura del sustrato. Los módulos de 10 cm y 20 cm de profundidad mostraron un efecto de amortiguamiento significativo sobre la temperatura del sustrato. Además, los módulos de 10 cm y 20 cm de profundidad mostraron temperaturas máximas diarias de hasta 13 °C por debajo de la temperatura del aire, por el contrario, los módulos de 5 cm de profundidad aumentaron la amplitud de la temperatura del sustrato, alcanzando en promedio 13,8 °C más que la temperatura máxima diaria del aire en primavera y 2,6 °C menos que la temperatura mínima diaria del aire en verano. Los módulos de 10 cm y 20 cm de profundidad proporcionaron un contenido de agua de sustrato estable y adecuado durante todo el período de estudio, mientras que los techos verdes de 5 cm de profundidad fueron más afectados por la demanda atmosférica. En la **Tabla 3** se observa la temperatura media y las diferencias de temperatura respecto a las estaciones del año y la profundidad de



cada sustrato. La temperatura del sustrato se midió a la mitad de la profundidad del sustrato.

Tabla 3. Temperatura media estacional, oscilación térmica media y temperaturas máximas en aire y sustrato en módulos de techo verde.

		Green roof modules									Air
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
		Substrate depth (cm)									
		5	5	5	10	10	10	10	10	20	
		Temperature °C									
Summer (January-March)	Mean	22.1	21.0	21.1	22.0	20.8	22.2	22.1	21.2	20.7	22.5
	Mean oscillation	24.7	23.4	18.3	10.3	6.4	6.4	9.7	7.2	2.0	15.7
	Maximum instantaneous	48.3	45.7	41.0	35.3	29.3	29.9	39.2	29.6	25.2	34.9
Autumn (April-June)	Mean	12.9	12.0	12.1	12.8	12.1	13.2	12.8	11.6	12.9	13.3
	Mean oscillation	16.0	15.0	9.5	5.2	3.4	4.3	5.5	4.6	1.5	14.2
	Maximum instantaneous	34.6	31.6	26.7	24.7	21.7	24.3	25.8	23.1	19.2	34.7
Winter (July-September)	Mean	11.2	10.6	11.0	11.7	11.6	12.3	11.9	12.5	12.5	10.6
	Mean oscillation	13.7	13.8	9.1	4.5	3.1	3.9	4.6	4.1	1.5	12.3
	Maximum instantaneous	31.2	29.3	25.4	23.1	22.1	23.2	24.0	24.3	20.5	31.0
Spring (October-December)	Mean	22.7	21.4	21.5	23.5	22.0	23.0	23.3	23.0	22.5	18.2
	Mean oscillation	30.3	31.0	26.8	13.4	9.3	9.7	12.3	8.7	4.0	15.0
	Maximum instantaneous	54.0	53.0	53.5	38.4	34.5	33.3	38.8	34.5	29.6	34.0

Fuente: (Reyes et al., 2016)

Aunque sus limitaciones fueron parcialmente superadas por el aumento de las tasas de riego o la adición de un tejido de retención para mejorar la capacidad de retención de agua del sustrato, los techos de 5 cm de profundidad verde experimentaron amplitudes térmicas diarias más allá del valor recomendado para el desarrollo de la planta como se muestra en la **Figura 6**. Los diseños de profundidad de 5 cm exhibieron una oscilación térmica diaria más alta que el aire mientras que los módulos de 10 cm y 20 cm de profundidad presentaron una oscilación térmica reducida. En consecuencia, es improbable que los tejados verdes extensos (o delgados menos de 10 cm de medio de cultivo) sean recomendados en climas áridos o semiáridos (Reyes et al., 2016).

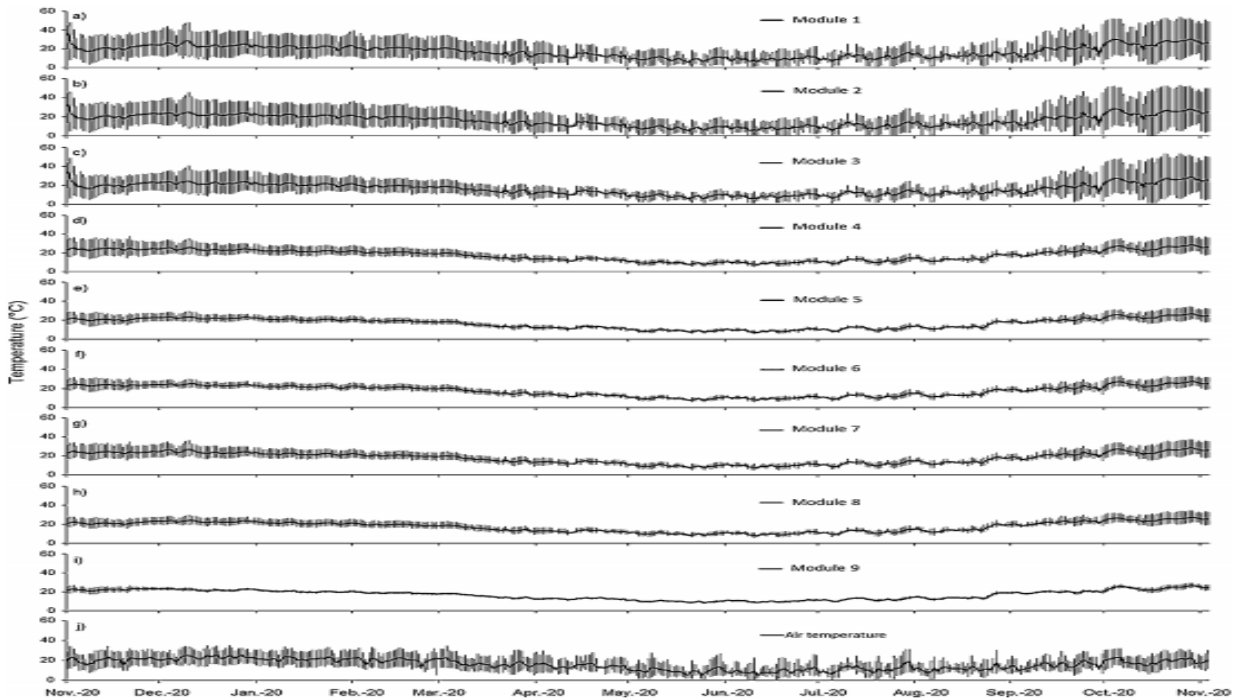


Figura 6. La oscilación térmica diaria y la temperatura media en diferentes módulos de techo verde con profundidades de sustrato de 5 cm (a, b, c), 10 cm (d, e, f, g, h) y 20 (i) (J).f

Fuente: (Reyes et al., 2016)

En la ciudad de Bogotá se realizó un análisis de área total intervenida, se determinó que Según el cálculo de reducción de PM-10 (pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo y cenizas) y CO₂, por cada hectárea que se siembra de árboles y elementos verdes, hay una reducción de cuatro toneladas de contaminante. Esto significa que con la implementación de los diferentes elementos vegetales en la zona, y logrando intervenir cerca de 20.000 m² (2 hectáreas), se logra reducir hasta toneladas la concentración de PM-10 y CO₂. También se logra disminuir hasta 50 dB (decibel) el nivel auditivo en la zona. Esto lleva a concluir que la implementación del proyecto es positiva y puede ser utilizado como una solución para reducir las concentraciones de contaminación acústica y atmosférica en la zona (Duarte Ayala & Moreno Rubiano, 2014).



Por su parte en Santa Rosa de Viterbo, Boyacá se llegó a la conclusión que los costos de instalar una cubierta verde y su mantenimiento anual son superiores a los de una cubierta convencionales, pero dado que una vez entra en funcionamiento, su inversión inicial puede retribuirse con el ahorro de agua, energía eléctrica y en calefacción. Desde el punto de vista del autor las cubiertas verdes estudiadas se aconsejan para grandes superficies, en especial para zonas de apartamentos y de instituciones o grandes empresas pues su alto costo de instalación y mantenimiento puede resultar una desventaja para que una persona del común adopte este tipo de alternativas (Albarracín & Arévalo, 2016).

A nivel local en la ciudad de Cartagena se realizó un estudio que tuvo como objetivo evaluar el efecto térmico al interior de una edificación y de volúmenes de escorrentía en Cartagena de Indias por medio de estudios a escala piloto, a través de la identificación y selección de especies nativas aptas para ser integradas al sistema y el análisis de parámetros hidráulicos y térmicos de tres plantas piloto de 1 m² cada una, construidas siguiendo los manuales y guías para su diseño, y ubicadas en la azotea del edificio de laboratorios del Campus Piedra de Bolívar de la Universidad de Cartagena, y correspondientes a dos de Techo Verde, conformadas por vegetación de Duranta (Duranta Golden) y Verdolaga (Portulaca Oleracea) y una cubierta de concreto convencional, operadas entre 21 de octubre y 20 de Noviembre de 2015 bajo la influencia de las condiciones ambientales de la zona.

Con base en los análisis de cada uno de los parámetros a escala piloto se concluyó que la disminución de temperatura ambiente bajo los Techos Verdes conformados por Verdolaga fue 1,64°C menor a la del ambiente y 3,14°C a la cubierta de concreto y de Duranta 1,69°C y 3,20°C, sin embargo, no fue posible determinar la retención y disminución de escorrentía generados por el sistema debido a las condiciones de sequía influenciadas por el Fenómeno del Niño, aunque se obtuvieron datos parciales de su capacidad de retención, que permite determinar que puede ser superior a 20 mm de precipitación. De acuerdo con los datos obtenidos, bajo las condiciones climatológicas de Cartagena de Indias, los Techos Verdes son una opción viable para la disminución



del consumo de energía eléctrica al interior de edificaciones y aunque no fue determinado completamente su efecto sobre los volúmenes de escorrentía, exhibieron mayor tasa de retención que las cubiertas de concreto (De Pombo & Gonzales, 2016).

Por último de forma general para llegar a un consenso, se realizó un estudio en la ciudad de Medellín, sobre la importancia de las cubiertas verdes en el ámbito internacional y nacional como aporte al medio ambiente, también trata de discernir en la justificación sobre la importancia que debería tener en su utilización y realiza una breve evaluación de la forma como se está utilizando en el medio local. Para esto se buscó estudiar algunas edificaciones que aplicaran este sistema en la ciudad. Se concluyó que las cubiertas verdes como sistema constructivo ha venido en aumento en la mayoría de los países industrializados por las ventajas que aporta al medio ambiente desde la acústica, disminución de ola de calor, térmicas, estética urbana, confort climático, microclimas urbanos, entre otras ventajas.

Como sistema constructivo no se encontró ninguna brecha lo suficiente grande como para pensar que su desarrollo es excesivamente costoso, ya que en ningún caso se tendría que importar algún material para su ejecución. Al contrario en el medio local se encuentran todas las herramientas, mano de obra y materiales para su construcción. En cuanto al tipo de cubierta que se podría aplicar en el medio local sea intensiva o extensiva tampoco se encuentra ninguna objeción y como se mencionó anteriormente, las condiciones climáticas permiten cualquiera de los dos sistemas estudiados que se utilizan a nivel mundial (Hoyos Giraldo, Acevedo, & Alvarez, 2015).

Revisando el estado del arte se encontró que a nivel local las cubiertas verdes dependen de las condiciones climáticas en donde se vayan a instalar, ya que Colombia es un país de regiones, multicultural y con cambios climáticos muy diferentes en cada una de sus departamentos. Actualmente en Colombia se evidenciaron cuatro tipos de formas de instalar este sistema de cubierta verdes; instalación multicapa, monolítico, Sistema de



instalación tipo receptáculo o modular, Sistema de instalación tipo monocapa (presebrados) y Sistema de instalación aeropónicos (Barragán, 2016).

De este modo, en forma general e integrando distintas técnicas sostenibles, mediante el proceso de investigación y el trabajo de campo, en el Alto Magdalena (Colombia), se diseñó un prototipo, con la aplicación de un sistema integrado de paneles solares como generadores de energía, planta de aguas grises con aprovechamiento de aguas lluvias, techos verdes con riego por goteo procedente de la planta de antes mencionada y circuito hidráulico automatizado. Todo ello consolida una idea viable desde los puntos de vista ecológico y económico, en comparación con los sistemas convencionales.

En este prototipo los techos verdes constituyen una alternativa de piel de la cubierta que coadyuva con el clima al interior de la vivienda, disminuyendo la temperatura en un intervalo de 3 a 6 °C y apocando los costos adicionales en el recibo de la energía asociados al uso de ventiladores o aires acondicionados.

Analizando la parte económica del proceso se determina que la elaboración del proyecto es económicamente viable ya que mediante una pequeña inversión se obtienen beneficios ecológicos para generaciones del mañana y a su vez se genera un ahorro económico para los habitantes del hogar, lo que, proyectando la mirada hacia el futuro, valoriza significativamente el predio (Barragán, 2016).



2. OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la implementación de alternativas de sostenibilidad en viviendas de interés social urbana en la ciudad de Cartagena a partir del análisis de la viabilidad técnica, teniendo en cuenta las características de la zona de estudio y económica, mediante un balance de la inversión inicial y la recuperación de la misma, con el fin de proponer diseños de viviendas con menor consumo energético y de agua comparado con diseños convencionales.

2.2.OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los criterios conceptuales de prediseño de la vivienda de interés social en la ciudad de Cartagena.
- Determinar los criterios de diseño de los sistemas de muros y cubiertas verdes, paneles solares y recolección de aguas lluvias a evaluar en la vivienda de interés social.
- Determinar el potencial de ahorro de agua y energía evaluando los sistemas de muros y cubiertas verdes, paneles solares y recolección de aguas lluvias en la VIS.



3. ALCANCE DE LA INVESTIGACION

Para la realización de la investigación se tomó como punto de referencia la ciudad de Cartagena y más específicamente la zona sur donde se encuentran gran variedad de proyectos de viviendas de interés social; los estudios pertinentes se realizaron en Ciudad Bicentenario $10^{\circ}25'26.43''$ N $75^{\circ}26'52.87''$ O; megaproyecto de vivienda social en Cartagena, con inversión de aproximadamente \$1 billón. La obra es producto de una alianza entre la Alcaldía de Cartagena, el Ministerio de Vivienda, la Fundación Mario Santo Domingo, el Sena y la Universidad Tecnológica de Bolívar, tendrá 25 mil viviendas.



Figura 7. Localización de la zona de estudio

Fuente: Google Earth, 2016

Los estudios pertinentes se llevaron a cabo a partir del segundo semestre del año 2017. Se desarrollaron actividades tales como reconocimiento de la zona de estudio, recolección de datos de primera mano para conocer el monto a pagar en los servicios de energía y agua, y la conformidad de los habitantes mediante encuestas.

En cuanto a las limitaciones para la obtención de la información primaria que se presentaron para el desarrollo de este proyecto de investigación, la principal fue de seguridad teniendo en cuenta la zona del proyecto y económica teniendo en cuenta que



deben realizarse estudios en la zona por lo cual se requirió de la inversión de recursos económicos, tales como: salidas de campo, asesorías, entre otros.

El análisis de las tecnologías de recolección de aguas lluvias para su reutilización en distintas actividades, la implementación de muros verdes y técnicas para la eficiencia energética como la utilización de paneles solares, se analizaron las distintas variables dependientes como son el costo económico, el confort, y las variables independientes como son la oferta demanda de agua y energía, temperatura, área de captación, coeficiente de escorrentía de la cubierta, precipitación promedio, tipo de vegetación, y otras asociadas a las características físicas de la vivienda como son medidas de la vivienda y tipo de material de la cubierta.

De esta investigación se espera obtener la viabilidad técnica y económica que tiene implementar los sistemas, haciendo una relación o incidencia generada de cada variable a estudiar sobre un proyecto de VIS correspondientes a las zonas con temperaturas relativamente altas, superiores a los 28°C. Sin embargo podría darse que los procesos en conjuntos no sean una solución óptima para la mitigación de lo anteriormente mencionado y que por separado si lo sean o que se dé el caso que definitivamente uno de los mecanismo no es apropiado para implementarlo en este tipo de viviendas. Es por esto que se pretenden dar las respectivas recomendaciones a tener en cuenta para conservar la estabilidad.

Es pertinente aclarar que este proyecto no es de carácter experimental, puesto que no se realizaron pruebas controladas para entender los procesos causales de lo que se busca probar, es decir, no se manipularan intencionalmente las variables independientes para determinar su efecto sobre una variable dependiente. Por su parte esta investigación buscó observar los fenómenos tal y como se dan en su contexto, se observan situaciones ya existentes, no provocadas por el investigador para después ser analizadas, por consiguiente, se probaron las relaciones entre variables sin controlar ni manipular las condiciones. Se recolectaran datos en un solo momento, el tiempo único con el propósito de describir



variables y analizar su incidencia e interrelación en un momento dado con unos criterios ya establecidos.

Este estudio tiene como objetivo conocer los efectos que provoca la inclusión de los mencionados mecanismo de sostenibilidad (recolección de aguas lluvias, muros verdes y técnicas de eficiencia energética) en la mitigación de los problemas ambientales de la ciudad de Cartagena y los socioeconómicos que presenta la población a estudiar, realizar una serie de recomendaciones para garantizar estabilidad en dichos mecanismos, además de servir para futuras investigaciones similares o acerca de cualquier tipo de monitoreo en viviendas de interés social ya sean locales, nacionales o internacionales.

Es importante resalta que la investigación no busca obtener un modelo macro que incluya todas las variables, no busca como resultado entregar unos lineamientos definitivos ni tampoco aplicables en todas las situaciones.



4. METODOLOGÍA

El tipo de investigación realizado corresponde a un estudio transeccional con un alcance propositivo, teniendo en cuenta que al obtener resultados con respecto a la viabilidad técnica y económica de las alternativas de sostenibilidad evaluadas en el estudio, se comparó con los costos generados por los servicios públicos (agua y energía) y las características de las VIS en la zona de estudio antes de aplicarse dichas alternativas, y con base en ello se determinó que porcentaje de ahorro se produjo en dichos servicios públicos y si estas alternativas son técnicamente viables en este tipo de viviendas, para de esta manera, brindar una visión integral de los métodos constructivos amigables al ambiente con los que se podrían ejecutar los proyectos habitacionales VIS en la ciudad de Cartagena.

El proyecto tiene un enfoque mixto, debido a que se compone de dos etapas, la primera cualitativa, en la que se describirán las alternativas que se estudiarán y el estado actual de los proyectos de VIS en la ciudad de Cartagena apoyados en la información comprendida sujeta al eje investigativo, así como también se realizaron encuestas que nos permitieron evaluar si las familias que están instaladas en estas VIS se encuentran conformes con el monto económico que se está pagando para adquirir sus servicios públicos y si se sienten cómodos (confort) en las instalaciones, y como segunda etapa una investigación cuantitativa, en la cual se obtuvo la viabilidad técnica y económica de las alternativas que se evaluaron mediante modelos matemáticos y simulaciones.

Como en toda investigación se hizo indispensable la búsqueda de la bibliografía, en este caso estuvo basada en las diversas alternativas de sostenibilidad utilizadas para disminuir el consumo energético y de agua en las viviendas e identificar los factores a considerar para la selección de estas, los cuales son: ambiental, técnico, socio-cultural y económico. También se hizo necesaria la revisión bibliográfica de antecedentes, estado del arte y trabajos realizados, esto se llevó a cabo a través de la búsqueda minuciosa en base de datos, web, libros y noticias, con el fin de identificar los aspectos adaptables a la investigación, todo lo anterior utilizando la técnica de palabra claves.



Con base en lo anterior, se seleccionaron las alternativas que son acordes a las características climatológicas y socio-económicas de la ciudad de Cartagena, por lo tanto se evaluaron los siguientes sistemas:

- Sistema de recolección de aguas lluvias por el patrón de pluviosidad en la zona, dado que se utilizarían las mismas como beneficio económico y entendiendo que es un recurso no renovable, su reutilización contribuiría con el medio ambiente.
- Sistema de paneles solares entendiendo que el uso de la energía solar ahorraría el consumo de energía eléctrica y disminuiría la probabilidad de riesgos eléctricos en la vivienda
- Sistema de cubiertas y/o muros verdes dado que reduce las temperaturas al interior de la vivienda logrando un clima muchos más confortable para quienes habitan en la misma

Para alcanzar los objetivos previstos en este proyecto, la metodología se constituyó por fases como se representa en la *Figura 8*, a continuación:

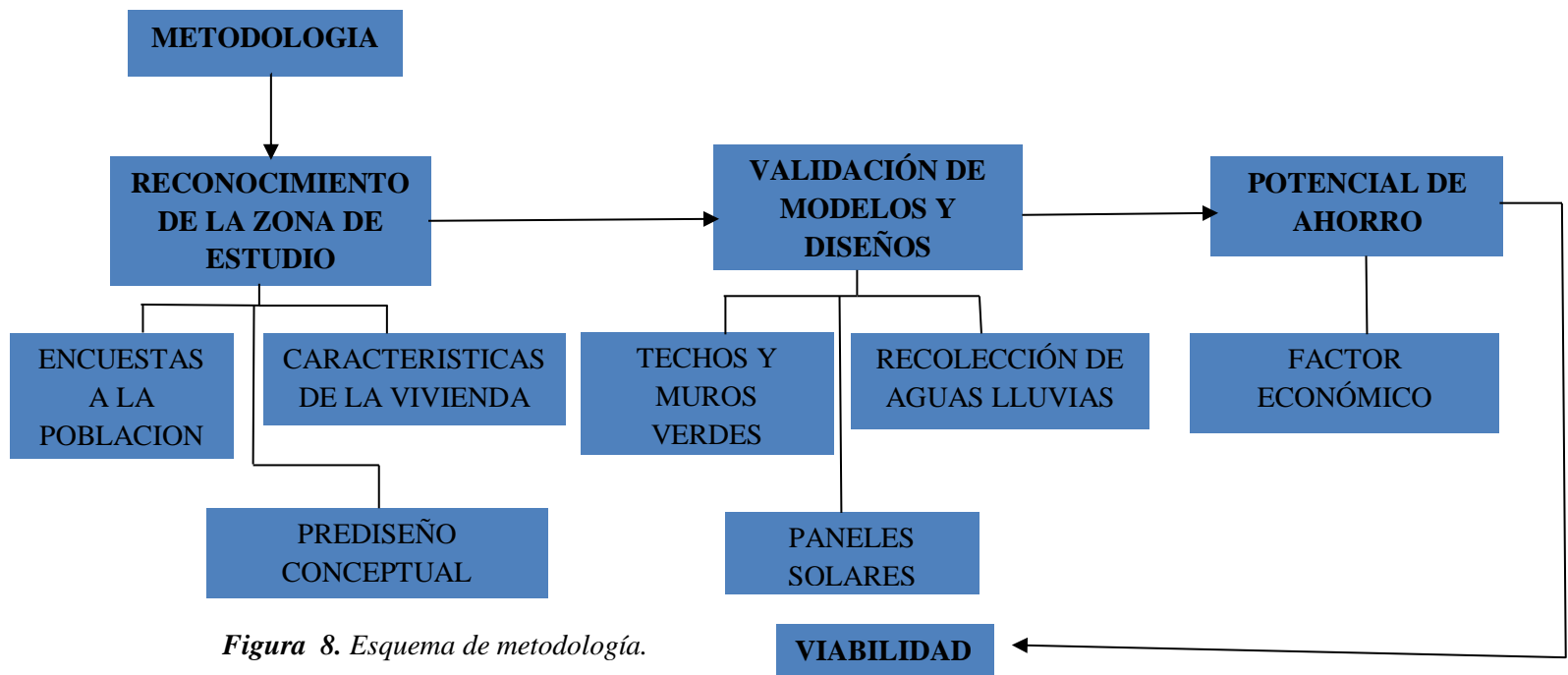


Figura 8. Esquema de metodología.



