



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA
ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR
EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA,
CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”**

AUTOR: Quintana Vásquez Roberto Sebastián

TUTOR: Ing. Mg. López Arboleda Alex Gustavo

AMBATO – ECUADOR

Octubre - 2020

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil, con el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”**, elaborado por el Sr. Quintana Vásquez Roberto Sebastián, portador de la cédula de ciudadanía: 1804597316, egresado de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente proyecto técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Octubre 2020



Ing. Mg. López Arboleda Alex Gustavo
TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, Quintana Vásconez Roberto Sebastián con C.I.: 1804597316 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor de la investigación, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Octubre 2020



Quintana Vásconez Roberto Sebastián

C.I. 180459731-6

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Octubre 2020



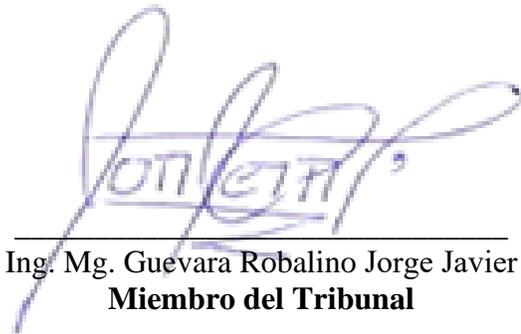
Quintana Vásconez Roberto Sebastián
C.I. 180459731-6
AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

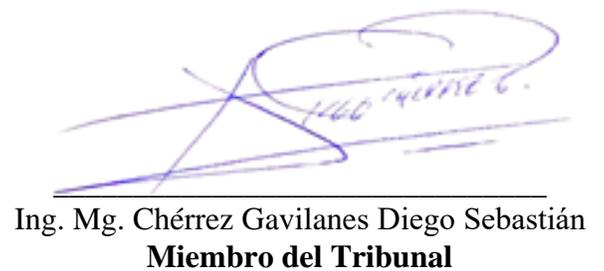
Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del proyecto técnico realizado por el estudiante Quintana Vásconez Roberto Sebastián de la carrera de Ingeniería Civil, bajo el tema: **“DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”**.

Ambato, Octubre 2020

Por constancia firman:



Ing. Mg. Guevara Robalino Jorge Javier
Miembro del Tribunal



Ing. Mg. Chérrez Gavilanes Diego Sebastián
Miembro del Tribunal

DEDICATORIA

El fruto de mi esfuerzo, trabajo y dedicación de tantos años, deseo dedicar en primer lugar a Dios por el don de la salud y vida durante toda mi formación como profesional.

A mi padre, Roberto; a mi madre, Rocío; por sus infinitos cuidados, dedicación y amor para convertirme en la persona que soy, sin ellos, sin duda alguna, no hubiese logrado nada en la vida, se merecen todo el reconocimiento.

A mis hermanos, Andy y Andrea, mi cuñado Esteban, por su preocupación y palabras de aliento.

A mi sobrino Joaquín Ignacio, el amor de mi vida, que con sus sonrisas y berrinches me motiva a seguir adelante.

A mis amigos, amigas y demás familiares que de alguna u otra forma son parte de este logro alcanzado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todas las personas que han sido de gran ayuda para la culminación del presente trabajo de titulación.

Al Ing. Álex López, un excelente tutor, le agradezco por su incondicional ayuda durante la realización de todo el trabajo.

Al Ing. Andrés Hidalgo, un gran amigo y profesor que con sus conocimientos me supo guiar y ayudar en todo lo necesario para lograr mi objetivo.

Al Ing. Jorge Guevara, Ing. Galo Núñez e Ing. Diego Chérrez, por sus palabras de aliento y su guía durante toda mi vida universitaria.

A los ingenieros de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Técnica de Ambato que supieron impartir sus conocimientos y formarme como profesional, en especial a la Ing. Jeaqueline Camino, quien fue un pilar fundamental en aquellos momentos de incertidumbre durante mis estudios, y que donde sea que se encuentre estará muy orgullosa de lo que he logrado.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|-------------|
| CERTIFICACIÓN..... | ii |
| AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN | iii |
| DERECHOS DE AUTOR | iv |
| APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xi |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xvi |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | xxi |
| ABSTRACT..... | xxii |
| B. CONTENIDOS | 1 |
| CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO..... | 1 |
| 1.1. Antecedentes Investigativos..... | 1 |
| 1.1.1. Antecedentes | 1 |
| 1.1.2. Justificación | 3 |
| 1.1.3. Fundamentación Teórica | 5 |
| 1.2. Objetivos | 17 |
| 1.2.1. General: | 17 |
| 1.2.2. Específicos:..... | 17 |
| CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA..... | 18 |
| 2.1. Materiales y Equipos..... | 18 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 2.1.1. | Materiales | 18 |
| 2.1.2. | Equipos..... | 18 |
| 2.2. | Métodos..... | 18 |
| 2.2.1. | Plan de Recolección de Datos | 18 |
| 2.2.1.1. | Información | 18 |
| 2.2.1.2. | Plan de Reconocimiento y Análisis de Información..... | 19 |
| 2.3. | Enfoque de la Investigación..... | 19 |
| 2.3.1. | Investigación Aplicada..... | 20 |
| 2.3.2. | Investigación Descriptiva..... | 20 |
| 2.3.3. | Población y Muestra | 20 |
| 2.3.3.1. | Población..... | 20 |
| 2.3.3.2. | Muestra..... | 21 |
| 2.3.4. | Resultados de la Encuesta | 22 |
| 2.3.5. | Conclusiones de la Encuesta | 31 |
| <i>CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i> | | 44 |
| 3.1. | Análisis y Discusión de los Resultados..... | 44 |
| 3.1.1. | Irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada | 44 |
| 3.1.2. | Cálculo del rendimiento total del sistema | 49 |
| 3.1.3. | Cálculo de componentes del Sistema Fotovoltaico Aislado | 51 |
| 3.1.3.1. | Potencia pico del arreglo fotovoltaico..... | 51 |
| 3.1.3.2. | Número de paneles solares | 52 |
| 3.1.3.3. | Baterías | 56 |
| 3.1.3.4. | Regulador de voltaje | 58 |
| 3.1.3.5. | Inversor | 60 |

| | | |
|--|---|------------|
| 3.1.3.6. | Conductores..... | 60 |
| 3.1.4. | Elección de componentes del sistema fotovoltaico aislado para el tipo de vivienda obtenida de la encuesta | 64 |
| 3.1.4.1. | Panel Solar..... | 64 |
| 3.1.4.2. | Baterías | 64 |
| 3.1.4.3. | Regulador de Voltaje..... | 64 |
| 3.1.4.4. | Inversor | 65 |
| 3.1.4.5. | Conductor | 65 |
| 3.1.5. | Diseño de la estructura metálica de soporte | 65 |
| 3.1.5.1. | Prediseño..... | 65 |
| 3.1.5.2. | Secciones finales de diseño | 86 |
| 3.1.6. | Conexión del sistema fotovoltaico aislado | 87 |
| 3.1.6.1. | Conexión de los paneles solares al regulador | 87 |
| 3.1.6.2. | Conexión de la batería al regulador | 89 |
| 3.1.6.3. | Conexión del regulador al inversor | 90 |
| 3.1.7. | Presupuesto..... | 90 |
| 3.1.8. | Planos de conexión en Vivienda Encuesta | 92 |
| <i>CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i> | | 93 |
| 4.1. | Conclusiones..... | 93 |
| 4.2. | Recomendaciones | 95 |
| <i>C. MATERIAL DE REFERENCIA</i> | | 97 |
| Referencias Bibliográficas..... | | 97 |
| ANEXOS | | 101 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Calibres del conductor con los amperios máximos..... | 7 |
| Tabla 2. Tamaño de la muestra por niveles de confianza | 22 |
| Tabla 3. N° de habitantes por vivienda..... | 23 |
| Tabla 4. M ² de vivienda | 24 |
| Tabla 5. Pago mensual de planilla de luz..... | 24 |
| Tabla 6. N° de cuenta..... | 25 |
| Tabla 7. Electrodomésticos utilizados en las viviendas | 27 |
| Tabla 8. Tipo de luminarias | 28 |
| Tabla 9. Cantidad de Luminarias por vivienda. | 29 |
| Tabla 10. Hora del día con mayor cantidad de luz solar..... | 30 |
| Tabla 11. Mes con mayor cantidad de sol..... | 30 |
| Tabla 12. Consumo energético diario. | 32 |
| Tabla 13. Categorías de viviendas | 34 |
| Tabla 14. Clasificación de viviendas según consumo..... | 34 |
| Tabla 15. Consumo mensual y diario Vivienda Tipo 1 | 37 |
| Tabla 16. Electrodomésticos aptos para Vivienda Tipo 1..... | 38 |
| Tabla 17. Consumo mensual y diario Vivienda Tipo 2 | 39 |
| Tabla 18. Electrodomésticos aptos para Vivienda Tipo 2..... | 40 |
| Tabla 19. Consumo mensual y diario Vivienda Tipo 3 | 42 |
| Tabla 20. Electrodomésticos aptos para Vivienda Tipo 3..... | 43 |
| Tabla 21. Demanda energética..... | 43 |

| | |
|--|----|
| Tabla 22. Radiación solar diaria – horizontal | 44 |
| Tabla 23. Irradiación solar diaria en un plano inclinado..... | 48 |
| Tabla 24. Especificaciones técnicas de paneles solares | 52 |
| Tabla 25. Cantidad de paneles solares necesarios..... | 53 |
| Tabla 26. Cantidad de paneles solares aproximados..... | 54 |
| Tabla 27. Potencia del sistema | 54 |
| Tabla 28. Cantidad corregida de paneles solares | 54 |
| Tabla 29. Potencia Corregida del Sistema | 55 |
| Tabla 30. Número de paneles solares en serie | 55 |
| Tabla 31. Paneles Solares en Paralelo..... | 56 |
| Tabla 32. Capacidad del banco de baterías | 57 |
| Tabla 33. Corriente de entrada..... | 59 |
| Tabla 34. Corriente de Salida..... | 59 |
| Tabla 35. Potencia del Inversor..... | 60 |
| Tabla 36. Caída de tensión permitida en los conductores..... | 61 |
| Tabla 37, Intensidad máxima que circula por el cable..... | 62 |
| Tabla 38. Longitud de conductor entre componentes | 62 |
| Tabla 39. Sección del conductor del panel al regulador | 62 |
| Tabla 40. Sección del conductor del regulador a la batería | 63 |
| Tabla 41. Sección del conductor del regulador al inversor | 63 |
| Tabla 42. Sección del conductor del inversor a las cargas..... | 63 |
| Tabla 43. Ampacidad del conductor en AWG y mm2..... | 63 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 44. Sección de conductores entre componentes del sistema..... | 65 |
| Tabla 45. Presupuesto sistema fotovoltaico aislado Vivienda Encuesta..... | 91 |
| Tabla 46. Historial de consumo energético vivienda 1 | 101 |
| Tabla 47. Historial de consumo energético vivienda 2 | 102 |
| Tabla 48. Historial de consumo energético vivienda 3 | 103 |
| Tabla 49. Historial de consumo energético vivienda 4..... | 104 |
| Tabla 50. Historial de consumo energético vivienda 5 | 105 |
| Tabla 51. Historial de consumo energético vivienda 6 | 106 |
| Tabla 52. Historial de consumo energético vivienda 7 | 107 |
| Tabla 53. Historial de consumo energético vivienda 8..... | 108 |
| Tabla 54. Historial de consumo energético vivienda 9..... | 109 |
| Tabla 55. Historial de consumo energético vivienda 10..... | 110 |
| Tabla 56. Historial de consumo energético vivienda 11 | 111 |
| Tabla 57. Historial de consumo energético vivienda 12..... | 112 |
| Tabla 58. Historial de consumo energético vivienda 13..... | 113 |
| Tabla 59. Historial de consumo energético vivienda 14..... | 114 |
| Tabla 60. Historial de consumo energético vivienda 15..... | 115 |
| Tabla 61. Historial de consumo energético vivienda 16..... | 116 |
| Tabla 62. Historial de consumo energético vivienda 17 | 117 |
| Tabla 63. Historial de consumo energético vivienda 18..... | 118 |
| Tabla 64. Historial de consumo energético vivienda 19..... | 119 |
| Tabla 65. Historial de consumo energético vivienda 20..... | 120 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 66. Historial de consumo energético vivienda 21 | 121 |
| Tabla 67. Historial de consumo energético vivienda 22 | 122 |
| Tabla 68. Historial de consumo energético vivienda 23 | 123 |
| Tabla 69. Historial de consumo energético vivienda 24 | 124 |
| Tabla 70. Historial de consumo energético vivienda 25 | 125 |
| Tabla 71. Historial de consumo energético vivienda 26 | 126 |
| Tabla 72. Historial de consumo energético vivienda 27 | 127 |
| Tabla 73. Historial de consumo energético vivienda 28 | 128 |
| Tabla 74. Historial de consumo energético vivienda 29 | 129 |
| Tabla 75. Historial de consumo energético vivienda 30 | 130 |
| Tabla 76. Historial de consumo energético vivienda 31 | 131 |
| Tabla 77. Historial de consumo energético vivienda 32 | 132 |
| Tabla 78. Historial de consumo energético vivienda 33 | 133 |
| Tabla 79. Historial de consumo energético vivienda 34 | 134 |
| Tabla 80. Historial de consumo energético vivienda 35 | 135 |
| Tabla 81. Historial de consumo energético vivienda 36 | 136 |
| Tabla 82. Historial de consumo energético vivienda 37 | 137 |
| Tabla 83. Historial de consumo energético vivienda 38 | 138 |
| Tabla 84. Historial de consumo energético vivienda 39 | 139 |
| Tabla 85. Historial de consumo energético vivienda 40 | 140 |
| Tabla 86. Historial de consumo energético vivienda 41 | 141 |
| Tabla 87. Historial de consumo energético vivienda 42 | 142 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 88. Historial de consumo energético vivienda 43 | 143 |
| Tabla 89. Historial de consumo energético vivienda 44 | 144 |
| Tabla 90. Historial de consumo energético vivienda 45 | 145 |
| Tabla 91. Historial de consumo energético vivienda 46 | 146 |
| Tabla 92. Historial de consumo energético vivienda 47 | 147 |
| Tabla 93. Historial de consumo energético vivienda 48 | 148 |
| Tabla 94. Historial de consumo energético vivienda 49 | 149 |
| Tabla 95. Historial de consumo energético vivienda 50 | 150 |
| Tabla 96. Historial de consumo energético vivienda 51 | 151 |
| Tabla 97. Historial de consumo energético vivienda 52 | 152 |
| Tabla 98. Historial de consumo energético vivienda 53 | 153 |
| Tabla 99. Historial de consumo energético vivienda 54 | 154 |
| Tabla 100. Días representativos de cada mes..... | 156 |
| Tabla 101. Albedos típicos para varias superficies..... | 157 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Fig. 1. Irradiación expresada en HSP..... | 10 |
| Fig. 2. Representación gráfica de rotura de enlaces entre núcleo y electrones..... | 11 |
| Fig. 3. Reemplazo de átomos de silicio por átomos de fósforo | 11 |
| Fig. 4. Reemplazo de átomos de silicio por átomos de boro..... | 12 |
| Fig. 5 Célula fotovoltaica..... | 13 |
| Fig. 6. Mercado de materiales de paneles fotovoltaicos | 13 |
| Fig. 7. Módulo Fotovoltaico..... | 14 |
| Fig. 8. Componentes del sistema fotovoltaico aislado a la red | 16 |
| Fig. 9. Ubicación geográfica de la parroquia Atahualpa..... | 21 |
| Fig. 10. N° de habitantes por vivienda..... | 23 |
| Fig. 11. M ² de vivienda..... | 24 |
| Fig. 12. Pago mensual de planilla de luz..... | 25 |
| Fig. 13. Electrodomésticos utilizados en las viviendas..... | 28 |
| Fig. 14. Tipo de Luminaria | 28 |
| Fig. 15. Cantidad de Luminarias por vivienda..... | 29 |
| Fig. 16. Hora del día con mayor cantidad de luz solar..... | 30 |
| Fig. 17. Mes con mayor cantidad de sol..... | 31 |
| Fig. 18. Consumo mensual Vivienda Tipo 1..... | 36 |
| Fig. 19. Consumo diario Vivienda Tipo 1..... | 36 |
| Fig. 20. Consumo mensual Vivienda Tipo 2..... | 38 |
| Fig. 21. Consumo diario Vivienda Tipo 2..... | 39 |

| | |
|--|----|
| Fig. 22. Consumo mensual Vivienda Tipo 3..... | 41 |
| Fig. 23. Consumo diario Vivienda Tipo 3..... | 41 |
| Fig. 24. Aplicación de carga sobre la estructura de soporte..... | 68 |
| Fig. 25. Diagrama de carga axial | 68 |
| Fig. 26. Diagrama de momento..... | 68 |
| Fig. 27. Diagrama de corte..... | 69 |
| Fig. 28. Cargas actuantes sobre la columna | 69 |
| Fig. 29. Dimensiones de columna..... | 72 |
| Fig. 30. Cargas actuantes sobre la viga..... | 73 |
| Fig. 31. Carga cortante sobre columna..... | 74 |
| Fig. 32. Carga cortante sobre viga | 75 |
| Fig. 33. Área tributaria carga sobre nudos interiores | 76 |
| Fig. 34. Elevación de la estructura en SAP2000 v20.2.0 | 77 |
| Fig. 35. Deflexión obtenida en SAP2000 v20.2.0..... | 78 |
| Fig. 36. Relación demanda / capacidad de diseño | 78 |
| Fig. 37. Carga equivalente a tensión | 79 |
| Fig. 38. Datos de la sección del cordón mayormente tensionado | 79 |
| Fig. 39. Carga equivalente a compresión | 80 |
| Fig. 40. Datos de la sección del cordón mayormente comprimido | 81 |
| Fig. 41. Carga equivalente a tensión | 83 |
| Fig. 42. Datos de la sección de la diagonal mayormente tensionada..... | 83 |
| Fig. 43. Carga equivalente a compresión | 84 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 44. Datos de la sección de la montante mayormente comprimida..... | 84 |
| Fig. 45. Conexión en paralelo de paneles solares al regulador | 88 |
| Fig. 46. Conexión en paralelo de baterías al regulador..... | 89 |
| Fig. 47. Conexión de regulador al inversor..... | 90 |
| Fig. 48. Historial de consumo energético vivienda 1 | 101 |
| Fig. 49. Historial de consumo energético vivienda 2..... | 102 |
| Fig. 50. Historial de consumo energético vivienda 3..... | 103 |
| Fig. 51. Historial de consumo energético vivienda 4..... | 104 |
| Fig. 52. Historial de consumo energético vivienda 5..... | 105 |
| Fig. 53. Historial de consumo energético vivienda 6..... | 106 |
| Fig. 54. Historial de consumo energético vivienda 7..... | 107 |
| Fig. 55. Historial de consumo energético vivienda 8..... | 108 |
| Fig. 56. Historial de consumo energético vivienda 9..... | 109 |
| Fig. 57. Historial de consumo energético vivienda 10..... | 110 |
| Fig. 58. Historial de consumo energético vivienda 11 | 111 |
| Fig. 59. Historial de consumo energético vivienda 12..... | 112 |
| Fig. 60. Historial de consumo energético vivienda 13..... | 113 |
| Fig. 61. Historial de consumo energético vivienda 14..... | 114 |
| Fig. 62. Historial de consumo energético vivienda 15..... | 115 |
| Fig. 63. Historial de consumo energético vivienda 16..... | 116 |
| Fig. 64. Historial de consumo energético vivienda 17..... | 117 |
| Fig. 65. Historial de consumo energético vivienda 18..... | 118 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 66. Historial de consumo energético vivienda 19..... | 119 |
| Fig. 67. Historial de consumo energético vivienda 20..... | 120 |
| Fig. 68. Historial de consumo energético vivienda 21..... | 121 |
| Fig. 69. Historial de consumo energético vivienda 22..... | 122 |
| Fig. 70. Historial de consumo energético vivienda 23..... | 123 |
| Fig. 71. Historial de consumo energético vivienda 24..... | 124 |
| Fig. 72. Historial de consumo energético vivienda 25..... | 125 |
| Fig. 73. Historial de consumo energético vivienda 26..... | 126 |
| Fig. 74. Historial de consumo energético vivienda 27..... | 127 |
| Fig. 75. Historial de consumo energético vivienda 28..... | 128 |
| Fig. 76. Historial de consumo energético vivienda 29..... | 129 |
| Fig. 77. Historial de consumo energético vivienda 30..... | 130 |
| Fig. 78. Historial de consumo energético vivienda 31..... | 131 |
| Fig. 79. Historial de consumo energético vivienda 32..... | 132 |
| Fig. 80. Historial de consumo energético vivienda 33..... | 133 |
| Fig. 81. Historial de consumo energético vivienda 34..... | 134 |
| Fig. 82. Historial de consumo energético vivienda 35..... | 135 |
| Fig. 83. Historial de consumo energético vivienda 36..... | 136 |
| Fig. 84. Historial de consumo energético vivienda 37..... | 137 |
| Fig. 85. Historial de consumo energético vivienda 38..... | 138 |
| Fig. 86. Historial de consumo energético vivienda 39..... | 139 |
| Fig. 87. Historial de consumo energético vivienda 40..... | 140 |

| | |
|--|-----|
| Fig. 88. Historial de consumo energético vivienda 41 | 141 |
| Fig. 89. Historial de consumo energético vivienda 42..... | 142 |
| Fig. 90. Historial de consumo energético vivienda 43..... | 143 |
| Fig. 91. Historial de consumo energético vivienda 44..... | 144 |
| Fig. 92. Historial de consumo energético vivienda 45..... | 145 |
| Fig. 93. Historial de consumo energético vivienda 46..... | 146 |
| Fig. 94. Historial de consumo energético vivienda 47..... | 147 |
| Fig. 95. Historial de consumo energético vivienda 48..... | 148 |
| Fig. 96. Historial de consumo energético vivienda 49..... | 149 |
| Fig. 97. Historial de consumo energético vivienda 50..... | 150 |
| Fig. 98. Historial de consumo energético vivienda 51 | 151 |
| Fig. 99. Historial de consumo energético vivienda 52..... | 152 |
| Fig. 100. Historial de consumo energético vivienda 53..... | 153 |
| Fig. 101. Historial de consumo energético vivienda 54..... | 154 |

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto técnico tiene como objetivo principal el cálculo y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado para abastecer de electricidad a viviendas unifamiliares que presentan limitados recursos de la parroquia Atahualpa, cantón Ambato. Se desea que con el desarrollo de este tipo de proyectos se incentive a la población a la búsqueda e implementación de energías renovables que contribuyan a frenar el impacto global negativo que varias prácticas tradicionales de generación de energía eléctrica están provocando.

Para la determinación de los componentes del sistema fotovoltaico aislado se realizó una encuesta a 54 viviendas de interés social pertenecientes a la parroquia mencionada anteriormente. Una vez determinado el consumo energético mensual se realizó la clasificación de las viviendas según lo establecido en el Pliego Tarifario para las empresas eléctricas de distribución del periodo Enero - Diciembre 2020, emitido por la agencia de regulación y control de electricidad obteniendo así 3 tipos de viviendas, incluyendo una vivienda tipo denominada encuesta la cual presenta una demanda energética igual a 8.70 kilovatios hora por día. Para dimensionar los componentes fue necesario obtener el valor de irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada para lo cual se utilizaron los datos meteorológicos que exponen diferentes softwares especializados, el valor de irradiación obtenido por el Método de Lui y Jordán es de 3.887 kilovatios hora por metro cuadrado por día con una inclinación de paneles solares igual a 10 grados.

Los componentes calculados para la Vivienda tipo Encuesta son los siguientes: 10 paneles solares conectados en paralelo con una potencia nominal de 350 vatios, 8 baterías conectadas en paralelo con una capacidad nominal de 150 amperios hora, 1 regulador de voltaje capaz de satisfacer una corriente de entrada y de salida de 89.75 amperios y 24.07 amperios respectivamente, 1 inversor con potencia continua de 1500 vatios con la capacidad de satisfacer 520 vatios. Se presenta los resultados para dicha vivienda puesto que es la que más se acopla a la realidad del sector, el costo total del sistema fotovoltaico aislado incluye rubros generales de construcción, el valor de los componentes del sistema fotovoltaico aislado, la estructura metálica de soporte y la mano de obra es de \$9908.25

ABSTRACT

This technical project has as main objective the calculation and dimensioning of an isolated photovoltaic system to supply electricity to single-family homes that have limited resources from the Atahualpa parish, Ambato canton. It is desired that with the development of this type of projects the population is encouraged to search for and implement renewable energies that contribute to stop the negative global impact that several traditional practices of electric power generation are causing.

To determine the components of the isolated photovoltaic system, a survey was carried out on 54 low-income houses belonging to the aforementioned parish. Once the monthly energy consumption had been determined, the housing was classified according to what is established in the Tariff Schedule for electric distribution companies for the period January - December 2020, issued by the electricity regulation and control agency, thus obtaining 3 types of housing , including a type house called survey which presents an energy demand equal to 8.70 kilowatt hours per day. To size the components, it was necessary to obtain the total monthly average daily irradiation value on an inclined surface, for which the meteorological data exposed by different specialized software were used, the irradiation value obtained by the Lui and Jordan Method is 3,887 kilowatt hours. per square meter per day with a solar panel inclination equal to 10 degrees.

The components calculated for the Survey House are as follows: 10 solar panels connected in parallel with a nominal power of 350 watts, 8 batteries connected in parallel with a nominal capacity of 150 amp hours, 1 voltage regulator capable of satisfying a current of input and output of 89.75 amps and 24.07 amps respectively, 1 inverter with continuous power of 1500 watts with the capacity to satisfy 520 watts. The results for said house are presented since it is the one that most closely matches the reality of the sector, the total cost of the isolated photovoltaic system includes general construction items, the value of the components of the isolated photovoltaic system, the metal support structure and labor is \$ 9908.25

B. CONTENIDOS

CAPÍTULO I.- MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes Investigativos

1.1.1. Antecedentes

A nivel mundial actualmente se desarrollan constantes esfuerzos para implementar e integrar las diferentes formas de energía renovable como base para la generación de energía eléctrica, con la finalidad de suplir el descontrolado incremento de necesidades energéticas y a su vez reducir, en la medida de lo posible, la actual dependencia de combustibles fósiles y disminuir las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera terrestre. Dentro del grupo de energías renovables se encuentran la eólica, hidráulica, biomasa, geotérmica, oceánica y solar [1].

Dentro de las diferentes energías renovables, sin duda, sobresale la energía solar, pues es considerada como la madre de todas las energías renovables, debido que da origen a las demás energías y a que se considera una fuente inagotable incluso si el consumo actual se multiplicaría por mil millones [2].

Un tipo de energía solar destacado es la energía solar fotovoltaica, donde la radiación solar es utilizada para obtener electricidad por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares, siendo posible su acumulación para uso posterior [3].

La luz solar como generador de energía eléctrica gracias a células fotovoltaicas fue un fenómeno planteado y desarrollado por el físico Antoine Becquerel en 1839. Alrededor del año de 1908, W Grylls Adams y R. Evans Day, descubrieron que el efecto de luz aplicado sobre el selenio creaba un flujo de electricidad al que denominaron “fotoeléctrica” [4].

En abril de 1953, los científicos de Bell Laboratories, crearon la Batería Solar Bell, la cual constaba de un panel de células fotovoltaicas que proporcionaba energía a partir del sol. Desde ese momento, este tipo de energía abarcó varios campos, la empresa Western Electric, en su tiempo, fue la pionera en el empleo de energía solar para alimentar sus líneas telefónicas [4].

En 1956, la empresa Hoffman Electronics comenzó la comercialización de células solares para la producción de energía eléctrica en lugares alejados de la red eléctrica local. [4] Las primeras plantas fotovoltaicas instaladas en países desarrollados en la década de los 80 se emplearon para suministrar energía en los picos de carga y como generadores que disminuirían las pérdidas de transmisión y distribución. La integración de módulos fotovoltaicos en edificio adquirió importancia a finales de los 90 [5].

En la actualidad, en países desarrollados en todo el mundo, la implementación y utilización de la energía solar fotovoltaica ha crecido constantemente, un claro ejemplo son países como Alemania, Francia, Estados Unidos, Japón y algunos países latinoamericanos, en los cuales la energía solar, ha suplantado otras formas y fuentes de generación energética al ser catalogada como una energía limpia e inagotable.

En el caso de Alemania, se ha logrado un alto desarrollo y popularización de la industria fotovoltaica, alcanzando importantes avances en las instalaciones solares acopladas a edificios públicos y viviendas unifamiliares. El gobierno alemán se ha propuesto como objetivo que para el año 2050, el 50% de la energía consumida provenga de fuentes renovables, en su mayoría solar [6].

Colombia es uno de los pocos países latinoamericanos que han desarrollado estrategias en el marco de conseguir energía eléctrica mediante un sistema solar fotovoltaico, su enfoque se ha visto dirigido a los sectores mayormente vulnerables que no disponen de una red eléctrica que les sirva como dotación del suministro básico, por lo cual se ha podido demostrar que el desarrollo rural alrededor de la energía solar es una técnica práctica y viable [7].

Entre los proyectos que destacan en el ámbito solar se encuentra la dotación de energía, en 1999, de 40 escuelas y 2000 viviendas, y en el 2008, 12 escuelas rurales y 75 viviendas; ambos proyectos tienen lugar en el área rural de Casanare [7].

En México, en el año de 1997, se implementó la energía solar en un proyecto con 50 viviendas con el fin de abastecer una población de 300 personas en la comunidad rural de Tepisuac, Jalisco [7].

En 1999, Cuba se suma a la lista de países que promueven la energía solar fotovoltaica con el desarrollo de un proyecto para 30 viviendas, abasteciendo la demanda eléctrica, bombeo de agua e iluminación de 200 personas [7].

Honduras, específicamente la Aldea de San Ramón, en el año 2000, se convierte en la primera comunidad de dicho país en conectarse a internet empleando la energía fotovoltaica, entre otros usos de la energía se encuentra la televisión y computadores. En el 2003, en Chile la energía solar se emplea en la generación eléctrica y calentamiento de agua en viviendas en la zona norte alejadas de la red eléctrica [7].

En el caso de nuestro país, se pueden destacar varios proyectos destinados a salvar las necesidades energéticas de los sectores rurales de nuestro territorio, sin embargo el proyecto que más cercanía guarda con la Universidad Técnica de Ambato es el llevado a cabo por Dr. Alberto Ríos, el Ing. Guamán y el Ing. Vargas, con el diseño, dimensionamiento e instalación de una electrolinera solar fotovoltaica aislada en Tungurahua, Ecuador; situada específicamente en el parqueadero de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato en el Campus Huachi, dicha electrolinera es capaz de alimentar algunas bicicletas eléctricas y especialmente, 2 pequeños vehículos eléctricos con un consumo de 6.1 kW/h para recorrer una cantidad de 100 km [8].

1.1.2. Justificación

El presente trabajo experimental tiene como finalidad el desarrollo de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica que se considere autosustentable, como caso puntual la energía solar fotovoltaica, pues resulta necesario buscar diferentes alternativas energéticas inagotables que se encuentren en la capacidad de suplir el uso y consecuente agotamiento de los diferentes recursos no renovables, y a la vez sean capaces de abastecer toda la demanda eléctrica que exige una vivienda unifamiliar.

El constante desarrollo y crecimiento poblacional, especialmente en el sector rural, implica un incremento en la cantidad de energía eléctrica que será consumida en el país, aspecto que a la vez provoca un aumento en los costos de conducción, instalación, mantenimiento y tarifas que engloba el suministro eléctrico; con la generación de energía

autosustentable no solo se estará contribuyendo con la conservación de los recursos naturales sino también se buscará reducir los gastos por consumo eléctrico, aunque esto se logre a largo plazo.

La investigación busca evaluar la factibilidad tanto técnica como económica para la aplicación de este tipo de energía eléctrica, teniendo presente las necesidades energéticas actuales como las venideras con la finalidad de cumplir con las expectativas deseadas.

La energía solar, conocida como radiación solar, es capaz de generar en la tierra 1.5 kW/h, cantidad suficiente para abastecer el consumo a nivel mundial [9]. La energía fotovoltaica se considera una técnica absolutamente viable puesto que es una energía que genera un impacto ambiental casi nulo al no provocar residuos considerados como perjudiciales para el medio ambiente, su mantenimiento es relativamente sencillo, no presenta más costos una vez haya sido instalado todo el sistema y no exige dependencia de las compañías suministradoras de energía eléctrica [10].

En el caso de nuestro país, a pesar de tener reservas de petróleo que ocupan el tercer lugar en América Latina en cuanto a volumen se refiere, no es capaz de satisfacer energéticamente la demanda que presenta, por lo cual se puede evidenciar la falta de inversiones tanto en el sector eléctrico como en el sector sustentable, por lo cual la necesidad de implementar y desarrollar en nuestro territorio un sistema autosustentable de energía eléctrica adquiere gran importancia [11].

El desarrollo del trabajo experimental está enfocado en favorecer tanto a los habitantes de aquellos sectores rurales que han sido descuidados y que no gozan de un suministro eléctrico, así como a aquellas viviendas que son consideradas de interés social. De igual manera, los beneficiarios serán los estudiantes a cargo del proyecto para obtener como recompensa el título de ingeniero civil y de manera directa la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato pues resultaría un gran logro el plasmar en una vivienda un sistema autosustentable de energía eléctrica.

1.1.3. Fundamentación Teórica

1.1.3.1. Introducción

El suministro eléctrico es de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de cualquier sociedad ya que forma parte de todos los bienes y servicios en sus etapas de producción, distribución y uso final [12], [13].

En la actualidad, el desarrollo sustentable involucra el impulso de las energías renovables por dos razones principales, la primera se debe a que las fuentes fósiles para la producción de electricidad generan diversos contaminantes (gases invernaderos) y como segunda razón, el hecho que dichas fuentes son no renovables, es decir son fuentes finitas [14].

Los datos estadísticos mexicanos resultan alarmantes, ya que solamente un 7% de la energía primaria es obtenida de una fuente renovable, en este caso la leña y el bagazo de caña; aspecto que incentiva al desarrollo e implementación en nuestro país de un sistema autosustentable de generación de energía eléctrica [12], [15].

Los proyectos en energías renovables se han convertido en una prioridad para América Latina, debido a la demanda poblacional, los cambios en la oferta y demanda, la alta dependencia de energías fósiles, el cambio climático y los vaivenes en los precios del petróleo [16]. Un caso puntual es Brasil, las altas radiaciones solares le han permitido aprovechar el potencial en energía solar es por esto por lo que llegó a ocupar el tercer puesto en generación con energías renovables [12].

En este campo se destaca la energía solar, la cual aprovecha la radiación solar como fuente primaria de energía, para convertirla en electricidad o para calentar distintos líquidos, teniendo como principal exponente de este tipo de energía a España (3700 Mw/año). Existen dos tipos de tecnologías: instalaciones solares térmica e instalaciones fotovoltaicas [14].

Las primeras utilizan tecnología sencilla, el sistema está formado por dos circuitos separados por un fluido que los recorre, uno de ellos está bañado por un fluido que transporta el calor, mientras que el otro lo hace por agua corriente [14], suele emplearse en pequeñas áreas donde el calor se concentra, por ejemplo para calentar agua que puede

generar electricidad mediante una turbina de vapor [17]. El segundo tipo de tecnología utiliza células fotovoltaicas que tienen la capacidad de convertir la luz solar directamente en electricidad, por lo que pueden ser integradas en dispositivos o en edificios [18].

El esquema de una instalación fotovoltaica, destinado a una vivienda, presenta elementos como baterías o reguladores e inversores [14]. Esta energía permite una generación muy cercana a los puntos de consumo, reduciendo las pérdidas y costos por distribución y transporte [18], [19].

La energía solar permite obtener electricidad en zonas rurales no conectadas a la red eléctrica, pero a su vez se debe mencionar las desventajas que ambas tecnologías presentan. La energía solar es intermitente, las células fotovoltaicas no funcionan en la oscuridad, aunque gran cantidad de electricidad es consumida en las horas del día, además son poco eficientes en días nublados [18], [20].

La instalación eléctrica debe brindar seguridad a las personas y sus bienes materiales, cumpliendo con los estándares de calidad y servicio impuesto por normas nacionales e internacionales. Para la iluminación se debe considerar por cada salida una carga máxima de 100 vatios y para los tomacorrientes una carga de 200 vatios [21].

Al tratarse de una vivienda unifamiliar, el área de construcción será menor a 80 m² por lo cual el número de circuitos mínimos es de 1 tanto para la iluminación como los tomacorrientes. Dichos circuitos deben diseñarse para satisfacer ciertos requisitos: soportar una corriente superior a 125% de la corriente de carga máxima a servir, presentar su propio conductor conectado a tierra, disponer su propia protección y cada circuito no podrá contribuir sus servicios con plantas diferentes [21].

Los circuitos de iluminación deben satisfacer una carga máxima de 15 amperios y máximo 15 puntos de iluminación. Para el caso de los circuitos de tomacorrientes se diseñan con salidas polarizadas (fase, neutro y tierra) para soportar una carga máxima de 20 amperios y máximo 10 salidas [21].