4.1. RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

En esta etapa se desarrollaron dos fases, las cuales comprenden la realización de encuestas para caracterizar la población y visitas de campo para reconocer las características físicas de la vivienda y de su entorno, con el ánimo de establecer un diagnóstico inicial de las características y necesidades de las viviendas de interés social y proponer opciones de mejora en el desarrollo de la propuesta de investigación.

Para la caracterización de la población y la recopilación de datos primarios se implementó como estrategia la realización de un formato de encuesta de tipo mixta para la cual se tomara una muestra representativa de la población que habita la zona de estudio, en la primera parte se realizarán preguntas que permitan caracterizar la población y en la segunda parte se harán preguntas enfocadas al confort habitacional y la percepción de la calidad de los servicios que manejan en relación a su costo **ver anexo 1**.

Se realizó un recorrido en el sector que abarca este estudio, el cual lleva por nombre Ciudad Bicentenario en la zona sur de la ciudad de Cartagena, con las coordenadas 10°25'26.43" N 75°26'52.87" O, por ser un megaproyecto de vivienda social, con el fin de inspeccionar y reconocer las generalidades de la zona, que permitieron obtener datos de primera mano para facilitar el análisis de las variables independientes tales como área de captación y entre otras asociadas a las características físicas, como son medidas de la vivienda y tipo de material de la cubierta.

4.1.1. Encuestas a la población

Se tomó una muestra representativa de las familias que habita la zona de estudio, con la información facilitada por el Director de obra el Ingeniero Edelberto Taron sobre el número de viviendas construidas hasta el mes de septiembre del 2017 con un total de 242, número total de viviendas entregadas hasta el mes de septiembre del año 2017 con un total de 134, de las cuales solo 64 de ellas se encontraban habitadas para los días 25 y 28 de septiembre del 2017 en el cual se realizó la encuesta, de estos datos se estimó una muestra que



garantizó la exactitud de los resultados de la encuesta, con base en la siguiente ecuación de muestreo:

$$n = \frac{Z^2 \delta^2 N}{e^2(N-1) + \delta^2 Z^2} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde,

n = es el tamaño de la muestra poblacional a obtener.

N = es el tamaño de la población total.

δ = es desviación estándar de la población. En caso de desconocer este dato es común utilizar un valor constate que equivale a 0.5.

Z = es el valor obtenido mediante niveles de confianza. Su valor es una constante, por lo general se tienen dos valores dependiendo el grado de confianza que se desee siendo 99% el valor más alto (este valor equivale a 2.58) y 95% (1.96) el valor mínimo aceptado el cual será tomado para esta investigación para considerar la investigación como confiable.

e = representa el límite aceptable de error muestral, generalmente va del 1% (0.01) al 9% (0.09), siendo 5% (0.05) el valor estándar el cual usaremos para la investigación.

Una vez establecido los valores adecuados, se procede a realizar la sustitución de los valores y aplicación de la fórmula para obtener el tamaño de la muestra poblacional correspondiente al universo finito determinado.

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5^2 * 64}{0.05^2(64 - 1) + 0.5^2 * 1.96^2}$$

$$n = 54$$

Ya realizado el proceso matemático se obtuvieron 54 viviendas como muestra, la cual como se mencionó al principio, ayudó a realizar una investigación válida y completa.



En la primera parte se realizaron preguntas que permitieron caracterizar la población como el nivel educativo, las fuentes de ingreso, número de personas por vivienda, entre otras y en la segunda parte se hicieron preguntas enfocadas al confort habitacional y la percepción de la calidad de los servicios de agua y energía en relación a su costo, entre otros aspectos. El formato de la encuesta realizada a la comunidad se encuentra en el anexo 1.

4.1.2. Características de la vivienda

En estas visitas realizadas los días 06, 11 y 19 de septiembre del año 2017 , donde se definió que la población tomada para el estudio es la manzana 71 de Ciudad Bicentenario, dicha manzana se construyó bajo la dirección del Ingeniero Civil Edelberto Taron, el cual nos suministró información relacionada con la obra, como el número total de viviendas construidas, el número de viviendas habitadas a la fecha, planos del proyecto, tipos de materiales utilizados y el factor económico de este proyecto, también se pudo evidenciar características fundamentales que sirvieron de apoyo para la realización del prediseño conceptual adecuado para la construcción de viviendas de interés social (VIS) de carácter sostenible.

En las visitas, Se realizó un recorrido por la zona urbanística, donde se abarco la parte ya construida y la que se encuentra en proceso de construcción, mediante el cual se pudo evidenciar las características de las viviendas y los datos que anteriormente habían sido suministrados por el ingeniero tanto en la charla informativa en la cual se dio una breve introducción como también en los planos que se nos facilitó, cada uno de estos datos, como son el tipo de materiales usados para la construcción de dichas viviendas, la orientación, el número de niveles de las viviendas, el área de las viviendas, número de habitaciones, número de baños, también se analizó el sentido del viento con respecto a la vivienda, el tipo de cubierta, entre otros.



Figura 9. Recorrido por la zona de estudio.

Fuente: Autores

Todos estos factores se analizaron para comprobar si están siendo de provecho o aportando satisfactoriamente para que la vivienda pueda tener un grado de sostenibilidad mínimo.



Figura 10. Encuestas a la población.

Fuente: Autores



Figura 11 Encuestas a la población.

Fuente: Autores



Figura 12 Encuestas a la población.

Fuente: Autores

4.1.2. Prediseño conceptual

En este apartado, basados en la información que se obtuvo de las características de la vivienda, se evaluaron cuáles y como están afectado cada una de ellas al confort habitacional y en miras a la sostenibilidad de dichas viviendas teniendo en cuenta las características termodinámicas de los materiales que presentan un coeficiente de conductividad que permiten el paso del calor a interiores o si por el contrario su coeficiente le permite actuar como material aislante, la orientación de la vivienda con respecto al sol y la orientación de la vivienda con respecto al viento.



4.2 VALIDACION DE MODELOS Y DISEÑOS

Para la evaluación del comportamiento de la VIS con las distintas alternativas de sostenibilidad, se aplicaron modelos simplificados basados en evaluar el ahorro en el consumo de los servicios energéticos y de agua.

El modelo se validó mediante una simulación de las condiciones que brinda la ciudad de Cartagena y los datos complementarios que son necesarios para cada modelo.

Para el análisis de la variables independientes, como la temperatura promedio al interior de la vivienda se aplicó un modelo de la vivienda evaluada en el motor de cálculo energético Energyplus el cual por medio de una simulación arrojó las temperaturas internas en la vivienda, la precipitación promedio mensual se tomó los datos obtenidos por el IDEAM, el coeficiente de escorrentía se determinó posterior al reconocimiento de la zona puesto que esta variable ya está definida en relación al tipo de material de la cubierta y para el tipo de vegetación se tendrá en cuenta el tipo de flora que prolifera en la ciudad de Cartagena, además que cumplan con los requisitos de uso en cubiertas y muros como pueden ser tipo de raíz y altura, por último se tomaron como referencia estudios ya realizados en Cartagena sobre el tema en cuestión como por ejemplo una evaluación del efecto térmico producido por una planta piloto de techo verde (De Pombo & Gonzales, 2016).

Posteriormente se redactó un oficio dirigido a las empresas prestadoras de servicio de agua y energía en la ciudad de Cartagena Acuacar y Electricaribe respectivamente, en el cual se solicitó datos de consumo promedio de dichos servicios en Ciudad Bicentenario con el aval de la dirección del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Cartagena a cargo de la Ingeniera Mónica Eljaiek Urzola.

4.2.1. Sistema de recolección de aguas lluvias

El sistema de recolección de aguas lluvia se modeló con las ecuaciones planteadas en el marco teórico, para este sistema se calculó el volumen requerido del tanque de almacenamiento, para ello primero se debe tener en cuenta los datos complementarios como lo son el número de usuarios, el área de captación, el tipo de material del área de



captación y el promedio de precipitación de los últimos 10 o 15 años, para este caso se tomó como referencia los estudios realizados por el IDEAM.

Con base en lo anterior se procedió a obtener las distintas variables que inciden en el volumen del tanque, primero se obtiene la demanda de agua mensual a partir de la dotación asumida por persona, el número de personas y el número de días del mes, ($D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$

Ec. 2); luego se obtuvo la cantidad de agua captada por el techo a partir de la precipitación promedio mensual, el coeficiente de escorrentía, que depende del material del techo, y el área del techo ($A_i = \frac{Pp_i * Ce * Ac}{1000}$ **Ec. 3**); posteriormente se calculó la oferta y demanda

acumulada mes a mes ($Aa_i = Aa_{(i-1)} + \frac{Pp_i * Ce * AC}{1000}$ **Ec. 4**) y ($Da_i = Da_{(i-1)} + \frac{Nu * Nd_i * Dd_i}{1000}$

Ec. 5), la mayor diferencia entre estos valores corresponderá al volumen del tanque requerido para el almacenamiento de agua lluvia y el potencial de ahorro está dado por la ecuación($\frac{A_i}{D_i} * 100$ **Ec. 6**).

Por último se realizó el presupuesto de este sistema para conocer la inversión inicial y el costo de operación.

4.2.2. Paneles solares

Para el caso de los paneles solares se debe partir de los datos de consumo de energía que se obtuvieron en la fase anterior, para así determinar qué tipo de panel solar se debe utilizar para suplir la demanda de energía. Se debe tener en cuenta la limitación espacial, la localización de la vivienda, la eficiencia del sistema y la gestión energética del mismo, las ventajas e inconvenientes de las instalaciones fotovoltaicas en las residencias en tres aspectos, el ahorro energético propiamente dicho, las mejoras medioambientales proporcionadas y las ventajas desde el punto de vista habitacional.

Para obtener las especificaciones técnicas requeridas por los paneles solares a utilizar bajo las condiciones presentes en las unidades habitacionales del caso de estudio, se solicitó la información pertinente a la empresa Servicios de Ingeniería y Soluciones Integrales



(SEISO) y la asesoría del ingeniero Juan Manuel Baquero (Gerente), se le solicitó el costo total de instalación, la frecuencia y costo de mantenimiento y porcentaje de ahorro.



Figura 13 Reunión con el Ingeniero Juan Baquero.

Fuente: Autores.

Para ello el ingeniero Baquero solicitó una información de primera mano, para conocer el comportamiento que tiene la población en relación con el servicio de energía. En reunión con el ingeniero se decidió recolectar dicha información mediante una nueva encuesta realizada los días 8 y 14 de febrero del año 2018, donde se pretendía saber los electrodomésticos que usualmente se maneja en estos estratos y en particular en la población de estudio y la frecuencia horaria con que se usan estos, el formato de dicha encuesta se puede observar en el **Anexo 6**. Además se le suministraron datos de consumo promedio obtenidos por medio de la empresa Electricaribe (**Anexo 5**).

La potencia pico se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Potencia\ pico = \frac{Consumo\ promedio\ diario}{Radiacion\ solar} \quad Ec. 30$$



El consumo promedio diario se obtuvo del producto de frecuencia de uso de los electrodomésticos y la potencia de los mismos de la población de estudio como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 4. Consumo promedio diario.

Electrodomésticos	Horas de uso por día	Potencia (W)	Factor de uso	Cantidad de equipos	Consumo por día (kWh)
Nevera (240 litros)	24	190	0.5	1	2.28
Lavadora Semiautomática	0.6	360	1	1	0.216
Abanico	10	60	1	3	1.8
T.V. (LCD 32")	4	180	1	1	0.72
Cargador de celular	2	5	1	2	0.02
Plancha	0.2	1000	1	1	0.2
Licuadaora	0.25	500	1	1	0.125
Equipo de sonido	1.14	300	1	1	0.342
Aire acondicionado	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Total	5.703
-------	-------

Fuente: Autores

Para la realización de los cálculos del sistema de paneles es necesario saber el valor de la Radiación solar que está dada en kW/m^2 , según el IDEAM en Cartagena este valor esta entre 5.0-5.5 para este caso se tomó 5.5 kW/m^2 .

Se evaluaron dos alternativas que ofrecen las instalaciones fotovoltaicas (Sistema de inyección a red y Sistema autónomo) para determinar cuál de estas es la que ofrece mejores condiciones para el caso de estudio.

El sistema fotovoltaico de inyección a red se diseñó mediante el software de planeación Sunny Design Web que pertenece a la empresa alemana SMA.

Primero el software permite escoger que tipo de proyecto se desea diseñar como se muestra en la **Figura 14**:

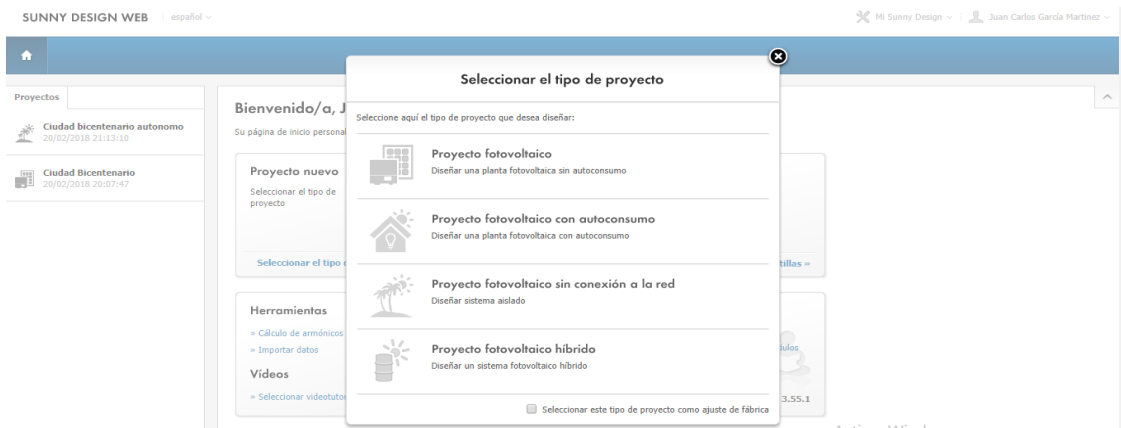


Figura 14. Selección de tipo de proyecto fotovoltaico.

Fuente: (SMA Solar technology AG, 2017)

Para este caso en particular se escogió el diseño de una planta fotovoltaica sin autoconsumo (sistema con inyección a red). Se diseñó el sistema con inyección a red mediante el siguiente procedimiento:

- I. Introducción de los datos del proyecto, en esta parte se suministraron los datos iniciales del proyecto los cuales son nombre del proyecto, ubicación del proyecto y nivel de tensión.



Figura 15. Introducción de datos del proyecto.

Fuente: (SMA Solar technology AG, 2017)

- II. Configuración de la planta fotovoltaica: en esta parte se determinó el número de módulos necesarios para suplir la potencia pico y el tipo de inversor necesario para la potencia requerida.



Figura 16. Configuración de planta.

Fuente: (SMA Solar technology AG, 2017)

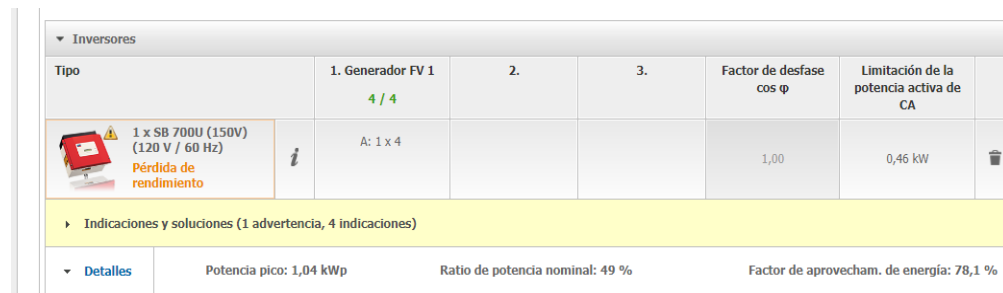


Figura 17. Selección de inversores.

Fuente: (SMA Solar technology AG, 2017)

III. Dimensionamiento del cableado, en este punto se dimensiona el cableado de corriente continua y corriente alterna, SMA recomienda en este punto que las pérdidas relativas de potencia sean menores al 1%.



Figura 18. Dimensionamiento del cableado.

Fuente: (SMA Solar technology AG, 2017)

IV. Por último el programa arroja una vista general del proyecto y a su vez una documentación correspondiente al procedimiento realizado en la que se evidencian los resultados obtenidos del diseño.

Se dimensionó sistema autónomo con la ayuda del ingeniero Juan Baquero mediante el siguiente procedimiento y las ecuaciones planteadas en el marco teórico:

Primero se necesitaron los siguientes datos:

- ✓ Consumo mensual del año inmediatamente anterior, dato suministrado por Electricaribe.
- ✓ Radiación horizontal para la zona de estudio, esta se obtiene ingresando las coordenadas de la zona de estudio (Latitud $10^{\circ}25'26.43''$ Longitud- $75^{\circ}26'52.87''$) en un portal de la NASA el cual arrojó este valor para cada mes.
- ✓ Angulo de inclinación del techo, se conoce el valor de la pendiente como se muestra en el anexo 2 el cual es 27 %, entonces el ángulo de inclinación del techo es igual al inverso tangente de la pendiente lo que corresponde a 15.11° .



Tabla 5. Datos iniciales para el dimensionamiento del sistema autónomo fotovoltaico

Mes	Radiación horizontal según la NASA (kwh/m2/Día)	Energía consumida (kWh)	Número de Días del mes
Enero	5.63	158	31
Febrero	5.7	149	28
Marzo	5.89	152	31
Abril	5.51	159	30
Mayo	5.08	160	31
Junio	5.24	153	30
Julio	5.42	156	31
Agosto	5.36	145	31
Septiembre	4.97	163	30
Octubre	4.68	157	31
Noviembre	4.72	161	30
Diciembre	5.04	164	31

Fuente: Autores con datos de Radiación de la NASA y Energía promedio consumida por vivienda según ELECTRICARIBE.

Con estos datos iniciales ahora se procede a obtener otros datos necesarios, como lo son la energía necesaria por día y el factor de energía.

$$\text{Energía Necesaria} = \frac{\text{Energía consumida}}{\text{Numero de días}} \text{ Ec. 31}$$

$$\text{Factor de energía} = \frac{\text{Radiacion segun la NASA}}{\text{Energía Necesaria}} \text{ Ec. 32}$$

Tabla 6. Consolidado de energía mes a mes.

Mes	Radiación (kWh/m2/día) Según la NASA	Energía consumida (kWh)	Número de Días del mes	Energía Necesaria (kWh/día)	Factor de energía
Enero	5.63	158	31	5.096774194	1.104620253
Febrero	5.7	149	28	5.321428571	1.07114094
Marzo	5.89	152	31	4.903225806	1.20125
Abril	5.51	159	30	5.3	1.039622642
Mayo	5.08	160	31	5.161290323	0.98425
Junio	5.24	153	30	5.1	1.02745098
Julio	5.42	156	31	5.032258065	1.077051282
Agosto	5.36	145	31	4.677419355	1.145931034
Septiembre	4.97	163	30	5.433333333	0.914723926
Octubre	4.68	157	31	5.064516129	0.924076433
Noviembre	4.72	161	30	5.366666667	0.879503106
Diciembre	5.04	164	31	5.290322581	0.952682927



De la **Tabla 6** se determinó que el mes con el menor rendimiento energético es el mes de noviembre puesto que es el que tiene el menor valor de factor de energía.

Luego se obtiene la energía real necesaria mediante la **Ecuación 7**:

$$En = \frac{\text{Energía del peor mes}}{\text{Factor de rendimiento}}$$

El Factor de rendimiento R está dado por la **Ecuación 8**:

$$Kb = 0.05$$

$$Kc = 0.2 \text{ inversor de onda senoidal}$$

$$Kv = 0.1$$

$$Ka = 0.005$$

$$R = 1 - \left((1 - 0.05 - 0.2 - 0.1) * 0.005 * \frac{2}{0.5} \right) - 0.05 - 0.2 - 0.1$$
$$R = 0.65$$

Reemplazando R en la **Ecuación 7** tenemos:

$$En = \frac{5366.66}{0.65} = 8256.41 \frac{Wh}{dia}$$
$$= \frac{5366.66}{0.65} = 8256.41 \frac{Wh}{dia}$$

Posteriormente se obtienen una lista de valores los cuales están relacionados con la energía que puede ser captada por los paneles en relación al sol, con el fin de determinar la radiación total sobre los paneles teniendo en cuenta que para este caso de estudio estarán ubicados sobre un plano inclinado.