Los factores de demanda que se consideran para una vivienda pequeña (vivienda unifamiliar) para iluminación y tomacorrientes son 0.7 y 0.5, respectivamente. El calibre

del cable conductor debe resistir mínimo el 125% del valor de la corriente de la protección del circuito, a continuación se detallan los diferentes calibres del conductor con los respectivos amperios máximos que deberán presentar el interruptor [21]:

Tabla 1. Calibres del conductor con los amperios máximos.

| Calibre del conductor (AWG) | Cap. máx. del interruptor |
|------------------------------------|----------------------------------|
| 14 | 15/16 |
| 12 | 20 |
| 10 | 30/32 |
| 8 | 40 |
| 6 | 50 |

Fuente: [21]

En circuitos de iluminación el calibre del conductor neutro deber ser el mismo al conductor de las fases, siendo un cable de cobre aislado THHN mínimo de 14 AWG para la fase, neutro y tierra [21].

En circuitos de iluminación el calibre del conductor neutro deber ser el mismo al conductor de las fases, siendo un cable de cobre aislado THHN mínimo de 12 AWG para la fase y el neutro. Para el caso del calibre del cable de tierra se escogerá según la capacidad máxima del interruptor. En viviendas de interés social el cable mínimo a utilizarse es el N° 8 AWG de cobre, protegido con una tubería PVC o metálica [21].

Los interruptores, conmutadores y pulsadores deben ser colocados a 1.20 metros junto a la apertura de la puerta; en caso de ser instalado al exterior o en un sitio húmedo (excepto lugares mojados, duchas) deberán colocarse en un gabinete para intemperie. Los tomacorrientes serán colocados a 40 cm del piso y a 10 cm por encima de mesones en el caso de baños y cocinas [21].

Las tuberías podrán ser de PVC tipo liviano, de polietileno flexible (manguera negra) o tubería metálica tipo EMT, rígida o flexible de acero inoxidable; presentando un diámetro que sea capaz de almacenar los cables necesarios, para lo cual la suma de las

áreas de los cables en una canalización debe ser menor que el 40% del área transversal interior de la tubería. Los cajetines podrán ser plásticos o metálicos [21].

1.1.3.2. El sol como fuente de energía, su estructura y composición

El sol es una estrella generadora de energía electromagnética (radiación solar), cuya temperatura media alcanza los 5500°C [9], dicha energía atraviesa la atmósfera y llega a la tierra en una pequeña cantidad con diferente intensidad e inclinación pudiendo ser percibida por un módulo fotovoltaico para generar electricidad [22].

La estructura del sol se la puede dividir en 4 partes: estructura interna, fotosfera, cromósfera y la corona. En la primera de ellas, cuyo radio es de 2000 km aproximadamente, es donde tienen lugar todos los fenómenos energéticos; se divide a su vez en 3 zonas: núcleo (fusión termonuclear), zona radiactiva (energía se transporta por difusión radiactiva) y zona convectiva (energía se transporta por convección) [23].

La fotosfera es la encargada de delimitar la parte interna del sol con la externa, por lo que se la considera como la superficie del sol. Es una capa de tránsito de energía a una temperatura media de 5500°C aproximadamente [23].

La cromósfera, conocida también como esfera de color, es una región fría en donde se producen movimientos de gases debido a que los espículos, chorros de gas procedentes del interior, sobresalen hacia el exterior. Por último, la corona, capa más externa formada por protones y electrones; en esta capa se produce el viento solar y una vez que dicho fenómeno deja de actuar a causa de los protones y electrones dejan de moverse, da lugar a lo que se conoce como Sistema Solar [23].

1.1.3.3. La radiación solar

Como se mencionó anteriormente, la cantidad de radiación solar que recibe la atmósfera es mínima, aproximadamente 1000 W/m², pudiendo distinguir 3 tipos de radiación solar [9]:

- *Directa*: no se desvía cuando atraviesa la atmósfera, importante en las instalaciones fotovoltaicas [9].

- *Difusa*: experimenta cambios debido a la difusión y reflexión en la atmósfera [9].
- *Albedo o reflejada*: combinación de radiación directa y difusa [9].

1.1.3.3.1. Constante solar

Cantidad de energía por unidad de tiempo y área alcanzada en una superficie que se encuentra orientada en la dirección de los rayos solares en la atmósfera, 1353 W/m^2 , sin embargo la cantidad que se puede utilizar es un valor de 1 kW/m^2 [9], [23].

1.1.3.3.2. Unidades de radiación solar

Las unidades para obtener la radiación solar son los kW/m^2 , teniendo en cuenta que:

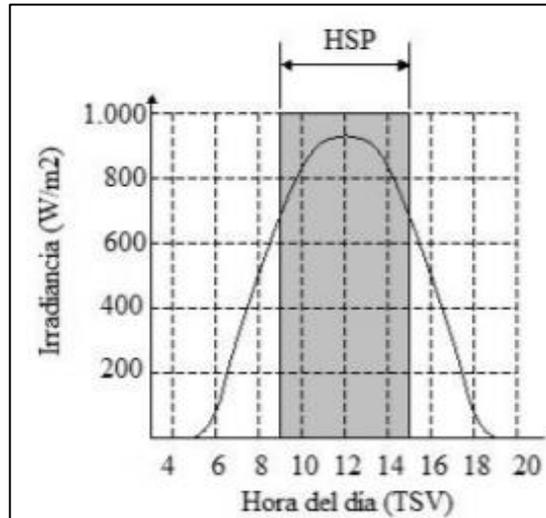
- *Irradiancia*: flujo de radiación solar incidente en un m^2 en un tiempo determinado (kW/m^2) [9].
- *Irradiación*: energía por unidad de superficie durante un tiempo, expresada en Julios/ m^2 (J/m^2), en ocasiones se expresa en Wh/m^2 (potencia) ($1\text{Kwh} = 3.6 \text{ MJ}$) [9].

1.1.3.3.3. Número de horas solares pico equivalentes (HSP)

Las HSP, que pueden variar de 3 a 7 horas diarias, sirven para calcular la energía percibida por los captadores solares, dato que se empleará en el dimensionado de la instalación [9].

La potencia pico que posee un panel o módulo fotovoltaico es la que suministra cuando existe un valor de irradiancia incidente igual a 1 kW/m^2 y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ de temperatura de las células fotovoltaicas [24], por lo cual una manera de mostrar la energía incidente es establecer el número de horas durante las cuales debería incidir el flujo de energía para que coincidiera con la energía incidente total durante todo el día. La Fig. 1 presenta la curva de variación de la irradiancia, considerando el área existente bajo la curva como la irradiación diaria, cuya base del rectángulo es el HSP [22].

Fig. 1. Irradiación expresada en HSP



Fuente: [22]

Al multiplicar la potencia nominal de los sistemas fotovoltaicos por el HSP se obtiene la energía producida por dicho sistema. El número de HSP de cualquier día será igual a la división de toda la energía generada en ese día entre 1000W/m^2 [24].

Por lo tanto, HSP será igual a la energía incidente sobre 1 m^2 de superficie a lo largo de todo el día [22].

1.1.3.4. Energía fotovoltaica

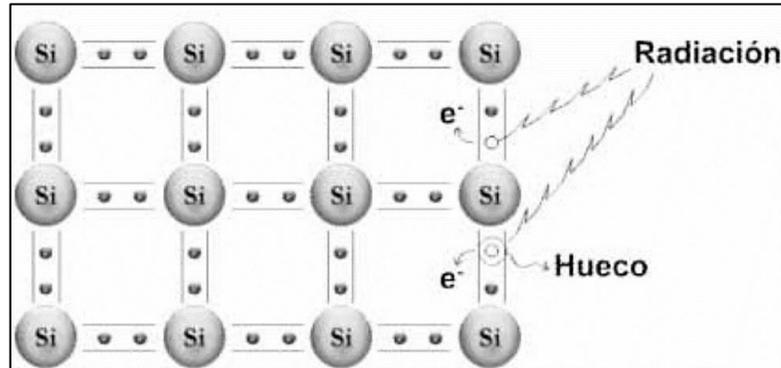
1.1.3.4.1. Efecto fotovoltaico

Consiste en la conversión de luz en electricidad que se lleva a cabo en la célula fotovoltaica compuesta por materiales semiconductores, en su mayoría, de silicio; gracias a la propiedad que tienen ciertos materiales de absorber fotones y emitir electrones [9], [10], [23].

Como es de conocimiento, toda la materia está formada por átomos, que a su vez constan de dos partes: núcleo (carga positiva) y electrones (carga negativa), una vez que la luz solar cae sobre el material semiconductor, los enlaces entre el núcleo y los electrones de valencia (presentes en la última capa), los cuales empiezan a circular libremente por el

semiconductor, dejando un hueco con carga eléctrica positiva (mismo valor que el electrón con signo contrario) [10].

Fig. 2. Representación gráfica de rotura de enlaces entre núcleo y electrones

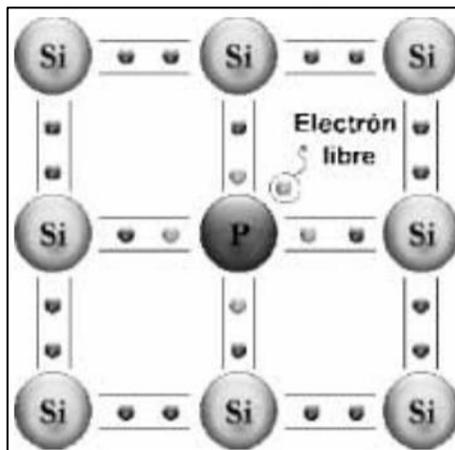


FUENTE: [10]

Para el correcto aprovechamiento de la libertad generada de los electrones es necesario la creación de un campo eléctrico en el interior del semiconductor. Al ser el silicio el material mayormente empleado en la producción de células fotovoltaicas es fundamental unir dos regiones de silicio tratadas químicamente, mediante un proceso conocido como unión “p-n” [10].

Para formar un semiconductor de silicio tipo “n” se reemplazan ciertos átomos de silicio por fósforo, quedando un electrón libre al formar los enlaces, tal como se muestra en la Fig. 3 [10], [23].

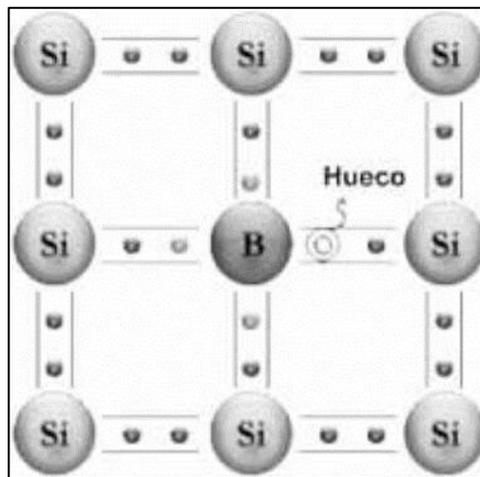
Fig. 3. Reemplazo de átomos de silicio por átomos de fósforo



FUENTE: [10]

Para conseguir un semiconductor tipo “p” es necesario sustituir el silicio por átomos de boro, dejando a su vez un hueco al momento de formar los enlaces, Fig. 4. Dichos huecos son ocupados por los electrones libres de la unión “n”. La unión “p-n” se logra cuando se pone en contacto las superficies de ambos tipos de semiconductores, dando lugar a un campo eléctrico que crece según los electrones y huecos sigan difundiéndose hacia lados opuestos. Una vez que no se puedan intercambiar electrones se conseguirá un campo eléctrico permanente sin la ayuda de campos eléctricos externos [10], [23].

Fig. 4. Reemplazo de átomos de silicio por átomos de boro



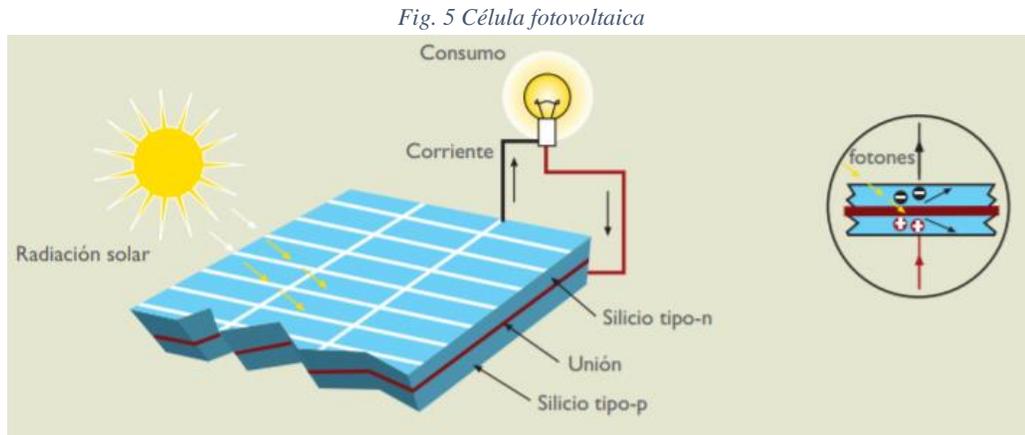
FUENTE: [10]

1.1.3.4.2. Célula fotovoltaica

Como se mencionó anteriormente, la conversión inmediata de radiación luminosa en electricidad tiene lugar en la célula fotovoltaica. Se compone de una capa delgada de material tipo “n” y otra de mayor espesor tipo “p”, su grosor varía entre los 3 y 3.5 cm (aproximadamente 100 cm² de superficie), en su mayoría de forma cuadrada. Las células mayormente utilizadas son las constituidas por silicio monocristalino [10].

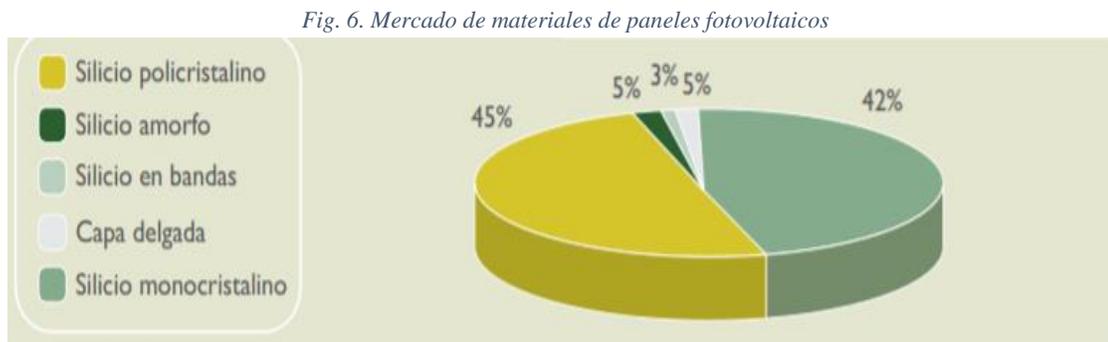
Cuando se juntas ambas capas, unión “p-n”, se genera un campo eléctrico, el mismo que se encarga de mantener separados el par electrón – hueco que se rompen cuando la luz solar incide sobre las células. Mediante un conductor externo, se conecta la capa positiva (tipo “p”) a la capa negativa (tipo “n”) provocando un flujo de electrones, conocido también como corriente eléctrica, de la zona “p” a la “n” [10].

La zona que recibe la luz solar es la “n” y su intensidad está directamente relacionado con la cantidad de luz proyectada [10].



FUENTE: [4]

Las células del tipo silicio monocristalino presentan una estructura ordenada, uniforme, lo que lo convierte en un buen conductor; su obtención se logra cuando se funde el silicio puro junto con el boro. Su rendimiento varía entre el 15 y 18% y son fácilmente reconocidas ya que presentan un color azulado oscuro y una apariencia metálica [10].



FUENTE: [24]

1.1.3.4.3. Módulo fotovoltaico

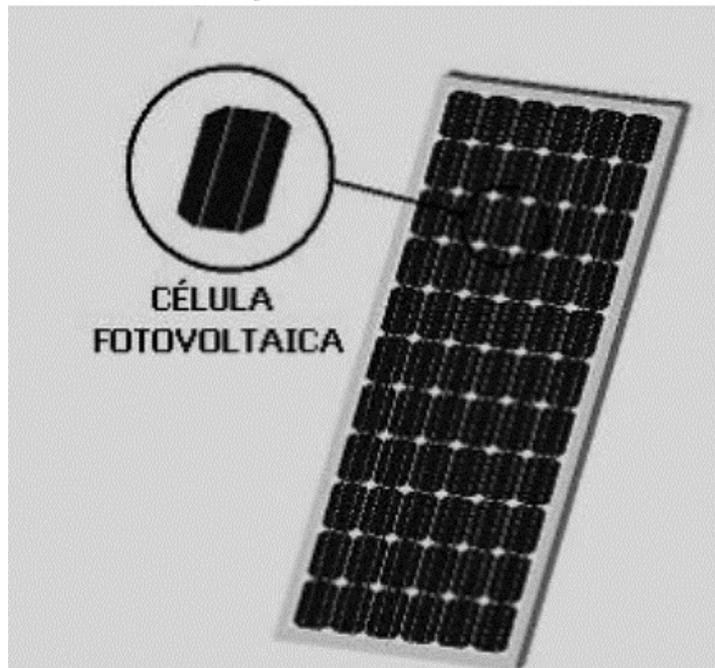
También denominados paneles fotovoltaicos, debido a las capas que presentan, son los encargados de dar soporte, protección ante agentes ambientales, aislamiento eléctrico y asistencia para captar la máxima radiación solar posible a un conjunto de células fotovoltaicas conectadas de tal manera que sean capaces de cumplir con las funciones para las que fueron creadas [10].

Generalmente son fabricados para obtener una potencia entre 3 y 45 vatios y una tensión de 6, 12 y 24 voltios, cabe recalcar que estos valores podrían variar en función del fabricante [23].

Las células fotovoltaicas son conectadas en primera instancia en serie, para lograr la tensión requerida. Alcanzado el objetivo se conectan en paralelo con el objetivo de obtener la tensión adecuada para alcanzar la potencia eléctrica necesaria [23].

La máxima potencia que es capaz de generar cada módulo fotovoltaico, en las condiciones adecuadas (radiación solar igual a 1 kW/m^2 y $25 \text{ }^\circ\text{C}$ en las células fotovoltaicas) es medida en W_p (vatios pico) denominada como potencia nominal del módulo [24].

Fig. 7. Módulo Fotovoltaico



FUENTE: [9]

Los módulos fotovoltaicos podrán ser instalados en terrazas, tejados, balcones o patios siempre considerando que no exista sombra sobre los mismos. Para sacar el máximo provecho de la luz solar, la orientación del panel solar, en el hemisferio sur, deberá ser hacia el norte, y caso contrario en el hemisferio norte [24].

1.1.3.4.4. Aplicaciones de la energía fotovoltaica

- *Sistemas fotovoltaicos conectados a la red:* la energía producida es convertida a los valores de tensión alterna de la red de distribución [9].
- *Sistemas fotovoltaicos aislados a la red:* la energía eléctrica conseguida del sol se utiliza para alimentar los diversos equipos debido que son sistemas distanciados a la red eléctrica de distribución [9].

El caso de estudio del presente proyecto se enfoca en el desarrollo de un sistema fotovoltaico aislado que permita el abastecimiento de energía eléctrica a viviendas unifamiliares.

1.1.3.5. Sistemas fotovoltaicos aislados a la red

Su utilización se localiza en sitios alejados o que presenten complicados accesos a la red de distribución eléctrica en donde resulta económico y menos complicado este tipo de sistema que conectarse directamente a la red eléctrica [24].

Su aplicación está ligado mayormente a zonas rurales alejadas, países en vías de desarrollo sin conexión a red, iluminación de carreteras aisladas, entre otros [24].

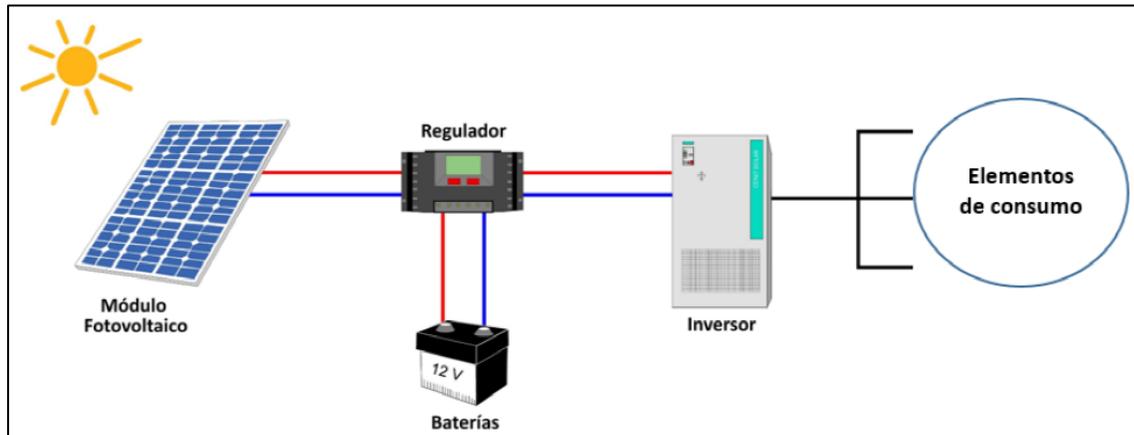
Según estudios, para una familia con hábitos de consumo ahorradores, la cantidad de potencia fotovoltaica que requiere es entre 1 y 4 kWp, potencia que es fácilmente obtenida en los meses correspondientes a verano, en los días y meses nublados la cantidad de energía que se puede obtener se reduce notablemente. Cabe recalcar que las potencias y electricidad generada, dependerá en su mayoría del tipo y cantidad de módulos fotovoltaicos instalados [24].

1.1.3.5.1. Componentes

- *Paneles fotovoltaicos:* mediante la corriente continua son capaces de producir electricidad [24].
- *Baterías:* su función principal es la de guardar o almacenar la energía generada por los paneles para su posterior utilización en horas donde la demanda de energía sea superior a la capacidad [24].

- *Reguladores de carga*: favorece al mantenimiento de la batería, evitando y controlando los procesos de carga y descarga de las mismas [24].
- *Inversores*: su objetivo es el de transformar la corriente continua en corriente alterna (utilizada en viviendas) [24].

Fig. 8. Componentes del sistema fotovoltaico aislado a la red



FUENTE: [25]

1.1.3.5.2. Número de módulos fotovoltaicos a instalarse

Para determinar el número de paneles a instalarse se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Demanda energética en los meses desfavorables, por lo general corresponden a meses de invierno [24].
- Radiación máxima disponible en el mencionado mes que estará en función del lugar de estudio, la orientación e inclinación del módulo [24].

1.1.3.5.3. Mantenimiento, tiempo de vida útil y rentabilidad

El componente al cual se debe prestar mayor atención y cuidado es a la batería, prácticamente controlando que el nivel de electrolito se encuentre dentro de los rangos establecidos [24].

El tiempo de vida útil de un panel o módulo fotovoltaico es aproximadamente de 30 años, aspecto que es comprobable ya que actualmente se conocen instalaciones funcionales que presentan entre 60 y 50 años de antigüedad, cabe mencionar que la batería deberá ser reemplazada por una nueva aproximadamente cada 10 años [24].

El costo que conlleva este tipo de instalación se traduce a alrededor \$11000, debido a que la inversión rodea los \$10 – \$12/W_p [24].

1.2. Objetivos

1.2.1. General:

- Analizar el sistema de abastecimiento de energía eléctrica y el uso de energías alternativas como la solar.

1.2.2. Específicos:

- Analizar el sistema de abastecimiento de energía eléctrica.
- Determinar el uso de energías alternativas como la solar en la parroquia Atahualpa.
- Implementar un sistema autosustentable de energía solar.

CAPÍTULO II.- METODOLOGÍA

2.1. Materiales y Equipos

En consideración que el presente trabajo es considerado como un proyecto técnico, no ha surgido la necesidad de realizar pruebas de campo o ensayos experimentales que complementen la información y cálculos presentados en el mismo, es por lo que los materiales y equipos se resumen a aquellos que han ayudado durante la realización del proyecto, tanto en la etapa de recolección de datos como en el dimensionamiento de los componentes del sistema fotovoltaico aislado. A continuación se muestra un listado de los materiales y equipos empleados:

2.1.1. Materiales

- Libreta de apuntes
- Hojas de papel bond tamaño A4
- Materiales de oficina

2.1.2. Equipos

- Vehículo
- Computadora portátil
- Software computacional
- Impresora

2.2. Métodos

2.2.1. Plan de Recolección de Datos

2.2.1.1. Información

- Verificar la veracidad de la información obtenida durante el proceso teórico investigativo así como también en la recopilación de datos en las encuestas.
- Determinar los documentos, datos, variables y consumo energético promedio diario necesarios en el diseño del sistema solar fotovoltaico aislado a la red para realizar el dimensionamiento de todos los componentes requeridos.

- Investigación sobre el estado del arte en lo referente a la generación eléctrica renovable, como la solar.
- Análisis e interpretación de otros casos de instalaciones fotovoltaicas aisladas a la red.

2.2.1.2. Plan de Reconocimiento y Análisis de Información

- Comprensión de los fundamentos teóricos.
- Registro de datos obtenidos en las encuestas.
- Tabulación y representación gráfica de las encuestas.
- Determinación de consumo energético de las viviendas según datos de las encuestas.
- Determinación de consumo energético de las viviendas según la planilla mensual de luz obtenida en la página web de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A. EEASA.
- Clasificación de viviendas según Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas De Distribución Codificado, emitido por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad.
- Empleo de software especializado.
- Utilización de manuales, normas, hojas de cálculo o páginas de internet para realizar el dimensionamiento y posterior selección de los componentes a emplearse en todo el sistema fotovoltaico aislado a la red.
- Análisis de los datos y resultados obtenidos.
- Elaboración de conclusiones y recomendaciones.
- Análisis económico del sistema propuesto.

2.3. Enfoque de la Investigación

Con el fin de presentar respuestas a cada uno de los objetivos planteados en el presente trabajo investigativo, resulta fundamental conceptualizar el nivel y tipo de investigación empleada, así como también la población y muestra requerida para el estudio del tema tratado, tal como se presenta a continuación:

2.3.1. Investigación Aplicada

La investigación aplicada se caracteriza por la utilización y aplicación del conjunto de conocimientos adquiridos para su posterior implementación en la práctica de manera que se logre una alternativa de solución al estudio planteado [26].

El presente trabajo presenta un carácter de investigación aplicada debido a que tiene como finalidad principal el desarrollo de un sistema de abastecimiento de energía eléctrica con el diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica aislada a la red, siendo una alternativa sustentable y ecológica que permita disponer de energía eléctrica a aquellos sectores, especialmente rurales, que se encuentran privados de este servicio básico, constituyendo así una solución práctica y viable a los diferentes problemas energéticos que este grupo poblacional presenta.

2.3.2. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno con establecer su estructura o comportamiento [27].

En base al concepto anterior, el desarrollo del trabajo investigativo se define como descriptiva, ya que se describe, detalla e investiga los diferentes elementos y componentes que forman parte del sistema solar fotovoltaico aislado a la red como una alternativa ecológica y sustentable en cuanto a la generación de energía eléctrica se refiere.

2.3.3. Población y Muestra

2.3.3.1. Población

La población, también conocida como Universo, se define como el conjunto de objetos o personas de los que se requiere descubrir información en una investigación [28]. Para la presente investigación, la población comprende las casas ubicadas en la Parroquia Atahualpa del cantón Ambato que sean consideradas viviendas de interés social, por lo cual se ha tomado como referencia viviendas que hayan sido entregadas y construidas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), por lo cual es necesario

determinar una muestra representativa de manera que sea posible obtener datos referenciales para la realización del diseño solar fotovoltaico.

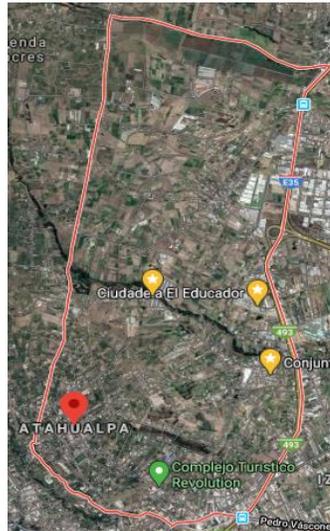
2.3.3.2. Muestra

La muestra es considerada como la parte o subconjunto de la población la cual será motivo de estudio e investigación [28].

La parroquia Atahualpa perteneciente al cantón Ambato, provincia de Tungurahua cuenta con un total de 138 viviendas de interés social entregadas por el MIDUVI, la ubicación geográfica del sector es:

- Altitud Geográfica: 2682 m.s.n.m
- Ubicación Geográfica: 1°12'42.63"S Latitud, 78°36'20.97"O Longitud
- Temperatura promedio: oscila entre los 12 y 16°C

Fig. 9. Ubicación geográfica de la parroquia Atahualpa.



FUENTE: Google Maps

Para realizar el cálculo del tamaño de la muestra se utiliza la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{N * e^2 + Z^2 * p * q} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

N = población [29].

Z = nivel de confianza [29].

p = probabilidad a favor [29].

q = probabilidad en contra [29].

e = error de estimación [29].

Tabla 2. Tamaño de la muestra por niveles de confianza

| Certeza | 95% | 94% | 93% | 92% | 91% | 90% | 80% | 62.27% | 50% |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|------|--------|--------|
| Z | 1.96 | 1.88 | 1.81 | 1.75 | 1.69 | 1.65 | 1.28 | 1 | 0.6745 |
| Z ² | 3.84 | 3.53 | 3.28 | 3.06 | 2.86 | 2.72 | 1.64 | 1.00 | 0.45 |
| e | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.10 | 0.20 | 0.37 | 0.50 |
| e ² | 0.0025 | 0.0036 | 0.0049 | 0.0064 | 0.0081 | 0.01 | 0.04 | 0.1369 | 0.25 |

Fuente: [29]

Se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- La suma del valor de probabilidad p y q será siempre uno, por esto se escogen valores de 0.5 para ambos casos cuando no se cuenta con información [29].
- Se recomienda utilizar porcentajes de confianza mayores al 91% cuando su valor es desconocido. Con 91%, Z = 1.69 [29].
- El grado de error máximo debe ser siempre menor al 10% ya que un valor superior aleja de la realidad el resultado. Con 9%, e = 0.09 [29].

Remplazando los valores en la Ec. 1, tenemos:

$$n = \frac{1.69^2 * 0.5 * 0.5 * 138}{138 * 0.09^2 + 1.69^2 * 0.5 * 0.5}$$
$$n = 53.79 \approx 54$$

La encuesta deberá ser realizada a 54 viviendas de interés social (entregadas por el MIDUVI).

2.3.4. Resultados de la Encuesta

A continuación se presentan los resultados obtenidos durante la realización de la encuesta a los propietarios de las viviendas construidas por el MIDUVI en la parroquia Atahualpa, el formato de la encuesta realizada se detalla en el ANEXO 1.

Las 3 primeras preguntas de la encuesta corresponden a la ubicación geográfica del lugar, por lo tanto las 54 viviendas encuestadas respondieron que se encuentran ubicadas en la parroquia Atahualpa, cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

Pregunta 4. N° de personas que habitan en la vivienda.

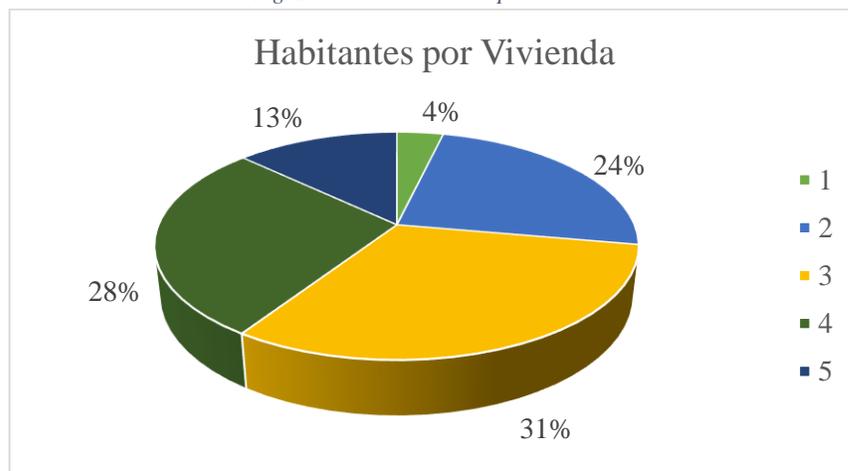
De todos los encuestados, en 2 viviendas habitan 1 persona, en 13 viviendas habitan 2 personas, en 17 viviendas habitan 3 personas, en 15 viviendas habitan 4 personas y en 7 viviendas habitan 5 personas, los resultados se muestran en la Tabla 3 y Fig. 10:

Tabla 3. N° de habitantes por vivienda

| N° de Habitantes | Cantidad de Viviendas |
|------------------|-----------------------|
| 1 | 2 |
| 2 | 13 |
| 3 | 17 |
| 4 | 15 |
| 5 | 7 |
| | 54 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 10. N° de habitantes por vivienda



Fuente: Roberto Quintana

Pregunta 5. M² de vivienda.

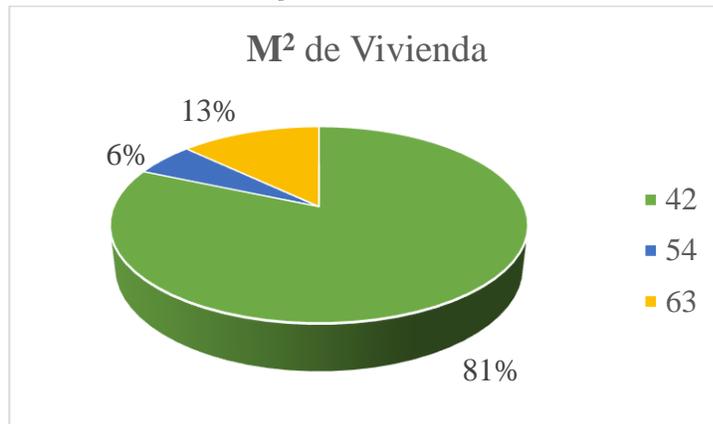
De todos los encuestados, 44 viviendas presentan un área de 42 m² de construcción, 3 casas presentan 54 m² y 7 casas tienen 63 m², los resultados se muestran en la Tabla 4 y Fig. 11:

Tabla 4. M² de vivienda

| M ² de Vivienda | Cantidad de Viviendas |
|----------------------------|-----------------------|
| 42 | 44 |
| 54 | 3 |
| 63 | 7 |
| | 54 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 11. M² de vivienda



FUENTE: Roberto Quintana

Pregunta 6. Fecha de entrevista.

Todas las encuestas fueron realizadas entre el 21 y 28 de enero del 2020.

Pregunta 7. ¿Posee energía eléctrica? ¿Cuánto paga al mes?

Las 54 viviendas encuestadas poseen el servicio de energía eléctrica. El valor que mayormente se repite, en lo referente al pago mensual de la planilla de luz, es de \$3.00 con un total de 10 viviendas, a continuación se muestran los resultados en la Tabla 5 y Fig. 12:

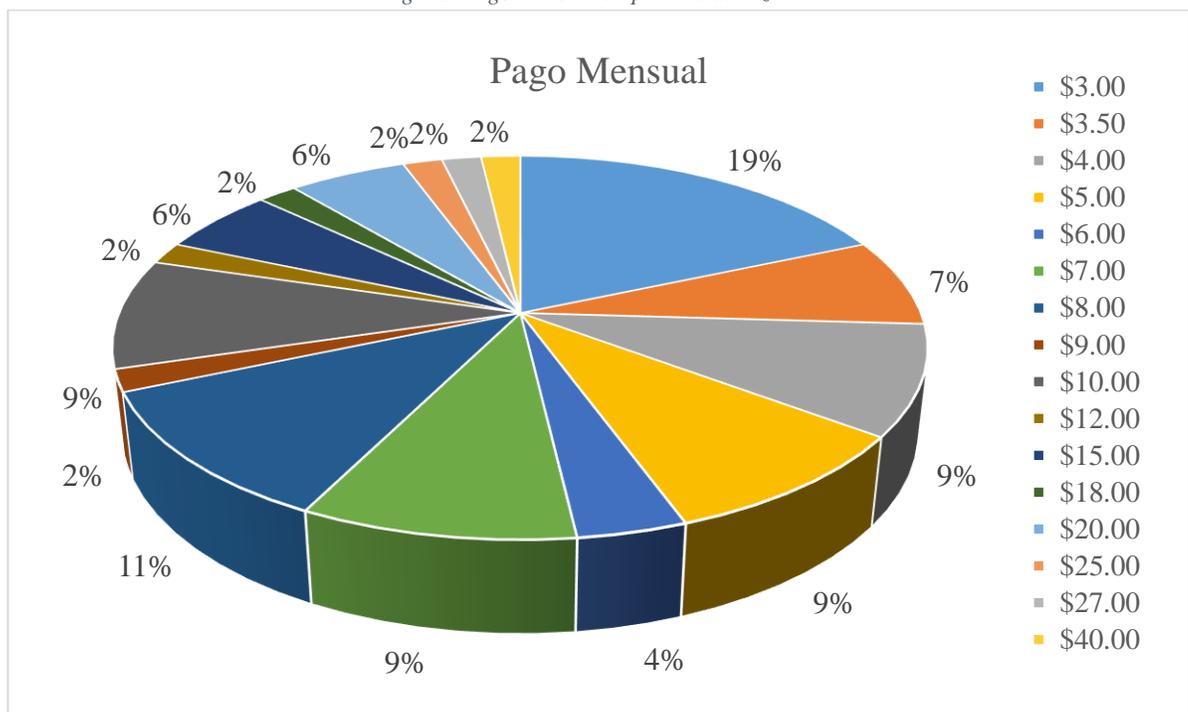
Tabla 5. Pago mensual de planilla de luz

| Pago Mensual | Cantidad de Viviendas |
|--------------|-----------------------|
| \$ 3.00 | 10 |
| \$ 3.50 | 4 |
| \$ 4.00 | 5 |
| \$ 5.00 | 5 |
| \$ 6.00 | 2 |
| \$ 7.00 | 5 |

| | |
|----------|---|
| \$ 8.00 | 6 |
| \$ 9.00 | 1 |
| \$ 10.00 | 5 |
| \$ 12.00 | 1 |
| \$ 15.00 | 3 |
| \$ 18.00 | 1 |
| \$ 20.00 | 3 |
| \$ 25.00 | 1 |
| \$ 27.00 | 1 |
| \$ 40.00 | 1 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 12. Pago mensual de planilla de luz



FUENTE: Roberto Quintana

Pregunta 8. N° de Cuenta.

El motivo de la pregunta N° 8 fue para poder determinar el consumo eléctrico diario tanto con los datos obtenidos en la encuesta así como también con los datos arrojados en las planillas de luz obtenidas de la página web de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A. EEASA, los datos se muestran en la Tabla 6:

Tabla 6. N° de cuenta

| N° de Casa | N° de Cuenta |
|-------------------|---------------------|
| Casa 1 | 209506 |
| Casa 2 | 207608 |
| Casa 3 | 145683 |
| Casa 4 | 212728 |
| Casa 5 | 206608 |
| Casa 6 | 242117 |
| Casa 7 | 206148 |
| Casa 8 | 202663 |
| Casa 9 | 210863 |
| Casa 10 | 211656 |
| Casa 11 | 192682 |
| Casa 12 | 212800 |
| Casa 13 | 209528 |
| Casa 14 | 224158 |
| Casa 15 | 214772 |
| Casa 16 | 231357 |
| Casa 17 | 227654 |
| Casa 18 | 227657 |
| Casa 19 | 253884 |
| Casa 20 | 310325 |
| Casa 21 | 211770 |
| Casa 22 | 207951 |
| Casa 23 | 208853 |
| Casa 24 | 207455 |
| Casa 25 | 205461 |
| Casa 26 | 132235 |
| Casa 27 | 205564 |
| Casa 28 | 213206 |
| Casa 29 | 21476 |
| Casa 30 | 212327 |
| Casa 31 | 206572 |
| Casa 32 | 214979 |
| Casa 33 | 231678 |
| Casa 34 | 226711 |
| Casa 35 | 260632 |
| Casa 36 | 241736 |
| Casa 37 | 202927 |

| | |
|---------|--------|
| Casa 38 | 144760 |
| Casa 39 | 213059 |
| Casa 40 | 255381 |
| Casa 41 | 209178 |
| Casa 42 | 222466 |
| Casa 43 | 212755 |
| Casa 44 | 26362 |
| Casa 45 | 216548 |
| Casa 46 | 148260 |
| Casa 47 | 135874 |
| Casa 48 | 142771 |
| Casa 49 | 139361 |
| Casa 50 | 231357 |
| Casa 51 | 253956 |
| Casa 52 | 246582 |
| Casa 53 | 261976 |
| Casa 54 | 127270 |

FUENTE: Roberto Quintana

Pregunta 9. Indicar la cantidad de electrodomésticos que disponga en su vivienda y la cantidad de horas diarias que ocupa.

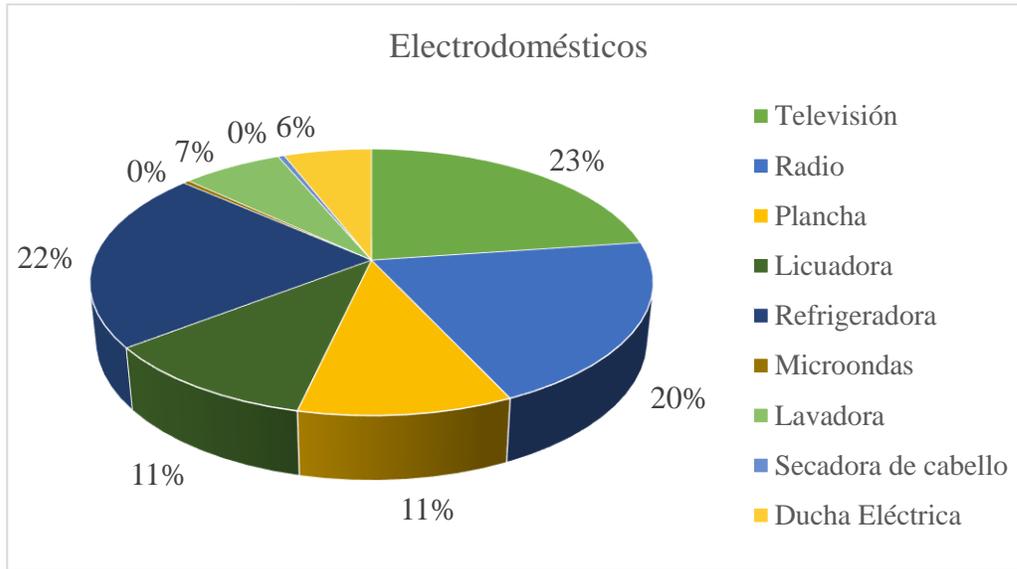
En lo referente a los electrodomésticos que disponen las viviendas, la mayoría de ellas cuentan con un televisor, radio y refrigeradora, los resultados se muestran en la Tabla 7 y Fig. 13:

Tabla 7. Electrodomésticos utilizados en las viviendas

| Descripción | Cantidad |
|---------------------|-----------------|
| Televisión | 54 |
| Radio | 48 |
| Plancha | 25 |
| Licuada | 26 |
| Refrigeradora | 52 |
| Microondas | 1 |
| Lavadora | 16 |
| Secadora de cabello | 1 |
| Ducha Eléctrica | 14 |
| | 237 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 13. Electrodomésticos utilizados en las viviendas



FUENTE: Roberto Quintana

Pregunta 10. Cantidad de luminarias por casa.

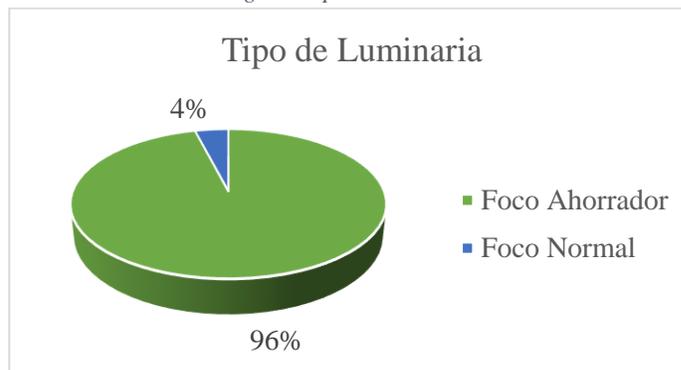
Del total de viviendas encuestadas, se determinó que el 96% de las mismas cuentan con focos ahorradores mientras que el 4% restante utilizan focos normales, los resultados se muestran en la Tabla 8 y Fig. 14:

Tabla 8. Tipo de luminarias

| Descripción | Cantidad de Viviendas |
|----------------|-----------------------|
| Foco Ahorrador | 52 |
| Foco Normal | 2 |
| | 54 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 14. Tipo de Luminaria



FUENTE: Roberto Quintana

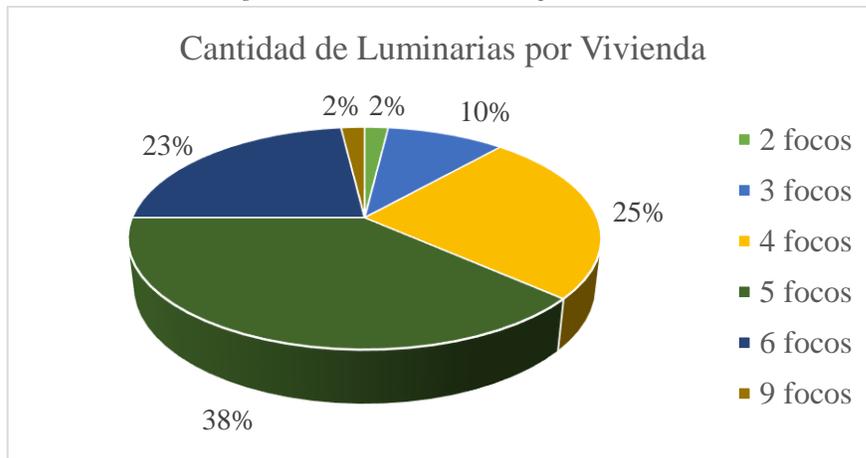
Debido a que el 96% de las viviendas presentan focos ahorradores, la determinación de la cantidad de luminarias por viviendas se centrará en las 52 casas, los resultados se presentan a continuación en la Tabla 9 y Fig. 15:

Tabla 9. Cantidad de Luminarias por vivienda.

| N° de Focos Ahorradores | Cantidad de Viviendas |
|-------------------------|-----------------------|
| 2 focos | 1 |
| 3 focos | 5 |
| 4 focos | 13 |
| 5 focos | 20 |
| 6 focos | 12 |
| 9 focos | 1 |
| | 52 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 15. Cantidad de Luminarias por vivienda.



FUENTE: Roberto Quintana

Pregunta 11. ¿A qué hora del día la luz solar es más fuerte?

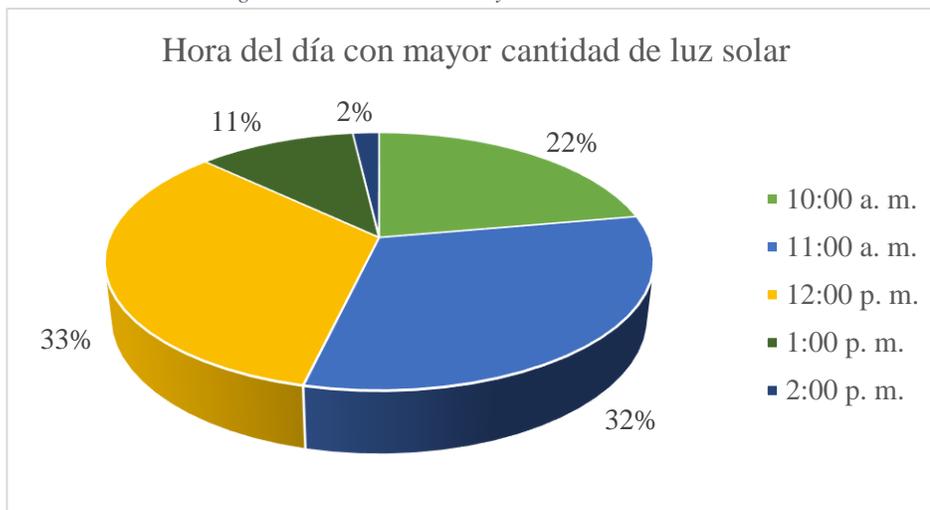
Con un 32 y 33% de los encuestados la mayor cantidad de luz solar se recibe entre las 11:00 am y 12:00 pm, los resultados se muestran a continuación en la Tabla 10 y Fig. 16:

Tabla 10. Hora del día con mayor cantidad de luz solar.

| Hora del día con mayor cantidad de luz solar | Cantidad de Viviendas |
|--|-----------------------|
| 10:00 a. m. | 12 |
| 11:00 a. m. | 17 |
| 12:00 p. m. | 18 |
| 1:00 p. m. | 6 |
| 2:00 p. m. | 1 |
| | 54 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 16. Hora del día con mayor cantidad de luz solar



FUENTE: Roberto Quintana

Pregunta 12. Mes con mayor cantidad de sol.

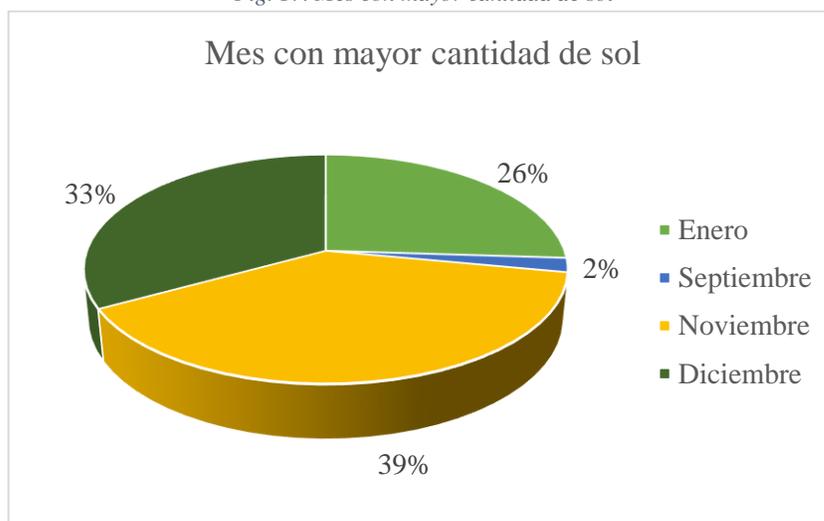
Del total de encuestados, el 39% indica que la mayor cantidad de luz solar se presenta en el mes de Noviembre, los resultados se presentan en la Tabla 11 y Fig. 17:

Tabla 11. Mes con mayor cantidad de sol

| Mes | Cantidad de Viviendas |
|------------|-----------------------|
| Enero | 14 |
| Septiembre | 1 |
| Noviembre | 21 |
| Diciembre | 18 |
| | 54 |

FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 17. Mes con mayor cantidad de sol



FUENTE: Roberto Quintana

2.3.5. Conclusiones de la Encuesta

Al tratarse de Atahualpa, una parroquia rural del cantón Ambato, se pudieron evidenciar altos índices de pobreza en los moradores de dicho sector, así mismo se constató que al ser viviendas construidas por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), todas presentaban una estructura igual, 2 cuartos, un baño y una pequeña sala, comedor y cocina; sin embargo se pudo observar que algunas casas han sufrido modificaciones, aunque estas no sean de consideración. La posesión y uso de los electrodomésticos se encuentra íntimamente relacionado con los ingresos económicos de las familias, es por lo que en una gran mayoría de casos las familias cuentan únicamente con un televisor pequeño, máximo de 32”, una radio y una refrigeradora, los cuales presentan un tiempo de uso diario de 4 horas, 2 horas y 24 horas respectivamente. Por otra parte, un número reducido de personas utilizan licuadora, plancha y ducha eléctrica; de igual manera un alto porcentaje de las viviendas utilizan 5 focos ahorradores los mismo que pasan encendidos un aproximado de 4 horas diarias.

La Tabla 12 muestra el promedio del consumo energético diario que presentan las viviendas modelos de la parroquia Atahualpa en base a los datos obtenidos de las encuestas.

Tabla 12. Consumo energético diario.

| Descripción | Potencia (W) | Cantidad | Tiempo de Uso (hora/día) | Demanda Energética (Wh/día) | Potencia Instalada (W) |
|----------------|--------------|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Televisión | 26 | 1 | 4 | 104 | 26 |
| Radio | 80 | 1 | 2 | 160 | 80 |
| Refrigeradora | 270 | 1 | 24 | 6480 | 270 |
| Foco Ahorrador | 8 | 5 | 4 | 160 | 40 |
| Σ = | | | | 6904 | 416 |

FUENTE: Roberto Quintana

La potencia instalada del sistema es de 416 W.

El consumo energético de las viviendas encuestadas es de:

$$E_T = 6904 \text{ Wh/día}$$

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2011), en el capítulo 14 correspondiente a las energías renovables enuncia que se debe agregar un factor de seguridad del 20% debido a que el usuario con el paso del tiempo tal vez aumentará el número y tipo de electrodomésticos aumentando directamente la carga. También enuncia que se debe tomar en cuenta que las pérdidas provocadas por el autoconsumo del inversor en cualquier condición de funcionamiento y climática debe ser menor al 5% del consumo de energía con carga [30]. Por consiguiente:

$$E_i = E_T * 5\% \quad (\text{Ec. 2})$$

$$E_R = E_T + E_i \quad (\text{Ec. 3})$$

$$E_D = E_R * 1.2 \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

E_i , es el consumo de energía del inversor.

E_R , es el consumo energético requerida tomando en cuenta la pérdida por el autoconsumo del inversor.

E_D , es el consumo energético total de la vivienda.

Remplazando los valores en las Ec. 2, 3 y 4, tenemos:

$$E_{iEnc} = 6904 \text{ Wh/día} * 5\% = 345.2 \text{ Wh/día}$$

$$E_{REnc} = 6904 \text{ Wh/día} + 345.2 \text{ Wh/día} = 7249.2 \text{ Wh/día}$$

$$E_{DEnc} = 7249.2 \text{ Wh/día} * 1.2 = 8699.04 \text{ Wh/día} = 8.70 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto el consumo energético diario de una vivienda según los datos de la encuesta será de 8.70 kWh/día.

Sin embargo, debido a las respuestas obtenidas en la pregunta 8 realizada durante las encuestas, se ha podido obtener, desde la página web de la Empresa Eléctrica Ambato Regional Centro Norte S. A. EEASA previo consentimiento de los propietarios de las viviendas, el historial de consumo eléctrico de cada una de las 54 viviendas durante el año 2019, presentando los siguientes resultados:

- **Clasificación de viviendas según consumo**

Con el historial de consumo energético obtenido de las planillas mensuales durante el año 2019 de las 54 viviendas encuestadas, ver ANEXO 1, y basándose en lo establecido en el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución del periodo enero – diciembre 2020 emitido por la Agencia de Regulación y Control de Electricidad, se ha establecido tres categorías de viviendas según el rango del voltaje, entendiéndose por Vivienda Tipo 1 a aquellas casa que presenten un consumo mensual menor o igual a 50 kW/mes, Vivienda Tipo 2 a las que presenten un consumo mensual menor o igual a 100 kW/mes, y Vivienda Tipo 3 aquellas que presenten un consumo energético mensual menor o igual a 150 kW/mes; las viviendas que queden fueran de estos límites no serán consideradas ya que el número de casas que se encuentran fuera de los rangos establecidos no es considerable, el pliego tarifario y la división por categorías de las viviendas se muestran en la Tabla 13 y Tabla 14, respectivamente:

Tabla 13. Categorías de viviendas

| CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS | |
|----------------------------------|------------------|
| Enero - Diciembre | |
| Rango de Consumo (kW/mes) | Categoría |
| 1-50 | Vivienda Tipo 1 |
| 51-100 | Vivienda Tipo 2 |
| 101-150 | Vivienda Tipo 3 |

FUENTE: [31]

Tabla 14. Clasificación de viviendas según consumo

| N° vivienda | Vivienda | Consumo Mensual (kwh) | Consumo Diario (kwh/día) | Categoría |
|--------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------|
| Casa 1 | N° de cuenta: 209506 | 67 | 2.23 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 2 | N° de cuenta: 207608 | 64.42 | 2.15 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 3 | N° de cuenta: 145683 | 38.5 | 1.28 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 4 | N° de cuenta: 212728 | 51.75 | 1.73 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 5 | N° de cuenta: 206608 | 17.58 | 0.59 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 6 | N° de cuenta: 242117 | 9.75 | 0.33 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 7 | N° de cuenta: 206148 | 18.25 | 0.61 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 8 | N° de cuenta: 202663 | 108.4 | 3.61 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 9 | N° de cuenta: 210863 | 39.08 | 1.3 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 10 | N° de cuenta: 211656 | 35.42 | 1.18 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 11 | N° de cuenta: 192682 | 38 | 1.27 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 12 | N° de cuenta: 212800 | 119.08 | 3.97 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 13 | N° de cuenta: 209528 | 168 | 5.6 | NO SE CONSIDERA |
| Casa 14 | N° de cuenta: 224158 | 39 | 1.3 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 15 | N° de cuenta: 214772 | 63.58 | 2.12 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 16 | N° de cuenta: 231357 | 78.92 | 2.63 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 17 | N° de cuenta: 227654 | 33.55 | 1.12 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 18 | N° de cuenta: 227657 | 78.08 | 2.6 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 19 | N° de cuenta: 253884 | 88 | 2.93 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 20 | N° de cuenta: 310325 | 129.25 | 4.31 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 21 | N° de cuenta: 211770 | 162.67 | 5.42 | NO SE CONSIDERA |
| Casa 22 | N° de cuenta: 207951 | 62.17 | 2.07 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 23 | N° de cuenta: 208853 | 120.25 | 4.01 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 24 | N° de cuenta: 207455 | 24.33 | 0.81 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 25 | N° de cuenta: 205461 | 84.17 | 2.81 | VIVIENDA TIPO 2 |

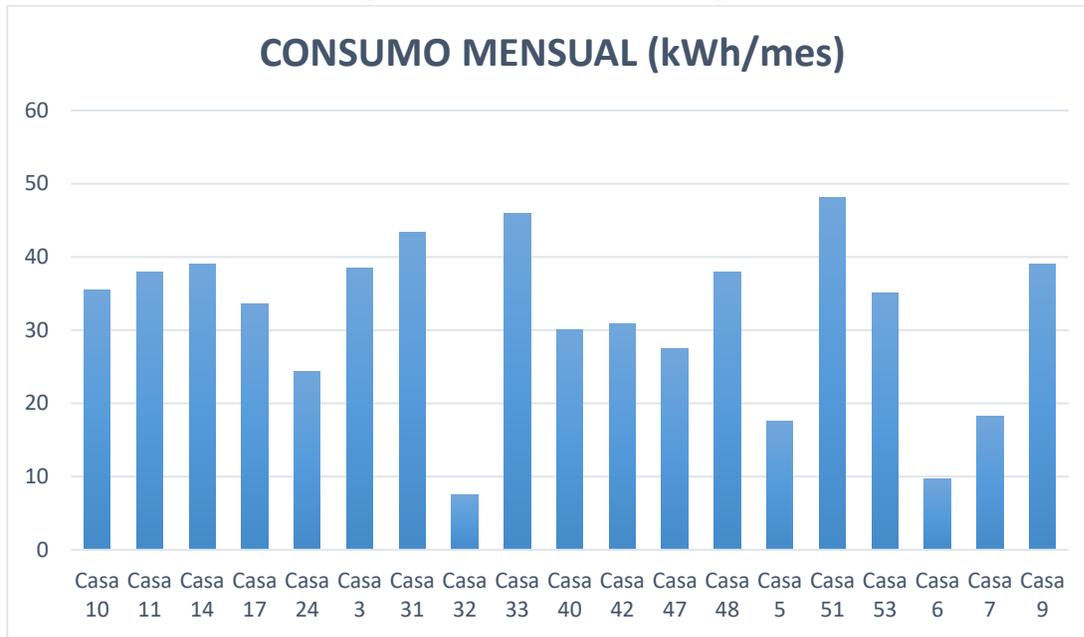
| | | | | |
|---------|----------------------|--------|------|-----------------|
| Casa 26 | N° de cuenta: 132235 | 89.5 | 2.98 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 27 | N° de cuenta: 205564 | 64.25 | 2.14 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 28 | N° de cuenta: 213206 | 82.78 | 2.76 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 30 | N° de cuenta: 212327 | 99.67 | 3.32 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 31 | N° de cuenta: 206572 | 43.33 | 1.44 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 32 | N° de cuenta: 214979 | 7.5 | 0.25 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 33 | N° de cuenta: 231678 | 45.92 | 1.53 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 34 | N° de cuenta: 226711 | 124.67 | 4.16 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 35 | N° de cuenta: 260632 | 73.17 | 2.44 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 36 | N° de cuenta: 241736 | 62.58 | 2.09 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 37 | N° de cuenta: 202927 | 111.83 | 3.73 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 38 | N° de cuenta: 144760 | 108.08 | 3.6 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 39 | N° de cuenta: 213059 | 148.08 | 4.94 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 40 | N° de cuenta: 255381 | 30.08 | 1 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 41 | N° de cuenta: 209178 | 71.92 | 2.4 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 42 | N° de cuenta: 222466 | 30.83 | 1.03 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 43 | N° de cuenta: 212755 | 123.75 | 4.13 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 44 | N° de cuenta: 26362 | 104.58 | 3.49 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 45 | N° de cuenta: 216548 | 73.17 | 2.44 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 46 | N° de cuenta: 148260 | 93 | 3.1 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 47 | N° de cuenta: 135874 | 27.5 | 0.92 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 48 | N° de cuenta: 142771 | 37.92 | 1.26 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 49 | N° de cuenta: 139361 | 79.92 | 2.66 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 50 | N° de cuenta: 231357 | 78.92 | 2.63 | VIVIENDA TIPO 2 |
| Casa 51 | N° de cuenta: 253956 | 48.08 | 1.6 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 52 | N° de cuenta: 246582 | 107.08 | 3.57 | VIVIENDA TIPO 3 |
| Casa 53 | N° de cuenta: 261976 | 35.08 | 1.17 | VIVIENDA TIPO 1 |
| Casa 54 | N° de cuenta: 127270 | 85 | 2.83 | VIVIENDA TIPO 2 |

FUENTE: Roberto Quintana

Una vez clasificadas las viviendas según su consumo mensual, es necesario escoger el valor máximo de consumo diario en cada categoría de vivienda para realizar el dimensionamiento de los componentes que forman parte del sistema fotovoltaico aislado a la red para la producción de energía, los resultados se muestran en las Tablas 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21:

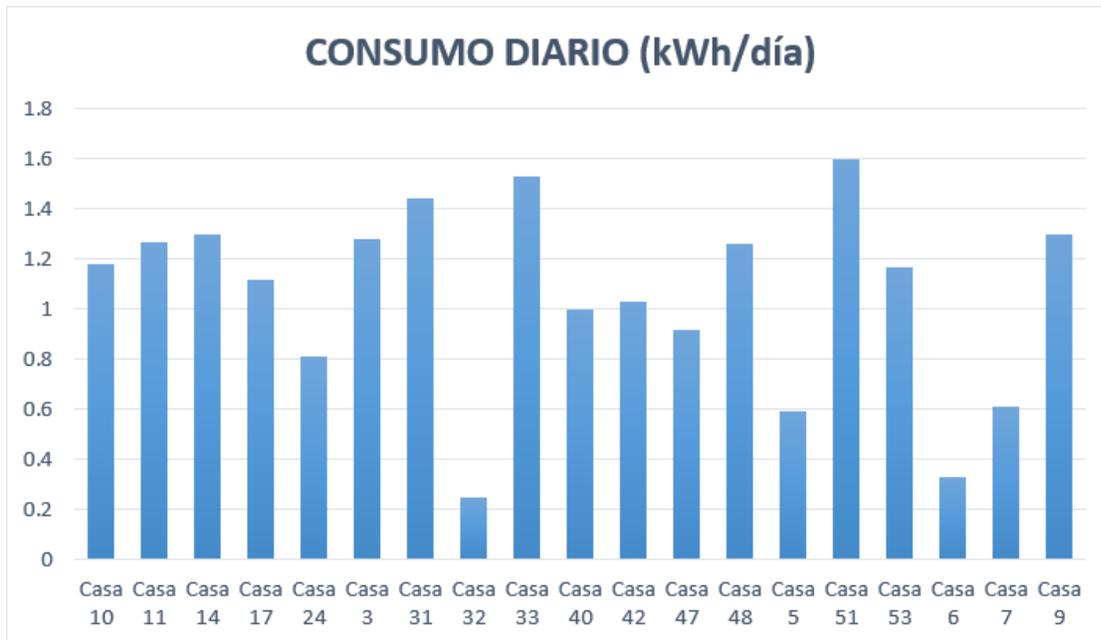
- **VIVIENDA TIPO 1**

Fig. 18. Consumo mensual Vivienda Tipo 1



FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 19. Consumo diario Vivienda Tipo 1



FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 15. Consumo mensual y diario Vivienda Tipo 1

| Etiquetas de fila | Máx. de CONSUMO MENSUAL (kWh/mes) | Máx. de CONSUMO DIARIO (kWh/día) |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Casa 10 | 35.42 | 1.18 |
| Casa 11 | 38 | 1.27 |
| Casa 14 | 39 | 1.3 |
| Casa 17 | 33.55 | 1.12 |
| Casa 24 | 24.33 | 0.81 |
| Casa 3 | 38.5 | 1.28 |
| Casa 31 | 43.33 | 1.44 |
| Casa 32 | 7.5 | 0.25 |
| Casa 33 | 45.92 | 1.53 |
| Casa 40 | 30.08 | 1 |
| Casa 42 | 30.83 | 1.03 |
| Casa 47 | 27.5 | 0.92 |
| Casa 48 | 37.92 | 1.26 |
| Casa 5 | 17.58 | 0.59 |
| Casa 51 | 48.08 | 1.6 |
| Casa 53 | 35.08 | 1.17 |
| Casa 6 | 9.75 | 0.33 |
| Casa 7 | 18.25 | 0.61 |
| Casa 9 | 39.08 | 1.3 |
| Total general | 48.08 | 1.6 |

FUENTE: Roberto Quintana

El valor máximo de consumo diario, dato que se usará para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es igual a 1.6 kWh/día.

Según lo mencionado anteriormente en el presente trabajo, es necesario tener presente las posibles pérdidas provocadas por los componentes del sistema fotovoltaico, por lo tanto reemplazando datos en las Ecuaciones 2, 3 y 4, se obtiene:

$$E_{i\text{Tipo } 1} = 1600 \text{ Wh/día} * 5\% = 80 \text{ Wh/día}$$

$$E_{R\text{Tipo } 1} = 1600 \text{ Wh/día} + 80 \text{ Wh/día} = 1680 \text{ Wh/día}$$

$$E_{D\text{Tipo } 1} = 1680 \text{ Wh/día} * 1.2 = 2016 \text{ Wh/día} = 2.02 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto el consumo energético diario de la vivienda tipo 1 será de 2.02 kWh/día.

La Tabla 16 muestra los electrodomésticos con sus respectivas horas de uso diario que podrán ser utilizados o a su vez su equivalente en la Vivienda Tipo 1.

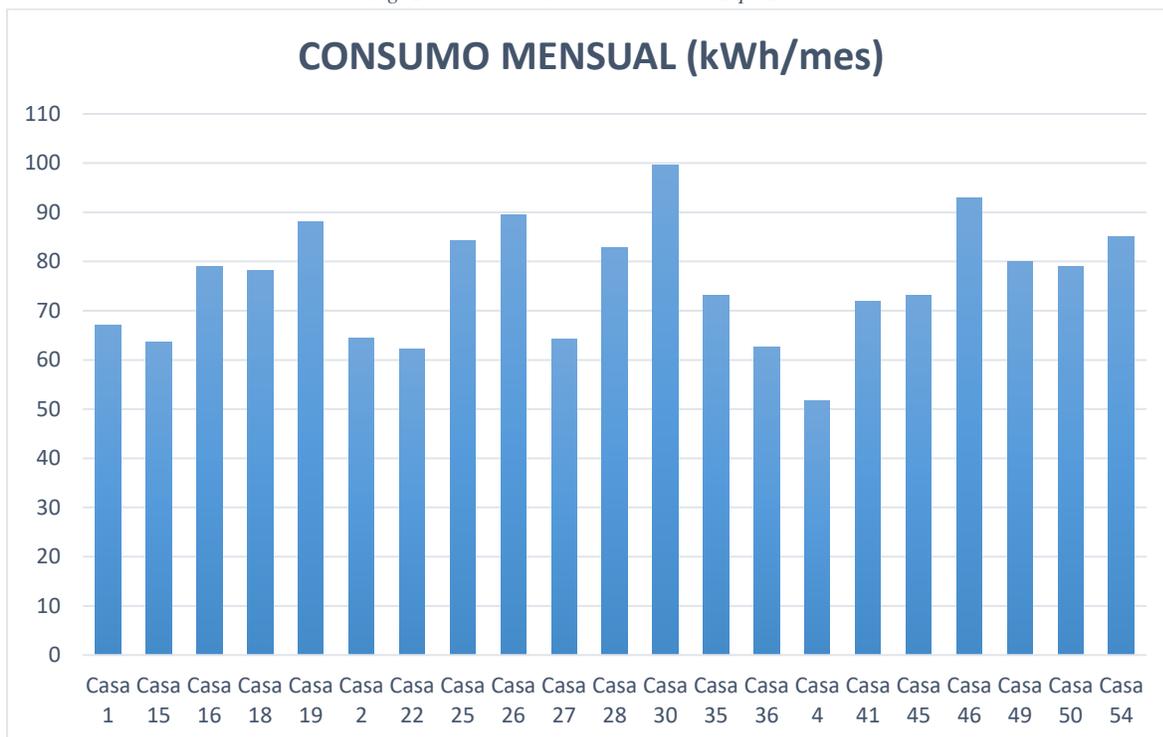
Tabla 16. Electrodomésticos aptos para Vivienda Tipo 1

| Descripción | Potencia (W) | Cantidad | Tiempo de Uso (hora/día) | Demanda Energética (Wh/día) | Potencia Instalada (W) |
|----------------|--------------|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Televisión | 26 | 2 | 6 | 312 | 52 |
| Radio | 80 | 1 | 4 | 320 | 80 |
| Licuada | 600 | 1 | 0.17 | 102 | 600 |
| Plancha | 1200 | 1 | 0.52 | 624 | 1200 |
| Foco Ahorrador | 8 | 6 | 5 | 240 | 48 |
| $\Sigma =$ | | | | 1598 | 1980 |

FUENTE: Roberto Quintana

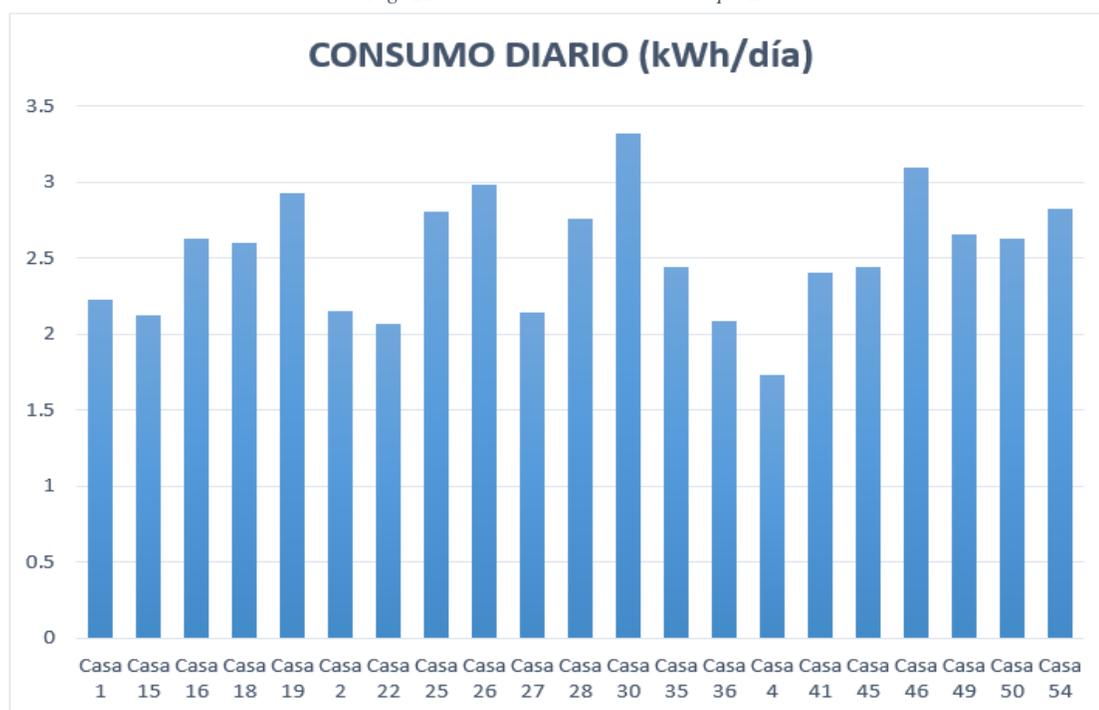
- **VIVIENDA TIPO 2**

Fig. 20. Consumo mensual Vivienda Tipo 2



FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 21. Consumo diario Vivienda Tipo 2



FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 17. Consumo mensual y diario Vivienda Tipo 2

| Etiquetas de fila | Máx. de CONSUMO MENSUAL (kWh/mes) | Máx. de CONSUMO DIARIO (kWh/día) |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Casa 1 | 67 | 2.23 |
| Casa 15 | 63.58 | 2.12 |
| Casa 16 | 78.92 | 2.63 |
| Casa 18 | 78.08 | 2.6 |
| Casa 19 | 88 | 2.93 |
| Casa 2 | 64.42 | 2.15 |
| Casa 22 | 62.17 | 2.07 |
| Casa 25 | 84.17 | 2.81 |
| Casa 26 | 89.5 | 2.98 |
| Casa 27 | 64.25 | 2.14 |
| Casa 28 | 82.78 | 2.76 |
| Casa 30 | 99.67 | 3.32 |
| Casa 35 | 73.17 | 2.44 |
| Casa 36 | 62.58 | 2.09 |
| Casa 4 | 51.75 | 1.73 |
| Casa 41 | 71.92 | 2.4 |
| Casa 45 | 73.17 | 2.44 |
| Casa 46 | 93 | 3.1 |

| | | |
|---------------|--------------|-------------|
| Casa 49 | 79.92 | 2.66 |
| Casa 50 | 78.92 | 2.63 |
| Casa 54 | 85 | 2.83 |
| Total general | 99.67 | 3.32 |

FUENTE: Roberto Quintana

El valor máximo de consumo diario, dato que se usará para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es igual a 3.32 kWh/día.