- Declinación solar δ

Se determinó mediante la **Ecuación 9**



dn =319 se tomó 15 de noviembre, por ser noviembre el mes con el menor rendimiento energético reflejado en la **Tabla 6** con el menor valor de Factor de energía

$$\delta = 23.45 * \text{Sen} \left(360 * \frac{284 + 319}{365} \right) = -19.14^\circ$$

- Angulo de salida del sol u_s

Se determinó mediante la **Ecuación 10**

$$\Phi = 10.42^\circ$$

$$\delta = -19.14^\circ$$

$$u_s = -\arccos(-\text{Tan}(-19.14) * \text{Tan}(10.42)) = -86.34^\circ$$

- Angulo de salida del sol sobre un plano inclinado u_{ss}

Se determinó mediante la **Ecuación 11**

$$\Phi = \text{Latitud del lugar} = 10.42^\circ$$

$$\delta = \text{Declinacion solar} = -19.14$$

$$\beta = \text{Angulo de inclinación del techo} = 15.11^\circ$$

$$u_s = \text{Angulo de salida del sol} = -86.34^\circ$$

$$u_{ss} = -\arccos(-\text{Tan}(-19.14) * \text{Tan}(10.42 - 15.11)) = -91.63^\circ$$

$$u_{ss} = \text{Max}\{-86.34^\circ, -91.63^\circ\}$$

$$u_{ss} = -86.34^\circ$$

- Factor de excentricidad ϵ

Se determinó mediante la **Ecuación 12**

$$\epsilon = 1 + 0.033 * \cos(2\pi * \frac{319}{265}) = 1.0327$$



- Radiación sobre el plano horizontal $H_{d,m(0)}$

Se determinó mediante la **Ecuación 13**

T = Longitud del día 24h

I_0 = Constante solar (1367W/m²)

Φ = Latitud del lugar = 10.42°

δ = Declinacion solar = -19.14

uss = Angulo de salida del sol sobre un plano inclinado = -86.34

$$H_{d,m(0)} = \left(\frac{24}{\pi}\right) 1367 * 1.0327 * \left\{ -\left(\frac{\pi}{180}\right) * (-86.34 * \sin(10.42) * \sin(-19.14)) - (\cos(10.42) * \cos(-19.14) * \sin(-86.34)) \right\} = 9036.2434Wh/m^2$$

- Índice de claridad K_{TM}

Se determinó mediante la **Ecuación 14**

$G_{d,m(0)}$ = Radiacion solar global (Valor menor Datos de la NASA) = 4.680 Kw/m²

$$K_{TM} = \frac{4680}{9036.2434} = 0.5179$$

- Fracción difusa de la radiación F_{Dm}

Se determinó mediante la **Ecuación 15**

$$F_{Dm} = 1 - 1.13 * 0.5179 = 0.4147$$

- Radiación difusa $D_{d,m(0)}$

Se determinó mediante la **Ecuación 16**

$$D_{d,m(0)} = 0.4147 * 4680 = 1940.79Wh/m^2$$

- Radiación que llega al plano inclinado H

Se determinó mediante la **Ecuación 17**



$$H = 4680 - 1940.79 = 2739.21Wh/m2$$

- Factor de corrección K

Se determinó mediante la **Ecuación 18**

I_0 = Constante solar (1367W/m2)

Φ = Latitud del lugar = 10.42°

δ = Declinacion solar = -19.14

uss = Angulo de salida del sol sobre un plano inclinado = -86.34

β = Angulo de inclinación del techo = 15.11°

us = Angulo de salida del sol = -86.34

$$K = \left(\frac{-86.34 * \left(\frac{\pi}{180}\right) * \sin(10.42 - 15.11) * \sin(-19.14) + (\cos(-19.14) * \cos(10.42 - 15.11) * \sin(-86.34))}{-86.34 * \left(\frac{\pi}{180}\right) * \sin(10.42) * \sin(-19.14) + \cos(10.42) * \cos(-19.14) * \sin(-86.34)} \right)$$

$$K = 1.16$$

- Radiación directa sobre el panel inclinado $H_{\beta,\alpha}$
- Se determinó mediante la **Ecuación 19**

$$H_{\beta,\alpha} = 2739.21 * 1.16 = \frac{3177.48Wh}{m2}$$

- Radiación difusa sobre el plano inclinado $D_{\beta,\alpha}$
- Se determinó mediante la **Ecuación 20**

$$D_{\beta,\alpha} = 1940.79 * \left(\frac{1 + \cos 15.11}{2} \right) = 1907.24Wh/m2$$



- Radiación albedo sobre el plano inclinado $AL_{\beta,\alpha}$

Se determinó mediante la **Ecuación 21**

$$AL_{\beta,\alpha} = \frac{0.2 * 4680 * (1 - \cos 15.11)}{2} = 16.18Wh/m^2$$

- Radiación total sobre el panel inclinado $G_{\beta,\alpha}$

Se determinó mediante la **Ecuación 22**

$$G_{\beta,\alpha} = 3177.48 + 1907.24 + 16.18 = 5100.9Wh/m^2$$

Una vez obtenida la radiación total sobre el plano inclinado se procedió a calcular las horas picos solares con la Ecuación 23

- Hora pico solares H_{sp}

$$H_{sp} = \frac{5.1009kWh/m^2dia}{1kWh/m^2dia} = 5.1 \text{ horas}$$

- Potencia pico P_p

Se determinó mediante la **Ecuación 24**

E_n = Energia real necesaria calculada en la **Ecuación 7** = 8256.41Wh

$$P_p = \frac{8256.41}{5.1} = 1618.9 \text{ W}$$

- Número de paneles solares N_p

Se determinó mediante la **Ecuación 25**

P_{modulo} = Potencia del panel para este caso se escogio 300 Watts pico por ser un valor comercial

$$N_p = \frac{1618.9}{0.9 * 300} = 5.99 \cong 6 \text{ Modulos}$$



Una vez calculado el número de paneles se procedió a calcular el número de baterías necesaria para el almacenamiento de la energía, para realizar este procedimiento se debe partir de los siguientes datos iniciales

- ✓ Energía necesaria = 8256.41 Wh/día
- ✓ Días de autonomía = 2 Días N (Corresponde a los días nublados al mes según el IDEAM)
- ✓ Voltaje CC = 24 V (Voltaje de corriente continua)
- ✓ Profundidad de descarga = 50% (Pd) (el porcentaje máximo en el que se descargará las batería.

Con base en los valores anteriores se procede a calcular la capacidad para posteriormente obtener el número de baterías necesarias para el sistema.

- Capacidad nominal C_n

Se determinó mediante la **Ecuación 26**

$$C_n = \frac{8256.41 * 2}{24} = 688.03 \text{ Amperios hora}$$

- Capacidad total C_t

Se determinó mediante la **Ecuación 27**

$$C_t = \frac{688.03}{0.5} = 1376.06 \text{ Amperios hora}$$

- Número de baterías

Se determinó mediante la **Ecuación 28**

Valor comercial de capacidad 200 Ah a 12 V

$$\text{Número total de baterías} = \frac{1376.06Ah}{200 Ah} 6.8803 \cong 6$$

Se necesitan 6 baterías de 200 Ah a 12 Voltios



Una vez finalizado el dimensionamiento de ambas alternativas fotovoltaicas se procedió a realizar una solicitud de cotización de suministro e instalación de los equipos necesarios para estos dos sistemas fotovoltaicos a la empresa SEISO.

4.2.3. Sistemas de techos verdes

Para el sistema de techo verde se aplicó un modelo de vivienda monitoreada en el motor de cálculo energético EnergyPlus, para después realizar una comparación entre los resultados antes y después de la instalación techo verde. El modelo se elaboró con el Software EnergyPlus que sirvió como motor para el cálculo de la demanda térmica y con la ayuda del Software de dibujo SketchUp con el plugin de OpenStudio para la geometría de la edificación, identificación de las zonas térmicas y caracterización de las superficies (Lopez & Sarmiento, 2015).

Primero se procedió a elaborar la geometría de la edificación utilizando el programa de dibujo SketchUp y el plugin de OpenStudio (**Ver Figura 19**), que es una herramientas cuya función en el proceso es darle las propiedades adecuadas a cada elemento de la edificación dentro de SketchUp para que posteriormente ENERGY PLUS pueda reconocer las característica de la edificación (Lopez & Sarmiento, 2015).

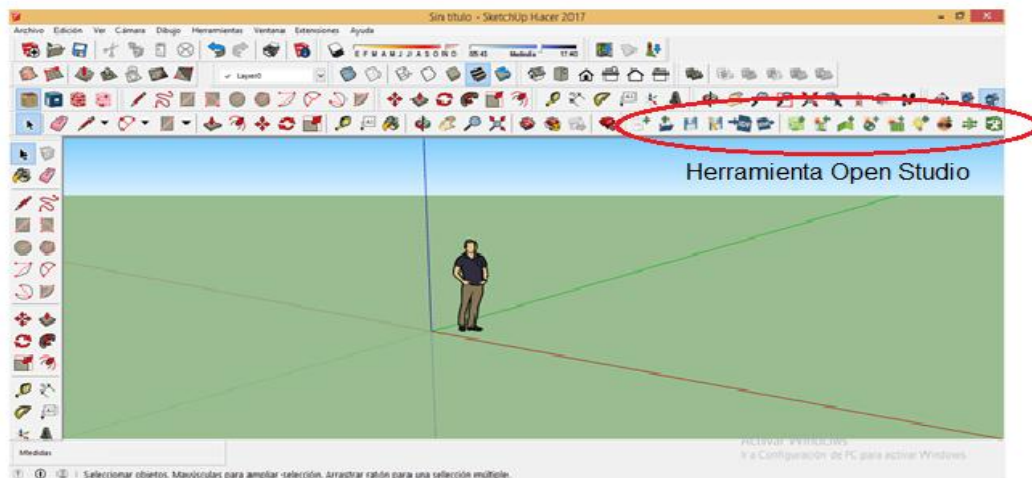


Figura 19. Herramientas Open Studio.



Fuente: (SKETCHUP, 2017)

Posteriormente mediante la herramienta Open Studio se crea un nuevo espacio térmico (Ver Figura 20), la cual le indicará a EnergyPlus que tipo de superficie se dibujó en el modelo para que así la modelación se los cercano a la realidad.

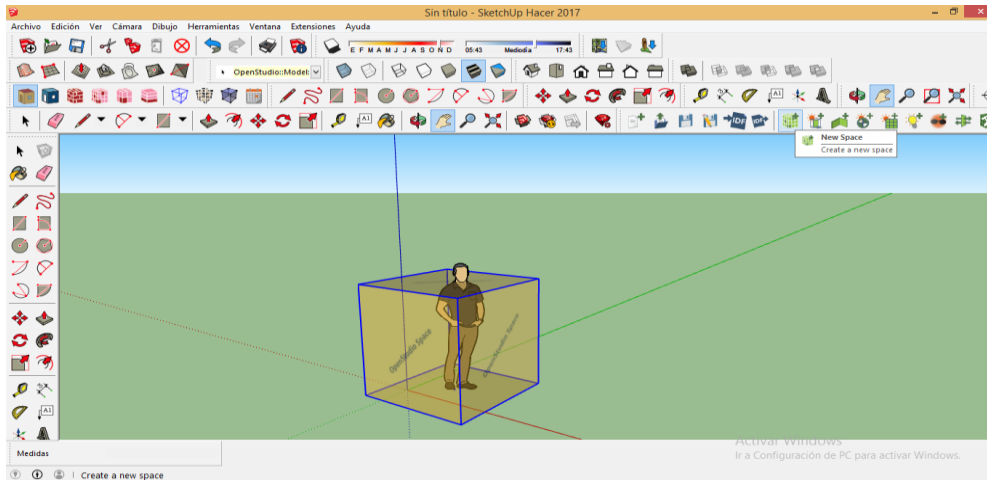


Figura 20. Función crear un nuevo espacio.

Fuente: (SKETCHUP, 2017)

A continuación se realizó la geometría del dibujo teniendo en cuenta los planos de la vivienda modelada.

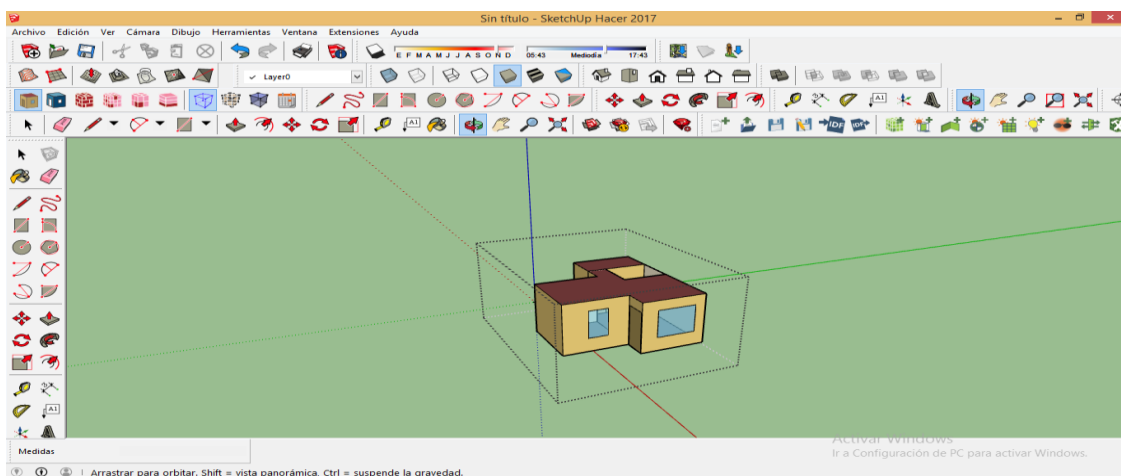


Figura 21. Geometría primer piso de la vivienda.



Fuente: (SKETCHUP, 2017)

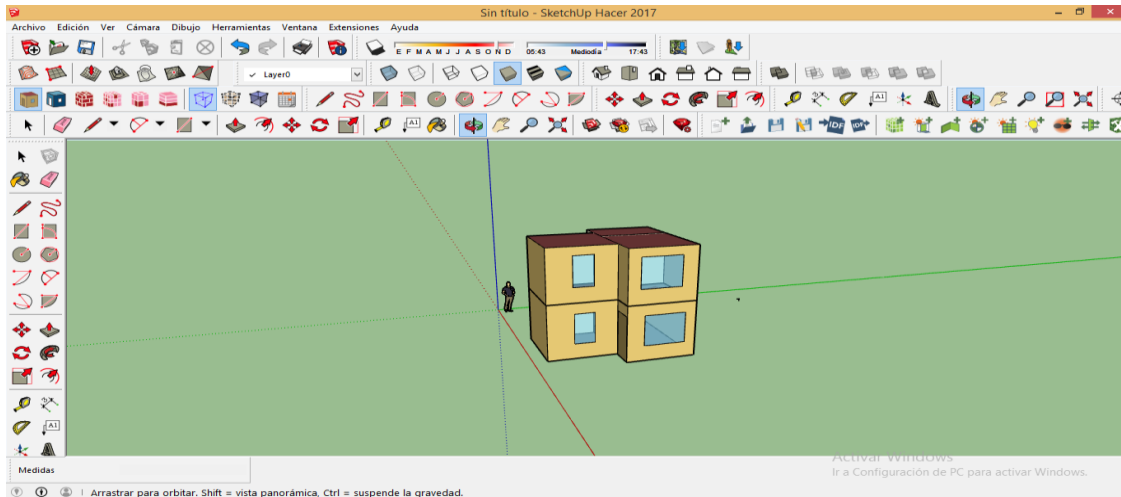


Figura 22. Geometría de la vivienda completa.

Fuente: (SKETCHUP, 2017).

Una vez finalizada la geometría del modelo y de haber verificado que en cada superficie se encuentre la propiedad correcta se procede a definir las zonas térmicas que se quieren analizar, se establecieron dos (2) zonas térmicas teniendo en cuenta que la vivienda tiene dos plantas, por lo tanto el primer piso es la zona térmica 1 y el segundo piso es la zona 2. La zona térmica 1 se identificó con color blanco y la zona térmica 2 con color lila.

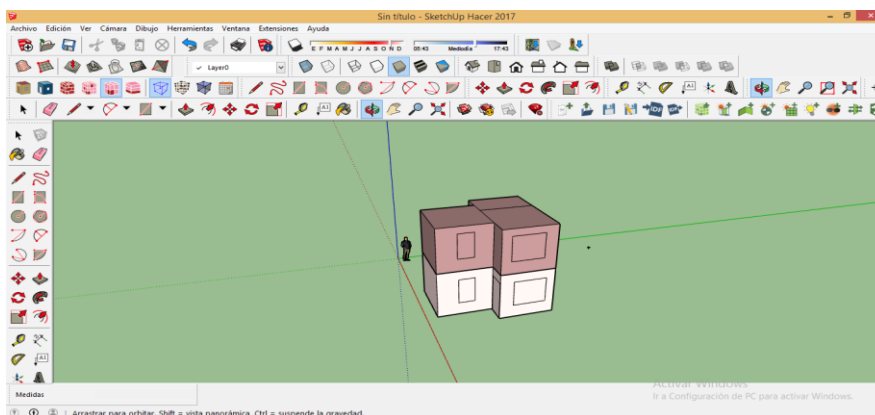


Figura 23. Identificación de zonas térmicas.

Fuente: (SKETCHUP, 2017)



Posteriormente se definen las superficies que se encuentran expuestas a las condiciones de sol y viento y las que no, esto con el fin de garantizar una transmisión térmica adecuada entre los elementos (**Ver Figura 24**Figura 24. Superficies expuestas a condiciones externas.). Las que se encuentran expuestas toman un color azul oscuro y las que en un lado se encuentran y en el otro no toman un azul marino (Lopez & Sarmiento, 2015).

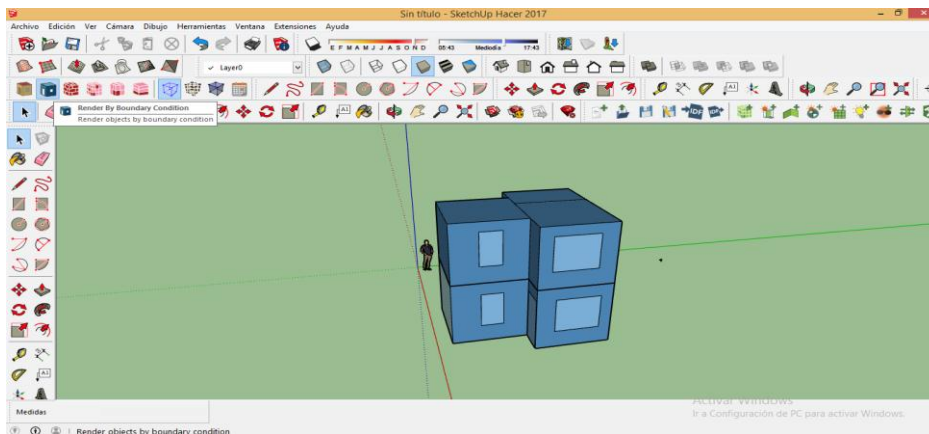


Figura 24. Superficies expuestas a condiciones externas.

Fuente: (SKETCHUP, 2017)

Al terminar de modelar las características anteriormente expuestas se procedió a exportar la información de la geometría y de las zonas térmicas como un archivo con extensión IDF, que es el lenguaje manejado por EnergyPlus y sus utilidades, para posteriormente terminar de añadir las características generales de la edificación y quede ajustado acorde a la realidad (Lopez & Sarmiento, 2015).

Luego de exportar el modelo con la extensión adecuada se procedió a abrir la utilidad de EnergyPlus la cual permite la interacción del proceso grafico realizado con el motor de cálculo conocida como EP-Launch. Luego el EP-Launch pide que se ingrese el archivo IDF correspondiente a la geometría del dibujo y el archivo del clima a utilizar.

El archivo IDF es el que tiene todas las características mencionadas hasta ahora y se exporta desde OpenStudio y el archivo del clima es el que tiene las condiciones



meteorológicas de la zona donde se encuentra la edificación correspondiente, la página web de EnergyPlus maneja algunos archivos del clima de diferentes regiones del mundo con la extensión EPW que es la que EnergyPlus maneja para su motor de cálculo (Lopez & Sarmiento, 2015).

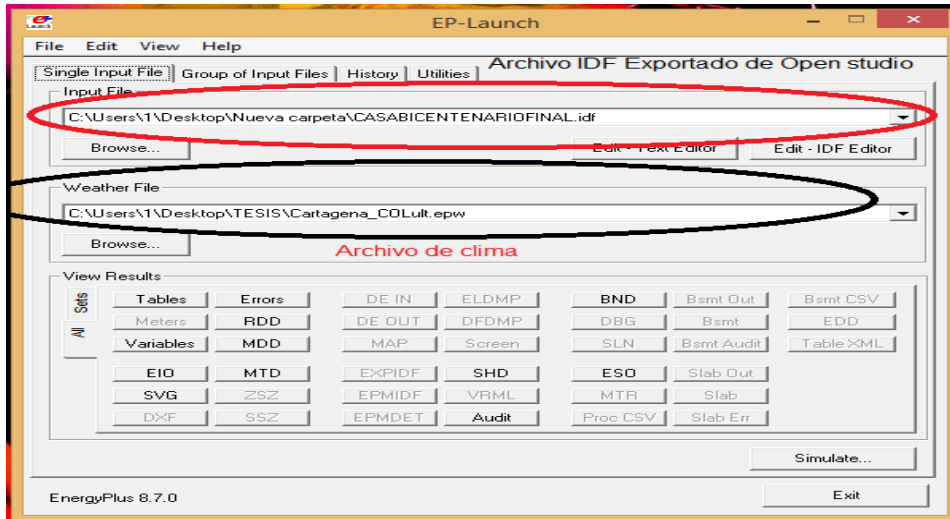


Figura 25. Archivo IDF con las características de la vivienda y Archivo de clima de la zona de estudio.

Fuente: (Open Studio, 2017)

Para que la simulación sea correcta se debe aplicar otra utilidad de EnergyPlus para terminar de ajustar el modelo de acuerdo a las diferentes condiciones que presenta la edificación en estudio, esa utilidad es el IDF Editor el cual permite editar el archivo IDF generado para insertar las propiedades que requiere el modelo antes de comenzar el análisis y que no se incluyeron mediante OpenStudio. Al ingresar al IDF editor se define inicialmente la versión de EnergyPlus, el control de la simulación donde se debe establecer la manera a partir de la cual se realizará el cálculo térmico y el periodo de operación al cual estará condicionado que para el presente caso será según el periodo del archivo del clima escogido. También se definen inicialmente las características generales del edificio, como lo son el nombre de la edificación, el terreno donde estará ubicado que en este caso es un suburbio y la distribución solar que será completamente exterior. Por último, en el caso de los datos iniciales, se define el número de muestras por hora que es aconsejable entre 40 y



60, pero se escoge 6, porque debe ser uniformemente divisible entre 60 y además es el valor mínimo porque con valores menores podrían ocurrir inconsistencias (Lopez & Sarmiento, 2015).

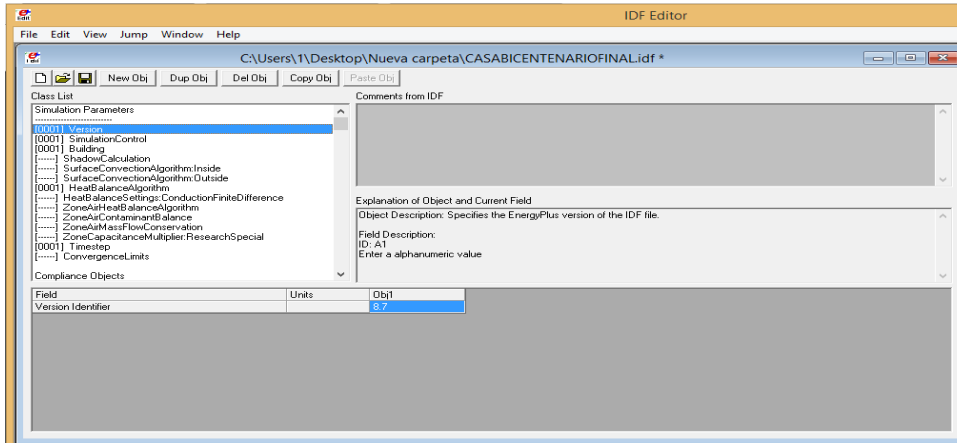


Figura 26. Versión del software.