Según lo mencionado anteriormente en el presente trabajo, es necesario tener presente las posibles pérdidas provocadas por los componentes del sistema fotovoltaico, por lo tanto reemplazando datos en las Ecuaciones 2, 3 y 4, se obtiene:

$$E_{i\text{ Tipo } 2} = 3320 \text{ Wh/día} * 5\% = 166 \text{ Wh/día}$$

$$E_{R\text{ Tipo } 2} = 3320 \text{ Wh/día} + 166 \text{ Wh/día} = 3486 \text{ Wh/día}$$

$$E_{D\text{ Tipo } 2} = 3486 \text{ Wh/día} * 1.2 = 4183.20 \text{ Wh/día} = 4.18 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto el consumo energético diario de la vivienda tipo 2 será de 4.18 kWh/día.

La Tabla 18 muestra los electrodomésticos con sus respectivas horas de uso diario que podrán ser utilizados o a su vez su equivalente en la Vivienda Tipo 2.

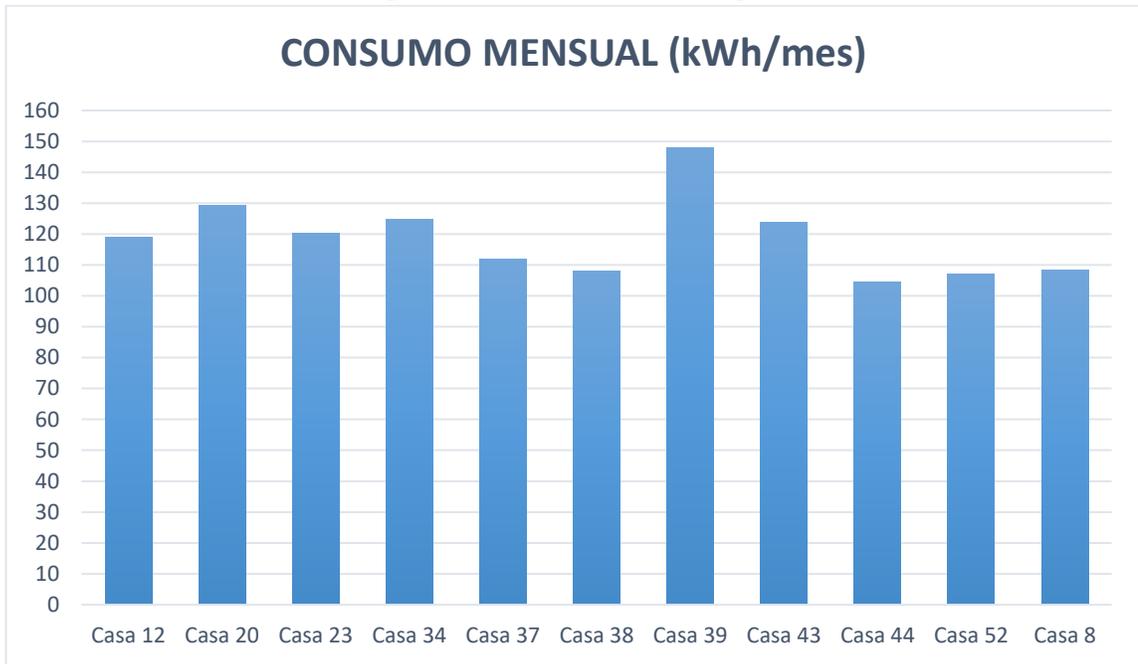
Tabla 18. Electrodomésticos aptos para Vivienda Tipo 2

| Descripción | Potencia (W) | Cantidad | Tiempo de Uso (hora/día) | Demanda Energética (Wh/día) | Potencia Instalada (W) |
|---------------------|--------------|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Televisión | 26 | 2 | 6 | 312 | 52 |
| Radio | 80 | 2 | 5 | 800 | 160 |
| Licuada | 600 | 1 | 0.17 | 102 | 600 |
| Microondas | 700 | 1 | 0.17 | 119 | 700 |
| Plancha | 1200 | 1 | 0.61 | 732 | 1200 |
| Lavadora | 315 | 1 | 2 | 630 | 315 |
| Secadora de cabello | 1800 | 1 | 0.17 | 306 | 1800 |
| Foco Ahorrador | 8 | 8 | 5 | 320 | 64 |
| Σ = | | | | 3321 | 4891 |

FUENTE: Roberto Quintana

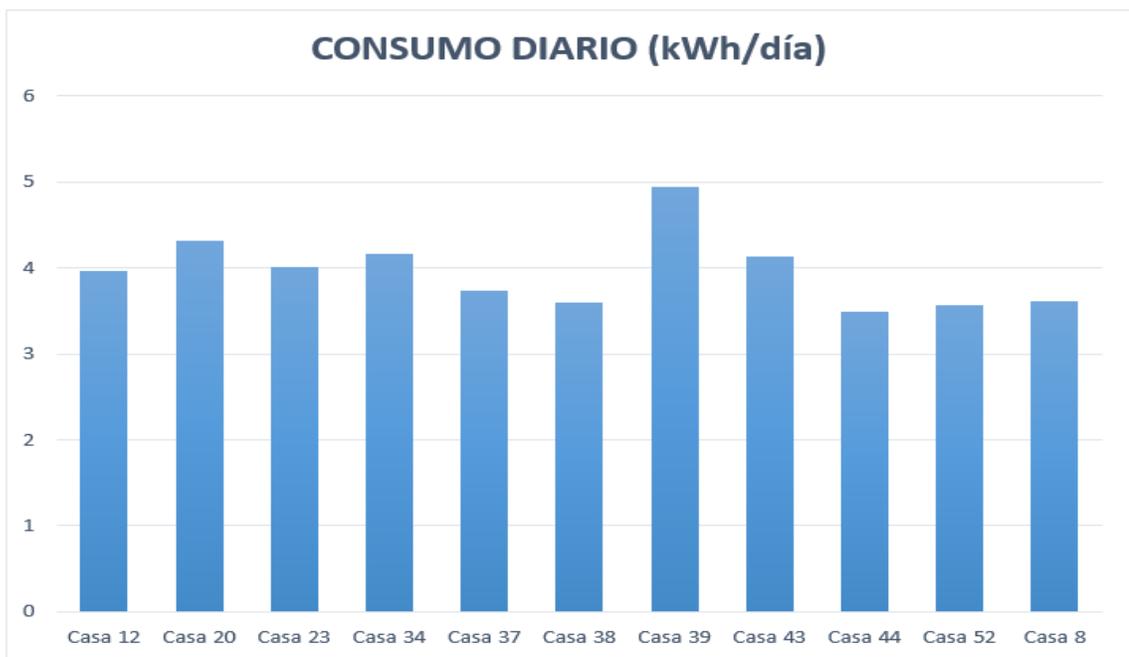
- **VIVIENDA TIPO 3**

Fig. 22. Consumo mensual Vivienda Tipo 3



FUENTE: Roberto Quintana

Fig. 23. Consumo diario Vivienda Tipo 3



FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 19. Consumo mensual y diario Vivienda Tipo 3

| Etiquetas de fila | Máx. de CONSUMO MENSUAL (kWh/mes) | Máx. de CONSUMO DIARIO (kWh/día) |
|-------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| Casa 12 | 119.08 | 3.97 |
| Casa 20 | 129.25 | 4.31 |
| Casa 23 | 120.25 | 4.01 |
| Casa 34 | 124.67 | 4.16 |
| Casa 37 | 111.83 | 3.73 |
| Casa 38 | 108.08 | 3.6 |
| Casa 39 | 148.08 | 4.94 |
| Casa 43 | 123.75 | 4.13 |
| Casa 44 | 104.58 | 3.49 |
| Casa 52 | 107.08 | 3.57 |
| Casa 8 | 108.4 | 3.61 |
| Total general | 148.08 | 4.94 |

FUENTE: Roberto Quintana

El valor máximo de consumo diario, dato que se usará para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es igual a 4.94 kWh/día.

Según lo mencionado anteriormente en el presente trabajo, es necesario tener presente las posibles pérdidas provocadas por los componentes del sistema fotovoltaico, por lo tanto reemplazando datos en las Ecuaciones 2, 3 y 4, se obtiene:

$$E_{i\text{Tipo } 3} = 4940 \text{ Wh/día} * 5\% = 247 \text{ Wh/día}$$

$$E_{R\text{Tipo } 3} = 4940 \text{ Wh/día} + 247 \text{ Wh/día} = 5187 \text{ Wh/día}$$

$$E_{D\text{Tipo } 3} = 5187 \text{ Wh/día} * 1.2 = 6224.4 \text{ Wh/día} = 6.22 \text{ kWh/día}$$

Por lo tanto el consumo energético diario de la vivienda tipo 3 será de 6.22 kWh/día.

La Tabla 20 muestra los electrodomésticos con sus respectivas horas de uso diario que podrán ser utilizados o a su vez su equivalente en la Vivienda Tipo 3.

Tabla 20. Electrodomésticos aptos para Vivienda Tipo 3

| Descripción | Potencia (W) | Cantidad | Tiempo de Uso (hora/día) | Demanda Energética (Wh/día) | Potencia Instalada (W) |
|---------------------|--------------|----------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Televisión | 26 | 3 | 6 | 468 | 78 |
| Radio | 80 | 3 | 5 | 1200 | 240 |
| Licuadaora | 600 | 1 | 0.35 | 210 | 600 |
| Microondas | 700 | 1 | 0.34 | 238 | 700 |
| Plancha | 1200 | 1 | 1 | 1200 | 1200 |
| Lavadora | 315 | 1 | 2 | 630 | 315 |
| Secadora de cabello | 1800 | 1 | 0.33 | 594 | 1800 |
| Foco Ahorrador | 8 | 10 | 5 | 400 | 80 |
| Σ = | | | | 4940 | 5013 |

FUENTE: Roberto Quintana

Demanda energética necesaria para dimensionamiento de componentes del sistema fotovoltaico aislado a la red.

Tabla 21. Demanda energética

| DEMANDA ENERGÉTICA | | |
|---------------------------|-------------------------|------------------------|
| CATEGORÍA | DIARIO (kWh/día) | DIARIO (Wh/día) |
| Vivienda Tipo 1 | 2.02 | 2016 |
| Vivienda Tipo 2 | 4.18 | 4183.20 |
| Vivienda Tipo 3 | 6.22 | 6224.40 |
| Encuesta | 8.70 | 8699.04 |

FUENTE: Roberto Quintana

CAPÍTULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis y Discusión de los Resultados

3.1.1. Irradiación total diaria promedio mensual sobre una superficie inclinada

Para conocer este valor es necesario recurrir al software llamado “RETScreen Expert”, el mismo que utiliza una fuente de datos de la NASA. Por la ubicación geográfica de Ecuador es factible aprovechar en gran cantidad el recurso solar, gracias a esto los paneles solares tienen la posibilidad de ubicarse de manera horizontal o con un mínimo ángulo de inclinación. Para efectos del presente trabajo, se considerará la posición de los paneles de con un ángulo de inclinación de 10°, para evitar la acumulación de basura y agua que podrían llegar a afectar al sistema.

Los datos de radiación solar diaria sobre una superficie horizontal se presentan en la Tabla 22:

Tabla 22. Radiación solar diaria – horizontal

| DATOS METEOROLÓGICOS | |
|-----------------------------|--|
| MES | RADIACIÓN SOLAR DIARIA - HORIZONTAL |
| | kWh/m²/día |
| Enero | 4.39 |
| Febrero | 4.46 |
| Marzo | 4.64 |
| Abril | 4.45 |
| Mayo | 4.26 |
| Junio | 4.23 |
| Julio | 4.32 |
| Agosto | 4.64 |
| Septiembre | 4.62 |
| Octubre | 4.61 |
| Noviembre | 4.7 |
| Diciembre | 4.45 |
| Anual | 4.48 |

FUENTE: RETScreen Expert

Se obtuvo un valor promedio de irradiación solar anual en una superficie horizontal de 4.48 kWh/m² día, para motivos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico se utilizará el valor más bajo, correspondiente al mes de Junio con una irradiación solar horizontal de 4.23 kWh/m² (HSP), cabe recalcar que se deberá obtener el valor de irradiación solar en un plano inclinado, ya que la misma variará, para dicho efecto se recurre al Método de Lui y Jordan, el cual posibilita encontrar la irradiación inclinada para que el arreglo fotovoltaico no se vea afectado por dicho ángulo [29], [32]. La fórmula para calcular la irradiación promedio diaria en una superficie inclinada es:

$$I_{rT} = I_{rbh} * FC_b + I_{rdh} * FC_d + (I_{rbh} + I_{rdh})FC_p \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde:

I_{rT} , irradiación promedio diaria en una superficie inclinada [29], [32].

I_{rbh} , irradiación directa diaria sobre un plano horizontal [29], [32].

I_{rdh} , irradiación difusa diaria sobre un plano horizontal [29], [32].

FC_b , FC_d y FC_p , factores de conversión para la irradiación directa, difusa y reflejada [29], [32].

- **Factor de conversión para la irradiación directa**

El presente factor varía conforme las concentraciones de vapor de agua, la nubosidad y dependerá de la transmitancia atmosférica, consiste en el residuo entregado por la irradiación directa mensual en un plano inclinado y la irradiación sobre un plano horizontal [29], [32], siguiendo la próxima ecuación:

$$FC_b = \frac{\varphi'_s \sin \alpha \sin(\beta - \sigma) + \cos \alpha \cos(\beta - \sigma) \sin \varphi'_s}{\varphi_s \sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta \sin \varphi_s} \quad (\text{Ec. 6})$$

Donde:

α , ángulo de declinación, posición angular del sol en relación con el plano del Ecuador [29], [32].

φ'_s, φ_s , ángulos de amanecer y puesta del sol [29], [32].

σ , ángulo de inclinación del panel solar [29], [32].

β , latitud

$$\alpha = 23.45^\circ \sin \left[360 * \frac{284 + n}{365} \right] \quad (\text{Ec. 7})$$

Donde:

n , días representativos de cada mes, ver ANEXO 3 [29], [32].

$$\varphi_s = \cos^{-1}(-\tan \alpha \tan \beta) \quad (\text{Ec. 8})$$

$$\varphi'_s = \min\{\varphi_s, \cos^{-1}[-\tan(\beta - \sigma) \tan \alpha]\} \quad (\text{Ec. 9})$$

Donde:

φ_s , distancia angular entre la aparición del sol y el medio día solar [29], [32].

φ'_s , distancia angular entre la desaparición del sol y el medio día solar [29], [32].

- **Factor de conversión para la irradiación difusa**

Es la relación entre la irradiación difusa mensual sobre un plano inclinado y sobre un plano horizontal [29], [32].

$$FC_d = \frac{1 + \cos \sigma}{2} \quad (\text{Ec. 10})$$

- **Factor de conversión para la irradiación reflejada**

Es la relación entre la irradiación reflejada mensual sobre un plano y la irradiación global promedio del mes analizado, considerando un factor de reflexión (albedo) que depende según el tipo de suelo [29], [32].

$$FC_p = \frac{1 - \cos \sigma}{2} \rho \quad (\text{Ec. 11})$$

Donde:

ρ , albedo, ver ANEXO 4 [29], [32].

- **Irradiación difusa aplicada en una superficie horizontal**

Es la relación entre el coeficiente de transparencia atmosférico promedio mensual y la irradiación global promedio del mes analizado [29], [32].

$$\frac{I_{r_{dh}}}{I_{r_G}} = 1.390 - 4.027T_{atm} + 5.531T_{atm}^2 - 3.108T_{atm}^3 \quad (\text{Ec. 12})$$

Donde:

I_{r_G} , irradiación global mensual en una superficie horizontal [29], [32].

T_{atm} , coeficiente de transparencia atmosférico, es la cantidad de irradiación que llega a la tierra obtenido como el cociente entre la irradiación global horizontal y la irradiación extraterrestre mensual horizontal [29], [32].

$$T_{atm} = \frac{I_{r_G}}{I_{r_{ex}}} \quad (\text{Ec. 13})$$

Donde:

$I_{r_{ex}}$, irradiación extraterrestre horizontal que muestra la cantidad de energía que llega al exterior de la atmósfera [29], [32].

$$(I_{r_{ex}})_n = \frac{24}{\pi} CS * \mu_o * (\cos \beta \cos \alpha \sin \varphi_s + \varphi_s \sin \beta \sin \alpha) \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

CS , constante solar [29], [32].

$(I_{r_{ex}})_n$, irradiación extraterrestre mensual horizontal en cualquier día del año [29], [32].

μ_o , coeficiente de correlación sol-tierra que relaciona la distancia de la tierra hasta el sol [29], [32].

$$\mu_o = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360 * n}{365}\right) \quad (\text{Ec. 15})$$

La irradiación promedio mensual sobre una superficie inclinada [29], [32] vendría siendo:

$$I_{r_T} = (I_{r_G} - I_{r_{dh}})FC_b + I_{r_{dh}} * \frac{1 + \cos \sigma}{2} + I_{r_G} * \frac{1 - \cos \sigma}{2} \rho \quad (\text{Ec. 16})$$

El factor de conversión de la irradiación diaria promedio sobre un plano inclinado es [29], [32]:

$$FC = \frac{I_{r_T}}{I_{r_G}} \quad (\text{Ec. 17})$$

Remplazando la Ec. 17 en la Ec. 18 tenemos:

$$FC = \left(1 - \frac{I_{r_{dh}}}{I_{r_G}}\right) FC_b + \frac{I_{r_{dh}}}{I_{r_G}} * \left(\frac{1 + \cos \sigma}{2}\right) + \frac{1 - \cos \sigma}{2} \rho \quad (\text{Ec. 18})$$

- **Irradiación solar diaria aplicada en una superficie horizontal**

Los datos iniciales necesarios para realizar los cálculos son:

- Latitud del lugar = 1.212°
- Ángulo de inclinación del panel = 10°
- $FC_d = 0.992$
- $FC_p = 0.00175$
- Albedo = 0.23
- $n = 162$

El valor obtenido de la irradiación solar diaria en un plano inclinado se muestra en la Tabla 23:

Tabla 23. Irradiación solar diaria en un plano inclinado

| Mes | Irradiación Solar Diaria - Horizontal | n | α | φ_s | φ_s | μ_o | $I_{r_{ex}}$ | FC_b | T_{atm} | $\frac{I_{r_{dh}}}{I_{r_G}}$ | FC | Irradiación Solar Diaria - Inclinada I_{r_T} |
|-------|---------------------------------------|-----|----------|-------------|-------------|---------|--------------|--------|-----------|------------------------------|-------|--|
| | kWh/m2/día | | | | | | | | | | | kWh/m2/día |
| Junio | 4.23 | 162 | 23.09 | 90.52 | 1.58 | 0.97 | 8.38 | 0.874 | 0.51 | 0.367 | 0.919 | 3.887 |

FUENTE: Roberto Quintana

Se obtuvo un valor de 3.887 kWh/m2/día correspondiente al mes más desfavorable que en este caso es el mes de Junio el cual se considera un valor relativamente alto que colaborará al óptimo funcionamiento del sistema. Así mismo la ubicación geográfica de Ecuador ayuda al desarrollo de este tipo de proyectos ya que la posición del sol durante

todo el año no varía considerablemente contando diariamente con un aproximado de 12 horas de luz solar [29].

3.1.2. Cálculo del rendimiento total del sistema

Según lo establecido en la NEC-11, capítulo 14 de Energías Renovables, la fórmula para calcular el rendimiento total del sistema es [29], [30]:

$$PR = \eta_{temp} * \eta_{suc} * \eta_{Cab} * \eta_{Inv} * \eta_{reg} * \eta_{Bat} * \eta_{aut} \quad (\text{Ec. 19})$$

Donde:

PR , rendimiento global del sistema

η_{temp} , rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de las condiciones normales [29], [30].

η_{suc} , rendimiento por suciedades acumuladas en los módulos fotovoltaicos [29], [30].

η_{Cab} , rendimiento por caída de voltaje en los cables, tanto en la parte de corriente continua como en la de corriente alterna [29], [30].

η_{Inv} , rendimiento del inversor [29], [30].

η_{reg} , rendimiento del regulador de carga [29], [30].

η_{Bat} , rendimiento del banco de baterías [29], [30].

η_{aut} , rendimiento por pérdidas debido a la auto descarga del banco de baterías [29], [30].

La NEC 2011 estipula que:

- El rendimiento por efectos de suciedad debe ser mayor o igual al 2% [29], [30].
- El rendimiento por pérdidas de los cables debe ser menor que: la caída de tensión entre el regular de carga y el arreglo fotovoltaico, entre el regulador de carga y la batería, entre el regulador de carga y las cargas deben ser mayores o iguales al 3% [29], [30].

- Los rendimientos del regulador, baterías e inversor deben ser tomados de las hojas técnicas de los proveedores, en caso de desconocer no debe ser mayor que 10% [29], [30].
- El rendimiento gracias a las pérdidas por auto descarga de las baterías debe ser mayor al 1% [29], [30].

Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de las condiciones normales.

Se calcula mediante:

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_C - 25) \quad (\text{Ec. 20})$$

$$T_C = T_a + 1.25(NOCT - 20) \quad (\text{Ec. 21})$$

$$C_T = \Delta I_{SC,T} \Delta V_{OC,T} \quad (\text{Ec. 22})$$

Donde:

T_C , temperatura de la celda a una irradiación de 1000 W/m² [29], [30].

T_a , temperatura ambiente, para junio es igual a 15.5 °C [29], [30].

$NOCT$, temperatura de funcionamiento normal de la celda, en caso de desconocer el valor, se adoptará un valor de 45°C [29], [30].

C_T , coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a diferentes temperaturas, en caso de desconocer el valor, asumir 0.005 [29], [30].

Reemplazando datos en la Ec. 21 tenemos:

$$T_C = 15.5 \text{ °C} + 1.25(45 \text{ °C} - 20)$$

$$T_C = 46.65 \text{ °C}$$

Temperatura de celda a una irradiación de 1000 W/m² igual a 46.65 °C.

Se asumirá el valor de 0.005 para el coeficiente de variación de la potencia, obteniendo así el rendimiento por funcionamiento a diferentes temperaturas, reemplazando en la Ec. 20 tenemos que:

$$\eta_{temp} = 1 - 0.005(46.65 - 25)$$

$$\eta_{temp} = 89.2 \%$$

Reemplazamos valores en la Ec. 19, obteniendo como rendimiento global del sistema un valor de:

$$PR = 0.89 * 0.98 * 0.97 * 0.98 * 0.90 * 0.90 * 0.99$$

$$PR = 0.665$$

3.1.3. Cálculo de componentes del Sistema Fotovoltaico Aislado

3.1.3.1. Potencia pico del arreglo fotovoltaico

La potencia mínima capaz de abastecer la demanda energética que presenta cada tipo de vivienda se la obtiene aplicando la siguiente ecuación [29], [30]:

$$Pot_p = \frac{Demanda\ Energética}{HSP * PR} \quad (Ec. 23)$$

- **Potencia Pico Vivienda Tipo 1**

$$Pot_{p1} = \frac{2016\ Wh/día}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{p1} = 779.93\ Wp$$

- **Potencia Pico Vivienda Tipo 2**

$$Pot_{p2} = \frac{4183.20\ Wh/día}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{p2} = 1618.35\ Wp$$

- **Potencia Pico Vivienda Tipo 3**

$$Pot_{p3} = \frac{6224.40 \text{ Wh/día}}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{p3} = 2408.03 \text{ Wp}$$

- **Potencia Pico Vivienda Encuesta**

$$Pot_{pE} = \frac{8699.04 \text{ Wh/día}}{3.887 * 0.665}$$

$$Pot_{pE} = 3365.39 \text{ Wp}$$

3.1.3.2. Número de paneles solares

En la Tabla 24 se puede encontrar diferentes modelos de paneles solares con las especificaciones necesarias para determinar la cantidad de los mismos que serán empleados en el arreglo fotovoltaico:

Tabla 24. Especificaciones técnicas de paneles solares

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--|---|---|--|---|
| |  |  |  |  |
| Potencia Nominal Máxima P_{máx} (W) | 150 | 130 | 275 | 350 |
| Tipo De Cédula | Monocrystalina | Monocrystalina | Policristalina | Monocrystalina |
| Células Por Módulo | 36 | 36 | 60 | 72 |
| Tensión Máx. Potencia Mpp V_{mpp} (V) | 17.3 | 15.75 | 25.36 | 36.29 |
| Corriente Máx. Potencia Mpp I_{mpp} (A) | 6.46 | 8.25 | 8.05 | 7.18 |
| Tensión Circuito Abierto Voc (V) | 20.93 | 20.01 | 35.79 | 43.48 |

| | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|
| Corriente Corto Circuito Isc (A) | 7.12 | 9.61 | 7.33 | 7.63 |
| Máximo Voltaje Del Sistema (A) | 1000 | 1000 | 1500 | 1000 |
| Longitud (M) | 1.48 | 1.495 | 1.64 | 1.956 |
| Ancho (M) | 0.67 | 0.68 | 0.992 | 0.992 |
| Espesor (M) | 0.03 | 0.035 | 0.04 | 0.04 |
| Peso (Kg) | 11 | 12 | 18.8 | 22.8 |

FUENTE: Roberto Quintana

Una vez determinado el número total de paneles solares, es necesario verificar que la potencia pico calculada sea menor que la potencia total de los paneles solares [29]. La selección de la cantidad de paneles solares necesarios para suplir la demanda energética se lo realiza con la siguiente fórmula:

$$N_T = \frac{\text{Demanda energética}}{HSP * P_{\text{máx}} * 0.9} \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde:

N_T , número total de paneles solares [29].

$P_{\text{máx}}$, potencia nominal máxima del panel solar en condiciones estándar [8], [29].

- **Número de paneles solares.**

En la Tabla 25 se presentan los resultados de la cantidad de paneles solares necesarios, los mismos que deberán ser aproximados al inmediato superior, presentados en la Tabla 26:

Tabla 25. Cantidad de paneles solares necesarios

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 1 | 3.84 | 4.43 | 2.1 | 1.65 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 2 | 7.97 | 9.2 | 4.35 | 3.42 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 3 | 11.86 | 13.69 | 6.47 | 5.08 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Encuesta | 16.58 | 19.13 | 9.04 | 7.1 |

FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 26. Cantidad de paneles solares aproximados

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 1 | 4 | 5 | 3 | 2 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 2 | 8 | 10 | 5 | 4 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 3 | 12 | 14 | 7 | 6 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Encuesta | 17 | 20 | 10 | 8 |

FUENTE: Roberto Quintana

Ninguna cantidad de los paneles solares, a excepción del Panel 3 de la Vivienda Tipo 1, una vez determinada la potencia total del sistema, sobrepasa a la potencia calculada en cada vivienda tipo, los resultados se presentan en la Tabla 27:

Tabla 27. Potencia del sistema

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Potencia Del Sistema Vivienda Tipo 1 | 600 | 650 | 825 | 700 |
| Potencia Del Sistema Vivienda Tipo 2 | 1200 | 1300 | 1375 | 1400 |
| Potencia Del Sistema Vivienda Tipo 3 | 1800 | 1820 | 1925 | 2100 |
| Potencia Del Sistema Vivienda Encuesta | 2550 | 2600 | 2750 | 2800 |

FUENTE: Roberto Quintana

Por tal motivo es necesario escoger una cantidad de paneles necesarios que pueda cumplir con la condición mencionada anteriormente, los resultados se presentan en las Tablas 28 y 29:

Tabla 28. Cantidad corregida de paneles solares

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 1 | 6 | 6 | 3 | 3 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 2 | 11 | 13 | 6 | 5 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Tipo 3 | 17 | 19 | 9 | 7 |
| Cantidad De Paneles Vivienda Encuesta | 23 | 26 | 13 | 10 |

FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 29. Potencia Corregida del Sistema

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|---|---------|---------|---------|---------|
| Potencia Del Sistema Vivienda Tipo 1 | 900 | 780 | 825 | 1050 |
| Potencia Del Sistema Vivienda Tipo 2 | 1650 | 1690 | 1650 | 1750 |
| Potencia Del Sistema Vivienda Tipo 3 | 2550 | 2470 | 2475 | 2450 |
| Potencia Del Sistema Vivienda Encuesta | 3450 | 3380 | 3575 | 3500 |

FUENTE: Roberto Quintana

Con la cantidad de paneles solares especificados en la Tabla 28, se cumple la condición mencionada, por lo tanto quedará a criterio del diseñador la elección del sistema que mayormente se adecue a las necesidades.

- **Paneles solares en serie.**

Para determinar la cantidad de paneles solares que se pueden conectar en serie se utiliza la siguiente expresión:

$$N_s = \frac{V_{nom}}{V_m} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

N_s , número de paneles en serie [29].

V_{nom} , voltaje nominal del sistema [29].

V_m , tensión máxima del panel solar [29].

Se recomienda utilizar un voltaje nominal de 24 V, los resultados se presentan en la Tabla 30.

Tabla 30. Número de paneles solares en serie

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|-----------------------|---------|---------|---------|---------|
| NS (calculado) | 1.39 | 1.52 | 0.95 | 0.66 |
| NS (real) | 2 | 2 | 1 | 1 |

FUENTE: Roberto Quintana

- **Paneles solares en paralelo (Np)**

Este valor se lo obtiene dividiendo el número total de paneles solares por el número real de paneles conectados en serie [29], los resultados se muestran en la Tabla 31:

Tabla 31. Paneles Solares en Paralelo

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vivienda Tipo 1 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Vivienda Tipo 2 | 6 | 7 | 6 | 5 |
| Vivienda Tipo 3 | 9 | 10 | 9 | 7 |
| Vivienda Encuesta | 12 | 14 | 13 | 10 |

FUENTE: Roberto Quintana

3.1.3.3. Baterías

- **Capacidad del Banco de Baterías**

Para el cálculo de este apartado se debe determinar la profundidad de descarga de las mismas la cual se puede establecer en 60% ya que no son frecuentes las descargas profundas. Los días de autonomía, en sistemas fotovoltaicos, según la Norma NEC-11 en el capítulo 14 establece como mínimo de 2 a 5 días, para el presente caso se emplearán 2 días de autonomía [29], [30]. La capacidad del banco de baterías se determina mediante la siguiente ecuación:

$$C_{bat} = \frac{\text{Demanda energética} * DA}{V_{nom} * P_d} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

C_{bat} , capacidad del banco de baterías en Amperios hora al día [29] [30].

DA , días de autonomía [29] [30].

V_{nom} , voltaje nominal [29] [30].

P_d , profundidad de descarga [29] [30].

Los resultados se muestran en la Tabla 32:

Tabla 32. Capacidad del banco de baterías

| | Capacidad |
|-------------------|-----------|
| Vivienda Tipo 1 | 280 |
| Vivienda Tipo 2 | 581 |
| Vivienda Tipo 3 | 864.5 |
| Vivienda Encuesta | 1208.2 |

FUENTE: Roberto Quintana

- **Baterías en paralelo**

Se recomienda una batería de 150 Ah y un voltaje nominal de la batería de 12V, para calcular el número de baterías en serie se emplea la siguiente fórmula [29]:

$$Nb_p = \frac{C_{bat}}{C_{nb}} \quad (\text{Ec. 27})$$

Donde:

Nb_p , número de baterías en serie [29].

C_{nb} , capacidad nominal de la batería [29].

Remplazando valores en la Ec. 27 tenemos:

➤ **Vivienda Tipo 1**

$$Nb_{p1} = \frac{281 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$Nb_{p1} = 1.87 \approx 2$$

➤ **Vivienda Tipo 2**

$$Nb_{p2} = \frac{581 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$Nb_{p2} = 3.87 \approx 4$$

➤ **Vivienda Tipo 3**

$$Nb_{p3} = \frac{864.5 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$Nb_{p3} = 5.76 \approx 6$$

➤ *Vivienda Encuesta*

$$Nb_{pE} = \frac{1208.2 \text{ Ah}}{150 \text{ Ah}}$$

$$Nb_{pE} = 8.05 \approx 8$$

- **Baterías en serie**

Se obtiene con la siguiente fórmula:

$$Nb_s = \frac{V_{nom}}{V_b} \quad (\text{Ec. 28})$$

Donde:

Nb_s , número de baterías conectadas en serie [29].

V_b , voltaje de la batería [29].

Remplazando valores en la Ec. 28 tenemos:

➤ *Vivienda Tipo 1, 2, 3 y Encuesta*

$$Nb_s = \frac{24 \text{ V}}{12 \text{ V}}$$

$$Nb_s = 2$$

Para todas las viviendas se necesitará 1 batería conectada en serie.

3.1.3.4. Regulador de voltaje

Es un equipo cuya función principal, a más de proteger y alargar la vida útil de las baterías, se ocupa de regular la energía tanto que entra como sale de las mismas previniendo así la generación de sobrecargas [11], [33].

La corriente de entrada en Amperios se calcula empleando el total de paneles conectados en paralelo mediante la siguiente fórmula:

$$IR_{ent} = 1.25 * I_{mód} * Np \quad (\text{Ec. 29})$$

Donde:

$I_{R_{ent}}$, corriente de entrada del regulador.

$I_{mód}$, corriente máxima del panel.

Np , número de paneles solares en paralelo.

Los resultados se muestran en la Tabla 33 una vez remplazados los datos en la Ec. 29:

Tabla 33. Corriente de entrada

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|-------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vivienda Tipo 1 | 24.23 | 30.94 | 30.19 | 26.93 |
| Vivienda Tipo 2 | 48.45 | 72.19 | 60.38 | 44.88 |
| Vivienda Tipo 3 | 72.68 | 103.13 | 90.56 | 62.83 |
| Vivienda Encuesta | 96.9 | 144.38 | 130.81 | 89.75 |

FUENTE: Roberto Quintana

La corriente de salida en amperios se calcula con la potencia instalada de cada tipo de vivienda [29]:

$$I_{R_{sal}} = 1.25 * \frac{P_i}{V_{nom} * n_{inv}} \quad (\text{Ec. 30})$$

Donde:

$I_{R_{sal}}$, corriente de salida del regulador.

P_i , potencia instalada de cada vivienda.

V_{nom} , voltaje nominal.

Los resultados se muestran en la Tabla 34 una vez remplazados los datos en la Ec. 30:

Tabla 34. Corriente de Salida

| Vivienda Tipo 1 | 114.58 |
|-------------------|--------|
| Vivienda Tipo 2 | 283.04 |
| Vivienda Tipo 3 | 290.1 |
| Vivienda Encuesta | 24.07 |

FUENTE: Roberto Quintana

3.1.3.5. Inversor

Para su dimensionamiento se debe tener presente la potencia instalada o demandada por la vivienda de modo que la corriente continua pueda ser convertida en corriente alterna y satisfacer todas las necesidades energéticas, el inversor debe soportar toda la potencia después de aplicarle un factor de seguridad del 25% [25], [29], [34]. La potencia que debe presentar el inversor se calcula con la siguiente ecuación:

$$Inv = 1.25 * Pi \quad (\text{Ec. 31})$$

Donde:

Inv, potencia del inversor.

Pi, potencia instalada de cada vivienda.

Los resultados se muestran en la Tabla 35:

Tabla 35. Potencia del Inversor

| | POTENCIA DEL INVERSOR |
|-------------------|-----------------------|
| Vivienda Tipo 1 | 2475 |
| Vivienda Tipo 2 | 6113.75 |
| Vivienda Tipo 3 | 6266.25 |
| Vivienda Encuesta | 520 |

FUENTE: Roberto Quintana

3.1.3.6. Conductores

Para conocer la sección del cable en cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico hay que considerar varios aspectos, como la tensión, intensidad, longitud del tramo de cable, preferentemente la longitud debe ser corta, ya que en longitudes grandes, para evitar la caída de tensión se tendrá que elegir secciones muy grandes [25], si se realiza una mala elección del cable lo que podría generarse son incendios o daños en el material

que cubre al conductor ya que la corriente que circula por los mismos será superior a la permitida [34].

El material del conductor será resistente a la intemperie y de cobre con una conductividad eléctrica igual a $56 \text{ m}/\Omega * \text{mm}^2$ [25].

La ecuación para determinar la sección de los conductores es la siguiente:

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta V * k} \quad (\text{Ec. 32})$$

Donde:

S , sección del cable en mm^2 [25].

L , longitud del cable en m [25].

I , intensidad máxima en el cable [25].

k , conductividad eléctrica [25].

ΔV , caídas de tensión permitida [25].

La NEC-2011 en su capítulo correspondiente a Energías Renovables indica las caídas de tensión permitidas entre los componentes, los mismos que se detalla en la Tabla 36:

Tabla 36. Caída de tensión permitida en los conductores

| Componentes del Sistema | Máxima caída de tensión (%) |
|--|------------------------------------|
| Entre arreglo fotovoltaico y regulador | Menor al 3% |
| Entre baterías y regulador | Menor al 1% |
| Entre regulador e inversor | Menor al 3% |
| Entre inversor y cargas | Menor al 3% |

FUENTE: [29], [30]

El cálculo de la intensidad máxima que circula por el cable se lo realiza empleando la siguiente ecuación:

$$I_{m\acute{a}x} = 1.25 * I_{SC} * Np \quad (\text{Ec. 33})$$

Donde:

I_{SC} , corriente corto circuito del panel [34].

N_p , número de paneles en serie.