Fuente: (Open Studio, 2017)

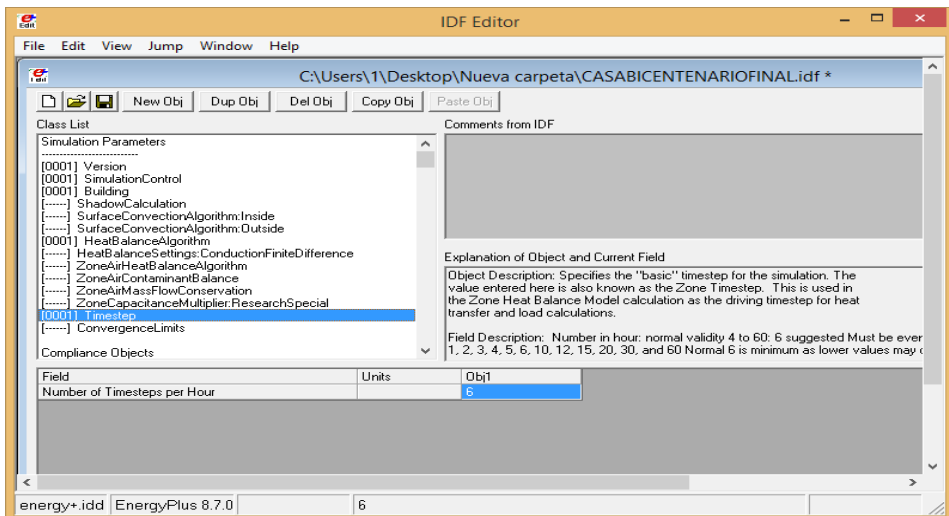


Figura 27. Número de muestras por hora.

Fuente: (Open Studio, 2017)



Posteriormente se define la ubicación y el clima, donde más que todo se edita la parte de la ubicación geográfica de Cartagena estableciendo sus coordenadas, zona horaria y su altura sobre el nivel del mar.

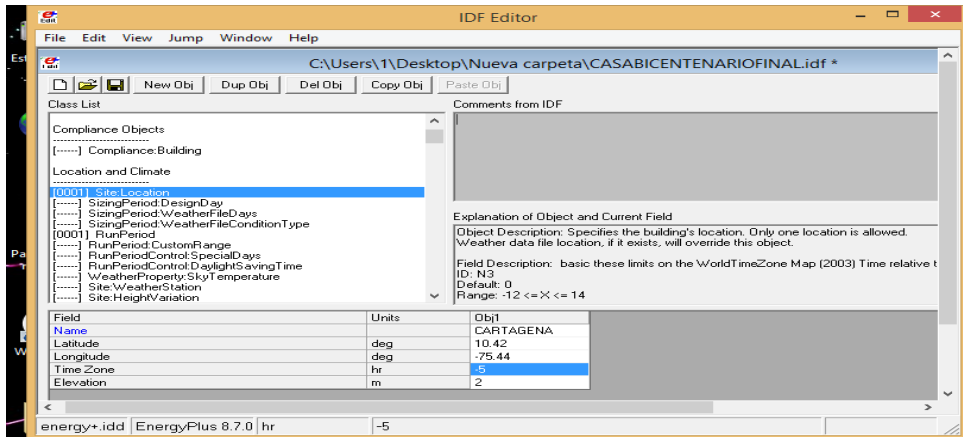


Figura 28. Ubicación geográfica de la zona de estudio, zona horaria y altura sobre el nivel del mar.

Fuente: (Open Studio, 2017).

Dentro del IDF Editor también se pueden realizar ciertas programaciones que ayudan a obtener resultados más exactos durante la modelación, como definir una programación importante que es la del número de personas que habitan en la vivienda, esto determinó la interacción que realizan las personas con el entorno que habitan y el calor que le transmiten al mismo.

Con respecto a las personas se debe definir las zonas térmicas que habitarán, la programación determinada anteriormente que define el número de personas que se encuentran interactuando con la vivienda en este caso cuatro personas y el nivel de actividad asociado que también se programó en la opción específica.

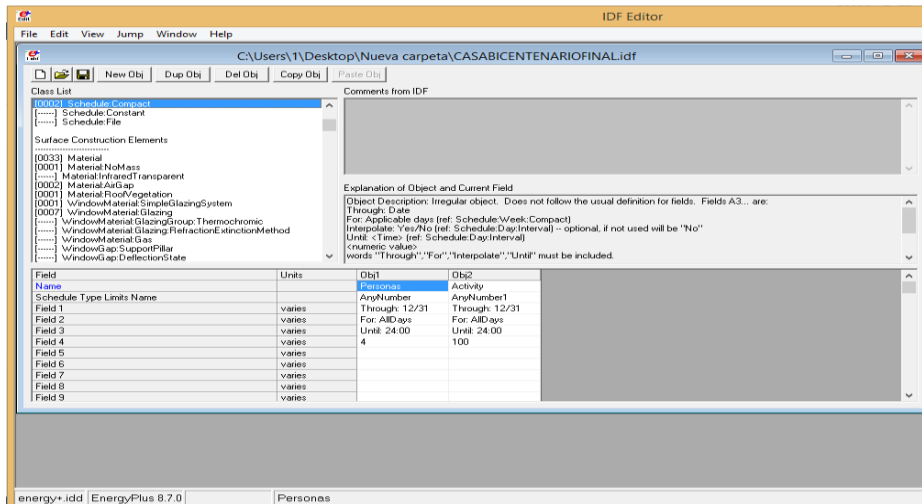


Figura 29. Programación de personas y su interacción con la vivienda.

Fuente: (Open Studio, 2017)

Luego se procedió a definir los materiales que lleva la edificación, se deben añadir todos los materiales de construcción pertenecientes a la edificación ya sea para el caso de una VIS con materiales convencionales. En los materiales se debe describir tanto el nombre como las características esenciales que pide la utilidad como lo son la rugosidad, el espesor, la conductividad, la densidad y el calor específico.

Tabla 7. Características de los materiales de la vivienda.

	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m-K)	Densidad (Kg/m3)	Calor especifico (J/Kg-K)
Cubierta Asbesto- cemento	0.01	0.576	1922.22	1004.8
Block N° 4	0.12	0.692	1970.27	921.09
Mortero pañete	0.02	1	1525	1000
Arena y grava	0.3	0.3	1950	1050
Placa de concreto	0.2	1.81	2306.66	921.096
Plantilla mortero	0.1	1	1525	1000

Fuente: (Instituto Eduardo Torroja, n.d.)

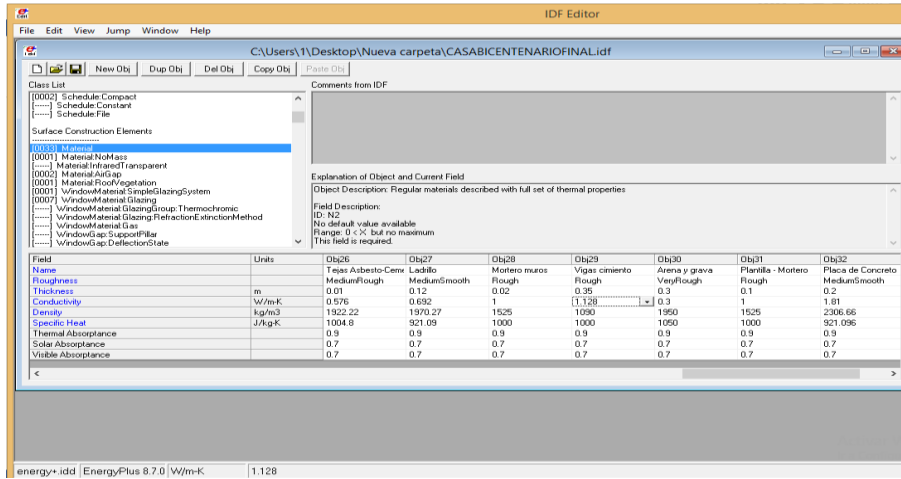


Figura 30. Materiales de la vivienda.

Fuente: (Open Studio, 2017)

Además se definió el material de techo verde en el cual se describe tanto el nombre como las características esenciales que pide la utilidad como lo son la altura de la planta, área del índice de la hoja, reflectividad, emisividad, entre otras.

Tabla 8. Propiedades de la planta

Nombre	Duranta
Altura	0.5 m
Índice foliar	1
Reflectividad de la hoja	0.5
Emisividad de la hoja	0.8
Resistencia estomatica mínima	300 s/m

Fuente: (Inca, 2015)

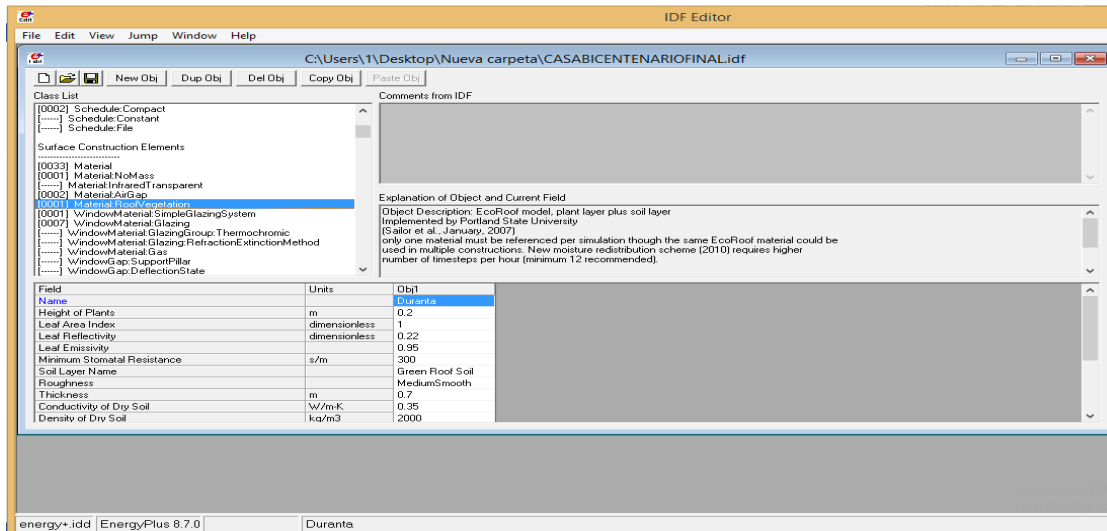


Figura 31. Propiedades del techo verde.

Fuente: (Open Studio, 2017)

Ahora los materiales determinados para la vivienda deben definirse según el tipo de superficie a la cual se encuentran asociados, por ejemplo, en el caso de los muros se encuentran asociados el mortero muros en la parte externa del mismo, luego vienen los bloques y dentro del muro otra capa del material definido como mortero muros. Este procedimiento se hace dentro del mismo tópico de Materials, pero en la opción Constructions y se determina de la misma manera para el techo, las ventanas, las puertas y para la losa.

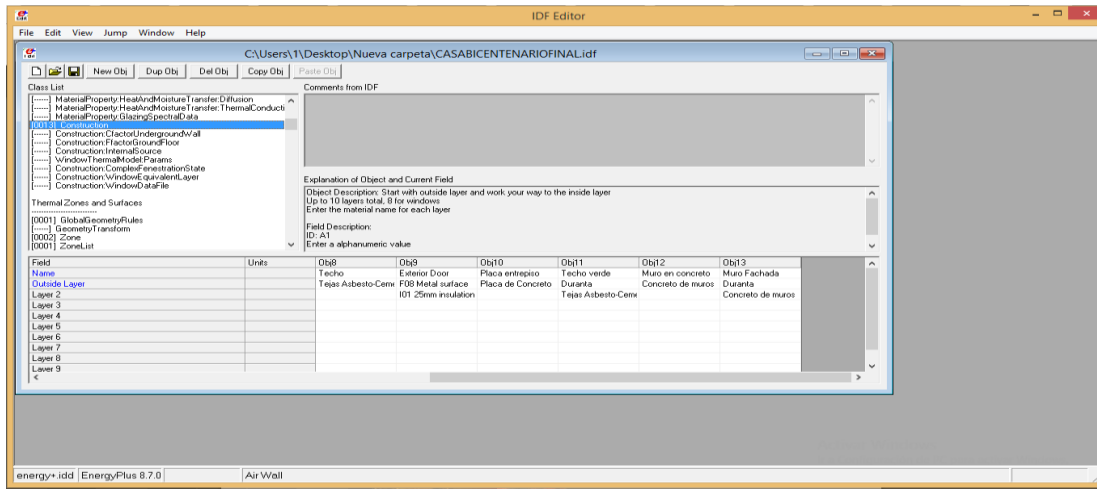


Figura 32. Constitución de los objetos de construcción.

Fuente: (Open Studio, 2017)

Se continua el procedimiento con el t3pico de Thermal Zones and Surfaces, en la cual se definieron las zonas t3rmicas donde el motor de c3lculo arroja las temperaturas para este caso se definieron dos zonas t3rmicas una en cada piso.

Luego se asigna cada elemento asociado con su material a la correspondiente superficie creada en el modelo, para con esto terminar el puente entre OpenStudio y EnergyPlus dejando al modelo lo m3s acorde posible con su realidad y obteniendo resultados esperados en la simulaci3n. Esta condici3n se obtiene al activar la opci3n Building Surface: Detailed donde aparecen todas las superficies creadas, el tipo la localizaci3n dentro del modelo ejecutado y la zona t3rmica a la cual pertenece, adem3s de que si se encuentra o no expuesta al sol y al viento, entre otras; ahora se le a3ade a la superficie adecuada su elemento correspondiente, por ejemplo, si la superficie 1 es de tipo floor, se le a3ade su construcci3n pertinente definida anteriormente como piso y el motor de c3lculo la analizara con exactitud (Lopez & Sarmiento, 2015).

Por ultimo para las ventanas y las puertas existe una opci3n que relaciona los elementos determinados con la superficie correspondiente, esta opci3n se denomina Frenestration



Surface Detailed, esta opción presenta la misma configuración para detallar los elementos que la anterior solo que esta detallada para estos dos elementos de la edificación.

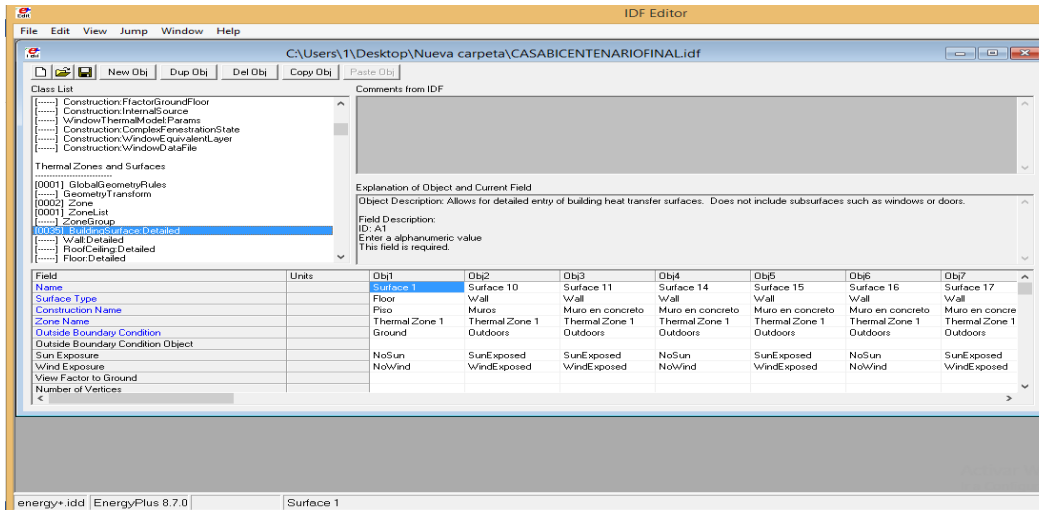


Figura 33. Verificación de Superficies de la vivienda.

Fuente: (Open Studio, 2017)

El dato de salida que utilizamos en nuestra investigación es la temperatura por zona térmica, es decir Primer y segundo piso.

Una vez suministrados los datos de entrada correspondiente para el cálculo se procedió a realizar la modelación.

- Primero se modeló la vivienda ingresando los datos de entrada correspondientes a los materiales de construcción de una vivienda de Ciudad Bicentenario.
- Luego se modelo la misma vivienda pero esta vez agregándole a las superficies correspondientes el material de techo y muro verde.
- Una vez obtenidos los resultados de temperatura de las dos zonas térmicas ya definidas se procedió a analizar la variación térmica en la vivienda al comparar los dos modelos.



Por último, se realizó el presupuesto para la implementación y los materiales del techo y muro verde de forma virtual mediante una opción llamada generador de precios Colombia de CYPE Ingenieros S.A., donde se suministran algunos datos de entrada como por ejemplo el tipo de cubierta, los espesores de cada capa, el tipo de planta entre otros, con respecto a los datos el generador de precios arroja, de la base de datos de presupuestos que se han realizado con dichas características, los cuales debemos adaptar con las características del proyecto.

Primero el buscador permite escoger el tipo de cubierta donde se instalará el sistema de techo verde

Para este caso en particular se escogió el diseño de una cubierta no transitable, no ventilada, ajardinada, impermeabilizada mediante mantos asfálticos ya que estas son las características de la cubierta de este proyecto.

A partir de esto, el programa despliega dos opciones para el tipo de cubierta ajardinada sea intensiva o extensiva como se muestra en la **Figura 34**.

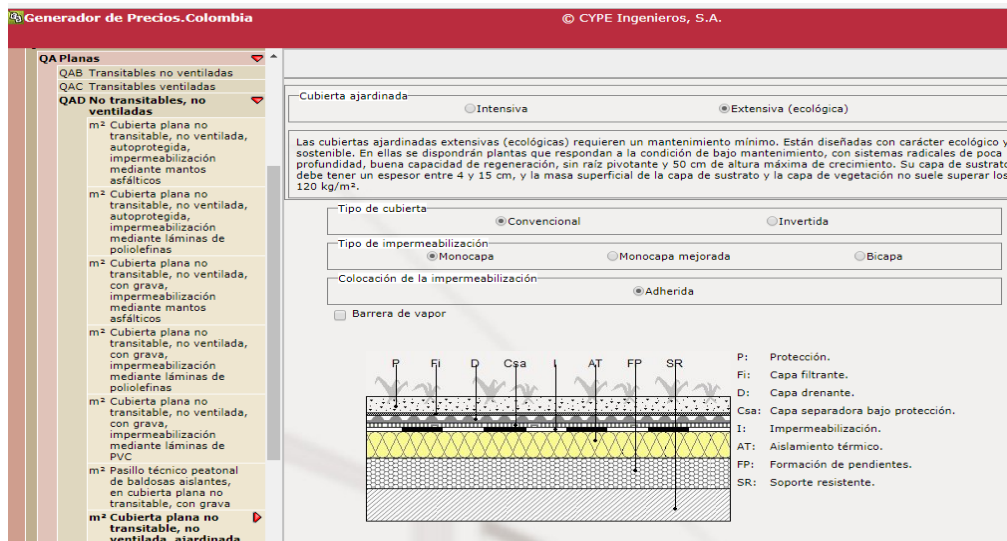


Figura 34. Tipo de vegetación.

Fuente: CYPE Ingenieros S.A



Bajo las características de este proyecto, la opción que es más adaptable a las condiciones es la cubierta ajardinada tipo extensiva (ecológica), este tipo de cubierta se caracterizan porque requieren un mantenimiento mínimo, están diseñada con carácter ecológico y sostenible. En ellas se disponen plantas que respondan a la condición de bajo mantenimiento, con sistemas radicales de poca profundidad, buena capacidad de regeneración, sin raíz pivotante y 50 cm de altura máxima de crecimiento. Su capa de sustrato debe tener en espesor entre 4 y 15 cm y la masa superficial de la capa de sustrato y la capa de vegetación no suele superar los 120 Kg/m², a diferencia del tipo intensivo que requiero un mantenimiento de más cuidado, similar al de las zonas verdes y no hay limitación con respecto al tipo de plantas a disponer.

Luego el programa muestra cada una de las capas que compone el techo verde (protección, capa filtrante, capa drenante, capa separadora bajo protección, impermeabilización, aislamiento térmico), como se muestra en la siguiente imagen y da la opción de manipular cada una de ellas modificando algunas características dependiendo el proyecto.

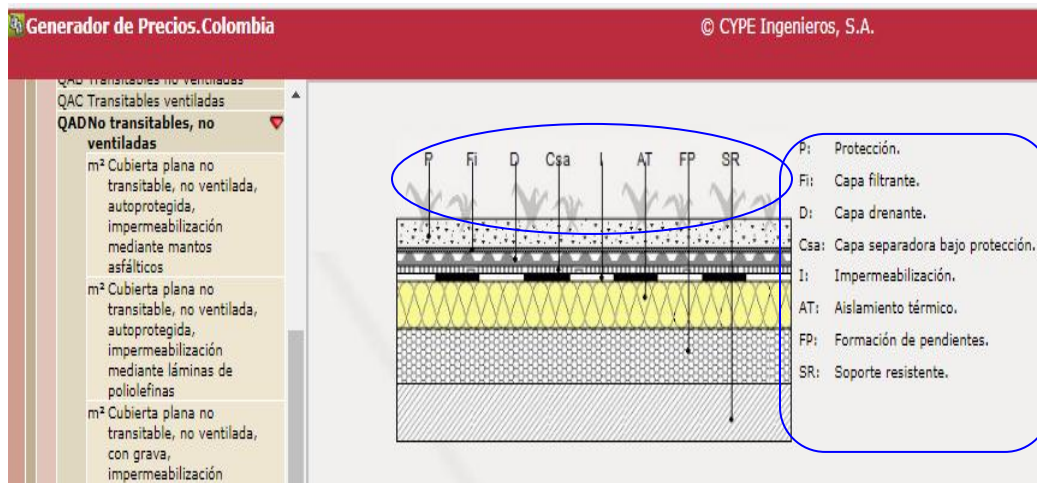


Figura 35. Capas de techo verde.


Fuente: CYPE Ingenieros S.A

En este orden de ideas la primera de las capas a manipular es la formación de pendiente (FP), como se muestra en la siguiente imagen



FP AT I Csa D / Fi P

Arcilla expandida vertida en seco
 Concreto liviano con arcilla expandida



Suministro
 En sacos En sacos Big Bag A granel

Granulometría
 Entre 3 y 8 mm
 Entre 8 y 16 mm

Espesor medio (cm)

Capa de regularización
Material
 Mortero de cemento, confeccionado en obra, dosificación 1:6

Espesor medio de la capa de regularización (cm)

Figura 36. Formación de pendiente.

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

En esta capa se puede elegir el material en arcilla expandida vertida en seco o concreto liviano con arcilla expandida, para el proyecto se tomó arcilla expandida por efectos de costos, suministrada a granel con una granulometría entre 3 y 8 mm con un espesor de 15 cm y una capa reguladora de mortero de cemento 1:6 con un espesor de 1.5 cm.

Luego, la siguiente capa que lleva por nombre Aislamiento térmico (AT), el cual permite definir el espesor en milímetros de la capa que puede ser en dos tipos de material, lana mineral soldable o espuma de poliisocianurato soldable, entre los cuales se decidió por la lana por ser más comercial con un espesor de 50 mm pero disminuir el costo y peso sobre la estructura, como se puede observar en la siguiente imagen.

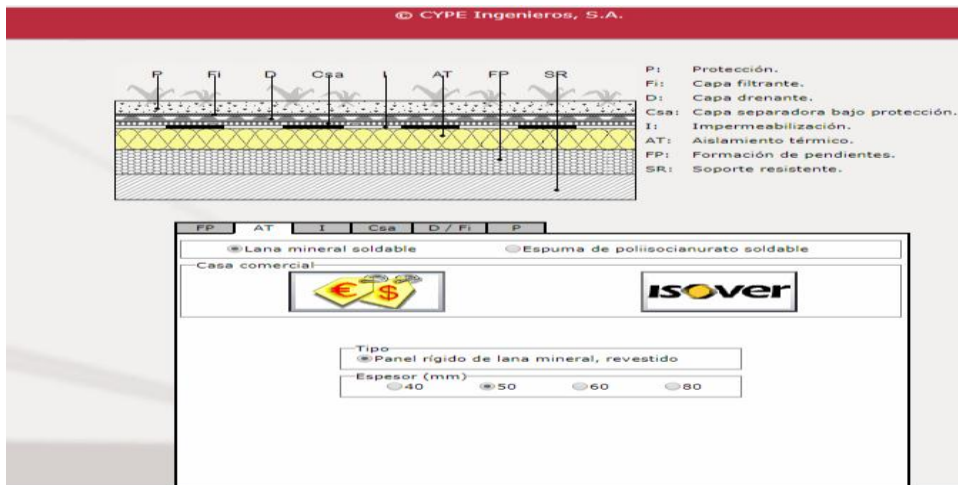


Figura 37. Aislamiento térmico.

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

La siguiente capa lleva por nombre Impermeabilización (I), la cual ya viene dada por la característica de la cubierta que se escogió inicialmente al igual que la Capa separadora bajo protección (Csa), la Capa drenante, la Capa filtrante (D/F) y la Capa de protección (P), como se puede notar en las siguientes figuras.

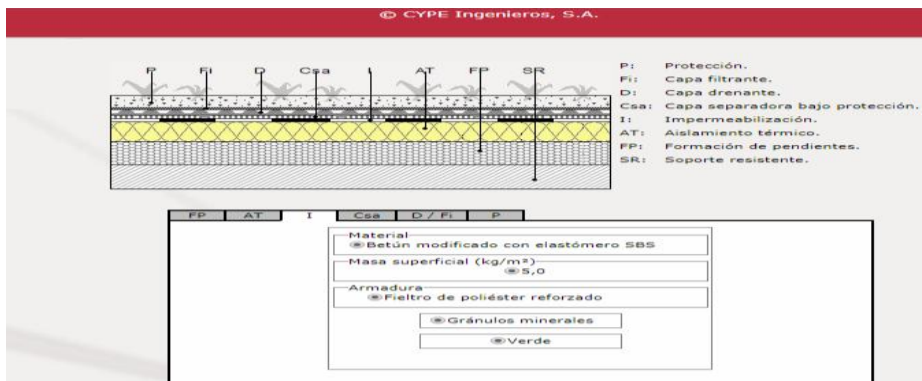


Figura 38. Impermeabilización.

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

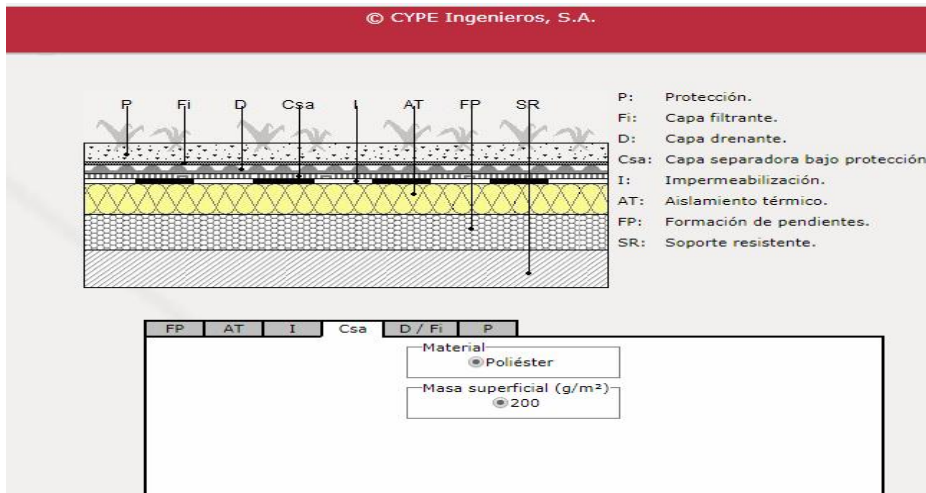


Figura 39. Capa separadora.

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

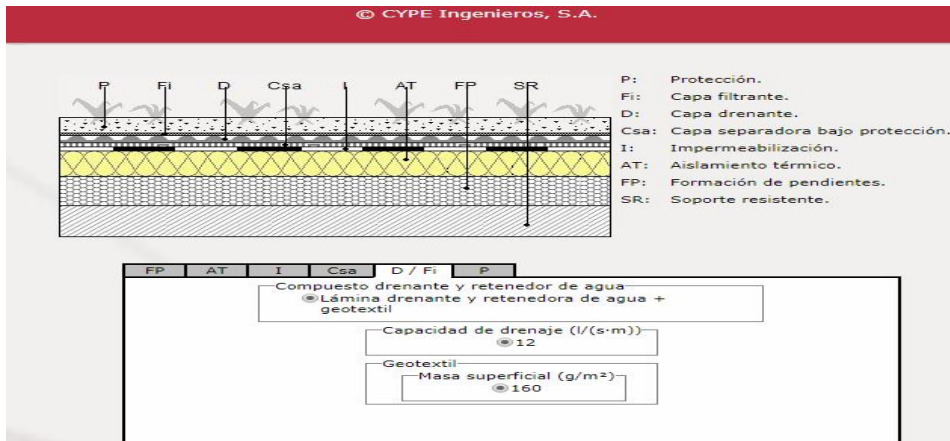


Figura 40. Capa drenante y filtrante.

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

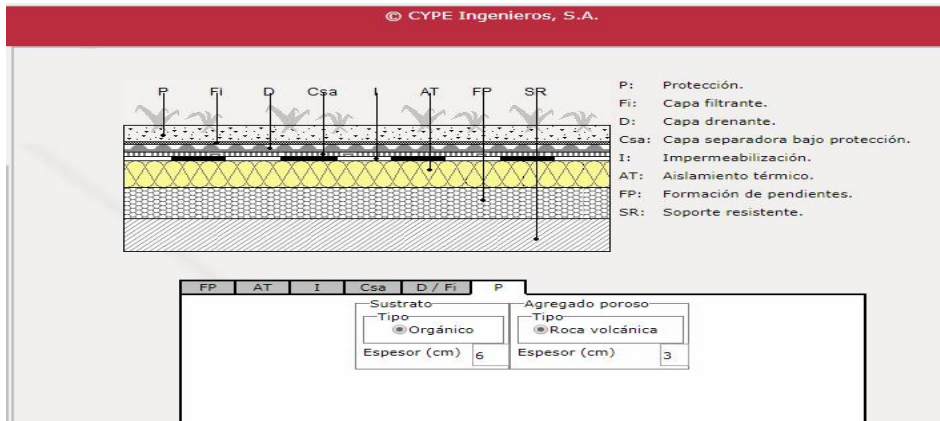


Figura 41. Protección

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

Después de haber dado las características que se requería en el proyecto, el generado arroja un despiece de los materiales que se necesitan y sus costos por metro cuadrado de techo verde.

4.3.POTENCIAL DE AHORRO

En este subcapítulo se analizó el factor económico de cada alternativa de sostenibilidad evaluada, teniendo en cuenta tres factores fundamentales, costo inicial de implementación, frecuencia y costo de mantenimiento. Con base en estos factores se determinó el potencial de ahorro de cada alternativa.

4.3.1. Análisis económico

Luego de obtener los resultados de las modelaciones tanto del software Energy Plus, la modelación matemática para el diseño del sistema de recolección de aguas lluvias y el diseño de la instalación fotovoltaicas, se procedió a realizar el análisis económico, primero se determinó cuanto es el potencial de ahorro en los servicios de agua y energía de cada alternativa, para el caso del sistema de recolección de aguas lluvias el ahorro está dado en la cantidad de agua (m^3) que podría recolectarse por medio de este sistema la cual sería utilizada para actividades del hogar, para los sistemas de muros y techos verdes el ahorro se presenta teniendo en cuenta que en la ciudad de Cartagena la sensación térmica de confort



es de 28°C, se establece una relación de la disminución de grados de calor que se logra en un día y el consumo de energía por aparatos eléctricos de ventilación para el periodo comprendido entre las 8:00 A.M. y las 6:00 P.M., donde la sensación térmica es mayor, para el sistema de paneles solares el ahorro estaría dado en la cantidad de energía en kWh que podrían brindar durante un día, los costos adicionales que requieran la implementación y mantenimiento de estas alternativas y la recuperación del capital teniendo en cuenta el potencial de ahorro, para lo cual se establecerá una relación $\$/kWh$ para el servicio de energía y una relación $\$/m^3$ para el servicio de agua.



5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Este capítulo contiene los resultados junto a los análisis detallados, obtenidos luego de tomar como punto de partida la revisión bibliográfica realizada y el desarrollo del procedimiento descrito en el capítulo anterior, para así crear la metodología que permite seleccionar las mejores alternativas de sostenibilidad aplicables al caso de estudio (Ciudad Bicentenario, Cartagena), proyecto de interés social de estrato uno.

Este consta de cuatro etapas, la primera de ellas atiende al reconocimiento de la zona de estudio, la segunda comprende los resultado de la modelación de las alternativas de sostenibilidad evaluadas en esta investigación, una tercera etapa en la cual se evaluara el potencial de ahorro de cada uno de las alternativas y finalmente se determinó la viabilidad de cada una de ellas

5.1.RECONOCIMIENTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

En esta etapa se presentan todo aquellos resultados producto del análisis y la selección de toda la información pertinente, recolectada mediante visitas de campo, planos del proyecto y charlas con el Ingeniero a cargo del proyecto urbanístico, para el desarrollo de la investigación aplicable a las viviendas de interés social (VIS) de la ciudad de Cartagena.

Este análisis se hizo con el fin de lograr una descripción integral de las características de la población de la zona de estudio, las viviendas y luego evaluar el aporte a la sostenibilidad de estas características lo cual se presenta a continuación.

5.1.1. Encuestas a la población

Los datos que se mostrarán a continuación son el resultado del análisis estadístico de una serie de preguntas estratégicas en formato de encuesta realizadas a la población de la zona de estudio (Ciudad Bicentenario, Cartagena), para recolectar información necesaria que será usada en el transcurso del estudio.

Cabe resaltar que la zona de estudio es de estrato social uno (1), el costo del Kwh es de \$ 431.39 y el gobierno subsidia el 52.7% del costo por cada Kwh en el servicio de energía y

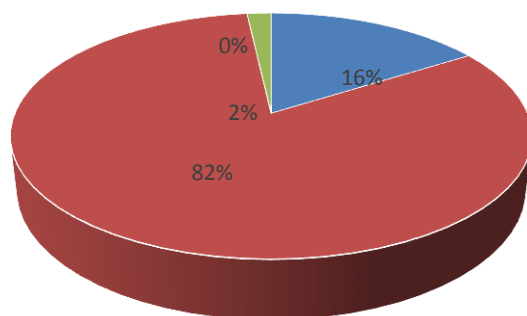


para el servicio de agua el costo por m³ de acueducto es de \$ 963.55 y el subsidio es de 46.67%. De la población encuestada el 100% fueron personas con mayoría de edad, el 100% posee la vivienda de carácter propio, al igual que en su totalidad un régimen de seguridad social subsidiado (SISBEN).

Haciendo una relación de los datos obtenidos en las encuestas se identificó que gran parte de la población es de escasos recursos económicos y viven en su mayoría con un salario mínimo mensual para todas sus gastos y actividades económicas, la mayoría de las familias solo dependen económicamente de una sola persona (cabeza de hogar), por otra lado también se pudo identificar que las familias en su mayoría no tiene conocimientos de ninguna técnica para el uso eficiente de los servicio lo que también los ha llevado a un inconformidad con el pago de ellos, pues lo consideran elevados.

Cada una de estas afirmaciones se desglosaran a continuación con datos estadísticos tomados de las encuestas realizadas en las que se utilizaron preguntas claves que ayudaran a hacer verídica esta información.

En la **Figura 42** se muestra el análisis estadístico donde se puede notar con claridad que más del 80% de las viviendas están siendo habitadas por un número de personas de entre tres (3) a cinco (5) y más del 10 % de las viviendas están habitas por una (1) o dos (2) personas y solo 1 de las viviendas encuestadas está siendo habitada por un total de entre seis (6) y ocho (8) personas. La pregunta clave para obtener los datos correspondientes a este análisis fue ¿Cuántas personas residen en su casa?



■ DE 1 A 2 PERSONAS ■ DE 3 A 5 PERSONAS ■ DE 6 A 8 PERSONAS ■ MAS DE 8 PERSONAS

Figura 42. Número de habitantes por vivienda de la población encuestada.

Fuente: Autores.

En la siguiente grafica se muestra el nivel de escolaridad de la persona cabeza de hogar para cada una de las viviendas encuestada, en esta podemos notar ninguna de las personas encuestadas logra un nivel de escolaridad mayor a especialistas y en su mayoría son técnicos. Para lograr estos datos la pregunta clave fue nivel de escolaridad.

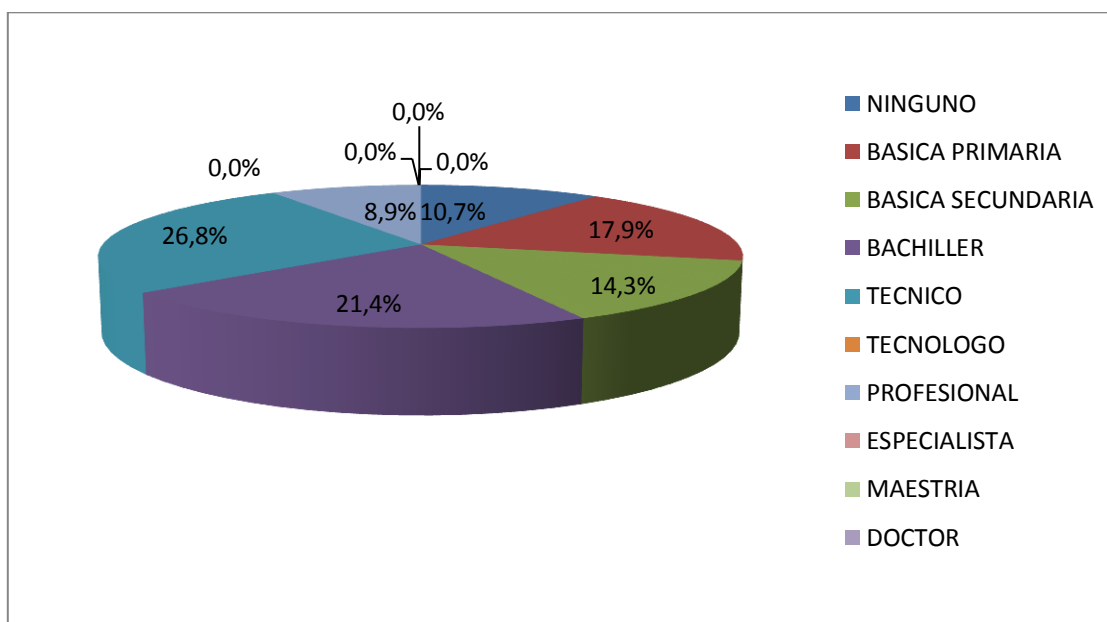


Figura 43. Nivel de escolaridad de la población encuestada.

Fuente: Autores.



A continuación en la gráfica se muestra el número de personas que dependen económicamente de la persona cabeza de hogar, donde en más del 60% de las personas tiene a su cargo entre una y dos personas y el porcentaje restante tiene a su cargo entre tres y cinco personas.

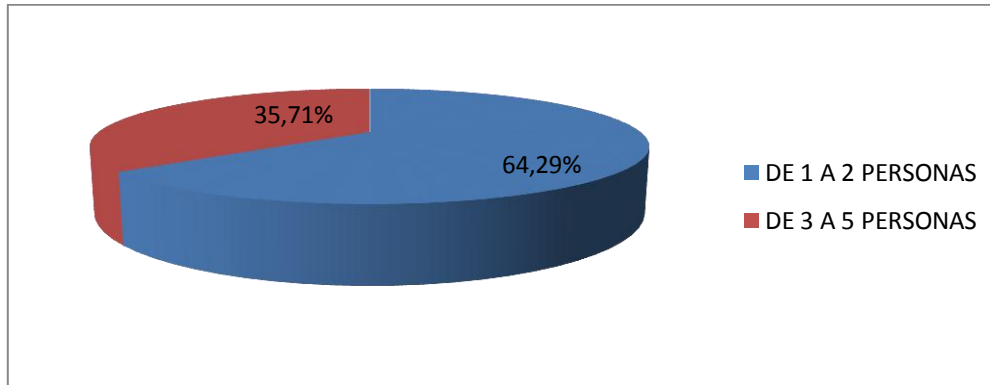


Figura 44. Porcentaje de personas que depende de la cabeza del hogar en la población encuestada.

Fuente: Autores.

Otra de las estadísticas claves para la caracterización de la población fue mediante la pregunta ¿cuántos salarios mínimos es el ingreso mensual como familia?, de la cual se puede notar que más del 70% de las familias subsisten con un salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV), el cual corresponde a \$737.717, otro porcentaje mayor a 12% lograr ingresar entre dos y tres SMMLV y por último se puede notar que algunas familias tiene ingresos menores a un SMMLV con un porcentaje mayor a 8%.

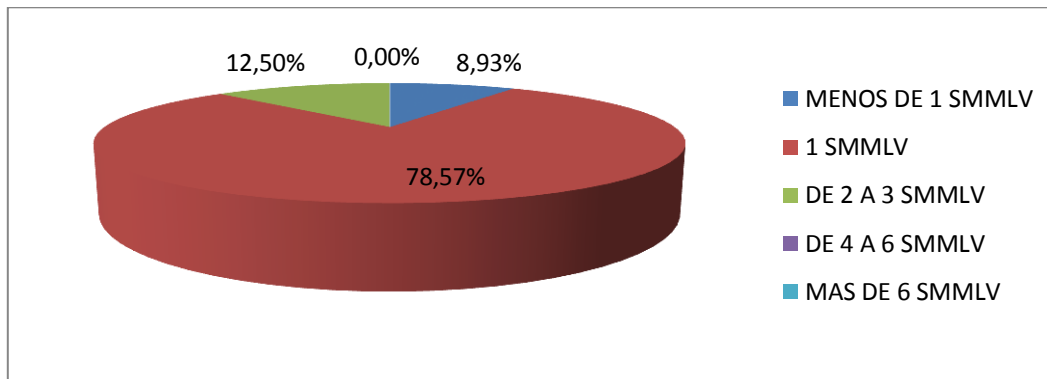


Figura 45. Ingreso mensual por hogar en SMMLV en la población encuestada.

Fuente: Autores.

En la siguiente grafica se muestra cómo se siente, es decir, el grado de conformidad de los habitantes de las viviendas encuestadas en relación al costo de los servicios públicos de energía y agua, mediante la pregunta ¿está usted satisfecho con la cantidad de dinero que pago por sus servicio en relación a la calidad y el consumo?, de la cual se tuvo un resultado estadístico de más del 85% de las familias encuestadas no se sentían conforme con el costo de los servicio, mientras que el porcentaje restante mucho menos si mostraba conformidad.

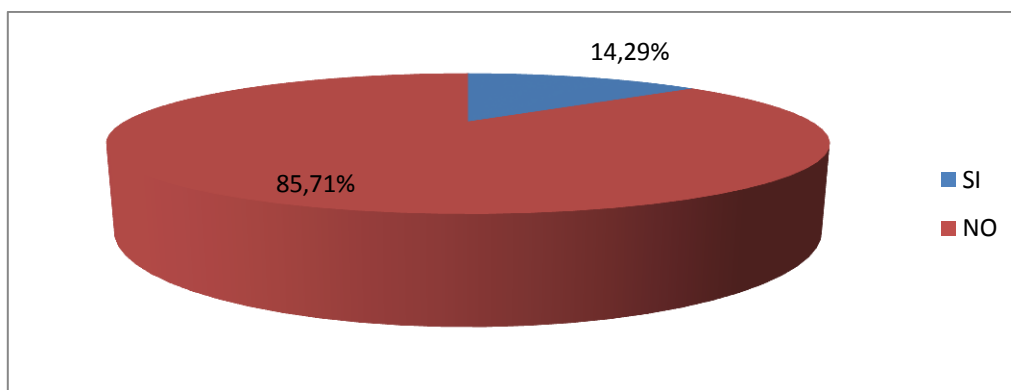


Figura 46. Porcentaje de conformidad con el costo de los servicios públicos (Agua y Energía) de la población encuestada

Fuente: Autores.



Al momento de realizar la encuestas se incluyó una pregunta con el fin de identificar si la población tenía algún conocimientos de técnicas legales para el uso eficiente de los servicio públicos, la pregunta realizada fue ¿conoce alguna guía, sistema o recomendaciones legales que permitan un uso eficiente de sus servicios?, por ejemplo la reutilización de agua, de las cuales se logró evidenciar que es muy mínima las cantidad de viviendas en las que se conocen técnicas para uso eficiente de los servicios con un porcentaje de 12% frente al 87% que desconoce de ellas.

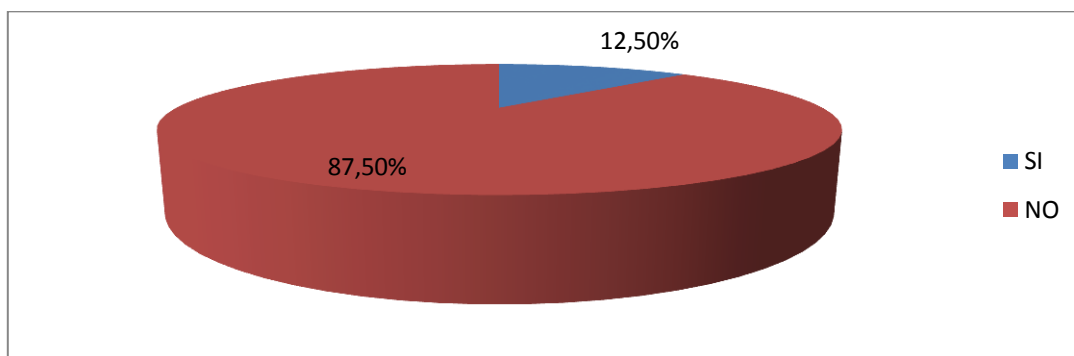


Figura 47. Porcentaje de conocimiento de estrategias para un consumo eficiente de energía y agua de la población encuestada.

Fuente: Autores.