Los resultados a aplicar la Ec. 33 se expresan en la Tabla 37:

Tabla 37. Intensidad máxima que circula por el cable

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Vivienda Tipo 1 | 26.7 | 36.04 | 27.49 | 28.61 |
| Vivienda Tipo 2 | 53.4 | 84.09 | 54.98 | 47.69 |
| Vivienda Tipo 3 | 80.1 | 120.13 | 82.46 | 66.76 |
| Vivienda Encuesta | 106.8 | 168.18 | 119.11 | 95.38 |

FUENTE: Roberto Quintana

La longitud de los cables expresada en metros, debido a que es un sistema fotovoltaico instalado en viviendas unifamiliares, sus componentes se encontrarán cerca uno del otro, las longitudes de cables entre componentes se presentan en la Tabla 38, cabe recalcar que al momento de construir estas distancias podrán variar por lo tanto se deberá comprobar la sección del cable en caso de que sea necesario:

Tabla 38. Longitud de conductor entre componentes

| De Los Paneles Al Regulador | 7 |
|------------------------------------|----|
| Del Regulador A La Batería | 3 |
| Del Regulador Al Inversor | 3 |
| Del Inversor A Las Cargas | 12 |

FUENTE: Roberto Quintana

Los resultados de la sección del conductor (2 cables), una vez aplicados los datos en la Ec. 32, entre los componentes se presentan en la Tabla 39, 40, 41 y 42:

Tabla 39. Sección del conductor del panel al regulador

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vivienda Tipo 1 | 9.27 | 12.51 | 9.55 | 9.93 |
| Vivienda Tipo 2 | 18.54 | 29.2 | 19.09 | 16.56 |
| Vivienda Tipo 3 | 27.81 | 41.71 | 28.63 | 23.18 |
| Vivienda Encuesta | 37.08 | 58.4 | 41.36 | 33.12 |

FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 40. Sección del conductor del regulador a la batería

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vivienda Tipo 1 | 3.97 | 5.36 | 4.09 | 4.26 |
| Vivienda Tipo 2 | 7.95 | 12.51 | 8.18 | 7.1 |
| Vivienda Tipo 3 | 11.92 | 17.88 | 12.27 | 9.93 |
| Vivienda Encuesta | 15.89 | 25.03 | 17.72 | 14.19 |

FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 41. Sección del conductor del regulador al inversor

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vivienda Tipo 1 | 3.97 | 5.36 | 4.09 | 4.26 |
| Vivienda Tipo 2 | 7.95 | 12.51 | 8.18 | 7.1 |
| Vivienda Tipo 3 | 11.92 | 17.88 | 12.27 | 9.93 |
| Vivienda Encuesta | 15.89 | 25.03 | 17.72 | 14.19 |

FUENTE: Roberto Quintana

Tabla 42. Sección del conductor del inversor a las cargas

| | PANEL 1 | PANEL 2 | PANEL 3 | PANEL 4 |
|--------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Vivienda Tipo 1 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Vivienda Tipo 2 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Vivienda Tipo 3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |
| Vivienda Encuesta | 1.3 | 1.3 | 1.3 | 1.3 |

FUENTE: Roberto Quintana

Las secciones calculadas anteriormente entre cada componente deberán adecuarse a secciones comerciales, la NEC-2011 en su capítulo de energías renovables presenta la siguiente tabla:

Tabla 43. Ampacidad del conductor en AWG y mm²

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|--------|
| mm² | 0.83 | 1.3 | 2.08 | 3.31 | 5.26 | 8.37 | 13.3 | 21.15 | 33.62 | 53.52 | 67.43 | 85 | 107.21 |
| AWG | 18 | 16 | 14 | 12 | 10 | 8 | 6 | 4 | 2 | 1/0 | 2/0 | 3/0 | 4/0 |
| Amp | 10 | 13 | 18 | 25 | 30 | 40 | 55 | 70 | 95 | 125 | 145 | 165 | 198 |

FUENTE: [30]

3.1.4. Elección de componentes del sistema fotovoltaico aislado para el tipo de vivienda obtenida de la encuesta

Con una hora solar pico igual a 3.887 kWh/m²/día sobre una superficie con un ángulo de inclinación de 10°, y un rendimiento del sistema igual a 0.665 se han podido obtener los siguientes componentes:

3.1.4.1. Panel Solar

El panel solar que es capaz de satisfacer las necesidades energéticas de la Vivienda Encuesta es el correspondiente al “PANEL 4”, a continuación se detallan las características importantes:

- Potencia Nominal Máxima = 350 W
- Peso = 22.8 Kg
- Cantidad de paneles conectados en paralelo = 10
- Ficha técnica del panel solar, ver ANEXO 5

3.1.4.2. Baterías

La batería escogida para el sistema es la que presenta las siguientes características importantes:

- Capacidad del Banco de Baterías a satisfacer = 1208.2 Ah
- Baterías en paralelo = 8
- Voltaje de la batería = 12V
- Capacidad nominal de la batería = 150 Ah
- Ficha técnica, ver ANEXO 6

3.1.4.3. Regulador de Voltaje

El regulador de voltaje escogido para el sistema es el que presenta las siguientes características importantes:

- Corriente de entrada a satisfacer = 89.75 Amp
- Corriente de salida a satisfacer = 24.07 Amp

- Voltaje nominal = 24 V
- Especificaciones técnicas, ver ANEXO 7

3.1.4.4. Inversor

El inversor escogido para el sistema es el que presenta las siguientes características importantes:

- Potencia del Inversor a satisfacer = 520 W
- Potencia Continua = 1500 W
- Potencia Pico = 3000 W
- Especificaciones técnicas, ver ANEXO 8

3.1.4.5. Conductor

Los conductores serán de cobre y las secciones a escogerse se detallan en la Tabla 44:

Tabla 44. Sección de conductores entre componentes del sistema

| | Sección calculada (mm ²) | Sección real (mm ²) | AWG |
|-------------------------------|---|------------------------------------|-----|
| Panel al regulador | 33.12 | 33.62 | 2 |
| Regulador a la batería | 14.19 | 21.15 | 4 |
| Regulador al inversor | 14.19 | 21.15 | 4 |
| Inversor a las cargas | 1.3 | 2.08 | 14 |

FUENTE: Roberto Quintana

3.1.5. Diseño de la estructura metálica de soporte

Para el diseño de la estructura se deberá tomar en cuenta el peso propio de la estructura, el peso del techo, y el peso del arreglo fotovoltaico, de igual manera se deberá tomar en cuenta el ángulo de inclinación que la estructura presentará así como todas las dimensiones necesarias para brindar soporte al sistema fotovoltaico. Para el diseño de la estructura se recurrirá a los parámetros expuestos en la norma ANSI/AISC 360-16 [35].

3.1.5.1. Prediseño

- **Datos**
 - Cantidad de paneles solares: 10

- Área ocupada por los paneles solares: $1.956\text{ m} * 0.992\text{ m} = 1.94\text{ m}^2 *$
 $10\text{ paneles} = 19.40\text{ m}^2$
- Peso de cada panel solar: 22.8 kg
- Área de cubierta: $10\text{ m} * 2\text{ m} = 20\text{ m}^2$
- Pendiente de la cubierta: 10%
- Altura de la cubierta: 2.5 m
- **Cuantificación de cargas**

- **Peso de la estructura metálica.**

$$P_{est} = \frac{1 \frac{kg}{m^2}}{m\text{ de luz}} * 10\text{ m} = 10 \frac{kg}{m^2}$$

- **Peso de paneles solares**

$$P_{panel} = 22.8\text{ kg} * 10\text{ m} = \frac{228\text{ kg}}{20\text{ m}^2} = 11.4 \frac{kg^2}{m}$$

- **Peso del techo**

$$P.\text{techo} = 5.40 \frac{kg}{m^2}$$

Especificaciones del techo ver ANEXO 9.

- **Carga Muerta**

$$CM = P_{est} + P_{panel} + P.\text{techo} \quad (\text{Ec. 34})$$

Donde:

CM , carga muerta

P_{est} , peso de la estructura metálica

P_{panel} , peso de los paneles solares

$P.\text{techo}$, peso del techo de cubierta

$$CM = 10 \frac{kg}{m^2} + 11.4 \frac{kg}{m^2} + 5.40 \frac{kg}{m^2}$$

$$CM = 26.80 \frac{kg}{m^2}$$

- **Carga Viva de ceniza**

$$CV_{ceniza} = 0.06 \text{ m} * 1 \text{ m} * 1 \text{ m} * 1700 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$CV_{ceniza} = 102 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- **Prediseño**

$$C. U. \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = 1.2 * CM + 1.6 * CV \quad (\text{Ec. 35})$$

Donde:

C. U., carga última.

CV, carga viva de diseño.

$$C. U. \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = 1.2 * 26.80 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} + 1.6 * 102 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$C. U. \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right) = 195.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$qu \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) = C. U. * S \quad (\text{Ec. 36})$$

Donde:

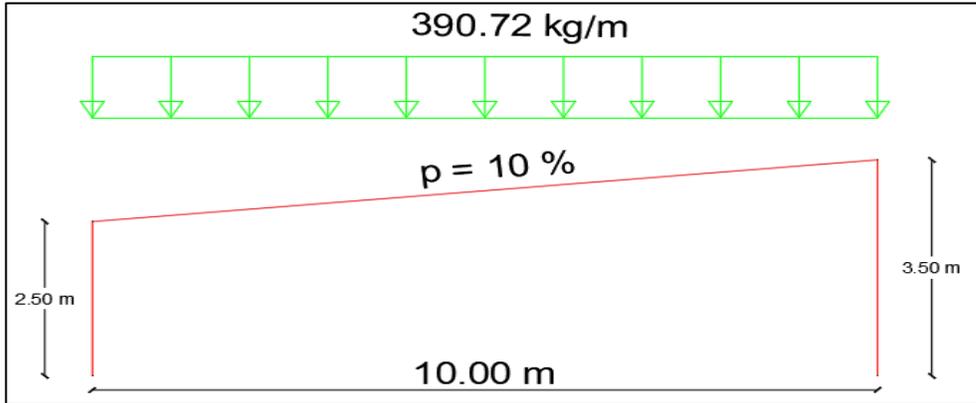
qu., carga de diseño.

S, separación entre cercha.

$$qu \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) = 195.36 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} * 2 \text{ m}$$

$$qu \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right) = 390.72 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 0.39072 \frac{\text{Tn}}{\text{m}}$$

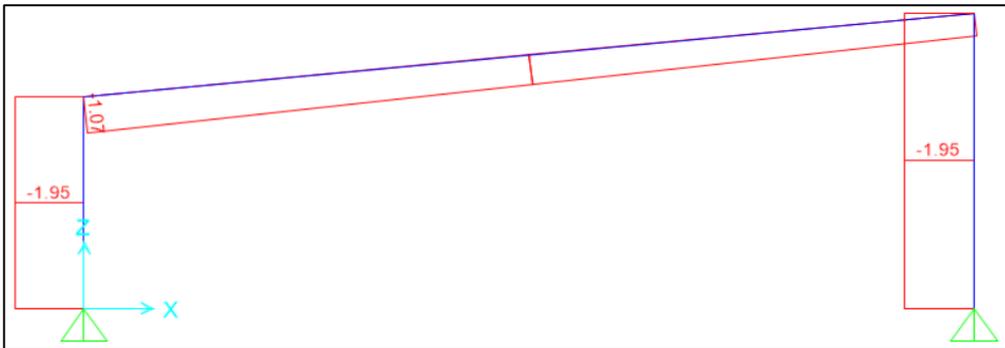
Fig. 24. Aplicación de carga sobre la estructura de soporte



FUENTE: Roberto Quintana

- Diagrama de Carga Axial

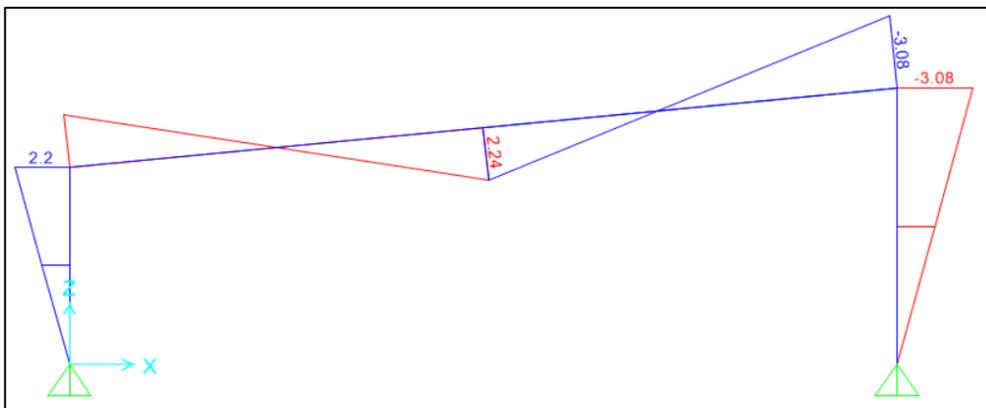
Fig. 25. Diagrama de carga axial



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

- Diagrama de Momento

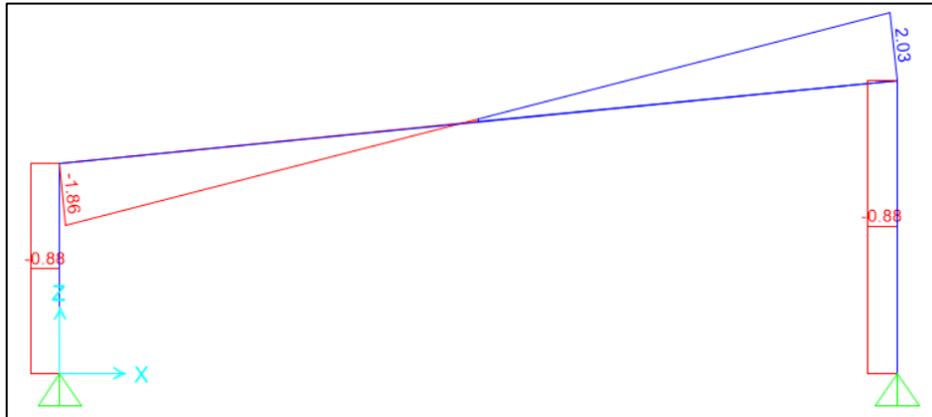
Fig. 26. Diagrama de momento



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

- **Diagrama de Corte**

Fig. 27. Diagrama de corte



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

- **Predimensionamiento de los elementos**

- **Columna**

$$h = \frac{luz}{25} \quad (\text{Ec. 37})$$

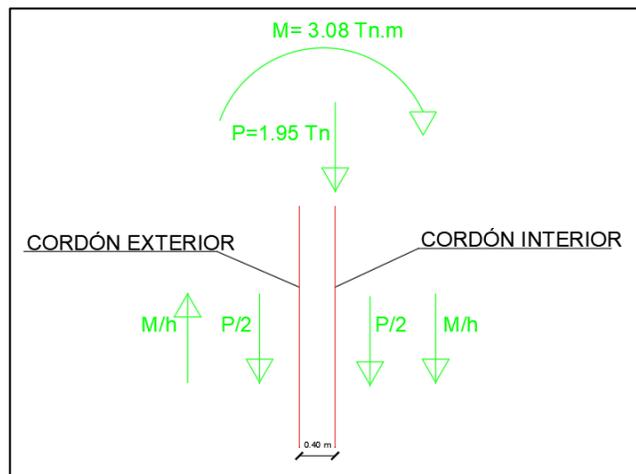
Donde:

h , ancho cabeza de columna.

$$h = \frac{10 \text{ m}}{25}$$

$$h = 0.40 \text{ m}$$

Fig. 28. Cargas actuantes sobre la columna



FUENTE: Roberto Quintana

▪ **Cordón Interior**

$$+\uparrow Pu = -\frac{P}{2} - \frac{M}{h} \quad (\text{Ec. 37})$$

Donde:

Pu , carga axial última.

P , carga axial actuante sobre la columna.

M , momento actuante sobre la columna.

$$+\uparrow Pu = -\frac{1.95 \text{ Tn}}{2} - \frac{3.08 \text{ Tn.m}}{0.40 \text{ m}}$$

$$+\uparrow Pu = -8.68 \text{ Tn (Compresión)}$$

$$\text{Asumo } \frac{k * l}{r} = 50 \quad (\text{Ec. 38})$$

$$\frac{k * l}{r} = 50 \rightarrow \phi F_{cr} = 27.7 * 70.3 = 1947.31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Donde:

k , factor que depende de la restricción rotacional en los extremos del elemento.

l , longitud no soportada.

r , radio de giro.

ϕF_{cr} , esfuerzo de diseño.

$$Ag_{\min} = \frac{Pu}{\phi F_{cr}} \quad (\text{Ec. 39})$$

Donde:

Ag_{\min} , área gruesa mínima.

$$Ag_{\min} = \frac{8680 \text{ kg}}{1947.31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$Ag_{\min} = 4.46 \text{ cm}^2$$

Tubería Estructural Redonda

Las especificaciones de la tubería seleccionada se presentan en el ANEXO 10.

$$\varnothing = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

$$A = 5.40 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.03 \text{ cm}$$

$$\frac{k * l}{r} \leq 50$$

$$l \leq \frac{50 * r}{k}$$

$$l \leq \frac{50 * 2.03 \text{ cm}}{1}$$

$$l \leq 101.5 \text{ cm}$$

$$\text{Asumo } l = 0.50 \text{ m}$$

- **Cordón Exterior**

$$+\uparrow Pu = -\frac{P}{2} + \frac{M}{h} \quad (\text{Ec. 40})$$

$$+\uparrow Pu = -\frac{1.95 \text{ Tn}}{2} + \frac{3.08 \text{ Tn.m}}{0.40 \text{ m}}$$

$$+\uparrow Pu = 6.73 \text{ Tn (Tensión)}$$

$$Ag_{\min} = \frac{Pu}{\varnothing F_y} * 1.1 \quad (\text{Ec. 41})$$

$$Ag_{\min} = \frac{6730 \text{ kg}}{0.9 * 3235 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}} * 1.1$$

$$Ag_{\min} = 2.54 \text{ cm}^2$$

Tubería Estructural Redonda

Las especificaciones de la tubería seleccionada se presentan en el ANEXO 10.

$$\varnothing = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 1.80 \text{ mm}$$

$$A = 3.31 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.07 \text{ cm}$$

$$\frac{k * l}{r} = \frac{1 * 50 \text{ cm}}{2.07 \text{ cm}} = 24.15 < 300 \therefore \text{No hay problemas de esbeltez}$$

$$h_2 = \frac{h}{2} \quad (\text{Ec. 42})$$

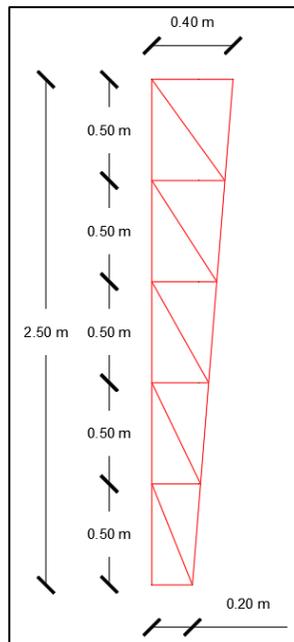
Donde:

h_2 , ancho pie de columna.

$$h_2 = \frac{0.40 \text{ m}}{2}$$

$$h_2 = 0.20 \text{ m}$$

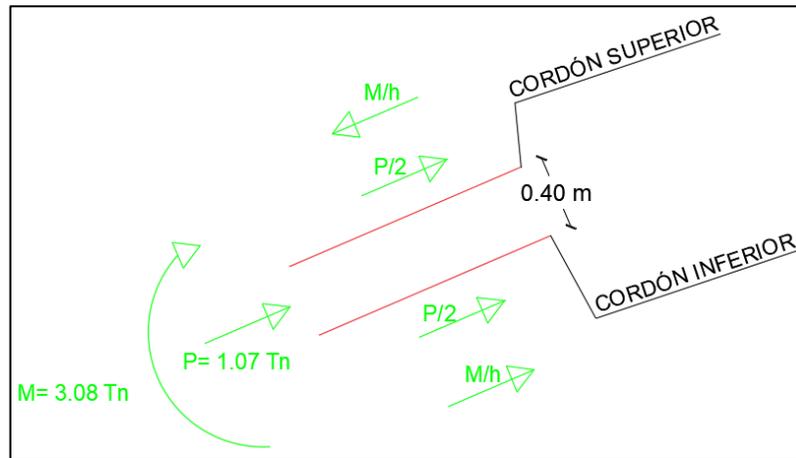
Fig. 29. Dimensiones de columna



FUENTE: Roberto Quintana

○ **Viga**

Fig. 30. Cargas actuantes sobre la viga



FUENTE: Roberto Quintana

▪ **Cordón Superior**

Reemplazando datos en la Ec. 40, tenemos:

$$+\leftarrow Pu = -\frac{1.07 \text{ Tn}}{2} + \frac{3.08 \text{ Tn.m}}{0.40 \text{ m}}$$

$$+\leftarrow Pu = 7.17 \text{ Tn (Tensión)} \approx 6.73 \text{ Tn}$$

Tubería Estructural Redonda

Las especificaciones de la tubería seleccionada se presentan en el ANEXO 10.

$$\varnothing = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 1.80 \text{ mm}$$

$$A = 3.31 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.07 \text{ cm}$$

▪ **Cordón Inferior**

Reemplazando datos en la Ec. 37, tenemos:

$$+\leftarrow P_u = -\frac{1.07 \text{ Tn}}{2} - \frac{3.08 \text{ Tn}\cdot\text{m}}{0.40 \text{ m}}$$

$$+\leftarrow P_u = -8.23 \text{ Tn (Compresión)} \approx -8.68 \text{ Tn}$$

Tubería Estructural Redonda

Las especificaciones de la tubería seleccionada se presentan en el ANEXO 10.

$$\phi = 60.30 \text{ mm}$$

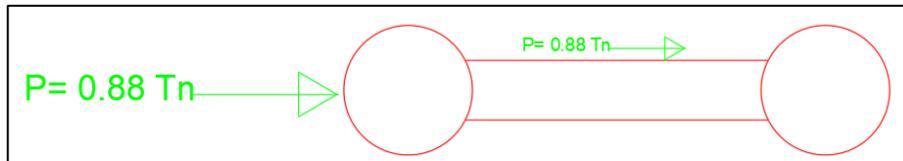
$$e = 3 \text{ mm}$$

$$A = 5.40 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.03 \text{ cm}$$

- Montantes y diagonales
 - Sección Transversal de Columna

Fig. 31. Carga cortante sobre columna



FUENTE: Roberto Quintana

$$\frac{k * l}{r} = 50 \rightarrow \phi F_{cr} = 27.7 * 70.3 = 1947.31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Reemplazando datos en la Ec. 39, tenemos:

$$A_{g_{\min}} = \frac{880 \text{ kg}}{1947.31 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$A_{g_{\min}} = 0.45 \text{ cm}^2$$

Tubería Estructural Redonda

Las especificaciones de la tubería seleccionada se presentan en el ANEXO 10.

$$\phi = 19.10 \text{ mm}$$

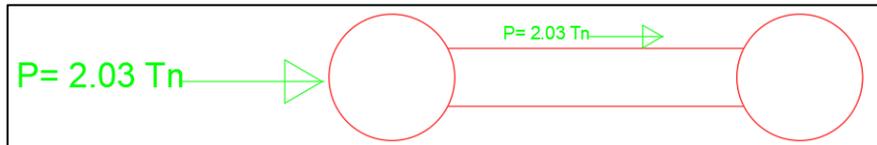
$$e = 1.40 \text{ mm}$$

$$A = 0.78 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 0.63 \text{ cm}$$

▪ **Sección Transversal de Viga**

Fig. 32. Carga cortante sobre viga



FUENTE: Roberto Quintana

$$\frac{k * l}{r} = 50 \rightarrow \phi F_{cr} = 27.7 * 70.3 = 1947.31 \frac{kg}{cm^2}$$

Reemplazando datos en la Ec. 39, tenemos:

$$Ag_{\min} = \frac{2030 \text{ kg}}{1947.31 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$Ag_{\min} = 1.04 \text{ cm}^2$$

Tubería Estructural Redonda

Las especificaciones de la tubería seleccionada se presentan en el ANEXO 10.

$$\phi = 25.40 \text{ mm}$$

$$e = 1.50 \text{ mm}$$

$$A = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 0.85 \text{ cm}$$

- **Cargas en los nudos**
 - **Adicional de Carga Muerta**

$$ACM = CM - P_{est} \tag{Ec. 43}$$

Donde:

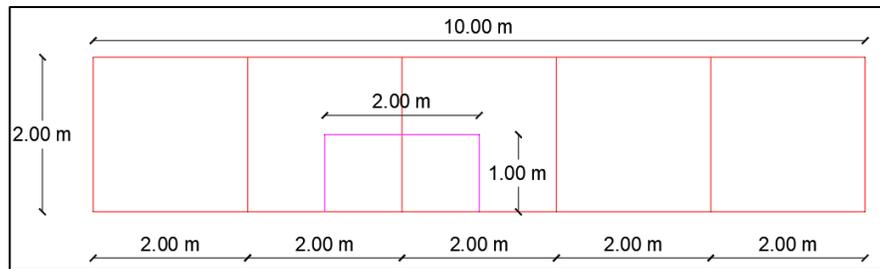
ACM, adicional de carga muerta.

$$ACM = 26.73 \frac{kg}{m^2} - 10 \frac{kg}{m^2}$$

$$ACM = 16.73 \frac{kg}{m^2}$$

$$CV_{ceniza} = 102 \frac{kg}{m^2}$$

Fig. 33. Área tributaria carga sobre nudos interiores



FUENTE: Roberto Quintana

$$\text{Área tributaria} = 2.00 \text{ m} * 1.00 \text{ m}$$

$$\text{Área tributaria} = 2.00 \text{ m}^2$$

$$ACM = 16.73 \frac{kg}{m^2}$$

$$Pu_{nudo \text{ interno}} = C.U.* \text{Área Tributaria} \quad (\text{Ec. 44})$$

Donde:

$Pu_{nudo \text{ interno}}$, carga axial aplicada sobre el nudo interno.

$$Pu_{nudo \text{ interno}} = 16.73 \frac{kg}{m^2} * 2.00 \text{ m}^2$$

$$Pu_{nudo \text{ interno}} = 33.46 \text{ kg}$$

$$Pu_{nudo \text{ externo}} = \frac{Pu_{nudo \text{ interno}}}{2} \quad (\text{Ec. 45})$$

Donde:

$Pu_{nudo \text{ externo}}$, carga axial aplicada sobre el nudo externo.

$$Pu_{nudo\ externo} = \frac{33.46\ kg}{2}$$

$$Pu_{nudo\ externo} = 16.73\ kg$$

$$CV_{ceniza} = 102\ \frac{kg}{m^2}$$

Reemplazando valores en la Ec. 44 tenemos:

$$Pu_{nudo\ interno} = 102\ \frac{kg}{m^2} * 2.00\ m^2$$

$$Pu_{nudo\ interno} = 204\ kg$$

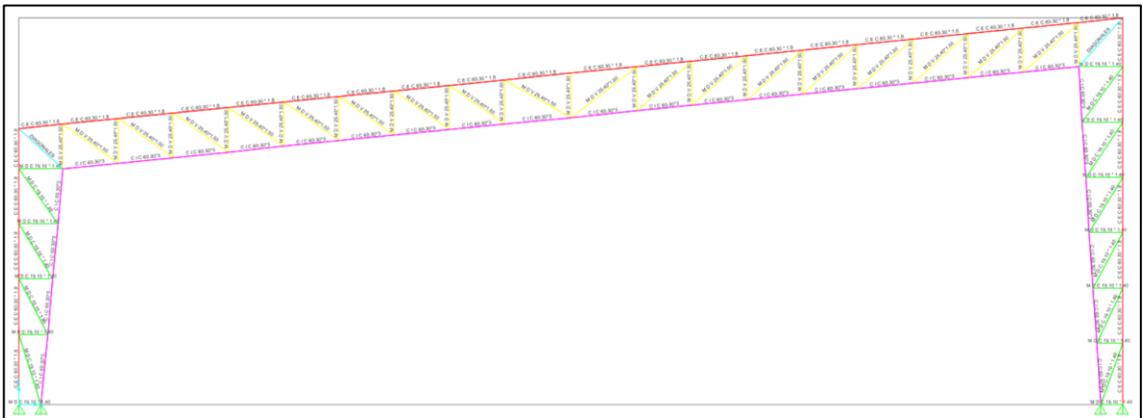
Reemplazando valores en la Ec. 44 tenemos:

$$Pu_{nudo\ externo} = \frac{204\ kg}{2}$$

$$Pu_{nudo\ externo} = 102\ kg$$

- **Modelado de la Estructura en SAP2000 v.20.2.0**

Fig. 34. Elevación de la estructura en SAP2000 v20.2.0



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

- **Deflexión admisible**

$$\delta_{admisible}(D + L) \leq \frac{L}{240} \quad (\text{Ec. 46})$$

Donde:

$\delta_{admisible}(D + L)$, deflexión admisible de la estructura.

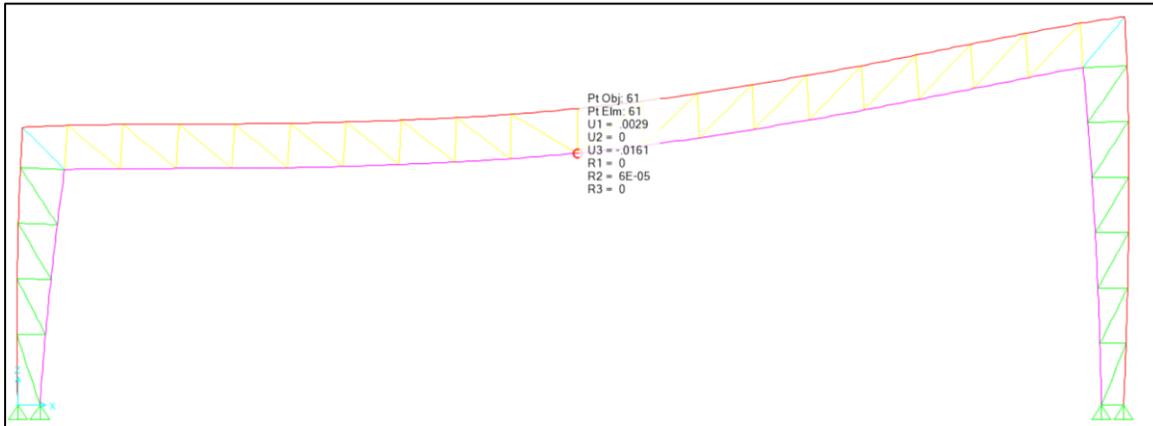
L , longitud de la estructura.

$$\delta_{admissible}(D + L) \leq \frac{10 \text{ m}}{240}$$

$$\delta_{admissible}(D + L) \leq 0.0417 \text{ m}$$

○ **Deflexión obtenida en SAP2000 v20.2.0**

Fig. 35. Deflexión obtenida en SAP2000 v20.2.0



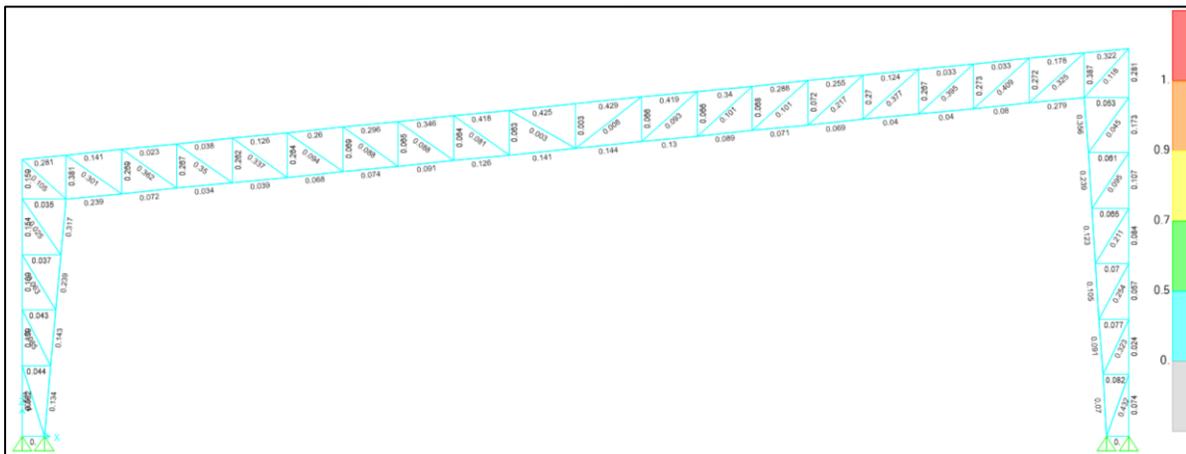
FUENTE: SAP2000 v20.2.0

$$\delta_{m\acute{a}xima} = 0.0161 \text{ m} \leq 0.0417 \text{ m} \therefore OK$$

○ **Valores relaciones demanda / capacidad de dise\~no**

De los datos obtenidos una vez modelada la estructura de soporte en el programa SAP2000 v20.2.0 se concluye que las secciones utilizadas cumplen con la relación demanda / capacidad, los resultados se presentan en la Fig. 36.

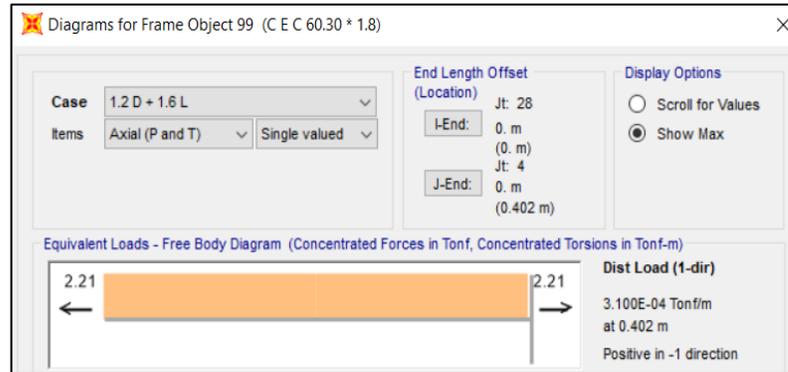
Fig. 36. Relación demanda / capacidad de dise\~no



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

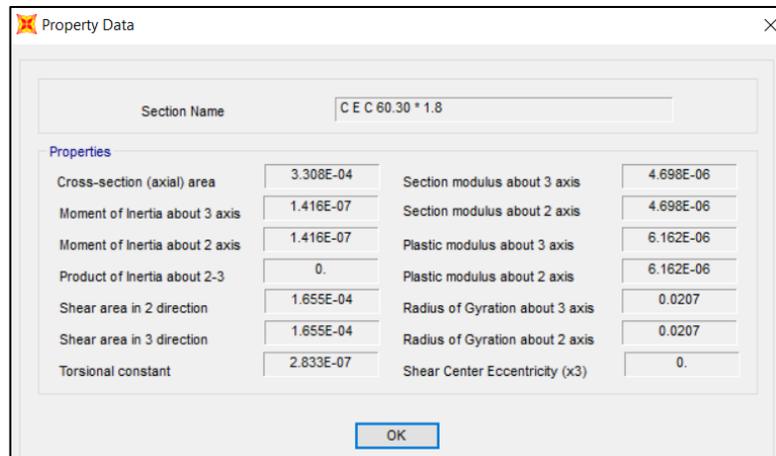
- **Chequeos**
 - **Cordón a tensión mayormente demandado**

Fig. 37. Carga equivalente a tensión



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

Fig. 38. Datos de la sección del cordón mayormente tensionado



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

$$\varnothing = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 1.80 \text{ mm}$$

$$A = 3.31 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.07 \text{ cm}$$

- **Fluencia**

$$\varnothing P_n = \varnothing F_y * A_g \tag{Ec. 47}$$

Donde:

ϕPn , resistencia de diseño a tensión

Fy , esfuerzo de fluencia del acero

Ag , área gruesa de la sección transversal.

$$\phi Pn = 0.9 * 3235 \frac{kg}{cm^2} * 3.31 cm^2$$

$$\phi Pn = 9637.07 kg = 9.64 Tn$$

$$9.64 Tn > 2.21 Tn \rightarrow OK$$

▪ **Fractura**

$$Ag = Ae \tag{Ec. 48}$$

$$\phi Pn = \phi Fu * Ae \tag{Ec. 49}$$

Donde:

Fu , esfuerzo de fractura del acero.

Ae , área neta de la sección transversal.