5.1.2 Características de la vivienda y la zona

A continuación se exponen el plano de del tipo de viviendas de la zona de estudio y sus características más relevantes para el desarrollo de la investigación y que afectaron directamente a la puesta en marcha de las alternativas que se evaluaron.

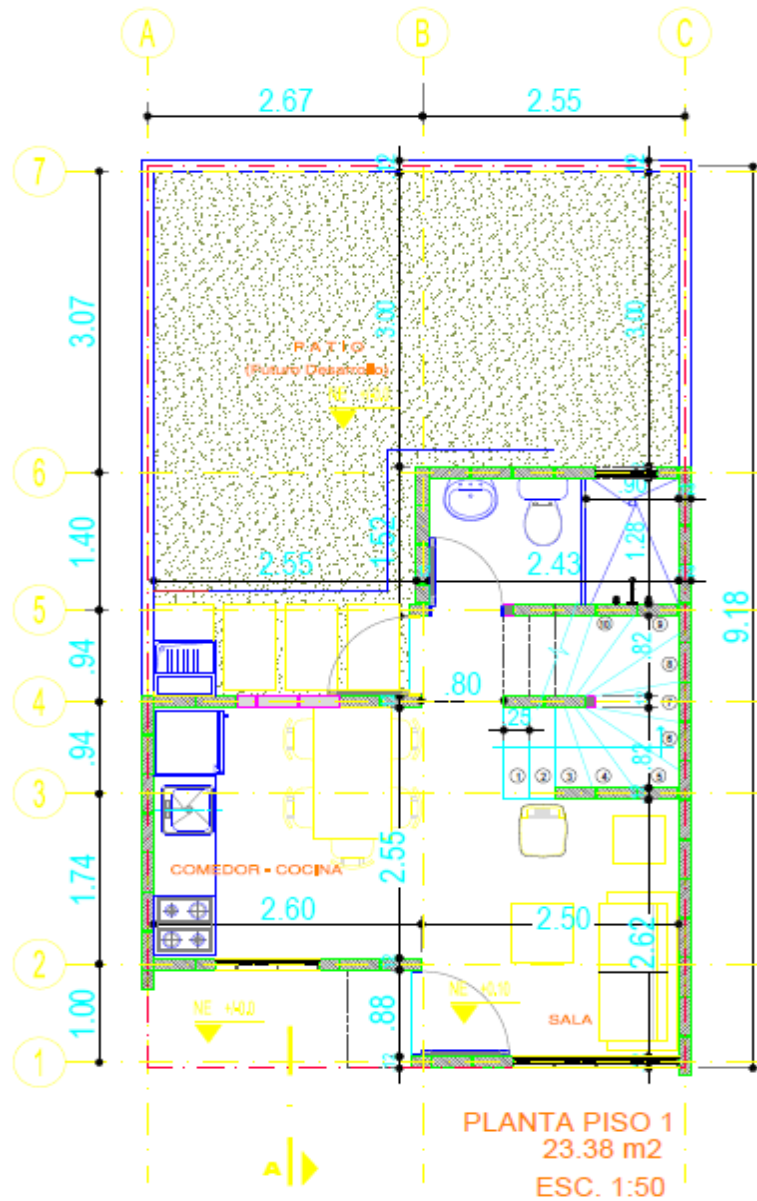


Figura 48. Plano de vivienda tipo de la zona de estudio

Fuente: Ingeniero Edelberto Taron.



Tabla 9. Características de la vivienda

Características de la vivienda	
Nº de niveles de la vivienda	2
Número de habitaciones	2
Número de baños	1
Área de la cubierta (m ²)	25
Material de la cubierta	Asbesto cemento
Tipos de materiales no estructural	Block #5
Orientación de las viviendas	N, S, E, O
Orientación del viento en la zona	Vientos del N y NE
Orientación del sol	E, S, O
Horas directas de sol (CIOH)	7.1
Área de planta (m ²)	23.38
Costo de construcción por unidad	\$ 23.914.369

Fuente: Ingeniero Edelberto Taron

5.1.3 Pre diseño conceptual

A continuación se mostrará en la **Tabla 10**, las observaciones con respecto a cada una de las características de la vivienda que se tuvieron en cuenta a la hora de realizar un prediseño conceptual con miras a la sostenibilidad para determinar si dicha característica aporta positivamente, negativamente o si su aporte no es significativo a la hora de la sostenibilidad.

Tabla 10. Evaluación de características de la vivienda

Características de la vivienda		OBSERVACIONES
Nº de niveles de la vivienda	2	No es significativo.
Número de habitaciones	2	No es significativo.
Número de baños	1	No es significativo.
Área de la cubierta (m ²)	25	No es significativo.
Material de la cubierta	Asbesto cemento	Su coeficiente de conductividad térmica es 0.576(W/m ² /°K), se considera material aislante térmico cuando este es inferior a 0.10 W/m ² /K, por



		tano no aporta significativamente para el prediseño sostenible. (Wallenberger & Bingham, 2010)
Tipos de materiales no estructural	Block #5	Su coeficiente de conductividad térmica es 0.435 (W/m ² /°K), se considera material aislante térmico cuando este es inferior a 0.10 W/m ² /K, por tano no aporta significativamente para el prediseño sostenible. (Wallenberger & Bingham, 2010)
Orientación de las viviendas	N, S, E, O	Lo ideal para un prediseño sostenible en la ciudad de Cartagena es que todas las viviendas tengan su fachada principal orientada hacia el norte, por lo tanto el aporte no es positivo.
Orientación del viento en la zona	Vientos del N y NE	Lo ideal para un prediseño sostenible en la ciudad de Cartagena es que todas las viviendas tengan su fachada principal orientada hacia el norte, por lo tanto el aporte no es positivo.
Orientación del sol	E, S, O	Lo ideal para un prediseño sostenible en la ciudad de Cartagena es que todas las viviendas tengan su fachada principal orientada hacia el norte, por lo tanto el aporte no es positivo.
Área de planta (m²)	23.38	MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL DECRETO NÚMERO (2060) 24 de junio de 2004, Por el cual se establecen normas mínimas para VIS urbana un lote mínimo de 35 m ² para unifamiliar, teniendo en cuenta que la vivienda es de dos plantas esta característica aporta positivamente para el prediseño.
Costo de construcción por unidad	\$23.914.369	No es significativo.

Fuente: Autores

5.2.RESULTADOS DE LOS MODELOS Y DISEÑOS

5.2.1. Sistema de recolección de aguas lluvias

5.2.1.1.Factor Técnico

Después de los resultados obtenidos del reconocimiento de la zona de estudio, para el cálculo del volumen de almacenamiento de recolección de aguas lluvias se tomaron los siguientes datos los cuales son necesarios para el procedimiento.



Tabla 11. Datos iniciales para el sistema de recolección de aguas lluvias

Promedio de personas por vivienda	4
Área de la cubierta (m²)	25
Coefficiente de esorrentía de la cubierta	0.8
Dotación (L/persona*día)	100

Fuente: Autores

La precipitación promedio mensual (sin tener en cuenta la evaporación), expresada en mm, equivale a la precipitación promedio mensual en litros por metro cuadrado, pues se requiere de 1mm de agua para mojar 1m² de área. Los valores obtenidos corresponden a la estación de Bayunca, Bolívar se presentan en la **Tabla 12**.



Tabla 12. Datos de precipitación promedio.

Mes	Precipitación promedio (mm)
Enero	6.2
Febrero	3.7
Marzo	9.3
Abril	55.5
Mayo	147.9
Junio	131.1
Julio	132
Agosto	144.6
Septiembre	161
Octubre	245.3
Noviembre	177.7
Diciembre	62.1

Fuente: Autores, según *Promedios Climatológicos (1981-2010) IDEAM*

Los datos analizados muestran que en promedio, el mes más lluvioso del año es octubre, con 245.3mm al mes y que el mes más seco es febrero con 3.7mm.

Para la determinación de los parámetros de diseño de este sistema, y lograr obtener adecuadamente el volumen de almacenamiento de agua lluvia y el potencial de ahorro de agua, se debe distribuir la precipitación ubicando en la fila superior el mes de mayor lluvia durante los años evaluados y se continua con el orden regular de los meses siguientes. La oferta de agua lluvia se calculó teniendo como base un área de captación de 25m². El área de techo a captar, es mostrada en el plano de cubierta (anexo 2). La determinación de la demanda acumulada y de la oferta acumulada se realizó según el procedimiento descrito en la metodología, en el que la diferencia entre estos dos parámetros arroja los valores del



volumen almacenado durante cada mes. A continuación se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 13. Resultados de precipitación promedio mensual, demanda y oferta mensual, demanda y oferta acumulada, volúmenes de almacenamiento y potencial de ahorro de agua.

Mes	Ppi (L/m ²)	Días mes	Demanda, Di (m ³ /mes)	Demanda acumulada Dai (m ³ /mes)	Oferta, Ai (m ³ /mes)	Oferta acumulada Aai (m ³ /mes)	Volumen, Vi (m ³ /mes)	Potencial de ahorro (%)
Octubre	245.3	31	12.4	12.4	4.906	4.906	-7.494	39.56%
Noviembre	177.7	30	12	24.4	3.554	8.460	-15.940	29.62%
Septiembre	161	30	12	36.4	3.22	11.680	-24.720	26.83%
Mayo	147.9	31	12.4	48.8	2.95	14.630	-34.170	23.79%
Agosto	144.6	31	12.4	61.2	2.892	17.522	-43.678	23.32%
Julio	132	31	12.4	73.6	2.64	20.162	-53.438	21.29%
Junio	131.1	30	12	85.6	2.62	22.782	-62.818	21.83%
Diciembre	62.1	31	12.4	98	1.242	24.024	-73.976	10.02%
Abril	55.5	30	12	110	1.11	25.134	-84.866	9.25%
Marzo	9.3	31	12.4	122.4	0.19	25.324	-97.076	1.53%
Enero	6.2	31	12.4	134.8	0.124	25.448	-109.352	1.00%
Febrero	3.7	28	11.2	146	0.074	25.522	-120.478	0.66%
							Promedio	17.39%

Fuente: Autores

Según los resultados que se muestran en la **Tabla 13** oferta no cubre toda la demanda de agua, sin embargo hay que tener en cuenta que la dotación que se asumió corresponde al uso del agua por persona incluyendo actividades de higiene personal, consumo y cocina las cuales no serán suplidas por el sistema de recolección ya mencionado; por el contrario este sistema está destinado para suplir la demanda de agua en actividades como el riego y el aseo doméstico.

Con base en lo anterior aunque la oferta no corresponde al total de la demanda, si corresponde a un porcentaje de la misma la cual se puede definir como un potencial de ahorro mes a mes lo que daría un promedio de 17.39 % de ahorro mensual en el consumo de este servicio público. Adicionalmente se obtuvieron los datos de consumo promedio de



agua en m³ de Ciudad Bicentenario por parte de la empresa prestadora de este servicio Acuacar como se muestra en la **Tabla 14** (Ver anexo 3).

Tabla 14. Datos de consumo promedio de agua suministrado por Acuacar.

	Septiembre	Agosto	Julio	Junio	Mayo	Abril
Consumo (m ³)	64,514	66,280	64,913	68,189	66,132	61,372
Nº de Pólizas	3,405	3,412	3,396	3,375	3,360	3,336
Promedio (m ³)	19	19	19	20	20	18

Fuente: Aguas de Cartagena, 2017

A partir de estos datos de consumo promedio de los últimos seis meses anteriores a la solicitud de dicha información, se calculó el potencial de ahorro más acercado a la realidad debido a la confiabilidad de estos datos. Se tomó el mayor valor de consumo promedio que fue 20 m³ para realizar los cálculos y los resultados se muestran en la **Tabla 15**.



Tabla 15. Resultados del potencial de ahorro de agua con base en los datos suministrados por Acuacar.

Mes	Ppi (L/m ²)	Días mes	Demanda, Di (m ³ /mes)	Demanda acumulada Dai (m ³ /mes)	Oferta, Ai (m ³ /mes)	Oferta acumulada Aai (m ³ /mes)	Volumen, Vi (m ³ /mes)	PPWS (%)
Octubre	245.3	31	20	20	4.906	4.906	-15.094	24.53%
Noviembre	177.7	30	20	40	3.554	8.460	-31.540	17.77%
Septiembre	161	30	20	60	3.22	11.680	-48.320	16.10%
Mayo	147.9	31	20	80	2.95	14.630	-65.370	14.75%
Agosto	144.6	31	20	100	2.892	17.522	-82.478	14.46%
Julio	132	31	20	120	2.64	20.162	-99.838	13.20%
Junio	131.1	30	20	140	2.62	22.782	-117.218	13.10%
Diciembre	62.1	31	20	160	1.242	24.024	-135.976	6.21%
Abril	55.5	30	20	180	1.11	25.134	-154.866	5.55%
Marzo	9.3	31	20	200	0.19	25.324	-174.676	0.95%
Enero	6.2	31	20	220	0.124	25.448	-194.552	0.62%
Febrero	3.7	28	20	240	0.074	25.522	-214.478	0.37%
							Promedio	10.63%

Fuente: Autores

Con base en lo anterior aunque la oferta no corresponde al total de la demanda, si corresponde a un porcentaje de la misma la cual se puede definir como un potencial de ahorro mes a mes lo que daría un promedio de 10.63 % de ahorro mensual en el consumo.

Una vez realizado los cálculos se procede a definir los materiales a usar para este sistema:

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos el tanque de almacenamiento será de 5 m³ debido a que corresponde al valor mayor de la oferta acumulada.
- Se propone una canaleta para la recolección del agua captada por la cubierta además de una bajante de 3” hasta el tanque de almacenamiento.
- Se propone la instalación de dos puntos hidráulico de ½” para el sanitario y otro para lavaescoba.
- Teniendo en cuenta que el sistema de bombeo no requiere de gran esfuerzo en la succión ni en la impulsión ya que el sanitario y el punto hidráulico de lava escoba



están ubicados en el primer piso de la vivienda, se tomó como referencia las características y especificaciones técnicas de bombas comúnmente utilizadas en viviendas. Se propone el uso de una bomba eléctrica con las características que se muestran en la **Tabla 16**.

Tabla 16. Especificaciones técnicas electrobomba.

Caudal máximo	35 L/min
Cabeza dinámica total	35 metros
Voltaje	110 Voltios
Potencia del motor	0.5 Caballos de fuerza
Cabeza de succión	8 metros
Intensidad de corriente	5.4 Amperios

Fuente: Homecenter.

5.2.1.2. Factor económico

Luego de haber definido los materiales para la instalación de este sistema se determinó el costo inicial mediante un presupuesto como se muestra en la **Tabla 17**.

Tabla 17. Presupuesto instalación de sistema de recolección de aguas lluvias.

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
1.00	Canaleta para circulación de aguas lluvias	U	1	\$ 197,303.00	\$ 197,303.00
2.00	Rejilla de aluminio para evitar el paso de residuos solidos	U	1	\$ 17,900.00	\$ 17,900.00
3.00	Punto Hidráulico de 1/2" PVC	U	2	\$ 15,181.11	\$ 30,362.21
4.00	Tanque de almacenamiento 5 m3 en PVC	U	1	\$ 2,399,000.00	\$ 2,399,000.00
5.00	Electrobomba de 1/2	U	1	\$ 112,900.00	\$ 112,900.00
6.00	Tubería 3" bajante de aguas lluvias	ML	6	\$ 17,471.10	\$ 104,826.60
		Total			\$ 2,862,291.81

Fuente: Autores

Los análisis de precios unitarios del anterior presupuesto se muestran en los anexos.



Para la instalación del sistema de recolección de aguas lluvias se requieren \$ 2, 862,291.81 en los cuales no está incluido la mano de obra.

El costo de operación está determinado por el consumo eléctrico generado por la electrobomba propuesta, dicho consumo está dado por siguiente ecuación:

$$Kwh = Kw * h \text{ Ec. 32}$$

Donde,

Kwh = Consumo eléctrico en Kilovatios por hora.

Kw = Kilovatios producidos por la electrobomba ($H_p = 0.745Kw$) = $0.5 * 0.745$

h = Tiempo en el cual la bomba está encendida.

Se estima que estará encendida a aproximadamente unas dos horas diarias, reemplazando se tiene

$$Kwh = 0.372 * 2$$

$$Kwh = 0.745$$

Teniendo el consumo de la bomba eléctrica por día se multiplica por el número de días del año y por el costo de un kwh para una vivienda estrato uno que es \$ 431.39

$$\text{Costo de operación} = 0.745 * 365 * 431.39$$

$$\text{Costo de operación} = \$ 117,305.72$$

El costo de operación anual de la bomba eléctrica es de \$ 117,305.72 pero hay que tener en cuenta que para el estrato 1 el subsidio en el servicio de energía eléctrica es de 52.7%, por lo tanto el costo de operación anual real sería

$$\text{Costo de operación} = \$ 117,305.72 * (1 - 0.527)$$

$$\text{Costo de operación} = \$ 55,485.26$$

5.2.2. Sistema de paneles solares

Una vez realizado los procedimientos descritos en la metodología se definieron los elementos necesarios para el buen funcionamiento de los dos tipos de sistemas fotovoltaicos planteados.



5.2.2.1. Factor técnico

- Sistema fotovoltaico con inyección a red:

El diseño de este sistema se basa en la potencia pico requerida, la cual se determinó mediante la Ecuación 8

$$Potencia\ pico = \frac{5.703\ kWh}{5.5\ kWh/m^2} = 1.036\ kWp$$

Para esta potencia suplir esta potencia pico, se propone un sistema conformado de la siguiente manera

- ✓ 4 paneles de 260 Wp.
 - ✓ Un inversor de inyección a red de 1kW.
 - ✓ Cableado AWG 6.
- Sistema fotovoltaico autónomo

Una vez finalizado el procedimiento descrito en la metodología se procedió a definir el resto de equipos necesarios para el funcionamiento de este sistema.

Se escogió un inversor para convertir la corriente continua a corriente alterna de 1500 Watts con base en la potencia pico 1618.9 Watts (Ecuación 29).

Para escoger el regulador de corriente se debe tener en cuenta la intensidad de corriente de los paneles solares la cual se encuentra en las especificaciones técnicas suministradas por el fabricante, para este caso se escogió un panel de la marca Amerisolar de 300 Watts Pico el cual presenta una intensidad de corriente de 8.18 Amperios, debido a que son 6 paneles en total, se requiere un regulador de corriente mínimo de 49.8 Amperios.

El dimensionamiento de este sistema arrojó los siguientes resultados:

- ✓ 6 Paneles de 300 Wp.
- ✓ Regulador de 60 Amperios y 24 Voltios se tomó este valor por ser comercial.
- ✓ 6 Baterías de 200 Amperios hora a 12 v.
- ✓ Inversor de 1500 Watts.
- ✓ Cableado AWG 6.



5.2.2.2.Factor Económico

El factor económico fue suministrado por la empresa ENERGY CARIBE GROUP bajo una propuesta tecno-económica la cual se puede observar en los anexos con un sistema de almacenamiento de 1 kWp para el sistema fotovoltaico autónomo y una propuesta con sistema de inyección a la red de 2 kWp. A continuación se muestra el resumen de las propuestas económicas.

El suministro, instalación y puesta en servicio del sistema fotovoltaico autónomo, llave en mano de potencia nominal 1 kWp es de \$ 9'500,000 más instalación por el valor de \$ 1'190,000 para un total de \$ 10'690,000, además se garantiza hasta 30 años con el 80.6% de eficiencia y 12 años de garantía contra defectos de fábrica.

El suministro, instalación y puesta en servicio del sistema fotovoltaico con inyección a red, llave en mano de potencia nominal 2 kWp es de \$ 10'141,281 en el cual los equipos a suministra estarán exentos del IVA de acuerdo a la ley 1715. Además se garantiza hasta 30 años con el 80.6% de eficiencia y 12 años de garantía contra defectos de fábrica.

5.2.3. Sistema de techos verdes

5.2.3.1.Factor técnico

Una vez realizada la modelación de este sistema a continuación se muestran los resultados de temperatura arrojados por el motor de cálculo energético Energy Plus.

Se escogió el mes de mayo para ser analizado, se promediaron las temperaturas de cada hora de todos los 31 días del mes.

En la siguiente grafica se muestra la temperatura en el primer y segundo piso de la vivienda modelada con los materiales con los que está construida

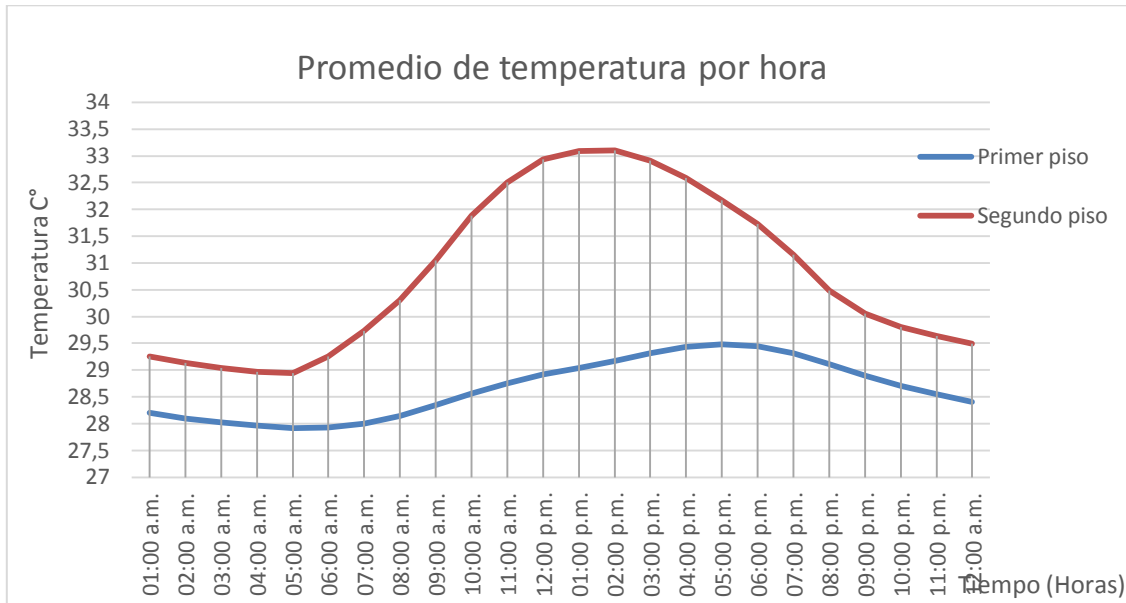


Figura 49. Temperatura al interior de la vivienda.

Fuente: Autores.

Con base en la figura anterior se puede observar que la temperatura en el primer piso es más baja debido a que se encuentra aislado, por su parte en el segundo piso la temperatura es relativamente alta, esto puede deberse al material del techo y sus características termodinámicas.

A continuación se muestra el resultado de la temperatura promedio por hora con techos verdes para posteriormente analizar las dos figuras.