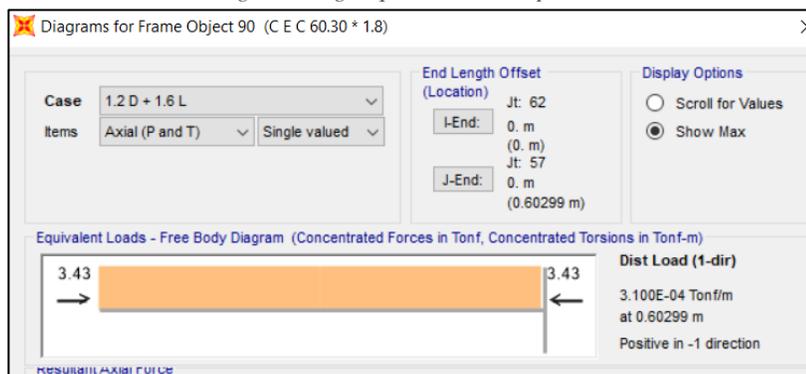
$$\phi Pn = 0.75 * 4360 \frac{kg}{cm^2} * 3.31 cm^2$$

$$\phi Pn = 10823.7 kg = 10.82 Tn$$

$$10.82 Tn > 2.21 Tn \rightarrow OK$$

○ **Cordón a compresión mayormente demandado**

Fig. 39. Carga equivalente a compresión



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

Fig. 40. Datos de la sección del cordón mayormente comprimido

| Property Data | | | |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Section Name | | C E C 60.30 * 1.8 | |
| Properties | | | |
| Cross-section (axial) area | 3.308E-04 | Section modulus about 3 axis | 4.698E-06 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 1.416E-07 | Section modulus about 2 axis | 4.698E-06 |
| Moment of Inertia about 2 axis | 1.416E-07 | Plastic modulus about 3 axis | 6.162E-06 |
| Product of Inertia about 2-3 | 0. | Plastic modulus about 2 axis | 6.162E-06 |
| Shear area in 2 direction | 1.655E-04 | Radius of Gyration about 3 axis | 0.0207 |
| Shear area in 3 direction | 1.655E-04 | Radius of Gyration about 2 axis | 0.0207 |
| Torsional constant | 2.833E-07 | Shear Center Eccentricity (x3) | 0. |

FUENTE: SAP2000 v20.2.0

$$\varnothing = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 1.80 \text{ mm}$$

$$A = 3.31 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.07 \text{ cm}$$

▪ Pandeo Local

Caso 9, ver ANEXO 11

$$\frac{D}{t} \leq 0.11 \frac{E}{F_y} \quad (\text{Ec. 50})$$

Donde:

D , diámetro de la sección transversal.

t , espesor de la sección transversal.

E , módulo de elasticidad del acero.

$$\frac{6.03 \text{ cm}}{0.18 \text{ cm}} \leq 0.11 \frac{2.039 * 10^6 \text{ kg/cm}^2}{3235 \text{ kg/cm}^2}$$

$$33.5 < 69.33 \rightarrow \text{No hay pandeo local}$$

- **Pandeo Flexural**

$$\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (\text{Ec. 51})$$

$$\frac{1 * 50 \text{ cm}}{2.07 \text{ cm}} \leq 4.71 \sqrt{\frac{2.039 * 10^6 \text{ kg/cm}^2}{3235 \text{ kg/cm}^2}}$$

24.15 < 118.25 → *Pandeo Inelástico*

$$F_e = \frac{\pi E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (\text{Ec. 52})$$

Donde:

F_e , esfuerzo crítico de Euler.

$$F_e = \frac{\pi * 2.039 * 10^6 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 * 50 \text{ cm}}{2.07 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_e = 10979.10 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{3235 \text{ kg/cm}^2}{10979.10 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = 0.29465$$

$$F_{cr} = 0.658^{F_y/F_e} * F_y \quad (\text{Ec. 53})$$

$$F_{cr} = 0.658^{0.29465} * 3235 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 2859.66 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} * A \quad (\text{Ec. 54})$$

$$\phi P_n = 0.9 * 2859.66 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 3.31 \text{ cm}^2$$

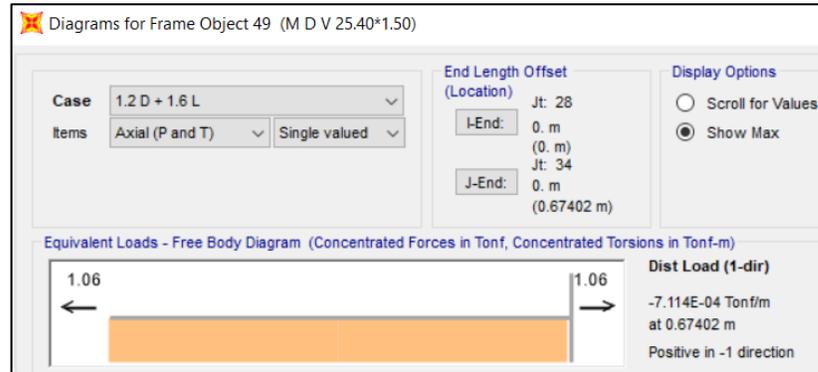
$$\phi P_n = 8518.93 \text{ kg} = 8.52 \text{ Tn} > 3.43 \text{ Tn} \rightarrow \text{OK}$$

- **Pandeo Flexotorsural**

La AISC-360 enuncia que para secciones circulares no se aplica el pandeo flexotorsural [35]. Ver ANEXO 12

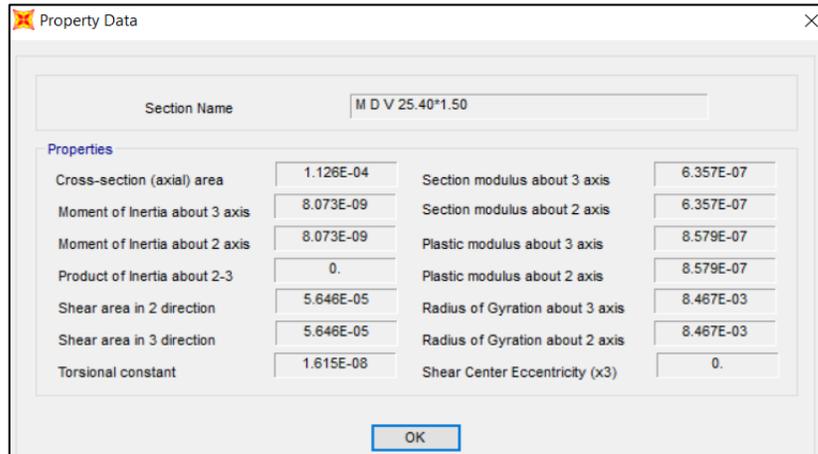
○ **Diagonal a tensión mayormente demandada**

Fig. 41. Carga equivalente a tensión



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

Fig. 42. Datos de la sección de la diagonal mayormente tensionada



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

$$\phi = 25.40 \text{ mm}$$

$$e = 1.50 \text{ mm}$$

$$A = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 0.85 \text{ cm}$$

▪ **Fluencia**

Reemplazando valores en la Ec. 47 tenemos:

$$\phi P_n = 0.9 * 3235 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 1.13 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = 9637.07 \text{ kg} = 9.64 \text{ Tn}$$

$$9.64 \text{ Tn} > 2.21 \text{ Tn} \rightarrow OK$$

▪ **Fractura**

Reemplazando valores en la Ec. 48 y 49 tenemos:

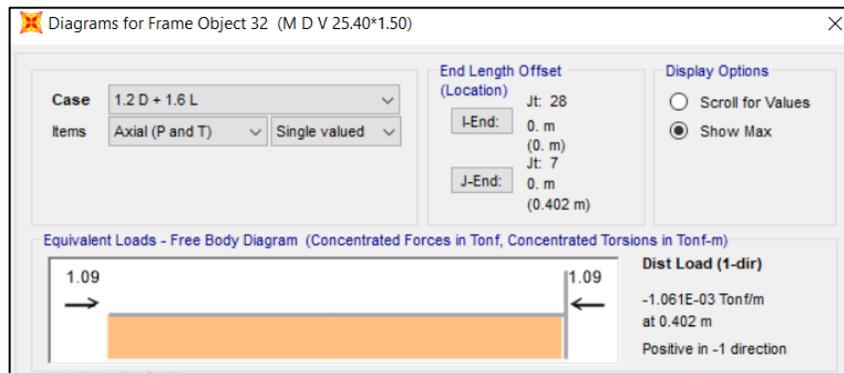
$$\phi P_n = 0.75 * 4360 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} * 3.31 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = 10823.7 \text{ kg} = 10.82 \text{ Tn}$$

$$10.82 \text{ Tn} > 2.21 \text{ Tn} \rightarrow OK$$

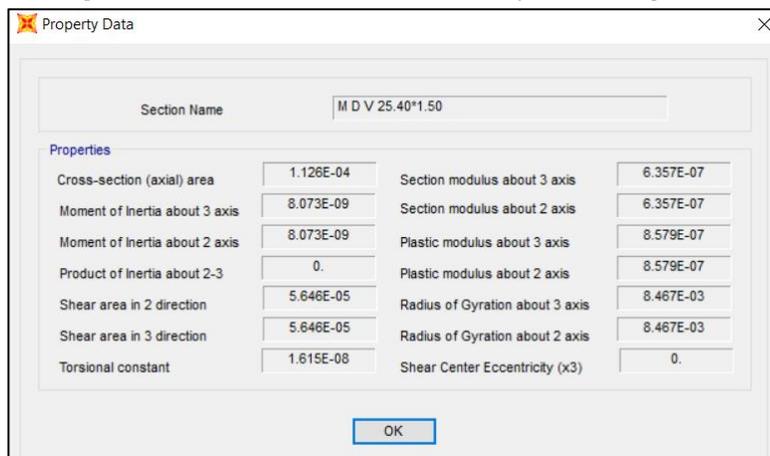
○ **Montante a compresión mayormente demandada**

Fig. 43. Carga equivalente a compresión



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

Fig. 44. Datos de la sección de la montante mayormente comprimida



FUENTE: SAP2000 v20.2.0

$$\phi = 25.40 \text{ mm}$$

$$e = 1.50 \text{ mm}$$

$$A = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 0.85 \text{ cm}$$

▪ **Pandeo Local**

Caso 9, ver ANEXO 11

Reemplazando valores en la Ec. 50 tenemos:

$$\frac{2.54 \text{ cm}}{0.15 \text{ cm}} \leq 0.11 \frac{2.039 * 10^6 \text{ kg/cm}^2}{3235 \text{ kg/cm}^2}$$

$$16.93 < 69.33 \rightarrow \text{No hay pandeo local}$$

▪ **Pandeo Flexural**

Reemplazando valores en la Ec. 51 tenemos:

$$\frac{1 * 50 \text{ cm}}{0.85 \text{ cm}} \leq 4.71 \sqrt{\frac{2.039 * 10^6 \text{ kg/cm}^2}{3235 \text{ kg/cm}^2}}$$

$$58.82 < 118.25 \rightarrow \text{Pandeo Inelástico}$$

Reemplazando valores en la Ec. 52 tenemos:

$$F_e = \frac{\pi * 2.039 * 10^6 \text{ kg/cm}^2}{\left(\frac{1 * 50 \text{ cm}}{0.85 \text{ cm}}\right)^2}$$

$$F_e = 1851.25 \text{ kg/cm}^2$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{3235 \text{ kg/cm}^2}{1851.25 \text{ kg/cm}^2}$$

$$\frac{F_y}{F_e} = 1.75$$

Reemplazando valores en la Ec. 53 tenemos:

$$F_{cr} = 0.658^{1.75} * 3235 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{cr} = 1556.79 \text{ kg/cm}^2$$

Reemplazando valores en la Ec. 54 tenemos

$$\phi Pn = 0.9 * 1556.79 \frac{kg}{cm^2} * 1.13 cm^2$$

$$\phi Pn = 1583.25 kg = 1.58 Tn$$

$$1.58 Tn > 1.09 Tn \rightarrow OK$$

▪ **Pandeo Flexotorsural**

La AISC-360 enuncia que para secciones circulares no se aplica el pandeo flexotorsural [35]. Ver ANEXO 12.

3.1.5.2. Secciones finales de diseño

Se utilizarán tubos estructurales redondos de acero estructural ASTM A500 que presenta un esfuerzo de fluencia (F_y) de 3235 kg/cm^2 y resistencia a la tensión (F_u) de 4360 kg/cm^2 .

○ **Cordón exterior de columnas y cordón superior de viga**

$$\phi = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 1.80 \text{ mm}$$

$$A = 3.31 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.07 \text{ cm}$$

○ **Cordón interior de columnas y cordón inferior de viga**

$$\phi = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 3 \text{ mm}$$

$$A = 5.40 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 2.03 \text{ cm}$$

○ **Montantes y diagonales de columnas:** separación vertical de 50 cm

$$\phi = 19.10 \text{ mm}$$

$$e = 1.40 \text{ mm}$$

$$A = 0.78 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 0.63 \text{ cm}$$

- **Montantes y diagonales de viga:** separación horizontal de 50 cm

$$\varnothing = 25.40 \text{ mm}$$

$$e = 1.50 \text{ mm}$$

$$A = 1.13 \text{ cm}^2$$

$$r = i = 0.85 \text{ cm}$$

- **Diagonales unión viga-columna**

$$\varnothing = 60.30 \text{ mm}$$

$$e = 4 \text{ mm}$$

$$A = 7.08 \text{ cm}^2$$

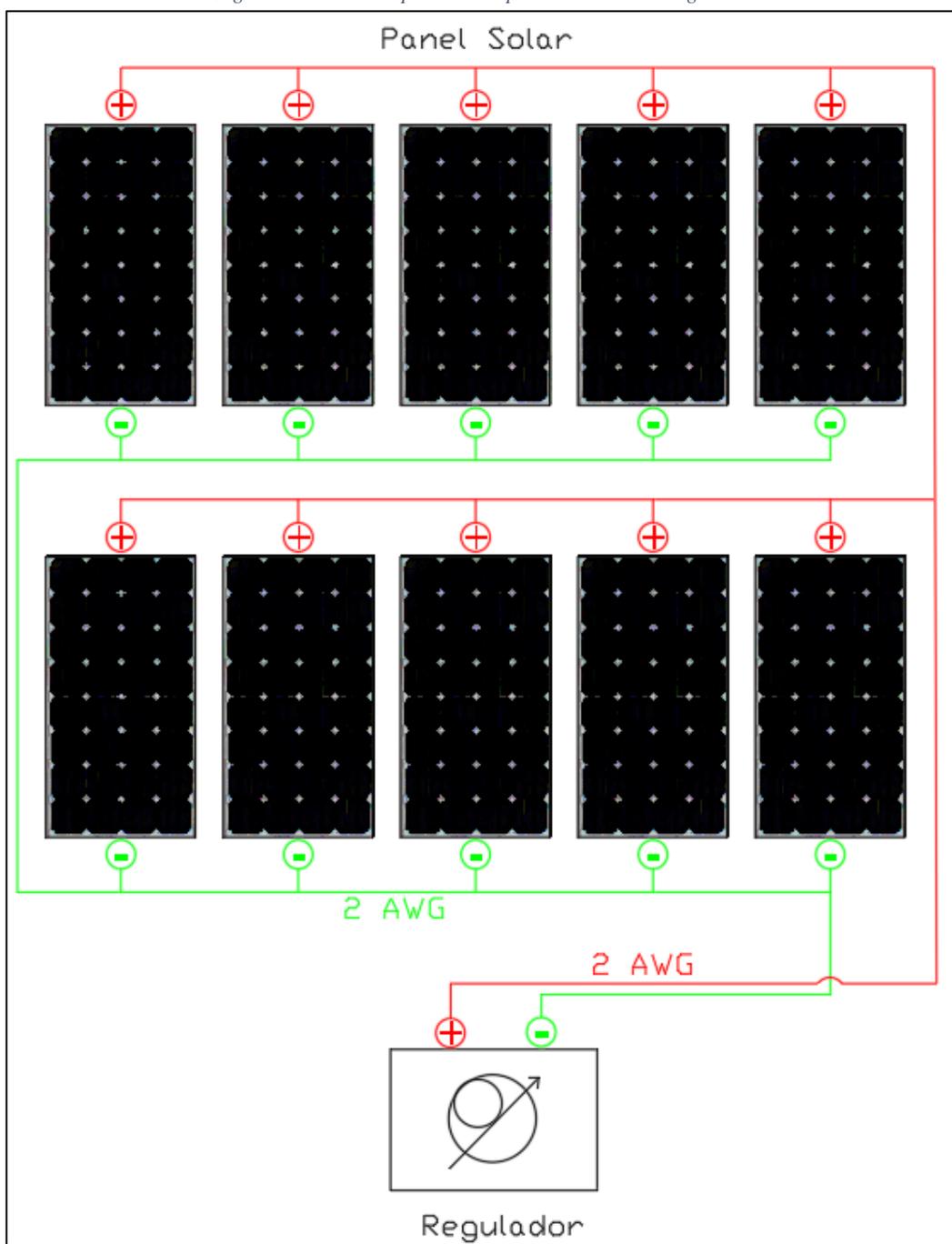
$$r = i = 2.00 \text{ cm}$$

3.1.6. Conexión del sistema fotovoltaico aislado

3.1.6.1. Conexión de los paneles solares al regulador

En la Fig. 45 se puede evidenciar la conexión en paralelo de los 10 paneles solares al regulador para el tipo de Vivienda Encuesta.

Fig. 45. Conexión en paralelo de paneles solares al regulador

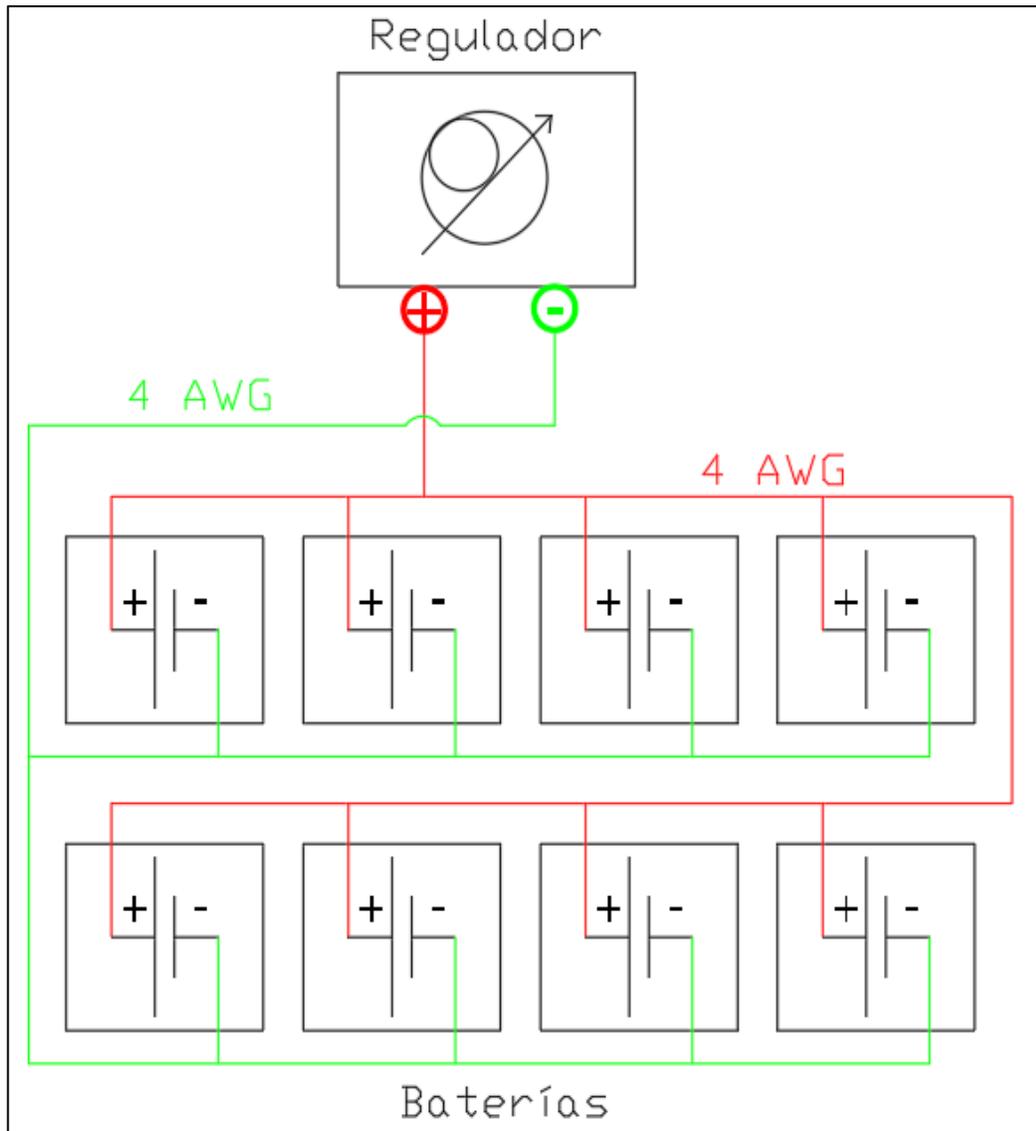


FUENTE: Roberto Quintana

3.1.6.2. Conexión de la batería al regulador

En la Fig. 46 se puede evidenciar la conexión en paralelo de las 8 baterías al regulador para el tipo de Vivienda Encuesta.

Fig. 46. Conexión en paralelo de baterías al regulador

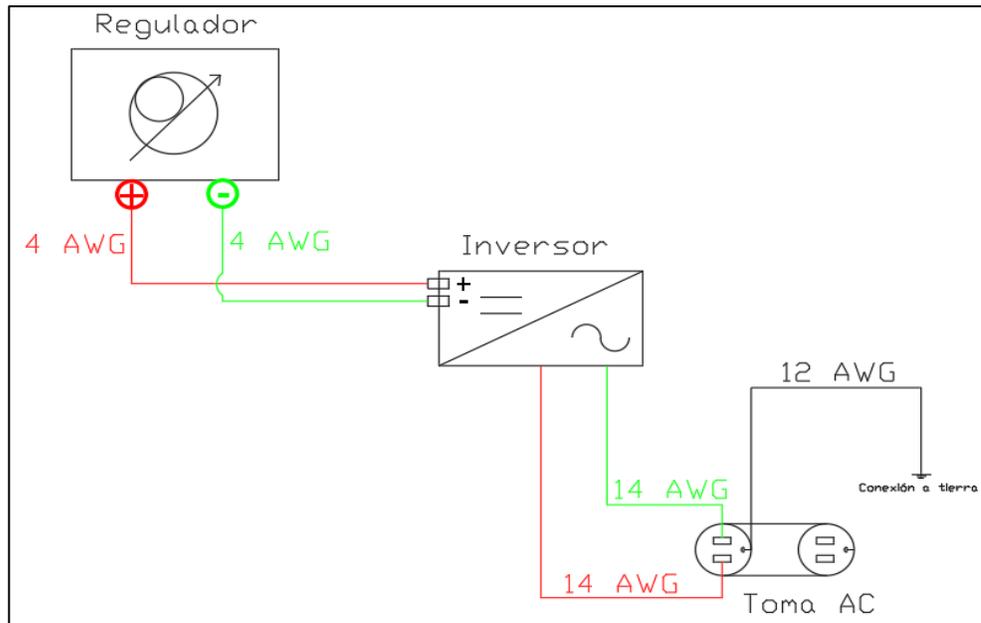


FUENTE: Roberto Quintana

3.1.6.3. Conexión del regulador al inversor

En la Fig. 47 se puede evidenciar la conexión del regulador al inversor para el tipo de Vivienda Encuesta.

Fig. 47. Conexión de regulador al inversor



FUENTE: Roberto Quintana

3.1.7. Presupuesto

A continuación se presenta el análisis de la factibilidad y viabilidad económica que representa la instalación del sistema fotovoltaico aislado en viviendas unifamiliares. Los precios de los componentes del sistema se han obtenido directamente de la página web de proveedores de nuestro país y también de trabajos previos que se han realizado sobre el mismo objeto de investigación, los costos que se han tomado en cuenta en el presupuesto corresponden a: sistema fotovoltaico, estructura metálica de soporte, mano de obra, cableado que se tomará como el 1% del costo total y otros gastos el cual se asumirá un 13% del costo total del sistema ya que durante el proceso constructivo pueden ocurrir robos, daños de material e incluso se considera el tablero de distribución y el mantenimiento que se debe realizar [34], estos porcentajes extras se consideran como costos indirectos. El presupuesto para el tipo de Vivienda Encuesta se presenta en la Tabla 45:

Tabla 45. Presupuesto sistema fotovoltaico aislado Vivienda Encuesta

| General | | | | |
|---|---------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| Componente | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Final |
| Limpieza y Nivelación | m2 | 20 | \$ 0.80 | \$ 16.00 |
| Replanteo | m2 | 20 | \$ 0.69 | \$ 13.80 |
| Excavación de cimientos | m3 | 0.904 | \$ 4.94 | \$ 4.47 |
| Replanteo de H.S. f'c = 140 kg/cm2 | m3 | 0.487 | \$ 82.24 | \$ 40.05 |
| Hormigón simple en plintos f'c=210 kg/cm2 | m3 | 0.423 | \$ 148.27 | \$ 62.72 |
| Hormigón simple en cadenas f'c=210 kg/cm2 (15x15 cm) | m3 | 0.482 | \$ 148.27 | \$ 71.47 |
| Acero de refuerzo | kg | 110.29 | \$ 2.05 | \$ 226.09 |
| Cuarto de máquinas (2x2x2 m) | U | 1 | \$ 400.00 | \$ 400.00 |
| SubTotal 1 | | | | \$ 834.59 |
| Sistema Fotovoltaico Aislado | | | | |
| Componente | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Final |
| Panel Solar ECO GREEN ENERGY EGE-365M-72 | U | 10 | \$ 220.00 | \$ 2,200.00 |
| Batería SUNBRIGHT POWER 6-GFM(G)-150Ah | U | 8 | \$ 390.00 | \$ 3,120.00 |
| Regulador MORNINGSTAR ECOBOOST MPPT-30 | U | 1 | \$ 260.00 | \$ 260.00 |
| Inversor ZONHAN TW-1500-24V | U | 1 | \$ 110.00 | \$ 110.00 |
| SubTotal 2 | | | | \$ 5,690.00 |
| Estructura metálica de soporte | | | | |
| Componente | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Final |
| Suministro, fabricación, montaje y pintura de estructura metálica | kg | 200 | \$ 3.85 | \$ 770.00 |
| Cubierta de estilpanel AR-2000 | m2 | 20 | \$ 8.01 | \$ 160.20 |
| Canal recolector de agua lluvia tol 1/32" | ml | 2 | \$ 6.55 | \$ 13.10 |
| Bajantes de tol | ml | 3 | \$ 4.90 | \$ 14.70 |
| SubTotal 3 | | | | \$ 958.00 |
| Instalación Eléctrica de Vivienda | | | | |
| Componente | Unidad | Cantidad | Valor Unitario | Valor Final |
| Tubo PVC 1/2" | m | 74.96 | \$ 0.25 | \$ 18.74 |

| | | | | |
|-------------------------------------|-----------------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| Tubo PVC 3/4" | m | 20.52 | \$ 0.30 | \$ 6.16 |
| Cajetín Hexagonal | U | 13 | \$ 0.40 | \$ 5.20 |
| Cajetín Rectangular | U | 26 | \$ 0.50 | \$ 13.00 |
| Interruptor Simple | U | 6 | \$ 1.65 | \$ 9.90 |
| Tomacorriente Doble | U | 11 | \$ 1.50 | \$ 16.50 |
| Foco | U | 6 | \$ 1.30 | \$ 7.80 |
| TTU AWG 12 | m | 100 | \$ 0.40 | \$ 40.00 |
| TTU AWG 14 | m | 50 | \$ 0.28 | \$ 14.00 |
| SubTotal 4 | | | | \$ 131.30 |
| Mano de Obra | | | | |
| Personal | Cantidad | Horas de Trabajo | Costo por Hora | Valor Final |
| Ingeniero Eléctrico/Ingeniero Civil | 1 | 2 | \$ 4.06 | \$ 8.12 |
| Maestro Eléctrico | 1 | 2 | \$ 4.04 | \$ 8.08 |
| Albañil | 2 | 32 | \$ 3.65 | \$ 233.60 |
| SubTotal 5 | | | | \$ 249.80 |
| COSTO DIRECTO | | | | \$ 7,863.69 |
| IVA 12% | | | | \$ 943.64 |
| INDIRECTOS | | | | \$ 1,100.92 |
| TOTAL | | | | \$ 9,908.25 |

FUENTE: Roberto Quintana

3.1.8. Planos de conexión en Vivienda Encuesta

Los planos eléctricos de conexión del sistema fotovoltaico aislado en la vivienda encuesta se presentan en el ANEXO 13.

CAPÍTULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- La información relacionada con el uso de energía solar existe, pero se considera insuficiente para determinar la factibilidad tanto económica como energética que el desarrollo de este tipo de suministro eléctrico representa, si bien es cierto en la actualidad las tendencias y políticas se apegan a las ideas sustentables pero no existen programas u organizaciones necesarias para educar a la población y que opten por escoger la implementación de un sistema ecológico en sus viviendas.
- Por medio de software especializado se pudo obtener los datos de irradiación solar mensual sobre una superficie horizontal correspondiente al mes de Junio, el cual demostró ser la irradiación más baja con un valor de 4.23 kWh/m^2 . Al dimensionar los paneles solares con una inclinación de 10° , la irradiación solar disminuyó, una vez aplicado el método de Lui y Jordan, hasta un valor de 3.887 kWh/m^2 , el mismo que gracias a la teoría y otros proyectos similares analizados, es un valor razonable y permisible que posibilitará la generación de energía eléctrica para satisfacer las necesidades de las viviendas.
- Los pobladores de la parroquia Atahualpa cuentan con bajos recursos, es por ello que la disponibilidad de electrodomésticos es limitada, gracias a la encuesta realizada se determinó que en 52 de 54 casas estudiadas, lo que corresponde a un 96.3%, las familias cuentan con una refrigeradora, lo que eleva considerablemente el consumo energético diario hasta un valor de 8699.04 Wh/día , motivo por el cual la cantidad de componentes del sistema fotovoltaico aislado aumenta.
- Mediante la clasificación de viviendas según su consumo energético, la Vivienda Tipo 1 presentó un consumo diario de 2016 Wh/día , para alcanzar dicho consumo se recomienda la utilización de 2 televisores durante 6 horas, 1 radio durante 4 horas, 1 licuadora durante 10 minutos, 1 plancha durante 30 minutos y 6 focos ahorradores encendidos simultáneamente durante 5 horas; cabe mencionar que las potencias de los electrodomésticos deben ser próximas a las especificadas en el presente documento. Con el consumo obtenido el dimensionamiento del sistema fotovoltaico será: 3 paneles solares de 350 W conectados en paralelo, 2 baterías de

150 Ah y 12 V conectadas en paralelo, un regulador que satisfaga 26.93 amperios de entrada y 114.58 amperios de salida y 1 inversor que presente una potencia mayor a 2475 W, los conductores serán escogidos según las distancias y ubicación del sistema fotovoltaico aislado.

- Mediante la clasificación de viviendas según su consumo energético, la Vivienda Tipo 2 presentó un consumo diario de 4183.20 Wh/día, para alcanzar dicho consumo se recomienda la utilización de 2 televisores durante 6 horas, 2 radios durante 5 horas, 1 licuadora durante 10 minutos, 1 microondas durante 10 minutos, 1 plancha durante 35 minutos, 1 lavadora durante 2 horas, 1 secadora de cabello durante 10 minutos y 8 focos ahorradores encendidos simultáneamente durante 5 horas; cabe mencionar que las potencias de los electrodomésticos deben ser próximas a las especificadas en el presente documento. Con el consumo obtenido el dimensionamiento del sistema fotovoltaico será: 5 paneles solares de 350 W conectados en paralelo, 4 baterías de 150 Ah y 12 V conectadas en paralelo, un regulador que satisfaga 44.88 amperios de entrada y 283.04 amperios de salida y 1 inversor que presente una potencia mayor a 6113.75 W, los conductores serán escogidos según las distancias y ubicación del sistema fotovoltaico aislado.
- Mediante la clasificación de viviendas según su consumo energético, la Vivienda Tipo 3 presentó un consumo diario de 6224.40 Wh/día, para alcanzar dicho consumo se recomienda la utilización de 3 televisores durante 6 horas, 3 radios durante 5 horas, 1 licuadora durante 20 minutos, 1 microondas durante 20 minutos, 1 plancha durante 1 hora, 1 lavadora durante 2 horas, 1 secadora de cabello durante 20 minutos y 10 focos ahorradores encendidos simultáneamente durante 5 horas; cabe mencionar que las potencias de los electrodomésticos deben ser próximas a las especificadas en el presente documento. Con el consumo obtenido el dimensionamiento del sistema fotovoltaico será: 7 paneles solares de 350 W conectados en paralelo, 6 baterías de 150 Ah y 12 V conectadas en paralelo, un regulador que satisfaga 62.83 amperios de entrada y 290.1 amperios de salida y 1 inversor que presente una potencia mayor a 6266.25 W, los conductores serán escogidos según las distancias y ubicación del sistema fotovoltaico aislado.

- Mediante la clasificación de viviendas según su consumo energético, la Vivienda Encuesta presentó un consumo diario de 8699.04 Wh/día, para alcanzar dicho consumo se recomienda la utilización de 1 televisores durante 4 horas, 1 radio durante 2 horas, 1 refrigeradora conectada las 24 horas del día y 5 focos ahorradores encendidos simultáneamente durante 4 horas; cabe mencionar que las potencias de los electrodomésticos deben ser próximas a las especificadas en el presente documento. El dimensionamiento, elección de componentes, estructura de soporte y presupuesto para este tipo de vivienda se encuentran especificados en el presente documento.

4.2. Recomendaciones

- El desarrollo e implementación del sistema fotovoltaico aislado es viable económicamente para el sector rural que no se encuentra conectada a la red eléctrica tradicional o que su conexión resulta demasiado costosa.
- Fomentar la inclusión y crecimiento de políticas públicas ecuatorianas que ayuden a vencer las barreras de desconocimiento que presentan la gran mayoría de pobladores de zonas rurales, pues su miedo a no satisfacer sus necesidades energéticas les conduce a rechazar esta opción ecológica.
- Generar y promover nuevas fuentes de financiamiento para que se puedan otorgar préstamos a los moradores y poder adquirir los componentes necesarios para la generación de energía solar.
- Al momento de dimensionar los componentes del sistema fotovoltaico realizar con los datos menos favorables, es decir ocupar el valor del mes con peor irradiación solar, así como también considerar todas las posibles pérdidas energéticas que pueden tener lugar en cualquier etapa del sistema.
- Al ser un sistema que depende netamente de la irradiación solar, se debe tomar en cuenta que habrá días en los que el sistema no podrá suplir las necesidades energéticas, ya sea debido a lluvias o a nubes que impidan la captación de energía solar, es por lo que se recomienda conservar conectados los electrodomésticos y encendidas las luces solamente cuando sea necesario.

- Se recomienda en un futuro la construcción del sistema fotovoltaico presentado en el actual trabajo, pues el dimensionamiento se ha realizado para un caso de estudio real con las necesidades energéticas que requieren los moradores de la parroquia Atahualpa.

C. MATERIAL DE REFERENCIA

Referencias Bibliográficas

- [1] UASLP, “Universitarios Potosinos,” *Journal of Chemical Information and Modeling*, vol. 238, no. 16, pp. 1–44, 2019.
- [2] I. Zabalza and J. Aranda, *Energía Solar Térmica: energías renovables*. Zaragoza, España, 2008.
- [3] J. Méndez, *Energía Solar Térmica*, 3rd ed. Madrid, España, 2011.
- [4] H. Comunicación, “Energías renovables para todos: Solar Fotovoltaica,” 2014.
- [5] J. Alonso *et al.*, *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España, 2002.
- [6] J. Mundo Hernández, B. de Celis Alonso, M. Valerdi, and J. Sosa Oliver, “Integración de sistemas de energía solar fotovoltaica en el edificio de oficinas del ZAE en Alemania,” *Hábitat Sustentable*, vol. 2, no. 2, pp. 59–72, 2013.
- [7] R. Ladino, “La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia. Caso: vereda Carupana, municipio de Tauramena, departamento de Casanare,” Pontificia Universidad Javeriana, 2011.
- [8] J. Guamán, C. Vargas, and A. Ríos, “Diseño , Dimensionado e Instalación de una Electrolinera Solar Fotovoltaica Aislada en Tungurahua , Ecuador,” *Rev. Técnica Energía*, no. 13, 2017.
- [9] M. Pareja, *Radiación solar y su aprovechamiento energético*. Barcelona, España, 2010.
- [10] J. Méndez, *Energía Solar Fotovoltaica*, 7th ed. Madrid, España, 2011.
- [11] W. Mogrovejo and J. Sarmiento, “Análisis de factibilidad técnica y económica en la implementación de energía fotovoltaica y termo solar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles solares fijos y con un seguidor de sol de construcción casera, para una vivien,” Universidad de Cuenca, 2011.

- [12] S. Cortés and A. Arango, “Energías renovables en Colombia: una aproximación desde la economía,” *Rev. Ciencias Estratégicas*, vol. 25, no. 38, pp. 375–390, 2017.
- [13] M. Mikati, M. Santos, and C. Armenta, “Modelado y Simulación de un Sistema Conjunto de Energía Solar y Eólica para Analizar su Dependencia de la Red Eléctrica,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind.*, vol. 9, no. 3, pp. 267–281, 2012.
- [14] A. R. Andara, “Estudio de factibilidad para el abastecimiento energético de viviendas unifamiliares a partir de energía solar,” pp. 498–506, 2010.
- [15] A. L. Vázquez, “La energía renovable en México: perspectivas desde el Balance Nacional de Energía 2012,” *Econ. Inf.*, vol. 385, pp. 90–99, 2012.
- [16] Ú. Oswald, “Seguridad , disponibilidad y sustentabilidad energética en México Energy Security , Availability , and Sustainability in Mexico,” *Rev. Mex. Cienc. Polit. Soc.*, vol. 62, no. 230, pp. 155–195, 2017.
- [17] M. Pagliaro and F. Meneguzzo, “Digital Management of Solar Energy En Route to Energy,” vol. 1800105, pp. 1–8, 2019.
- [18] A. Martínez, “Energía solar fotovoltaica integrada en la edificación: modelizado y análisis del efecto del sombreado en la captación de irradiación,” Universidad de la Rioja, 2016.
- [19] W. Chun, S. Jin Oh, S. Hoon Lim, and K. Chen, “Maximum efficiency of solar energy conversion,” *Int. J. Energy Res.*, pp. 1–7, 2011.
- [20] J. C. Cruz-Ardila, J. C. Cardona-Gómez, and D. M. Hernández-Porras, “Aplicación electrónica para el ahorro de energía eléctrica utilizando una energía alternativa,” vol. 9, no. 2, pp. 234–248, 2013.
- [21] NEC-SB-IE, *NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN - NEC: NEC-SB-IE - Instalaciones Eléctricas*. 2018.
- [22] L. Jutglar, *Generación de energía solar fotovoltaica*. Barcelona, España, 2012.

- [23] J. Domínguez, *Energías alternativas*, 3rd ed. Madrid, España, 2008.
- [24] J. Schallenberg *et al.*, *Energías renovables y eficiencia energética*, 1st ed. 2008.
- [25] J. Alvarado Ladron de Guevara, “Diseño y Cálculo de una instalación fotovoltaica aislada,” Universidad Politécnica de Madrid, 2018.
- [26] Z. R. Vargas Cordero, “La Investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica,” *Rev. Educ.*, vol. 33, no. 1, p. 155, 2009.
- [27] F. Arias, *El Proyecto de Investigación: Guía para su elaboración.*, 3era Edici. Caracas, 1999.
- [28] P. López, “Población Muestra Y Muestreo,” *Punto Cero*, vol. 09, no. 08, pp. 69–74, 2004.
- [29] M. Guananga, “Diseño y Construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia en el sector Río Blanco perteneciente a la comunidad Yatzaputzan,” Universidad Técnica de Ambato, 2017.
- [30] MIDUVI and Cámara de la Construcción, “Norma Ecuatoriana de Construcción,” in *Norma Ecuatoriana De Construcción, Nec - 11*, 2011, p. 110.
- [31] ARCONEL, “Pliego Tarifario Para Las Empresas Eléctricas De Distribución,” 2020.
- [32] J. Manrique, *Energía solar : fundamentos y aplicaciones fototérmicas*. Harla, 1984.
- [33] C. Erazo, “Análisis y diseño de una electrolinería alimentada por energía solar para cargar autos eléctricos,” Universidad Tecnológica Equinoccial, 2016.
- [34] A. Moreno, “Dimensionado de una instalación fotovoltaica para una vivienda rural aislada,” Universidad Carlos III de Madrid, 2016.
- [35] AISC (American Institute of Steel Construction), “Specification for Structural Steel Buildings,” 2016.
- [36] N. Vera Mella, “Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA. Aplicación a la península Ibérica,” Universitat Politècnica de Catalunya,

2005.

- [37] R. Stull, *Practical Meteorology - An Algebra-based Survey of Atmospheric Science*
Titel Page. Vancouver, 2012.

ANEXOS

Anexo 1. Consumo mensual de viviendas encuestadas

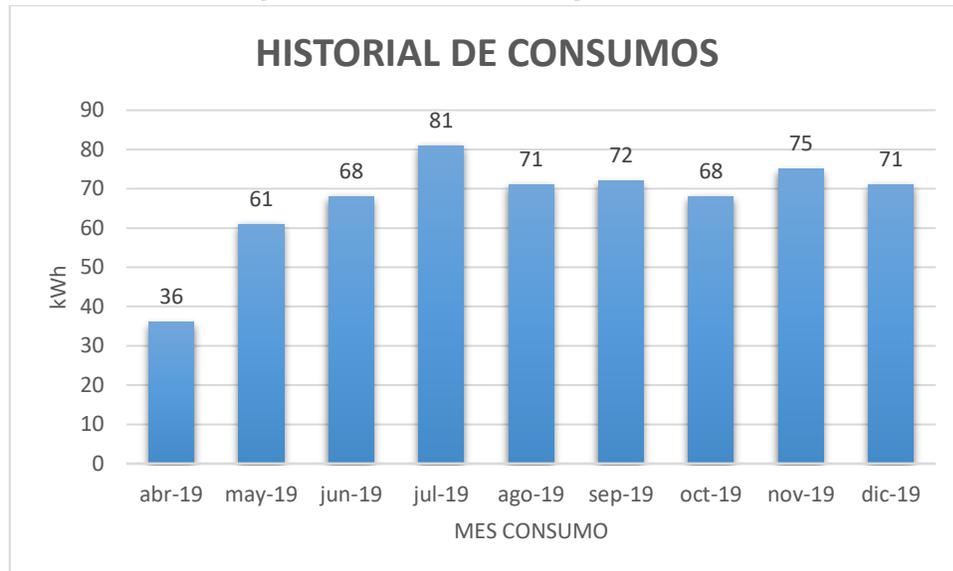
1. N° DE CUENTA: 209506

Tabla 46. Historial de consumo energético vivienda 1

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 6 | 67 |
| feb-19 | 4 | |
| mar-19 | 0 | |
| abr-19 | 36 | |
| may-19 | 61 | |
| jun-19 | 68 | |
| jul-19 | 81 | |
| ago-19 | 71 | |
| sep-19 | 72 | |
| oct-19 | 68 | |
| nov-19 | 75 | |
| dic-19 | 71 | |

FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 48. Historial de consumo energético vivienda 1



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

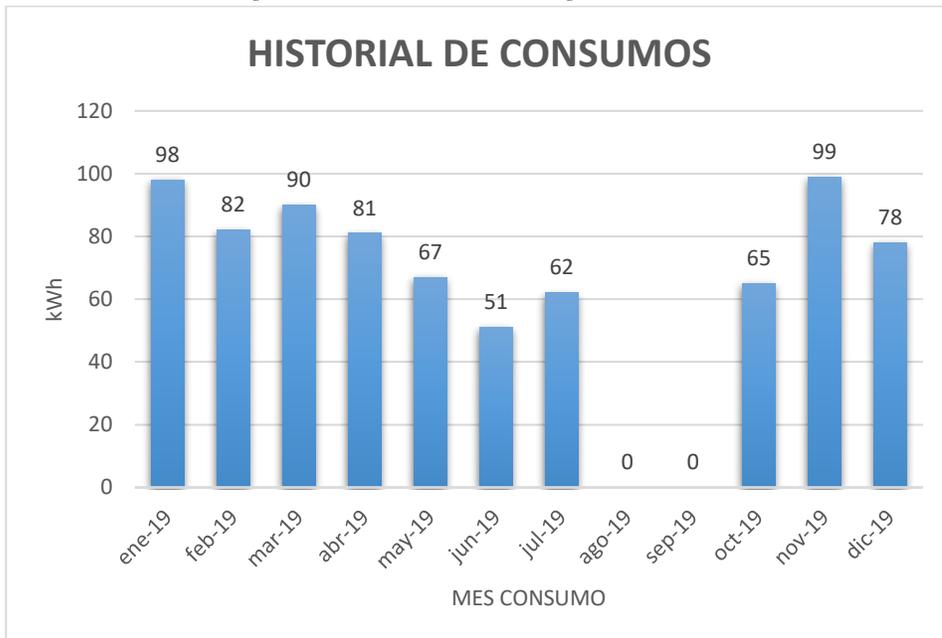
2. N° DE CUENTA: 207608

Tabla 47. Historial de consumo energético vivienda 2

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 98 | 64.42 |
| feb-19 | 82 | |
| mar-19 | 90 | |
| abr-19 | 81 | |
| may-19 | 67 | |
| jun-19 | 51 | |
| jul-19 | 62 | |
| ago-19 | 0 | |
| sep-19 | 0 | |
| oct-19 | 65 | |
| nov-19 | 99 | |
| dic-19 | 78 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 49. Historial de consumo energético vivienda 2



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

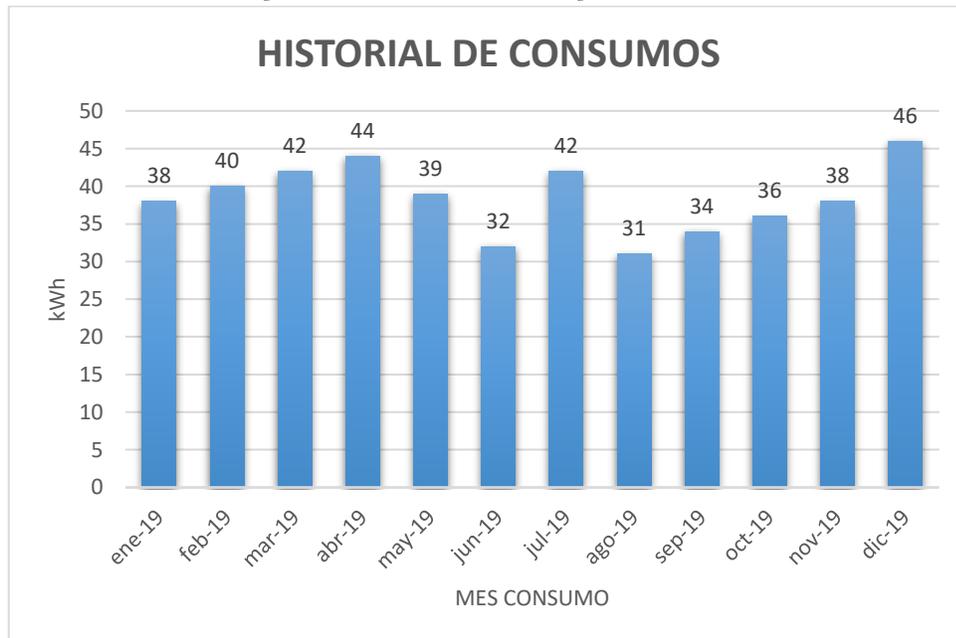
3. N° DE CUENTA: 145683

Tabla 48. Historial de consumo energético vivienda 3

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 38 | 38.5 |
| feb-19 | 40 | |
| mar-19 | 42 | |
| abr-19 | 44 | |
| may-19 | 39 | |
| jun-19 | 32 | |
| jul-19 | 42 | |
| ago-19 | 31 | |
| sep-19 | 34 | |
| oct-19 | 36 | |
| nov-19 | 38 | |
| dic-19 | 46 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 50. Historial de consumo energético vivienda 3



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

4. N° DE CUENTA: 212728

Tabla 49. Historial de consumo energético vivienda 4

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 116 | 51.75 |
| feb-19 | 0 | |
| mar-19 | 46 | |
| abr-19 | 136 | |
| may-19 | 55 | |
| jun-19 | 53 | |
| jul-19 | 76 | |
| ago-19 | 11 | |
| sep-19 | 21 | |
| oct-19 | 30 | |
| nov-19 | 42 | |
| dic-19 | 35 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 51. Historial de consumo energético vivienda 4



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

5. N° DE CUENTA: 206608

Tabla 50. Historial de consumo energético vivienda 5

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 17 | 17.58 |
| feb-19 | 19 | |
| mar-19 | 20 | |
| abr-19 | 17 | |
| may-19 | 11 | |
| jun-19 | 9 | |
| jul-19 | 21 | |
| ago-19 | 11 | |
| sep-19 | 14 | |
| oct-19 | 11 | |
| nov-19 | 21 | |
| dic-19 | 40 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 52. Historial de consumo energético vivienda 5



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

6. N° DE CUENTA: 242117

Tabla 51. Historial de consumo energético vivienda 6

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 9 | 9.75 |
| feb-19 | 8 | |
| mar-19 | 7 | |
| abr-19 | 13 | |
| may-19 | 14 | |
| jun-19 | 15 | |
| jul-19 | 16 | |
| ago-19 | 9 | |
| sep-19 | 7 | |
| oct-19 | 6 | |
| nov-19 | 6 | |
| dic-19 | 7 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 53. Historial de consumo energético vivienda 6



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

7. N° DE CUENTA: 206148

Tabla 52. Historial de consumo energético vivienda 7

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 19 | 18.25 |
| feb-19 | 10 | |
| mar-19 | 15 | |
| abr-19 | 15 | |
| may-19 | 10 | |
| jun-19 | 14 | |
| jul-19 | 32 | |
| ago-19 | 26 | |
| sep-19 | 18 | |
| oct-19 | 15 | |
| nov-19 | 27 | |
| dic-19 | 18 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 54. Historial de consumo energético vivienda 7



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

8. N° DE CUENTA: 202663

Tabla 53. Historial de consumo energético vivienda 8

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 18 | 108.4 |
| feb-19 | 22 | |
| mar-19 | 79 | |
| abr-19 | 121 | |
| may-19 | 119 | |
| jun-19 | 103 | |
| jul-19 | 142 | |
| ago-19 | 123 | |
| sep-19 | 98 | |
| oct-19 | 78 | |
| nov-19 | 103 | |
| dic-19 | 118 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 55. Historial de consumo energético vivienda 8



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

9. N° DE CUENTA: 210863

Tabla 54. Historial de consumo energético vivienda 9

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 39 | 39.08 |
| feb-19 | 44 | |
| mar-19 | 39 | |
| abr-19 | 42 | |
| may-19 | 36 | |
| jun-19 | 36 | |
| jul-19 | 52 | |
| ago-19 | 36 | |
| sep-19 | 38 | |
| oct-19 | 42 | |
| nov-19 | 31 | |
| dic-19 | 34 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 56. Historial de consumo energético vivienda 9



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

10. N° DE CUENTA: 211656

Tabla 55. Historial de consumo energético vivienda 10

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 31 | 35.42 |
| feb-19 | 31 | |
| mar-19 | 34 | |
| abr-19 | 38 | |
| may-19 | 32 | |
| jun-19 | 30 | |
| jul-19 | 43 | |
| ago-19 | 36 | |
| sep-19 | 41 | |
| oct-19 | 33 | |
| nov-19 | 34 | |
| dic-19 | 42 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 57. Historial de consumo energético vivienda 10



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

11. N° DE CUENTA: 192682

Tabla 56. Historial de consumo energético vivienda 11

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 13 | 38 |
| feb-19 | 12 | |
| mar-19 | 11 | |
| abr-19 | 13 | |
| may-19 | 10 | |
| jun-19 | 9 | |
| jul-19 | 10 | |
| ago-19 | 9 | |
| sep-19 | 11 | |
| oct-19 | 11 | |
| nov-19 | 30 | |
| dic-19 | 46 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 58. Historial de consumo energético vivienda 11



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

12. N° DE CUENTA: 212800

Tabla 57. Historial de consumo energético vivienda 12

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 124 | 119.08 |
| feb-19 | 118 | |
| mar-19 | 115 | |
| abr-19 | 140 | |
| may-19 | 127 | |
| jun-19 | 114 | |
| jul-19 | 126 | |
| ago-19 | 106 | |
| sep-19 | 114 | |
| oct-19 | 111 | |
| nov-19 | 115 | |
| dic-19 | 119 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 59. Historial de consumo energético vivienda 12



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

13. N° DE CUENTA: 209528

Tabla 58. Historial de consumo energético vivienda 13

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 175 | 168 |
| feb-19 | 147 | |
| mar-19 | 157 | |
| abr-19 | 170 | |
| may-19 | 163 | |
| jun-19 | 151 | |
| jul-19 | 170 | |
| ago-19 | 172 | |
| sep-19 | 189 | |
| oct-19 | 167 | |
| nov-19 | 178 | |
| dic-19 | 177 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 60. Historial de consumo energético vivienda 13



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

14. N° DE CUENTA: 224158

Tabla 59. Historial de consumo energético vivienda 14

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 19 | 39 |
| feb-19 | 49 | |
| mar-19 | 51 | |
| abr-19 | 22 | |
| may-19 | 44 | |
| jun-19 | 25 | |
| jul-19 | 34 | |
| ago-19 | 53 | |
| sep-19 | 37 | |
| oct-19 | 35 | |
| nov-19 | 46 | |
| dic-19 | 33 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 61. Historial de consumo energético vivienda 14



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

15. N° DE CUENTA: 214772

Tabla 60. Historial de consumo energético vivienda 15

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 63 | 63.58 |
| feb-19 | 51 | |
| mar-19 | 66 | |
| abr-19 | 59 | |
| may-19 | 61 | |
| jun-19 | 67 | |
| jul-19 | 60 | |
| ago-19 | 93 | |
| sep-19 | 55 | |
| oct-19 | 68 | |
| nov-19 | 69 | |
| dic-19 | 51 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 62. Historial de consumo energético vivienda 15



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

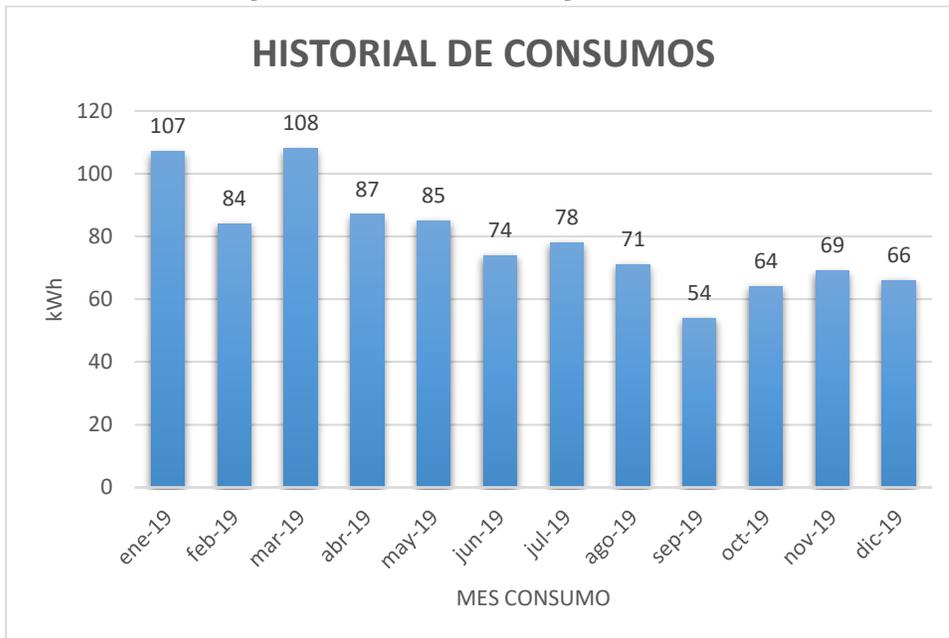
16. N° DE CUENTA: 231357

Tabla 61. Historial de consumo energético vivienda 16

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 107 | 78.92 |
| feb-19 | 84 | |
| mar-19 | 108 | |
| abr-19 | 87 | |
| may-19 | 85 | |
| jun-19 | 74 | |
| jul-19 | 78 | |
| ago-19 | 71 | |
| sep-19 | 54 | |
| oct-19 | 64 | |
| nov-19 | 69 | |
| dic-19 | 66 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 63. Historial de consumo energético vivienda 16



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

17. N° DE CUENTA: 227654

Tabla 62. Historial de consumo energético vivienda 17

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 12 | 33.55 |
| feb-19 | 31 | |
| mar-19 | 36 | |
| abr-19 | 36 | |
| may-19 | 39 | |
| jun-19 | 31 | |
| jul-19 | 57 | |
| ago-19 | 29 | |
| sep-19 | 26 | |
| oct-19 | 28 | |
| nov-19 | 29 | |
| dic-19 | 27 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 64. Historial de consumo energético vivienda 17



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

18. N° DE CUENTA: 227657

Tabla 63. Historial de consumo energético vivienda 18

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 107 | 78.08 |
| feb-19 | 137 | |
| mar-19 | 74 | |
| abr-19 | 77 | |
| may-19 | 69 | |
| jun-19 | 72 | |
| jul-19 | 54 | |
| ago-19 | 54 | |
| sep-19 | 70 | |
| oct-19 | 72 | |
| nov-19 | 74 | |
| dic-19 | 77 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 65. Historial de consumo energético vivienda 18



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

19. N° DE CUENTA: 253884

Tabla 64. Historial de consumo energético vivienda 19

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 39 | 88 |
| feb-19 | 44 | |
| mar-19 | 27 | |
| abr-19 | 29 | |
| may-19 | 39 | |
| jun-19 | 64 | |
| jul-19 | 95 | |
| ago-19 | 130 | |
| sep-19 | 114 | |
| oct-19 | 83 | |
| nov-19 | 96 | |
| dic-19 | 83 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 66. Historial de consumo energético vivienda 19



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

20. N° DE CUENTA: 310325

Tabla 65. Historial de consumo energético vivienda 20

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 164 | 129.25 |
| feb-19 | 119 | |
| mar-19 | 111 | |
| abr-19 | 131 | |
| may-19 | 129 | |
| jun-19 | 168 | |
| jul-19 | 119 | |
| ago-19 | 123 | |
| sep-19 | 122 | |
| oct-19 | 121 | |
| nov-19 | 114 | |
| dic-19 | 130 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 67. Historial de consumo energético vivienda 20



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

21. N° DE CUENTA:211770

Tabla 66. Historial de consumo energético vivienda 21

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 170 | 162.67 |
| feb-19 | 150 | |
| mar-19 | 157 | |
| abr-19 | 174 | |
| may-19 | 166 | |
| jun-19 | 192 | |
| jul-19 | 129 | |
| ago-19 | 116 | |
| sep-19 | 186 | |
| oct-19 | 172 | |
| nov-19 | 182 | |
| dic-19 | 158 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 68. Historial de consumo energético vivienda 21



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

22. N° DE CUENTA: 207951

Tabla 67. Historial de consumo energético vivienda 22

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 80 | 62.17 |
| feb-19 | 61 | |
| mar-19 | 71 | |
| abr-19 | 67 | |
| may-19 | 75 | |
| jun-19 | 69 | |
| jul-19 | 54 | |
| ago-19 | 49 | |
| sep-19 | 48 | |
| oct-19 | 60 | |
| nov-19 | 61 | |
| dic-19 | 51 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 69. Historial de consumo energético vivienda 22



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

23. N° DE CUENTA: 208853

Tabla 68. Historial de consumo energético vivienda 23

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 124 | 120.25 |
| feb-19 | 93 | |
| mar-19 | 73 | |
| abr-19 | 120 | |
| may-19 | 150 | |
| jun-19 | 112 | |
| jul-19 | 97 | |
| ago-19 | 126 | |
| sep-19 | 131 | |
| oct-19 | 139 | |
| nov-19 | 150 | |
| dic-19 | 128 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 70. Historial de consumo energético vivienda 23



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

24. N° DE CUENTA: 207455

Tabla 69. Historial de consumo energético vivienda 24

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 32 | 24.33 |
| feb-19 | 34 | |
| mar-19 | 30 | |
| abr-19 | 25 | |
| may-19 | 19 | |
| jun-19 | 26 | |
| jul-19 | 21 | |
| ago-19 | 23 | |
| sep-19 | 23 | |
| oct-19 | 23 | |
| nov-19 | 16 | |
| dic-19 | 20 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 71. Historial de consumo energético vivienda 24



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

25. N° DE CUENTA: 205461

Tabla 70. Historial de consumo energético vivienda 25

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 75 | 84.17 |
| feb-19 | 61 | |
| mar-19 | 76 | |
| abr-19 | 57 | |
| may-19 | 67 | |
| jun-19 | 69 | |
| jul-19 | 87 | |
| ago-19 | 66 | |
| sep-19 | 75 | |
| oct-19 | 91 | |
| nov-19 | 143 | |
| dic-19 | 143 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 72. Historial de consumo energético vivienda 25



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

26. N° DE CUENTA: 132235

Tabla 71. Historial de consumo energético vivienda 26

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 120 | 89.5 |
| feb-19 | 133 | |
| mar-19 | 123 | |
| abr-19 | 124 | |
| may-19 | 75 | |
| jun-19 | 73 | |
| jul-19 | 73 | |
| ago-19 | 75 | |
| sep-19 | 67 | |
| oct-19 | 99 | |
| nov-19 | 55 | |
| dic-19 | 57 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 73. Historial de consumo energético vivienda 26



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

27. N° DE CUENTA: 205564

Tabla 72. Historial de consumo energético vivienda 27

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 95 | 64.25 |
| feb-19 | 65 | |
| mar-19 | 55 | |
| abr-19 | 57 | |
| may-19 | 60 | |
| jun-19 | 46 | |
| jul-19 | 91 | |
| ago-19 | 55 | |
| sep-19 | 41 | |
| oct-19 | 66 | |
| nov-19 | 65 | |
| dic-19 | 75 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 74. Historial de consumo energético vivienda 27



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

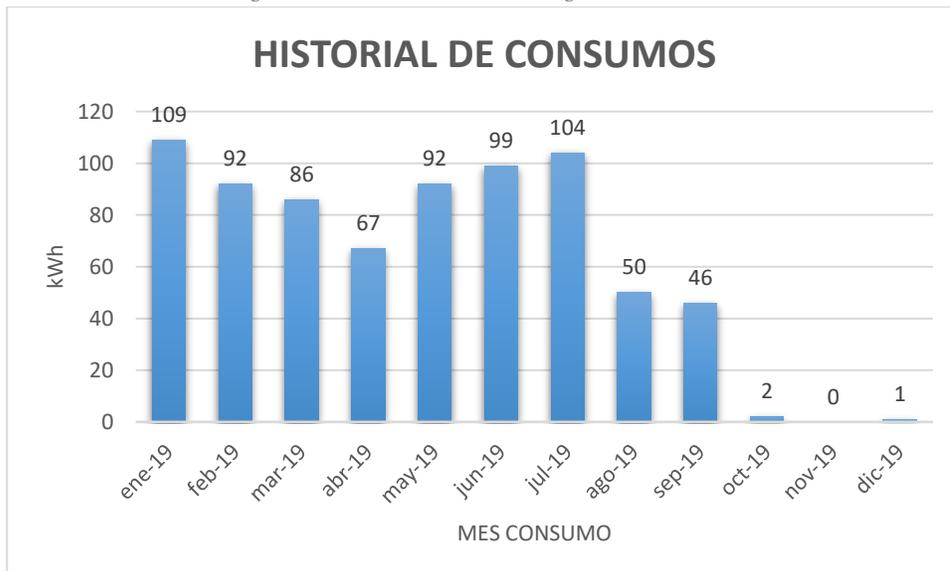
28. N° DE CUENTA: 213206

Tabla 73. Historial de consumo energético vivienda 28

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 109 | 82.78 |
| feb-19 | 92 | |
| mar-19 | 86 | |
| abr-19 | 67 | |
| may-19 | 92 | |
| jun-19 | 99 | |
| jul-19 | 104 | |
| ago-19 | 50 | |
| sep-19 | 46 | |
| oct-19 | 2 | |
| nov-19 | 0 | |
| dic-19 | 1 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 75. Historial de consumo energético vivienda 28



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

29. N° DE CUENTA: 21476

Tabla 74. Historial de consumo energético vivienda 29

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 280 | 294.5 |
| feb-19 | 217 | |
| mar-19 | 294 | |
| abr-19 | 190 | |
| may-19 | 349 | |
| jun-19 | 339 | |
| jul-19 | 332 | |
| ago-19 | 275 | |
| sep-19 | 261 | |
| oct-19 | 351 | |
| nov-19 | 335 | |
| dic-19 | 311 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 76. Historial de consumo energético vivienda 29



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

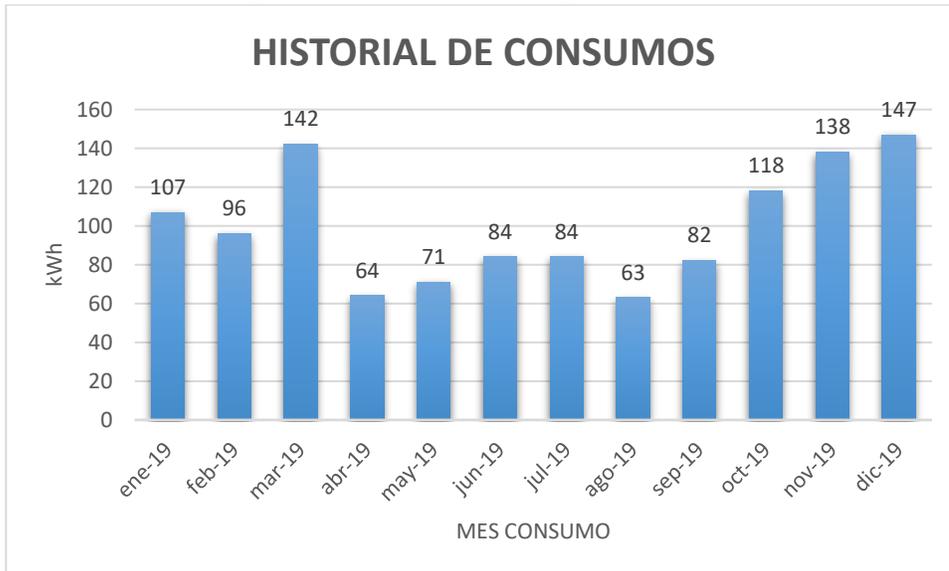
30. N° DE CUENTA: 212327

Tabla 75. Historial de consumo energético vivienda 30

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 107 | 99.67 |
| feb-19 | 96 | |
| mar-19 | 142 | |
| abr-19 | 64 | |
| may-19 | 71 | |
| jun-19 | 84 | |
| jul-19 | 84 | |
| ago-19 | 63 | |
| sep-19 | 82 | |
| oct-19 | 118 | |
| nov-19 | 138 | |
| dic-19 | 147 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 77. Historial de consumo energético vivienda 30



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

31. N° DE CUENTA: 206572

Tabla 76. Historial de consumo energético vivienda 31

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 36 | 43.33 |
| feb-19 | 50 | |
| mar-19 | 60 | |
| abr-19 | 46 | |
| may-19 | 54 | |
| jun-19 | 46 | |
| jul-19 | 48 | |
| ago-19 | 38 | |
| sep-19 | 34 | |
| oct-19 | 38 | |
| nov-19 | 40 | |
| dic-19 | 30 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 78. Historial de consumo energético vivienda 31



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

32. N° DE CUENTA: 214979

Tabla 77. Historial de consumo energético vivienda 32

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 5 | 7.5 |
| feb-19 | 2 | |
| mar-19 | 0 | |
| abr-19 | 2 | |
| may-19 | 6 | |
| jun-19 | 8 | |
| jul-19 | 13 | |
| ago-19 | 9 | |
| sep-19 | 6 | |
| oct-19 | 5 | |
| nov-19 | 7 | |
| dic-19 | 6 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 79. Historial de consumo energético vivienda 32



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

33. N° DE CUENTA: 231678

Tabla 78. Historial de consumo energético vivienda 33

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 48 | 45.92 |
| feb-19 | 34 | |
| mar-19 | 48 | |
| abr-19 | 32 | |
| may-19 | 41 | |
| jun-19 | 37 | |
| jul-19 | 51 | |
| ago-19 | 38 | |
| sep-19 | 42 | |
| oct-19 | 56 | |
| nov-19 | 60 | |
| dic-19 | 64 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 80. Historial de consumo energético vivienda 33



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

34. N° DE CUENTA: 226711

Tabla 79. Historial de consumo energético vivienda 34

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 153 | 124.67 |
| feb-19 | 131 | |
| mar-19 | 149 | |
| abr-19 | 112 | |
| may-19 | 119 | |
| jun-19 | 118 | |
| jul-19 | 139 | |
| ago-19 | 119 | |
| sep-19 | 113 | |
| oct-19 | 120 | |
| nov-19 | 112 | |
| dic-19 | 111 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 81. Historial de consumo energético vivienda 34



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

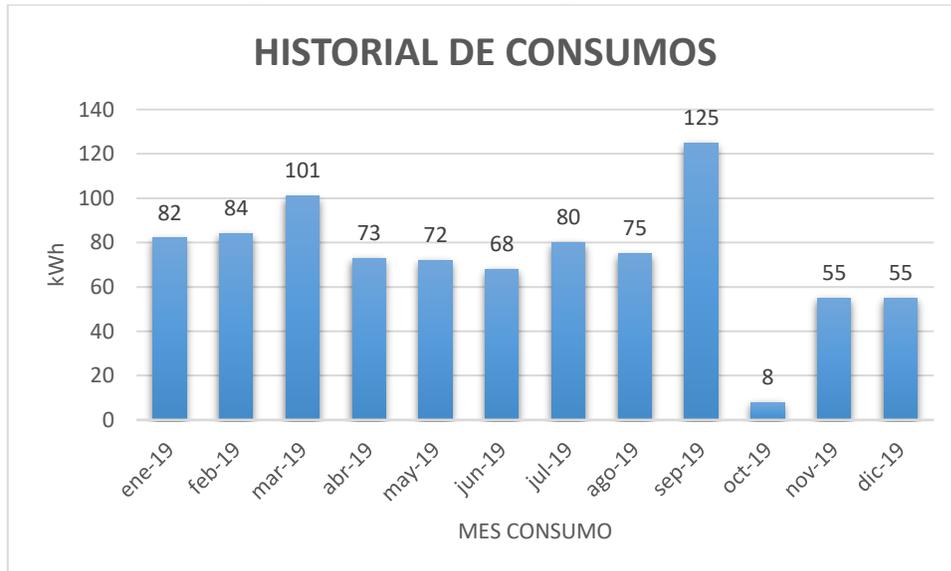
35. N° DE CUENTA: 260632

Tabla 80. Historial de consumo energético vivienda 35

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 82 | 73.17 |
| feb-19 | 84 | |
| mar-19 | 101 | |
| abr-19 | 73 | |
| may-19 | 72 | |
| jun-19 | 68 | |
| jul-19 | 80 | |
| ago-19 | 75 | |
| sep-19 | 125 | |
| oct-19 | 8 | |
| nov-19 | 55 | |
| dic-19 | 55 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 82. Historial de consumo energético vivienda 35



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

36. N° DE CUENTA: 241736

Tabla 81. Historial de consumo energético vivienda 36

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 45 | 62.58 |
| feb-19 | 24 | |
| mar-19 | 59 | |
| abr-19 | 53 | |
| may-19 | 63 | |
| jun-19 | 50 | |
| jul-19 | 80 | |
| ago-19 | 69 | |
| sep-19 | 71 | |
| oct-19 | 74 | |
| nov-19 | 79 | |
| dic-19 | 84 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 83. Historial de consumo energético vivienda 36



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

37. N° DE CUENTA: 202927

Tabla 82. Historial de consumo energético vivienda 37

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 113 | 111.83 |
| feb-19 | 100 | |
| mar-19 | 119 | |
| abr-19 | 95 | |
| may-19 | 125 | |
| jun-19 | 108 | |
| jul-19 | 158 | |
| ago-19 | 87 | |
| sep-19 | 84 | |
| oct-19 | 127 | |
| nov-19 | 111 | |
| dic-19 | 115 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 84. Historial de consumo energético vivienda 37



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

38. N° DE CUENTA: 144760

Tabla 83. Historial de consumo energético vivienda 38

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 129 | 108.08 |
| feb-19 | 112 | |
| mar-19 | 114 | |
| abr-19 | 85 | |
| may-19 | 103 | |
| jun-19 | 109 | |
| jul-19 | 110 | |
| ago-19 | 80 | |
| sep-19 | 110 | |
| oct-19 | 132 | |
| nov-19 | 107 | |
| dic-19 | 106 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 85. Historial de consumo energético vivienda 38



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

39. N° DE CUENTA: 213059

Tabla 84. Historial de consumo energético vivienda 39

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 163 | 148.08 |
| feb-19 | 155 | |
| mar-19 | 182 | |
| abr-19 | 157 | |
| may-19 | 167 | |
| jun-19 | 142 | |
| jul-19 | 207 | |
| ago-19 | 120 | |
| sep-19 | 98 | |
| oct-19 | 147 | |
| nov-19 | 131 | |
| dic-19 | 108 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 86. Historial de consumo energético vivienda 39



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

40. N° DE CUENTA: 255381

Tabla 85. Historial de consumo energético vivienda 40

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 23 | 30.08 |
| feb-19 | 27 | |
| mar-19 | 41 | |
| abr-19 | 25 | |
| may-19 | 39 | |
| jun-19 | 19 | |
| jul-19 | 41 | |
| ago-19 | 25 | |
| sep-19 | 26 | |
| oct-19 | 33 | |
| nov-19 | 28 | |
| dic-19 | 34 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 87. Historial de consumo energético vivienda 40



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

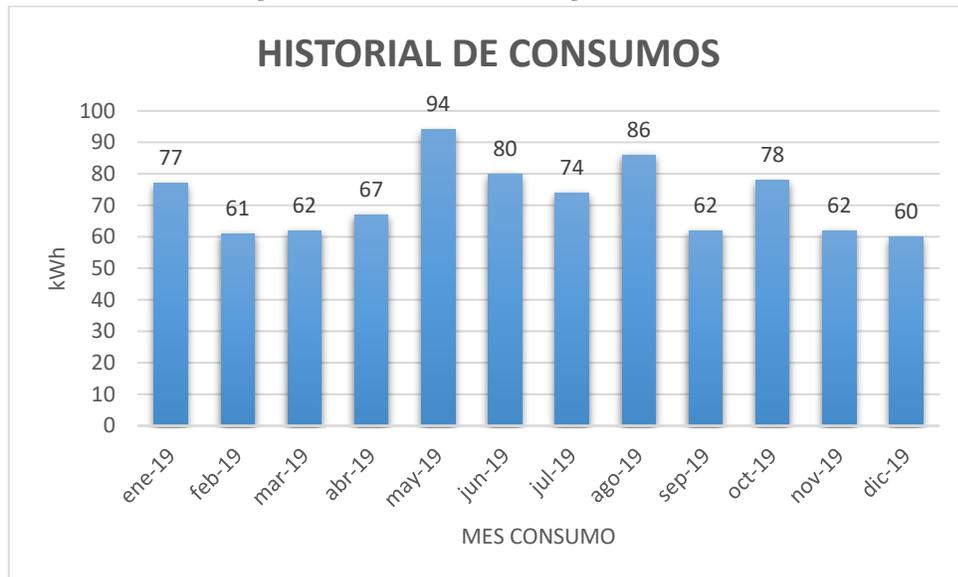
41. N° DE CUENTA: 209178

Tabla 86. Historial de consumo energético vivienda 41

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 77 | 71.92 |
| feb-19 | 61 | |
| mar-19 | 62 | |
| abr-19 | 67 | |
| may-19 | 94 | |
| jun-19 | 80 | |
| jul-19 | 74 | |
| ago-19 | 86 | |
| sep-19 | 62 | |
| oct-19 | 78 | |
| nov-19 | 62 | |
| dic-19 | 60 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 88. Historial de consumo energético vivienda 41