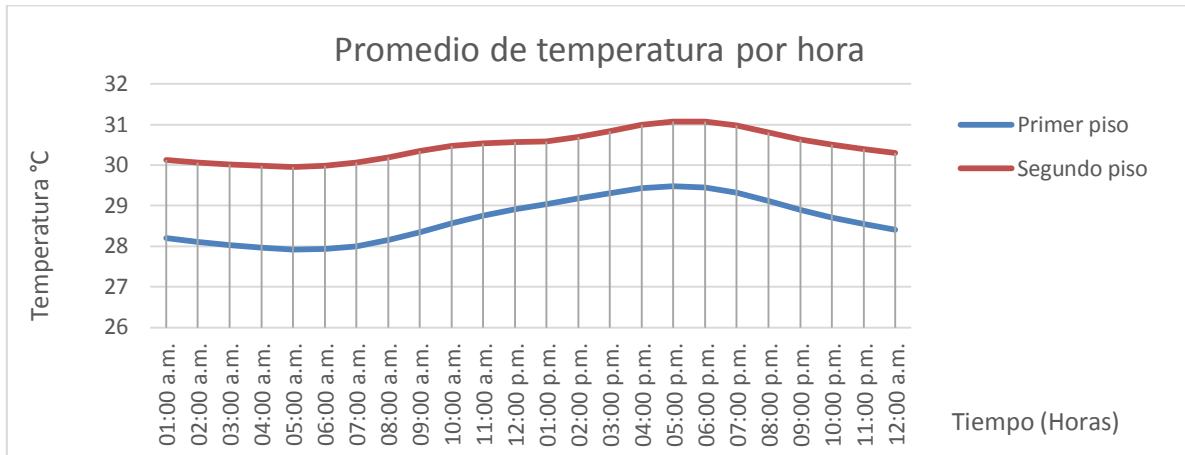


Figura 50. Temperatura al interior de la vivienda con techo verde.

Fuente: Autores.

Con base en la figura anterior se puede observar que al aplicar el techo verde la temperatura en el primer piso no varía mucho en relación a la **Figura 51** en cuanto al segundo piso la variación de la temperatura es más visible.

A continuación se muestra con más detalle la variación de la temperatura en la vivienda con y sin techo verde en el segundo piso.

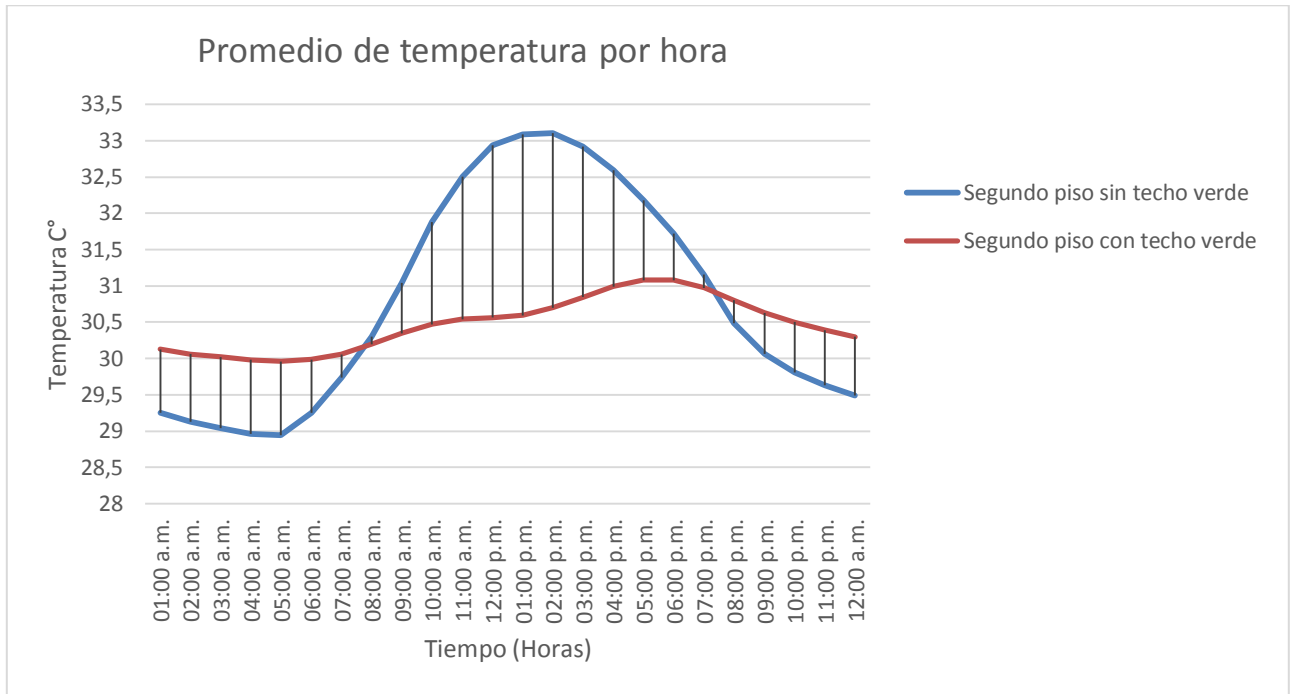


Figura 51. Variación de temperatura en el segundo piso con y sin techo verde.

Fuente: Autores

En la figura se puede observar que en el periodo comprendido entre las 8:00 pm y 7:00 am la temperatura en el segundo piso de la vivienda sin techo verde es menor aproximadamente 1°C esto se debe a que el techo verde conserva la temperatura interior.

En el periodo comprendido entre las 7:00 am y 8:00 pm la temperatura en el segundo piso de la vivienda modelada con techo verde es menor, llegando a diferencias de 2.5°C aproximadamente.

5.2.3.2. Factor económico

A continuación se muestra el presupuesto correspondiente a las características de la cubierta de la vivienda por metro cuadrado de techo verde instalado:



Tabla 18. Presupuesto techo verde instalado.

Cubierta no transitable, no ventilada, ajardinada, impermeabilización mediante mantos asfálticos.				
m²				
Unidad	Descripción	Cantida d	Valor unitario	Valor parcial
	Materiales			
Ud	Ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 24x11,5x9 cm.	3.000	\$ 281.00	\$ 843.00
m³	Arcilla expandida, de granulometría comprendida entre 3 y 8 mm y 350 kg/m ³ de densidad, suministrada a granel.	0.150	\$157,180.8 4	\$23,577.1 3
m³	Lechada de cemento 1/3	0.010	\$198,024.0 9	\$ 1,980.24
m²	Panel rígido de poliestireno expandido, mecanizado lateral recto, de 20 mm de espesor, para junta de contracción.	0.010	\$ 4,827.84	\$ 48.28
m³	Agua.	0.006	\$ 2,918.09	\$ 17.51
T	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	0.024	\$ 39,426.64	\$ 946.24
kg	Cemento gris en sacos.	3.750	\$ 429.93	\$ 1,612.24
m²	Panel rígido de lana mineral soldable, hidrofugada, revestido con betún asfáltico y film de polipropileno termofusible, de 50 mm de espesor, resistencia térmica $\geq 1,3 \text{ m}^2\text{K/W}$, conductividad térmica $0,038 \text{ W/(mK)}$.	1.050	\$ 52,841.11	\$ 55,483.17
m²	Manto de betún modificado con elastómero SBS, de 3,5 mm de espesor, masa nominal 5 kg/m ² , con armadura de fieltro de poliéster reforzado y estabilizado de 150 g/m ² , con autoprotección mineral de color verde, con resistencia a la penetración de raíces.	1.100	\$ 28,428.32	\$ 31,271.15
m²	Geotextil no tejido compuesto por fibras de poliéster unidas por agujeteado, con una resistencia a la tracción longitudinal de 1,63 kN/m, una resistencia a la tracción transversal de 2,08 kN/m, una apertura de cono al ensayo de perforación dinámica según ISO 13433 inferior a 27 mm, resistencia	1.050	\$ 2,420.11	\$ 2,541.12



	CBR a punzonamiento 0,4 kN y una masa superficial de 200 g/m ² .			
m²	Lámina drenante nodular de polietileno de alta densidad (PEAD/HDPE), con nódulos de 20 mm de altura, formada por membrana de polietileno de alta densidad con relieve en cono truncado y perforaciones en la parte superior, resistencia a la compresión 180 kN/m ² según ISO 604 y capacidad de drenaje 12 l/(s·m).	1.050	\$ 20,264.45	\$ 21,277.67
m²	Geotextil no tejido sintético, termosoldado, de polipropileno-polietileno, de 160 g/m ² .	1.050	\$ 3,291.36	\$ 3,455.93
l	Sustrato orgánico, para cubiertas ajardinadas extensivas.	60.000	\$ 305.70	\$ 18,342.00
kg	Roca volcánica de distintas granulometrías, para colocar sobre el sustrato orgánico en cubiertas ajardinadas extensivas.	50.000	\$ 396.47	\$ 19,823.50
			Subtotal materiales:	\$ 181,219.18
Equipo				
H	Concretera.	0.011	\$ 3,429.80	\$ 37.73
			Subtotal equipo:	\$ 37.73
Mano de obra				
h	Oficial 1 ^a obra blanca.	0.157	\$ 19,843.71	\$ 3,115.46
h	Peón de obra blanca.	0.291	\$ 14,022.65	\$ 4,080.59
h	Oficial 1 ^a aplicador de láminas y mantos impermeabilizantes.	0.269	\$ 19,843.71	\$ 5,337.96
h	Ayudante aplicador de láminas y mantos impermeabilizantes.	0.269	\$ 14,628.70	\$ 3,935.12
h	Oficial 1 ^a colocador de aislantes.	0.056	\$ 20,511.20	\$ 1,148.63
h	Ayudante colocador de aislantes.	0.056	\$ 14,628.70	\$ 819.21
h	Oficial 1 ^a jardinero.	0.059	\$ 19,843.71	\$ 1,170.78



h	Peón jardinero.	0.059	\$ 14,022.65	\$ 827.34
			Subtotal mano de obra:	\$20,435.09
	Herramienta menor			
%	Herramienta menor	2.000	\$201,692.00	\$ 4,033.84
	Coste de mantenimiento decenal: \$ 71.592,59		Costos directos	\$205,725.84
				4

Fuente: CYPE Ingenieros S.A

El costo total de metro cuadrado de techo verde instalado es \$ 205,725.84 multiplicando por el área del techo 25 m², el costo de instalación de techo verde a una vivienda de la zona de estudio es de \$ 5'143,125.

Costo de mantenimiento cada 10 años es \$ 71,592.59 por metro cuadrado multiplicando por el área del techo 25 m² el costo de mantenimiento de techo verde a una vivienda de la zona de estudio es de \$ 1'789,800.

5.3.POTENCIAL DE AHORRO

A continuación se muestra el potencial de ahorro de cada uno de los sistemas de sostenibilidad evaluados en los apartados anteriores.

5.3.1. Sistema de recolección de aguas lluvias

El ahorro que genera el sistema de recolección de aguas lluvias es de 10.63% promedio mensual como se muestra en la **Tabla 15**, según los datos de consumo de Aguas de Cartagena este porcentaje de ahorro corresponde a 2.126 m³, multiplicándolos por el costo del m³ para estrato uno (1) que corresponde a \$ 963.55 daría un ahorro promedio mensual de \$ 2,048.5 que al año serían \$ 24,582.08.

Teniendo en cuenta que el costo inicial es \$ 2'862,291.81 (**Tabla 17**) y el costo de operación anual es \$ 55,485 el ahorro generado por el sistema no es suficiente para retornar lo invertido por el contrario se generaría un sobre costo a la población.



5.3.2. Sistema de paneles de solares

El potencial de ahorro en esta alternativa se evaluó individualmente para cada alternativa que ofrece la instalación de un sistema fotovoltaico, como se muestra a continuación:

5.3.2.1.Sistema fotovoltaico Autónomo

Según la propuesta económica entregada por la empresa ENERGY CARIBE GROUP para el sistema autónomo son necesarios 4 paneles con una potencia de 250 Wp cada uno, es decir, con un rendimiento del 80.6% de eficiencia del valor nominal en el sistema producen 0.806 kW/h que multiplicadas por las 5.5 horas de sol que estima el IDEAM para Cartagena, este sistema entregaría un total de 4.5 kW, esto nos permite saber cuánto es el porcentaje de ahorro en el consumo de energía en la vivienda, teniendo en cuenta que según la **Tabla 4** una vivienda en la zona de estudio tiene un consumo promedio diario de 5,7 kW lo que implica un ahorro de 78.9%.

Teniendo en cuenta el costo del kW que ofrece la empresa prestadora de servicio es de \$431.39 que multiplicado por los 4.5 kW da como resultado el ahorro diario que multiplicado por los 30 días del mes nos da un resultado final de \$58.237 de ahorro mensual.

5.3.2.2.Sistema fotovoltaico de inyección a red

Según la propuesta económica entregada por la empresa ENERGY CARIBE GRUP para el sistema de inyección a red son necesarios 8 paneles con una potencia de 250 Wp cada uno, es decir, con un rendimiento del 80.6% el sistema produce 1.6 kW/h que multiplicados por los 5.5 horas de sol que estima el IDEAM para Cartagena, este sistema entregaría un total de 8.8 kW, este sistema, a diferencia del autónomo no permite acumular la energía en baterías, por lo tanto existen maneras de generar cambios positivos en la economía de la población, una de estas es que por medio de la ley 1715 de 2014 y la actual resolución CREG 030 de 2018 la energía que se logra recolectar en las horas de sol por medio de los paneles y su sistema de conexión tiene la posibilidad de ser redistribuida en la red, la cantidad de energía excedente que pasa a la red se mide a través de un medidor



bidireccional (Ver **Figura 52**), según la normativa vigente dicha energía puede ser reembolsada a la vivienda para cubrir toda su demanda, es decir, según el consumo diario promedio de 5.7 kW para estas viviendas estaría cubierto al 100% por los paneles quedaría un sobrante de 3.3 kW el cual puede ser consumido en su totalidad por la vivienda para un mayor confort o una oportunidad de negocio.

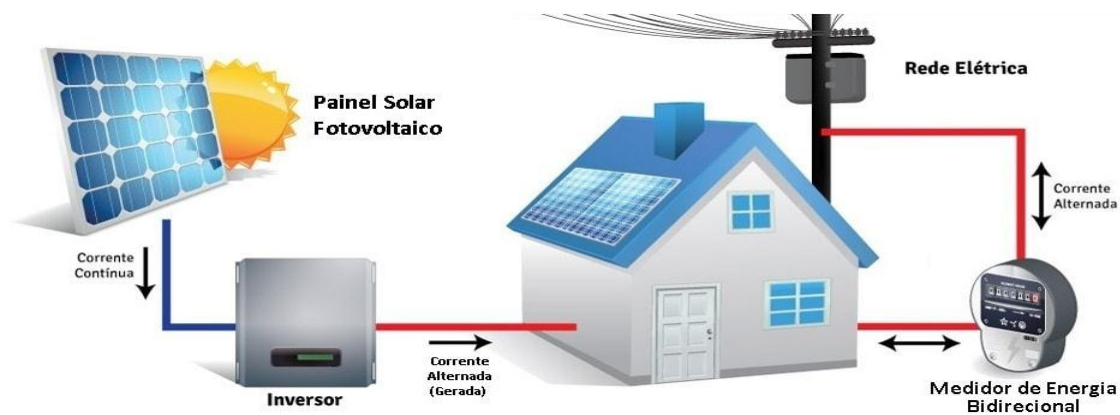


Figura 52. Esquema de sistema fotovoltaico de inyección a red.

Fuente: (MITRATECH, 2017)

5.3.3. Sistema de techos verdes

El ahorro de este sistema está dado por la disminución de la temperatura al interior de la vivienda, hasta el punto en que sus habitantes debido al confort reduzcan el uso de aparatos de ventilación lo cual se traduce en menor consumo energético.

Aunque los resultados de la modelación arrojaron una disminución de hasta 2.5 °C en el segundo piso, la temperatura no bajo de los 30°C siendo esta una temperatura alta.

Este sistema no es rentable económicamente, puesto que la instalación tiene un costo de \$5'143,125 y el mantenimiento cada 10 años tiene un costo de 1'789,800 y no se presenta ahorro en kWh del consumo energético porque la temperatura mínima alcanzada con la implementación del sistema de techo verde no es suficiente para el no uso de ventilación eléctrica.



6. CONCLUSIONES

Luego de finalizado el proyecto de investigación y evaluar las posibilidades que en materia de alternativas de proyectos urbanísticos se evaluaron durante la misma podemos concluir que la opción de las VIS de carácter sostenibles se convierten en una alternativa de sostenibilidad ambiental para la región y el país y en una posibilidad de ahorro y disminución de riesgo para los propietarios basándose en cinco criterios de sostenibilidad a saber técnico, sociocultural, ambiental, económico y legal.

Para cada uno de estos criterios se precisaron una serie de indicadores que son fundamentales para evaluar el desarrollo sostenible de las distintas técnicas, cada uno figurando una parte importante dentro del proceso de selección, como lo son: facilidad de adaptación, simplicidad técnica, aceptación de la comunidad, demanda o necesidad de un servicio mejorado y reducido en costo.

En la aplicación al caso de estudio, se generaron tres alternativas para lograr el objetivo, teniendo en cuenta las características predominantes en la zona y las tecnologías que mejor se adaptan a ella, estas tecnologías son: el aprovechamiento del agua lluvia, el usos de la energía fotovoltaica a partir de paneles solares y sistema techos verdes.

Para el análisis de cada alternativa se consideró necesario evaluar las condiciones actuales da la viviendas del caso de estudio y elaborar un prediseño a partir de la literatura encontrada, las características de la vivienda, las características de la población y la zona. En esta evaluación se encontró que las viviendas del caso de estudio no cumplen las condiciones mínimas con miras a la sostenibilidad, puesto que los materiales de construcción utilizados no están acorde a las condiciones climatológicas de la zona, donde predomina las temperaturas altas y los materiales tiene un alto coeficiente de conductividad, que sobre pasan los $0.10 \text{ W/m}^2/\text{K}$, como lo son el asbesto cemento utilizado en la cubierta con un coeficiente de $0.576 \text{ W/m}^2/^\circ\text{K}$ y el block #5 con un coeficiente de $0.435 \text{ W/m}^2/^\circ\text{K}$, por otro lado la orientación de las viviendas no tiene un orden definido, es decir, la fachada principal de las viviendas están orientadas en distintos sentidos N, S, E O,



razón por la cual algunas de las viviendas no están aprovechando la orientación de los vientos a su favor, los cuales provienen del norte, para obtener un mayor confort en la temperatura al interior de estas y por el contrario están tomando toda la radiación solar que proveniente del sur en su mayor parte.

En el caso de la aplicación de los sistemas de sostenibilidad en la zona de estudio Ciudad bicentenario (Cartagena – Colombia) se observó mediante el análisis realizado que en particular para el sistema de recolección de aguas lluvias no resulto ser viable puesto que las características meteorológicas de la zona de la ciudad de Cartagena en cuanto a la cantidad de lluvia anual solo permite conseguir un ahorro del 10.63% promedio mensual que equivale a \$ 24,582.08 anualmente sobre la factura que resulta ser insuficiente para solventar la inversión inicial de \$ 2'862,291.81 y los costos de operación anual de \$ 55,485 que se requiere para implementar este sistema.

Por otra parte, para el sistema de techos verdes se observó mediante el análisis realizado que al implementarlo se logra una disminución máxima de 2,5 °C llegando hasta los 30 °C en el margen de horas pico, que abarca desde las 9:00 a.m. hasta las 5:00 p.m., en interiores de la vivienda, lo cual resulta brindar un mayor grado de satisfacción y confort climático en la vivienda dando como resultado una viabilidad socio-ambiental, mientras que el factor económico no refleja ningún ahorro sobre la factura final de energía debido que a los 30 °C los habitantes de las viviendas aún se ven forzados a usar aparatos electrónicos de ventilación y se requiere un inversión inicial de \$ 5'143,125 y el mantenimiento cada 10 años con un costo de 1'789,800.

En el caso de la implementación de los sistemas de paneles solares se observó mediante el análisis que la opción más viable para el este tipo de proyecto es el sistema de inyección a red, puesto que la inversión inicial puede ser suplida por el estado, de manera que se ahorraría el subsidio mensual en el servicio de energía eléctrica, además este sistema puede solventar el 100% del consumo energético, ya que la energía producida en las horas de sol es mucho mayor de la que se consume en las 24 horas por estas viviendas, este excedente



de energía pasa a la red, la cantidad de energía que se va a la red se puede redistribuir a la vivienda para consumir en las horas de no sol, puede ser utilizada ya sea para su confort o para alguna iniciativa de negocio en la que requiera energía eléctrica. Por otro lado también existe la posibilidad que este sistema se aplique a una comunidad de la manera descrita lo cual conllevaría a una producción considerable de energía y el excedente generado puede ser redistribuido a la misma comunidad ya sea a un centro de integración, a una institución educativa o un hospital, entre otros.

Por otra parte este sistema también es viable ambientalmente ya que disminuye la emisión de CO₂ a la atmosfera, para este caso en específico si un 1 kW equivale a 0.385 Kg de CO₂, entonces 5.7 kW equivalen a 2.19 Kg de CO₂ que diariamente por vivienda dejan de emitirse a la atmosfera con dicho sistema.



7. LIMITACIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se exponen las limitaciones encontradas a lo largo del desarrollo de este proyecto, así como las respectivas recomendaciones para futuras investigaciones, con el fin de ser tenidas en cuenta y hacer más productivos los resultados obtenidos.

7.1.LIMITACIONES

Las limitaciones obtenidas en esta investigación se describen a continuación

- Obtención de la información secundaria relacionadas con metodologías que permitieran el análisis de las variables de sostenibilidad para los sistemas de recolección de aguas lluvias, techos verdes y sistemas fotovoltaicos.
- Obtención de la información de primera mano con relación a las encuestas realizadas a los habitantes, las fotografías y el reconocimiento de la zona, debido al riesgo de la integridad física por parte de los investigadores al momento de realizar el estudio
- Accesibilidad a las viviendas puesto que algunos habitantes se encontraban un poco reacios a permitirnos realizar las encuestas, dificultando la obtención de información primaria.
- Se planteó evaluar mediante una modelación el sistema de muros verdes lo cual no se realizó debido a que en la búsqueda de información secundaria no se encontró un software que modele dicho sistema, por tal razón solo se evaluó el techo verde como sistema de sostenibilidad.

7.2.RECOMENDACIONES

- Realización de estudios de campo más precisos y profundos, de la calidad de la radiación solar en la zona puntual mediante mecanismos digitales de precisión para obtener un diagnóstico más completo y detallado con el fin de determinar el potencial de energía brindada por los paneles dentro de la alternativa seleccionada.



- Ampliación del número de expertos consultados para la asignación de veredictos y procesos usados en la evaluación de las distintas tecnologías, con el fin de obtener una mayor veracidad en los mismos.
- Es importante que para el correcto uso y funcionamiento de la instalación fotovoltaica no se exceda la carga con la cual se realizó el diseño, para de esta forma obtener el mejor porcentaje de ahorro y rendimiento del sistema.



8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Agencia Chilena de eficiencia energetica. (2012). Eficiencia Energetica. Retrieved March 16, 2017, from <http://www.acee.cl/eficiencia-energetica/que-es-ee/>
- Albarracín, W., & Arévalo, C. (2016). *LAS CUBIERTAS VERDES Y SU IMPLICACIÓN EN LAS ESTRUCTURAS, DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL DISEÑO, LO ECONÓMICO Y LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL*. Universidad militar Nueva Granda. Retrieved from [http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14149/1/Albarracín Novoa William 2016.pdf](http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/14149/1/Albarracín%20William%202016.pdf)
- Alonso Abella, M. (2011). Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos, 15. Retrieved from http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45340/componente45338.pdf
- Andrade, C. (2017). Que es Eficiencia Energetica o Ahorro de Energia en su Empresa. Retrieved June 4, 2018, from <http://energymaster.co/que-es-eficiencia-energetica/>
- Balaguera, A., Carvajal, G., Valencia, D., Vaga, J., & García, A. (2016). APLICACIÓN DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD PARA VIVIENDA DE INTERES SOCIAL EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN. *SIBRAGEC ELAGEC 2015*, 469–476. Retrieved from http://www.infohab.org.br/sibraelagec2015/artigos/SIBRAGEC-ELAGEC_2015_submission_186.pdf
- Barragán, A. (2016). Diseño de vivienda ecosostenible en el alto magdalena de colombia: proyecto innovador para el desarrollo sustentable. *Lámpsakos*, 0(15), 59–68. Retrieved from <http://funlam.edu.co/revistas/index.php/lampsakos/article/view/1728/1506>
- Buendía, M. P. (2010). El impacto social del Cambio Climático. Retrieved from <http://ceppia.com.co/Documentos-tematicos/CAMBIO-CLIMATICO/Impacto-SOCIAL-CC-pardo-2007.pdf>
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M. J., Friedler, E., DeBusk, K., ... Han, M. (2017). Urban rainwater harvesting systems: Research, implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.02.056>
- Castro Sagado, K. (2015). *Innovaciones tecnologicas para el ahorro de agua y energia en la vivienda de interes social*. Instituto politecnico nacional de mexico. Retrieved from [http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16763/TESIS - KISIEV SALGADO CASTRO.pdf?sequence=1](http://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/16763/TESIS%20-%20KISIEV%20SALGADO%20CASTRO.pdf?sequence=1)
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (2014). *JUNTOS INSPIRAMOS Y CREAMOS UN MUNDO SOSTENIBLE*. Retrieved April 28, 2017, from <https://www.cccs.org.co/wp/>



- David Penchyna. (2011). INFONAVIT.
- De Pombo, J. J., & Gonzales, D. jose. (2016). *EVALUACIÓN DEL EFECTO TÉRMICO Y CAPTACIÓN DE ESCORRENTÍA PRODUCIDA POR UNA PLANTA PILOTO DE TECHO VERDE*. Universidad de Cartagena. Retrieved from http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/2693/1/DEPOMBO_GONZALEZ.pdf
- Duarte Ayala, D., & Moreno Rubiano, A. A. (2014). *Techos verdes en viviendas de estrato I: aplicado al barrio Yomasa*. Universidad catolica. Retrieved from <http://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/1549>
- EcuRed. (2010). Urbanismo sostenible. Retrieved June 4, 2018, from https://www.ecured.cu/Urbanismo_sostenible
- ENERGY PLUS. (2017). EnergyPlus | EnergyPlus. Retrieved from <https://energyplus.net/>
- Falivene, G., José, P. C., & Artusi, A. (2014). Aplicación de indicadores de sostenibilidad urbana a la vivienda social. *Cepal*. Retrieved from http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36654/S2014040_es.pdf;jsessionid=BEF2094CD9AA4B63123439A344D4A872?sequence=1
- Giraldo, M., Juan, O., Perez Botero, E., De, M., Para, G., Al, O., ... Economista, R. (2006). Determinantes de la demanda de vivienda de interés social (VIS) en la ciudad de Medellín período 2001 – 2006. Retrieved from https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/570/Marcela_GiraldoOsorio_2006.pdf;jsessionid=E1931484BCC732BA256692EBC32DE6D8?sequence=1
- Guia solar. (2003). *CÓMO DISPONER DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA*.
- Haque, M. M., Rahman, A., & Samali, B. (2016). Evaluation of climate change impacts on rainwater harvesting. *Journal of Cleaner Production*, 137, 60–69. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.038>
- Hashim, H., Hudzori, A., Yusop, Z., & Ho, W. S. (2013). Simulation based programming for optimization of large-scale rainwater harvesting system: Malaysia case study. *Resources, Conservation and Recycling*, 80, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.001>
- Hoyos Giraldo, R., Acevedo, L., & Alvarez, A. (2015). *APLICACIÓN DE LAS CUBIERTAS VERDES EN EL MEDIO LOCAL COMO SOLUCIÓN AL DEFICIT DE ZONAS VERDES EN MEDELLÍN*. Retrieved from [http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1145/Aplicación de las cubiertas verdes en el medio local como solución al déficit de zonas verdes en](http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1145/Aplicación%20de%20las%20cubiertas%20verdes%20en%20el%20medio%20local%20como%20solución%20al%20déficit%20de%20zonas%20verdes%20en)



Medellín.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Inca, A. (2015). “ESTUDIO FITOQUÍMICO DE ESPINO CHIVO (*Duranta triacantha*).” ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO DE RIOBAMBA ECUADOR. Retrieved from http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4008/1/56T00531_UDCTFC.pdf

Instituto Eduardo Torroja. (n.d.). CATALOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE, 6.3. Retrieved from https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/aplicaciones/nCatalog_infoEConstr/CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf

Krannich. (2017). AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO. Retrieved June 4, 2018, from <https://es.krannich-solar.com/es/autoconsumo/fotovoltaica-aislada.html>

Lopez, J., & Sarmiento, F. (2015). *EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE UNA VIS, COMO HERRAMIENTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO TENIENDO EN CUENTA LOS FACTORES BIOCLIMÁTICOS Y EL CONFORT DE LOS OCUPANTES*. Universidad de Cartagena. Retrieved from http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/3518/1/LOPEZ-SARMIENTO_TESIS_FINAL.pdf

Ministerio de Ambiente Desarrollo Sostenible. (2012). Criterios ambientales para el diseño y construcción de vivienda urbana Libertad y Orden. Retrieved from http://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/Se_llo_ambiental_colombiano/cartilla_criterios_amb_diseno_construc.pdf

MITRATECH. (2017). Energia Solar Fotovoltaica - Como Funciona? Retrieved June 4, 2018, from <https://www.mitrtech.com.br/como-funciona-energia-solar-fotovoltaica.html>

Montoya, J. (2016). Paneles solares, tecnología que avanza en Medellín. *El Colombiano*. Retrieved from <http://www.elcolombiano.com/tecnologia/uso-de-paneles-solares-crece-en-medellin-MK4518952>

Notaro, V., Liuzzo, L., & Freni, G. (2016). Reliability Analysis of Rainwater Harvesting Systems in Southern Italy. *Procedia Engineering*, 162, 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.077>

OPS/CPEIS. (2010). GUÍA DE DISEÑO PARA CAPTACIÓN DEL AGUA DE LLUVIA. Retrieved from <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>

Poveda, M. (2007). EFICIENCIA ENERGÉTICA: RECURSO NO APROVECHADO. *OLADE*. Retrieved from http://www.olade.org/sites/default/files/portal-ee/EFICIENCIA_ENERGÉTICA_RECURSO_NO_APROVECHADO-Agosto-2007.pdf




- Reyes, R., Bustamante, W., Gironás, J., Pastén, P. A., Rojas, V., Suárez, F., ... Bonilla, C. A. (2016). Effect of substrate depth and roof layers on green roof temperature and water requirements in a semi-arid climate. *Ecological Engineering*, 97, 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.025>
- Sitio Solar. (2013). Los sistemas de recolección de agua de lluvia. Retrieved March 11, 2017, from <http://www.sitiosolar.com/los-sistemas-de-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>
- SMA Solar technology AG. (2017). SUNNY DESIGN WEB | SMA Solar. Retrieved February 28, 2018, from <https://www.sma.de/es/productos/software-de-planificacion/sunny-design-web.html>
- Soliclima. (2017). Fotovoltaica aislada. Retrieved June 4, 2018, from <https://www.soliclima.es/fotovoltaica-aislada>
- Téllez, L., Villareal, L., Armenta, C., Ponsen, R., & Bremer, M. (2014). Situación de la Edificación Sostenible en América Latina. *Programa de Las Naciones Unidas Para El Medio Ambiente*, 1–119.
- Wallenberger, F. T., & Bingham, P. A. (2010). *Fiberglass and glass technology : energy-friendly compositions and applications*. Springer.



ANEXOS

Anexo 1. Formato de encuesta

UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERÍA

 PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL
CARTAGENA-BOLIVAR
2017

Buenos días/tardes. El siguiente cuestionario hace parte de un estudio realizado por un grupo de estudiantes del programa de Ingeniería civil de la Universidad de Cartagena con el fin de caracterizar la población de personas que habitan en viviendas de interés social y para evaluar el confort habitacional de las mismas. Garantizamos absoluto anonimato y secreto de sus respuestas y agradecemos de antemano su colaboración.

I. ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

Edad _____

Sexo F M

1. Nivel de escolaridad

Ninguno
 Básica Primaria
 Básica secundaria
 Bachiller
 Auxiliar (educación para el trabajo)
 Técnico
 Tecnólogo
 Profesional
 Especialista
 Maestría
 Doctor

2. ¿A qué régimen de seguridad social pertenece?

Ninguno
 Contributivo
 Subsidiado

Si su respuesta a la pregunta anterior fue Régimen Contributivo, continúe con la siguiente pregunta. De lo contrario pase a la pregunta 4.

3. ¿Cuál es su tipo de afiliación al Régimen Contributivo?

Beneficiario
 Cotizante
 De 6 a 8 personas
 Más de 8 personas

5. Vive en casa...

Propia
 Arrendada
 Otro _____

6. ¿Cuántas personas residen en su casa?

De 1 a 2 personas
 De 3 a 5 personas
 De 6 a 8 personas
 Más de 8 personas

7. ¿Con cuántas habitaciones cuenta su casa?

1 habitación.
 2 habitaciones
 3 habitaciones
 4 habitaciones
 Mas de 4 habitaciones

4. ¿Cuántas personas depende de usted económicamente?

De 1 a 2 personas
 De 3 a 5 personas

8. ¿Con cuántos baños cuenta su casa?

1 Baño.
 2 Baños
 3 Baños
 4 Baños
 Más de 4 baños.

9. ¿De las personas que viven en su casa, cuantas realizan actividades diarias por fuera?

De 1 a 2 personas
 De 3 a 5 personas
 De 6 a 8 personas
 Más de 8 personas.

10. ¿Cuánto tiempo dura cada una de ellas por fuera?

Menos de 4 horas
 De 4 a menos de 8 horas
 De 8 a menos 12 horas
 12 horas o mas

11. ¿Está usted satisfecho con la cantidad de dinero que paga por sus servicios en relación a la calidad y lo consumido?

SI
 NO

12. ¿Tiene usted vehículo?

SI _____ NO _____

13. ¿De cuántos salarios mínimos es el ingreso mensual como familia?

Menos de un salario mínimo
 1 salario mínimo
 De 2 a 3 salarios mínimos
 De 4 a 6 salarios mínimos
 Más de 6 salarios mínimos



14. Nivel de escolaridad de la persona cabeza de hogar

- Ninguno
- Básica Primaria
- Básica secundaria
- Bachiller
- Auxiliar (educación para el trabajo)
- Técnico
- Tecnólogo
- Profesional
- Especialista
- Maestría
- Doctor

15. ¿Qué ocupación tiene la persona cabeza de hogar?

16. ¿Conoce alguna guía, sistemas o recomendaciones legales que le permita un uso eficiente de sus servicios?

- NO
- SI

Cuál? _____

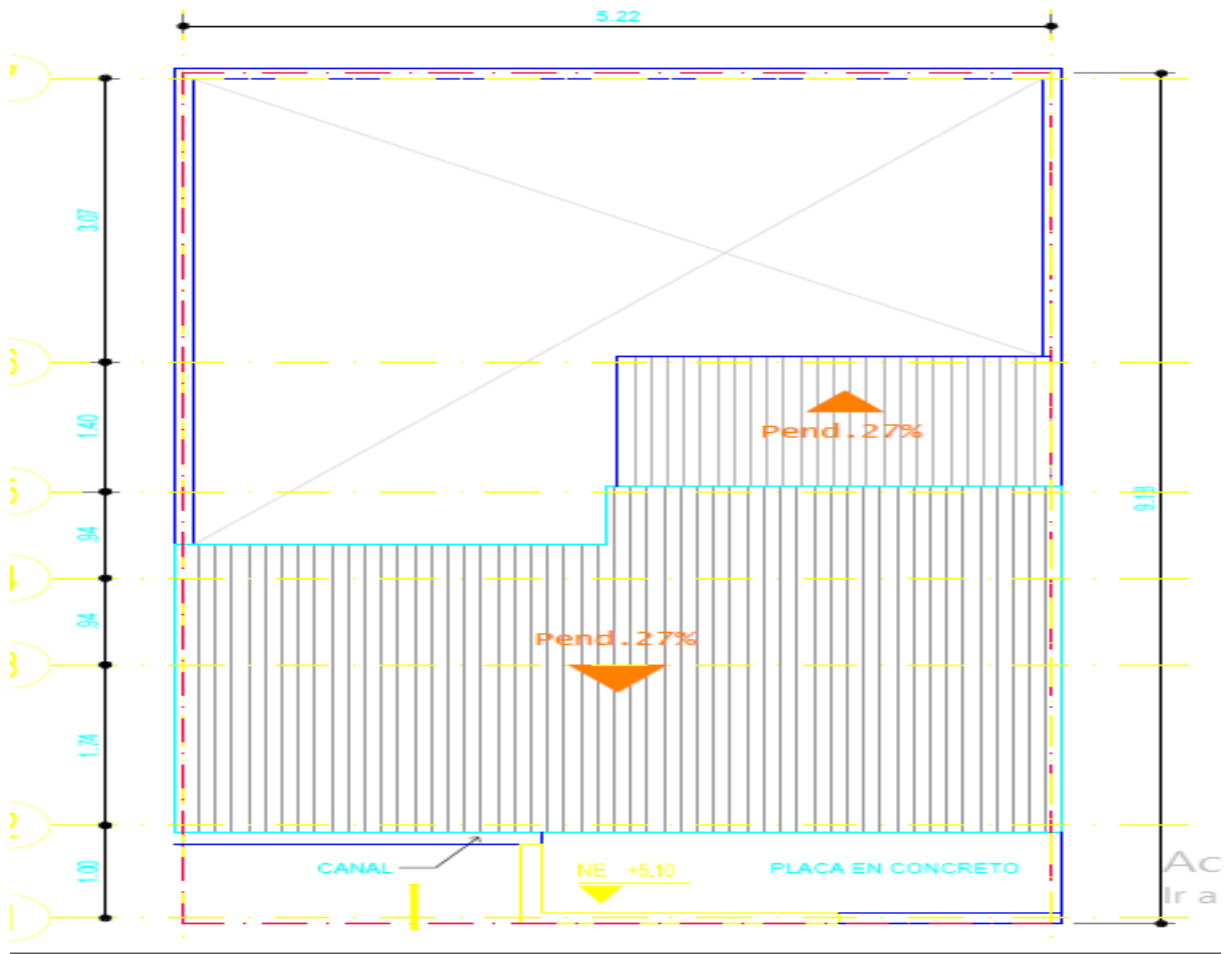
17. ¿Cómo califica la satisfacción que le da su vivienda?

- Muy satisfactoria
- Satisfactor
- Buena
- Regular
- Poco satisfactoria
- Insatisfactoria
- Muy insatisfactoria.

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN



Anexo 2. Planta de cubierta





Anexo 3. Datos de consumo suministrados por Aguas de Cartagena

4/12/2017 Oficio N°20407

Responder | Eliminar Correo no deseado | ...

Oficio N°20407

SP Susana Perez <sperez@acuacar.com> Responder |
 mié 18/10, 3:35 p.m.
 Usted; 'Fabian Perez Forero' (fpforero@acuacar.com) ✕

Bandeja de entrada

Reenviaste este mensaje el 18/10/2017 4:27 p.m.

Consumo bicentenari... ▼
 171 KB

descargar Guardar en OneDrive - Personal

Buenas tardes Juan García/ Javier Lora,


En respuesta a su oficio radicado en nuestras oficinas con el N°20407, en el cual solicita información del consumo promedio en Ciudad del Bicentenario, a continuación se relaciona lo requerido:

	sep-17	ago-17	jul-17	jun-17	may-17	abr-17
Consumo (m³)	64.514	66.280	64.913	68.189	66.132	61.372
N° de Pólizas	3.405	3.412	3.396	3.375	3.360	3.336
Promedio m³	19	19	19	20	20	18

En el archivo adjunto se encuentra el detalle por póliza(Código de registro interno)- predio del consumo por mes y el promedio.

Quedamos atentos a sus comentarios.





Cordialmente.



AGUAS DE
CARTAGENA

www.acuacar.com

Susana Pérez Herrera
 Asistente de Factoración
 sperez@acuacar.com
 Edificio Chambacú
 Cra. 13B N° 26-78 Piso 2
 Sector Papayal - Tonices
 Tel. (57) (5) 693 2770 Ext. 154
 Cel. (57) 310 0000000 Fax (57) (5) 693 5071
 Cartagena - Colombia
 www.acuacar.com





 Aguas de Cartagena

LA CIUDAD. NUESTRO COMPROMISO LA GENTE. NUESTRA PRIORIDAD

<https://outlook.live.com/owa/projection.aspx> 1/2



Anexo 4. Análisis de precios unitarios del presupuesto del Sistema de recolección de aguas lluvias (Tabla 17)

ITEM	U	Punto hidráulico de 1/2 PVCP				
3	U	DESCRIPCION	U	V/ UNITARIO	CAN.	V/ PARCIAL
		Tubería hidráulica Ø½"	ML	\$ 2,150.00	2	\$ 4,300.00
		Unión Ø½"	U	\$ 400.00	1	\$ 400.00
		Codo Ø1/2"	U	\$ 550.00	2	\$ 1,100.00
		Tee Ø1/2"	U	\$ 700.00	2	\$ 1,400.00
		Yee sanitaria Ø2"	U	\$ 6,264.00	1	\$ 6,264.00
		Soldadura liquida	GI	\$ 25,500.00	0.03	\$ 765.00
		Limpiador	GL	\$ 14,170.00	0.03	\$ 425.10
		Desperdicio	%	\$ 10,540.10	5%	\$ 527.01
						\$ 15,181.11
ITEM	U	Tubería aguas lluvias BALL 3"				
6	M	DESCRIPCION	U	V/ UNITARIO	CAN.	V/ PARCIAL
		Tubería de ventilación Ø3"	ML	\$ 8,881.00	1	\$ 8,881.00
		Unión Ø3"	U	\$ 3,200.00	0.5	\$ 1,600.00
		Codo 90° Ø3"	U	\$ 5,800.00	1	\$ 5,800.00
		Soldadura liquida	GI	\$ 25,500.00	0.03	\$ 765.00
		Limpiador	GI	\$ 14,170.00	0.03	\$ 425.10
						\$ 17,471.10
ITEM	U	Canal para aguas lluvias				
1	M	DESCRIPCION	U	V/ UNITARIO	CAN.	V/ PARCIAL
		Canal Raingo 3 metros	U	\$ 45,834.00	3	\$ 137,502.00
		Unión	U	\$ 7,017.00	2	\$ 14,034.00
		Tapa externa	U	\$ 5,902.00	1	\$ 5,902.00
		Soporte del canal	U	\$ 2,034.00	6	\$ 12,204.00
		Soporte Metalico	U	\$ 6,775.00	3	\$ 20,325.00
		Unión de Canal a bajante	U	\$ 7,336.00	1	\$ 7,336.00
						\$ 197,303.00



Anexo 5. Datos de consumo eléctrico suministrados por Electricaribe.



Intervenido por
Superservicios

Cartagena de Indias; D.T y C, 09 de octubre de 2017

Señora:
MONICA ELJAIK URZOLA
 Directora Programa de Ingeniería Civil
 Piedra de Bolivar, Av. Del Consultado, Edificio Facultad de Ingeniería Piso III
 Ciudad

Asunto: Información Ciudad del Bicentenario.

Cordial Saludo:

Dando tratamiento a su solicitud de contar con acceso a información sobre el consumo promedio en el barrio Ciudad del Bicentenario de esta ciudad, para el estudio de un Proyecto investigativo para elaboración de Tesis universitaria, le informamos hemos realizado la respectiva consulta en nuestra base de datos e informes comerciales durante los últimos tres meses, ello da muestra de:

Periodo	#Suministros	Cosmo Prom	Energía (kWh/mes)
201707	3.674	156	574.093
201708	3.751	145	542.814
201709	3.751	163	612.650
Total general	11.176	155	1.729.557

Para mayor información sobre la prestación del servicio de energía eléctrica en la costa norte de Colombia, invitamos a que nos visite en nuestro portal web <http://www.electricaribe.com/co/1297101854385/inicio.htm> donde podrá encontrar información útil y de interés para el referenciado tema.

Ante cualquier duda favor contactarnos y con mucho gusto será atendida.

Atentamente,



AYLEEN ALVAREZ MARTÍNEZ
 Delegada Bolívar Norte
 ELECTRICARIBE S.A.E.S.P.



Juan E. Garcia



Roberto Pulido Gomez

Activar Wifi
Ir a Configurac

Electricadora del Caribe S.A. E.S.P.
 PBX: (57 5) 3611000
 Carrera 12B # 26-78
 Edif. Chambacu 3er piso
 Cartagena - Bolívar
 Colombia



Anexo 6. Formato de encuesta de frecuencia y uso de electrodomesticos.



UNIVERSIDAD DE CARTAGENA FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL CARTAGENA-BOLIVAR
2018



Buenos días/tardes. El siguiente cuestionario hace parte de un estudio realizado por un grupo de estudiantes del programa de Ingeniería civil de la Universidad de Cartagena con el fin de caracterizar la población de personas que habitan en viviendas de interés social y para evaluar el confort habitacional de las mismas. Garantizamos absoluto anonimato y secreto de sus respuestas y agradecemos de antemano su colaboración.

1. De la siguiente lista de electrodomésticos, marque con una equis en la opción si en caso de que usted cuente con estos en su vivienda y diga con que frecuencia horaria al día hace usted uso de este y no en caso de no contar con este.

LISTADO DE ELECTRODOMESTICOS	POSESION		FRECUENCIA HORARIA DE USO
	SI	NO	
Televisor			
Equipo de sonido			
Computador			
Licuadaora			
Lavadora			
Abanico			
Aire acondicionado			
Sanduchera			
Nevera			
Cargador de celular			