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

42. N° DE CUENTA: 222466

Tabla 87. Historial de consumo energético vivienda 42

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 52 | 30.83 |
| feb-19 | 37 | |
| mar-19 | 32 | |
| abr-19 | 31 | |
| may-19 | 30 | |
| jun-19 | 36 | |
| jul-19 | 15 | |
| ago-19 | 24 | |
| sep-19 | 26 | |
| oct-19 | 31 | |
| nov-19 | 23 | |
| dic-19 | 33 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 89. Historial de consumo energético vivienda 42



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

43. N° DE CUENTA: 212755

Tabla 88. Historial de consumo energético vivienda 43

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 131 | 123.75 |
| feb-19 | 112 | |
| mar-19 | 125 | |
| abr-19 | 133 | |
| may-19 | 141 | |
| jun-19 | 99 | |
| jul-19 | 152 | |
| ago-19 | 106 | |
| sep-19 | 115 | |
| oct-19 | 100 | |
| nov-19 | 137 | |
| dic-19 | 134 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 90. Historial de consumo energético vivienda 43



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

44. N° DE CUENTA: 26362

Tabla 89. Historial de consumo energético vivienda 44

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 91 | 104.58 |
| feb-19 | 93 | |
| mar-19 | 107 | |
| abr-19 | 96 | |
| may-19 | 97 | |
| jun-19 | 87 | |
| jul-19 | 117 | |
| ago-19 | 99 | |
| sep-19 | 106 | |
| oct-19 | 114 | |
| nov-19 | 130 | |
| dic-19 | 118 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 91. Historial de consumo energético vivienda 44



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

45. N° DE CUENTA: 216548

Tabla 90. Historial de consumo energético vivienda 45

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 82 | 73.17 |
| feb-19 | 78 | |
| mar-19 | 76 | |
| abr-19 | 88 | |
| may-19 | 68 | |
| jun-19 | 57 | |
| jul-19 | 77 | |
| ago-19 | 66 | |
| sep-19 | 70 | |
| oct-19 | 71 | |
| nov-19 | 66 | |
| dic-19 | 79 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 92. Historial de consumo energético vivienda 45



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

46. N° DE CUENTA: 148260

Tabla 91. Historial de consumo energético vivienda 46

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 79 | 93 |
| feb-19 | 73 | |
| mar-19 | 77 | |
| abr-19 | 91 | |
| may-19 | 80 | |
| jun-19 | 90 | |
| jul-19 | 131 | |
| ago-19 | 77 | |
| sep-19 | 92 | |
| oct-19 | 110 | |
| nov-19 | 107 | |
| dic-19 | 109 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 93. Historial de consumo energético vivienda 46



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

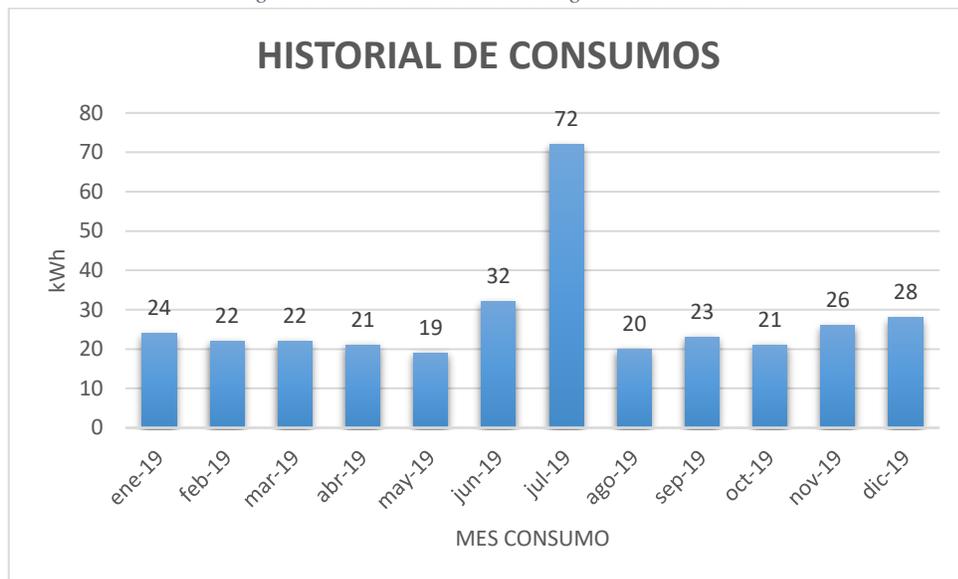
47. N° DE CUENTA: 135874

Tabla 92. Historial de consumo energético vivienda 47

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 24 | 27.5 |
| feb-19 | 22 | |
| mar-19 | 22 | |
| abr-19 | 21 | |
| may-19 | 19 | |
| jun-19 | 32 | |
| jul-19 | 72 | |
| ago-19 | 20 | |
| sep-19 | 23 | |
| oct-19 | 21 | |
| nov-19 | 26 | |
| dic-19 | 28 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 94. Historial de consumo energético vivienda 47



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

48. N° DE CUENTA: 142771

Tabla 93. Historial de consumo energético vivienda 48

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 35 | 37.92 |
| feb-19 | 26 | |
| mar-19 | 27 | |
| abr-19 | 42 | |
| may-19 | 42 | |
| jun-19 | 38 | |
| jul-19 | 53 | |
| ago-19 | 36 | |
| sep-19 | 48 | |
| oct-19 | 42 | |
| nov-19 | 38 | |
| dic-19 | 28 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 95. Historial de consumo energético vivienda 48



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

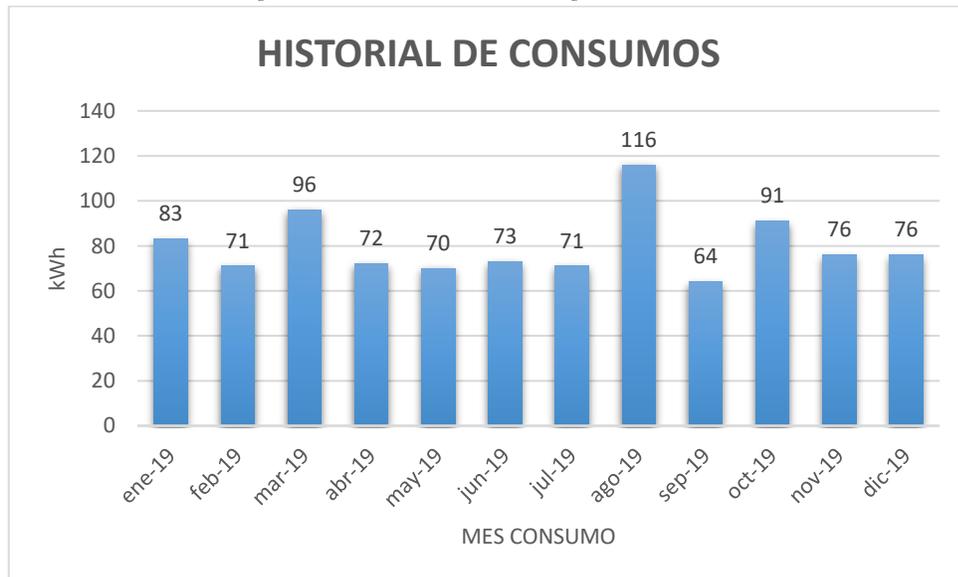
49. N° DE CUENTA: 139361

Tabla 94. Historial de consumo energético vivienda 49

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 83 | 79.92 |
| feb-19 | 71 | |
| mar-19 | 96 | |
| abr-19 | 72 | |
| may-19 | 70 | |
| jun-19 | 73 | |
| jul-19 | 71 | |
| ago-19 | 116 | |
| sep-19 | 64 | |
| oct-19 | 91 | |
| nov-19 | 76 | |
| dic-19 | 76 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 96. Historial de consumo energético vivienda 49



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

50. N° DE CUENTA: 231357

Tabla 95. Historial de consumo energético vivienda 50

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 107 | 78.92 |
| feb-19 | 84 | |
| mar-19 | 108 | |
| abr-19 | 87 | |
| may-19 | 85 | |
| jun-19 | 74 | |
| jul-19 | 78 | |
| ago-19 | 71 | |
| sep-19 | 54 | |
| oct-19 | 64 | |
| nov-19 | 69 | |
| dic-19 | 66 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 97. Historial de consumo energético vivienda 50



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

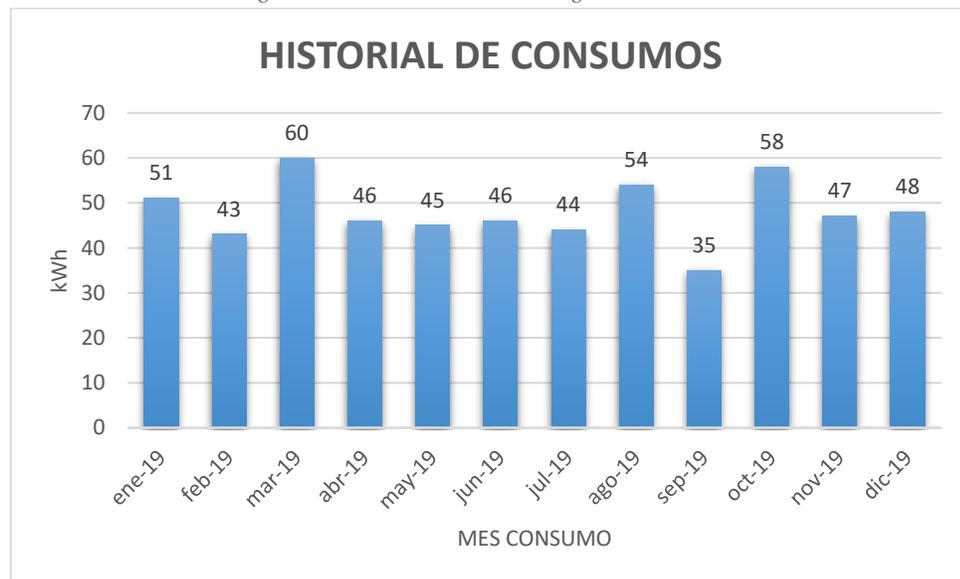
51. N° DE CUENTA: 253956

Tabla 96. Historial de consumo energético vivienda 51

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 51 | 48.08 |
| feb-19 | 43 | |
| mar-19 | 60 | |
| abr-19 | 46 | |
| may-19 | 45 | |
| jun-19 | 46 | |
| jul-19 | 44 | |
| ago-19 | 54 | |
| sep-19 | 35 | |
| oct-19 | 58 | |
| nov-19 | 47 | |
| dic-19 | 48 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 98. Historial de consumo energético vivienda 51



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

52. N° DE CUENTA: 246582

Tabla 97. Historial de consumo energético vivienda 52

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 92 | 107.08 |
| feb-19 | 91 | |
| mar-19 | 97 | |
| abr-19 | 94 | |
| may-19 | 90 | |
| jun-19 | 119 | |
| jul-19 | 135 | |
| ago-19 | 118 | |
| sep-19 | 110 | |
| oct-19 | 113 | |
| nov-19 | 124 | |
| dic-19 | 102 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 99. Historial de consumo energético vivienda 52



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

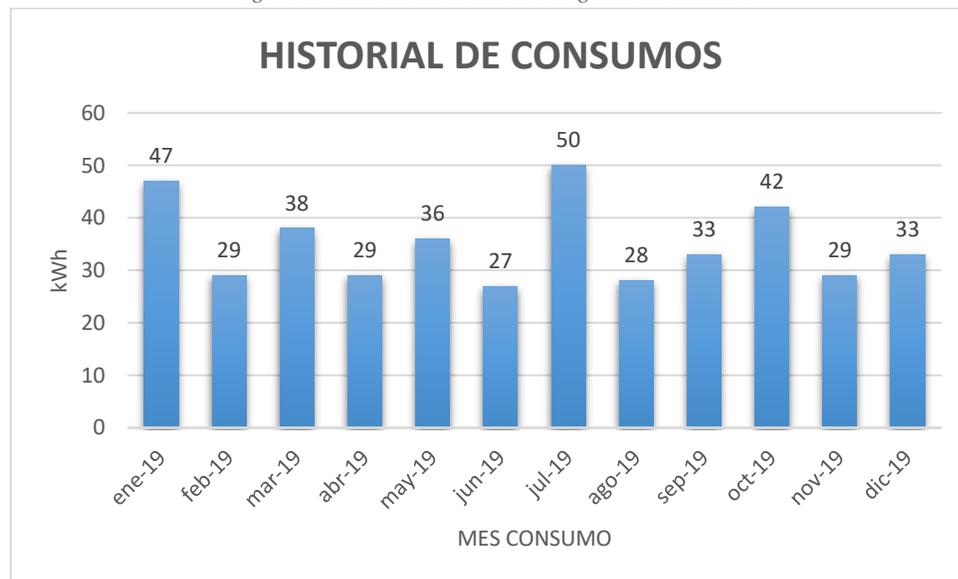
53. N° DE CUENTA: 261976

Tabla 98. Historial de consumo energético vivienda 53

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 47 | 35.08 |
| feb-19 | 29 | |
| mar-19 | 38 | |
| abr-19 | 29 | |
| may-19 | 36 | |
| jun-19 | 27 | |
| jul-19 | 50 | |
| ago-19 | 28 | |
| sep-19 | 33 | |
| oct-19 | 42 | |
| nov-19 | 29 | |
| dic-19 | 33 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 100. Historial de consumo energético vivienda 53



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

54. N° DE CUENTA: 127270

Tabla 99. Historial de consumo energético vivienda 54

| MES | CONSUMO (kWh) | PROMEDIO MENSUAL (kWh) |
|--------|---------------|------------------------|
| ene-19 | 97 | 85 |
| feb-19 | 79 | |
| mar-19 | 93 | |
| abr-19 | 74 | |
| may-19 | 81 | |
| jun-19 | 88 | |
| jul-19 | 85 | |
| ago-19 | 83 | |
| sep-19 | 0 | |
| oct-19 | 0 | |
| nov-19 | 0 | |
| dic-19 | 0 | |

Fuente: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

Fig. 101. Historial de consumo energético vivienda 54



FUENTE: Empresa Eléctrica Ambato S.A.

ANEXO 2. Modelo de Encuesta Realizada

DETERMINACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL DE VIVIENDAS DEL MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA ENCUESTA

La presente encuesta tiene como objetivo el determinar el consumo energético promedio de una vivienda como parte del desarrollo del trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA”

1. Provincia: _____
2. Cantón: _____
3. Parroquia: _____
4. N° de personas que habitan en la vivienda: _____
5. M² de vivienda: _____
6. Fecha de entrevista: _____
7. Posee energía eléctrica: SI () NO () ¿Cuánto paga al mes? \$ _____
8. Número de cuenta: _____
9. A continuación, indicar el número de electrodomésticos que disponga en su vivienda y la cantidad de horas diarias que ocupa:

| ELEMENTO | CANTIDAD | TIEMPO APROXIMADO DE OCUPACIÓN |
|-----------------|----------|--------------------------------|
| Televisión | | |
| Radio | | |
| Plancha | | |
| Licuada | | |
| Refrigeradora | | |
| Microondas | | |
| Ducha eléctrica | | |

OTROS:

| ELEMENTO | CANTIDAD | TIEMPO APROXIMADO DE OCUPACIÓN |
|----------|----------|--------------------------------|
| | | |
| | | |

10. Cantidad de luminarias por casa:

| ELEMENTO | CANTIDAD | TIEMPO APROXIMADO DE OCUPACIÓN |
|----------------|----------|--------------------------------|
| Foco ahorrador | | |
| Foco normal | | |

11. ¿ A qué hora del día la luz solar es más fuerte?: _____
12. En qué mes del año existe mayor cantidad de sol: _____

Anexo 3. Días representativos de cada mes

Tabla 100. Días representativos de cada mes

| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|----|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1 | 1 | 32 | 60 | 91 | 121 | 152 | 182 | 213 | 244 | 274 | 305 | 335 |
| 2 | 2 | 33 | 61 | 92 | 122 | 153 | 183 | 214 | 245 | 275 | 306 | 336 |
| 3 | 3 | 34 | 62 | 93 | 123 | 154 | 184 | 215 | 246 | 276 | 307 | 337 |
| 4 | 4 | 35 | 63 | 94 | 124 | 155 | 185 | 216 | 247 | 277 | 308 | 338 |
| 5 | 5 | 36 | 64 | 95 | 125 | 156 | 186 | 217 | 248 | 278 | 309 | 339 |
| 6 | 6 | 37 | 65 | 96 | 126 | 157 | 187 | 218 | 249 | 279 | 310 | 340 |
| 7 | 7 | 38 | 66 | 97 | 127 | 158 | 188 | 219 | 250 | 280 | 311 | 341 |
| 8 | 8 | 39 | 67 | 98 | 128 | 159 | 189 | 220 | 251 | 281 | 312 | 342 |
| 9 | 9 | 40 | 68 | 99 | 129 | 160 | 190 | 221 | 252 | 282 | 313 | 343 |
| 10 | 10 | 41 | 69 | 100 | 130 | 161 | 191 | 222 | 253 | 283 | 314 | 344 |
| 11 | 11 | 42 | 70 | 101 | 131 | 162 | 192 | 223 | 254 | 284 | 315 | 345 |
| 12 | 12 | 43 | 71 | 102 | 132 | 163 | 193 | 224 | 255 | 285 | 316 | 346 |
| 13 | 13 | 44 | 72 | 103 | 133 | 164 | 194 | 225 | 256 | 286 | 317 | 347 |
| 14 | 14 | 45 | 73 | 104 | 134 | 165 | 195 | 226 | 257 | 287 | 318 | 348 |
| 15 | 15 | 46 | 74 | 105 | 135 | 166 | 196 | 227 | 258 | 288 | 319 | 349 |
| 16 | 16 | 47 | 75 | 106 | 136 | 167 | 197 | 228 | 259 | 289 | 320 | 350 |
| 17 | 17 | 48 | 76 | 107 | 137 | 168 | 198 | 229 | 260 | 290 | 321 | 351 |
| 18 | 18 | 49 | 77 | 108 | 138 | 169 | 199 | 230 | 261 | 291 | 322 | 352 |
| 19 | 19 | 50 | 78 | 109 | 139 | 170 | 200 | 231 | 262 | 292 | 323 | 353 |
| 20 | 20 | 51 | 79 | 110 | 140 | 171 | 201 | 232 | 263 | 293 | 324 | 354 |
| 21 | 21 | 52 | 80 | 111 | 141 | 172 | 202 | 233 | 264 | 294 | 325 | 355 |
| 22 | 22 | 53 | 81 | 112 | 142 | 173 | 203 | 234 | 265 | 295 | 326 | 356 |
| 23 | 23 | 54 | 82 | 113 | 143 | 174 | 204 | 235 | 266 | 296 | 327 | 357 |
| 24 | 24 | 55 | 83 | 114 | 144 | 175 | 205 | 236 | 267 | 297 | 328 | 358 |
| 25 | 25 | 56 | 84 | 115 | 145 | 176 | 206 | 237 | 268 | 298 | 329 | 359 |
| 26 | 26 | 57 | 85 | 116 | 146 | 177 | 207 | 238 | 269 | 299 | 330 | 360 |
| 27 | 27 | 58 | 86 | 117 | 147 | 178 | 208 | 239 | 270 | 300 | 331 | 361 |
| 28 | 28 | 59 | 87 | 118 | 148 | 179 | 209 | 240 | 271 | 301 | 332 | 362 |
| 29 | 29 | | 88 | 119 | 149 | 180 | 210 | 241 | 272 | 302 | 333 | 363 |
| 30 | 30 | | 89 | 120 | 150 | 181 | 211 | 242 | 273 | 303 | 334 | 364 |
| 31 | 31 | | 90 | | 151 | | 212 | 243 | | 304 | | 365 |

FUENTE: [29]

Anexo 4. Albedos típicos para varias superficies

Tabla 101. Albedos típicos para varias superficies

| Superficie | (%) | Superficie | (%) |
|-------------------|--------|---------------|-------|
| Arcilla, húmeda | 16 | Piedras | 20-30 |
| Arcilla, seca | 23 | Duna, arena | 20-45 |
| Suelo, arenoso | 20-25 | Marga, seca | 23 |
| Cal | 45 | Marga, húmeda | 16 |
| Yeso | 55 | Concreto | 15-37 |
| Granito | dic-18 | Edificios | 9 |
| Bosque, confieras | may-15 | Urbano, medio | 15 |

FUENTE: [36], [37]

Anexo 5. Ficha técnica del Panel Solar



72 CELLS PHOTOVOLTAIC MODULE MONO 310~350 W OUTPUT POWER



5 busbars cells, with efficiency up to 20.4 %.



With up to 350 W power and 0~3 % power output tolerance .



IP65 or IP67 junction box for long term weather endurance.



High quality aluminum frame, resisting load up to 5400 Pa and wind pressure up to 2400 Pa.



High transmissivity, low-iron tempered glass.



www.eco-greenenergy.com



| Engineering drawings | | IV curves | | | | | | | |
|---|------------------------------------|-----------------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | | | | | | |
| Temperature characteristics | | | | | | | | | |
| NOCT | 45 °C ±2 °C | | | | | | | | |
| Temperature coefficient of Pmax | -0.41 %/°C | | | | | | | | |
| Temperature coefficient of Voc | -0.31 %/°C | | | | | | | | |
| Temperature coefficient of Isc | +0.06 %/°C | | | | | | | | |
| Electrical characteristics at STC* | | | | | | | | | |
| Power output (Pmax) | 310 W | 315 W | 320 W | 325 W | 330 W | 335 W | 340 W | 345 W | 350 W |
| Panel efficiency | 15.98 % | 16.23 % | 16.50 % | 16.75 % | 17.01 % | 17.27 % | 17.52 % | 17.78 % | 18.04 % |
| Maximum power voltage (Vmp) | 37.04 V | 37.06 | 37.15 V | 37.53V | 37.88 V | 37.93 V | 38.54 V | 38.41 V | 38.71 V |
| Maximum power current (Imp) | 8.36 A | 8.45 A | 8.52 A | 8.61 A | 8.68 A | 8.75 A | 8.82 A | 8.98 A | 9.04 A |
| Open circuit voltage (Voc) | 45.42 V | 45.61 V | 45.87 V | 45.99 V | 46.28 V | 46.55 V | 46.76 V | 46.64 V | 46.88 V |
| Short circuit current (Isc) | 8.83 A | 8.91 A | 8.97 A | 9.05 A | 9.12 A | 9.18 A | 9.24 A | 9.32 A | 9.38 A |
| *Standard test conditions: Irradiance: 1000 W/m² • cell temperature: 25 °C • AM: 1.5 | | | | | | | | | |
| Electrical characteristics at NOCT* | | | | | | | | | |
| Power output (Pmax) | 231 W | 235 W | 239 W | 242 W | 246 W | 250 W | 254 W | 257 W | 261 W |
| Maximum power voltage (Vmp) | 29.42 V | 34.94 V | 35.23 V | 35.40 V | 35.65 V | 35.89 V | 36.13 V | 36.01V | 36.29 V |
| Maximum power current (Imp) | 6.64 A | 6.71 A | 6.76 A | 6.84 A | 6.89 A | 6.95 A | 7.01 A | 7.13 A | 7.18 A |
| Open circuit voltage (Voc) | 42.12 V | 42.30 V | 42.54 V | 42.65 V | 42.92 V | 43.17 V | 43.36 V | 43.25 V | 43.48 V |
| Short circuit current (Isc) | 7.18 A | 7.24 A | 7.29 A | 7.36 A | 7.42 A | 7.46 A | 7.51 A | 7.58 A | 7.63 A |
| *Nominal operating cell temperature: Irradiance: 800 W/m² • ambient temperature: 20 °C • AM: 1.5 • wind speed: 1 m/s | | | | | | | | | |
| General characteristics | | Operating conditions | | | | | | | |
| Cell type | Monocrystalline (156.75×156.75 mm) | Operating temperature range | -45 °C ~+85 °C | | | | | | |
| Number of cells | 72 | Max system voltage | 1000 V | | | | | | |
| Dimensions | 1956×992×40 mm | Max series fuse rating | 20 A | | | | | | |
| Weight | 22.8 kg | Max front load (ex: snow) | 5400 Pa | | | | | | |
| Glass | 3.2 mm tempered glass | Max back load (ex: wind) | 2400 Pa | | | | | | |
| Frame | Anodized aluminium alloy | Packaging | | | | | | | |
| Junction box | IP65 or IP67 | Per pallet | 26 pcs | | | | | | |
| Cable | 0.9 m | Per 20ft GP container | 300 pcs | | | | | | |
| Connector | MC4 or MC4 compatible | Per 40ft GP container | 640 pcs | | | | | | |
| | | Per 40ft HQ container | 660 pcs | | | | | | |

Anexo 6. Ficha técnica de la batería

6-GFM(G)-150Ah Gel Battery Specification

We are an ISO9001 certified organization. And the products are approved by CE & UL. The nominal voltage of this series is 12V. And the capacity ranges from 33Ah to 250Ah. Their typical applications include: emergency lighting systems, electricity power supply systems, communication systems, UPS systems, starting systems, solar systems etc.

| Battery Construction | | General Features |
|----------------------|--------------|---|
| Component | Material | Maintenance free |
| Positive plate | Lead dioxide | Convenient for installation |
| Negative plate | Lead | Safety and no leakage |
| Container | ABS | Excellent recharge and discharge performance |
| Cover | ABS | Low self-discharge rate, charge each standby 6 months, temperature 25°C |
| Safety valve | Rubber | Adapt to high or low temperature |
| Terminal | Copper | Good deep discharge performance |
| Electrolyte | Gelled acid | Longer cycle life |
| | | UL approval |

| Performance Characteristics | | |
|--|-------------|---|
| 1. Dimension and weight | | 5. Charge Method : constant-voltage charging at 25°C (77° F) |
| Length | 486mm | Cyclic use |
| Width | 171mm | Maximum charging current |
| Height | 241mm | Temperature Compensation |
| Total Height | 241mm | Float Use |
| Reference Weight | 47kg | Temperature Compensation |
| 2. Functional Parameter | | 6. Environment Temperature Requirements |
| Rated Voltage | 12V | Discharge Temperature |
| Numbers of cells | 6 Cells | Charge Temperature |
| Designed Life | 10-12 Years | Storage Temperature |
| 3. Rated Capacity at 25°C (77° F) | | 7. Inner Resistance & Max. Discharge Current |
| 10 hr rate (0.1C, 10.8V) | 150Ah | At fully charged battery at 25°C (77° F) |
| 3 hr rate (0.25C, 10.8V) | 108.7Ah | Max. Discharge Current |
| 1 hr rate (0.55C, 10.5V) | 82.4Ah | Short Circuit Current |
| 4. Capacity affected by Temperature (10hour rate) | | 8. Self-discharge |
| 40°C (104° F) | 103% | 3% Of the capacity per month at 25°C (77° F) |
| 25°C (77° F) | 100% | Capacity after 3 month storage |
| 0°C (32° F) | 85% | Capacity after 6 month storage |
| -15°C (5° F) | 65% | Capacity after 12 month storage |

Dimensions (mm)

3D Model Review

Constant-current discharge parameter Unit: A (25°C)

| F.V/Time | 20min | 30min | 45min | 1h | 2h | 3h | 5h | 6h | 8h | 10h | 20h |
|------------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1.80V/cell | 159.51 | 122.20 | 91.95 | 77.07 | 47.93 | 36.22 | 25.37 | 21.83 | 17.44 | 15.00 | 8.23 |
| 1.75V/cell | 179.27 | 134.39 | 99.39 | 82.44 | 50.73 | 38.17 | 26.34 | 22.68 | 17.93 | 15.32 | 8.40 |
| 1.70V/cell | 193.17 | 143.90 | 105.61 | 87.32 | 53.78 | 39.76 | 27.20 | 23.41 | 18.54 | 15.73 | 8.50 |
| 1.65V/cell | 200.98 | 149.51 | 109.27 | 90.61 | 55.24 | 41.10 | 27.68 | 23.78 | 18.78 | 15.85 | 8.59 |
| 1.60V/cell | 217.80 | 160.00 | 117.44 | 96.10 | 57.44 | 42.68 | 28.54 | 24.39 | 19.15 | 16.22 | 8.71 |

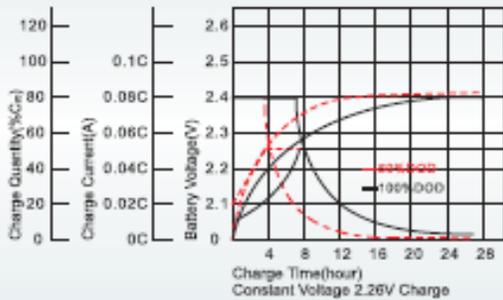
Constant-current discharge parameter Unit: V (25°C)

| F.V/Time | 20min | 30min | 45min | 1h | 2h | 3h | 5h | 6h | 8h | 10h | 20h |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.80V/cell | 301.34 | 233.17 | 177.07 | 149.27 | 93.17 | 70.61 | 49.88 | 43.17 | 34.63 | 29.88 | 16.46 |
| 1.75V/cell | 334.88 | 254.15 | 190.00 | 158.90 | 98.54 | 74.39 | 51.71 | 44.51 | 35.61 | 30.49 | 16.71 |
| 1.70V/cell | 356.83 | 269.76 | 200.24 | 167.20 | 103.90 | 77.32 | 53.17 | 45.98 | 36.59 | 31.10 | 16.95 |
| 1.65V/cell | 367.32 | 277.44 | 205.98 | 172.44 | 106.10 | 79.39 | 54.02 | 46.59 | 37.07 | 31.46 | 17.07 |
| 1.60V/cell | 393.54 | 294.15 | 219.63 | 182.20 | 109.76 | 82.20 | 55.61 | 47.56 | 37.67 | 32.01 | 17.32 |

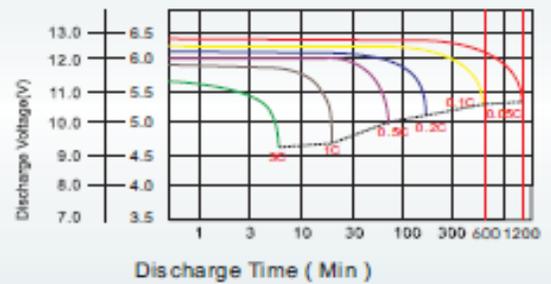


6-GFM(G)-150Ah Gel Battery Specification

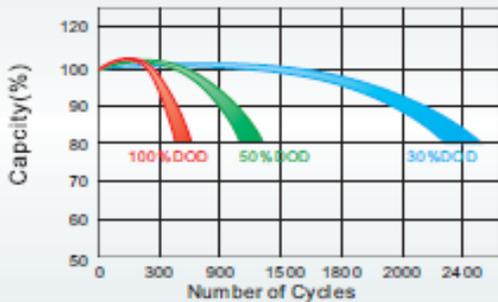
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



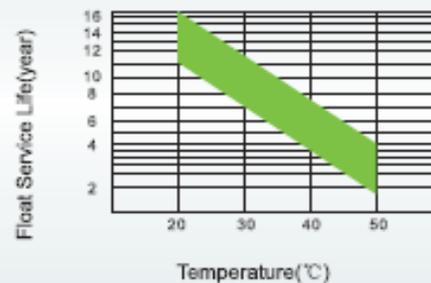
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



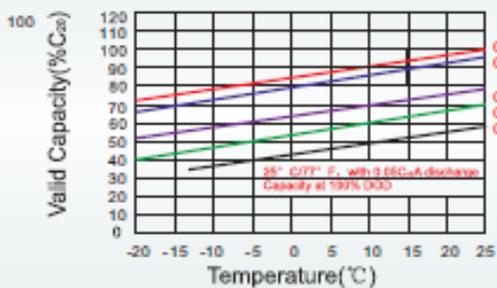
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



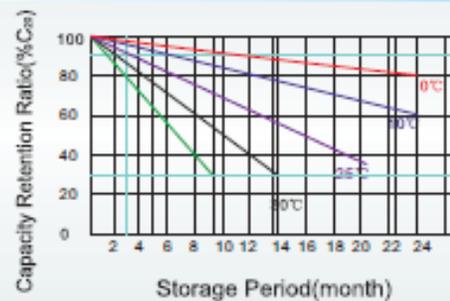
Float Service Life



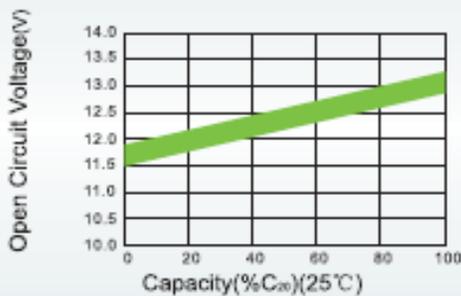
Temperature and Valid Capacity



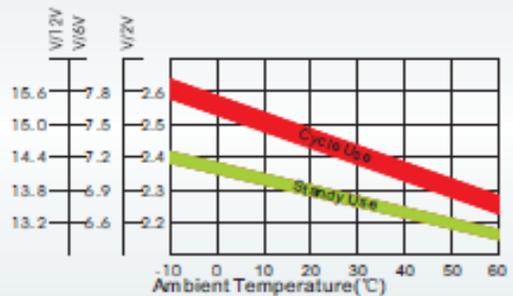
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature



Anexo 7. Ficha técnica del Regulador de Voltaje



+1-215-321-4457
sales@morningstarcorp.com



Controlador de carga solar EcoBoost MPPT™

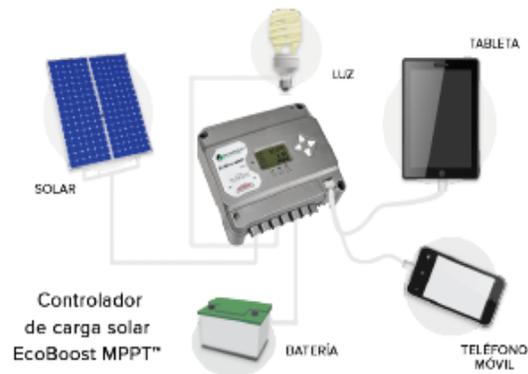
CON DETECCIÓN DEL PUNTO DE MÁXIMA POTENCIA

- Carga USB integrada del dispositivo
- Gran fiabilidad y eficiencia
- Maximiza la recogida de energía
- Idóneo para aplicaciones residenciales y rurales

El controlador de carga solar EcoBoost MPPT™ introduce la tecnología TrakStar™ patentada por Morningstar en nuestra nueva línea de controladores y accesorios Essentials. Los controladores EcoBoost detectan automáticamente si la configuración del sistema es de 12 o 24 V. Son controladores muy eficientes y precisos, diseñados para garantizar que las baterías se carguen por completo.

También son controladores de carga avanzados. El uso de esta característica para gestionar el consumo de corriente CC protege las baterías frente a sobredescargas y garantiza la fiabilidad del sistema a largo plazo. Es posible suministrar pequeñas cargas de CC directamente desde EcoBoost mediante dos puertos de carga USB.

Los controladores EcoBoost de Morningstar actúan como el cerebro de los sistemas eléctricos FV de CC de hasta 1.120 vatios y ofrecen un valor, un rendimiento y una fiabilidad excepcionales.



CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS PRINCIPALES

- **Diseño robusto y libre de mantenimiento**
Placa de circuito con revestimiento conformado y terminales resistentes a la corrosión.
- **Maximiza la recogida de energía**
El uso de la tecnología TrakStar MPPT permite determinar y ajustar el punto de potencia máxima real a medida que la radiación solar cambia durante el día.
- **Gran eficiencia**
A niveles de potencia bajos, medios y elevados.
- **Medidor opcional**
Proporciona acceso a información operativa del sistema, como los datos de rendimiento actuales e históricos. Todos los controladores EcoBoost "M" incluyen el medidor.
- **Carga USB**
Dos puertos USB con 3 A de capacidad de carga compartida para la carga de los dispositivos móviles actuales.
- **Autodiagnóstico**
Supervisión y notificación continuas de todo tipo de errores a través de los LED de estado o la pantalla opcional.
- **Control de iluminación**
Utiliza el panel FV para encenderse o apagarse al anochecer y al amanecer.
- **Controlador de carga**
Conecta las cargas de CC directamente al controlador. Desconexión programable de la carga para proteger las baterías.
- **Flexibilidad del panel FV**
Activa 2 módulos en serie para cargar un sistema de batería de 12 o 24 V.

EcoBoost no ha obtenido la certificación de conformidad con los códigos eléctricos de EE. UU. y Canadá.

Especificaciones técnicas

| Versiones | EB-MPPT-20 (M) | EB-MPPT-30 (M) | EB-MPPT-40 (M) |
|--|--|----------------|-----------------|
| Especificaciones eléctricas | | | |
| Corriente máx. de la batería | 20 A | 30 A | 40 A |
| Corriente de carga nominal | 20 A | 30 A | 30 A |
| Voltaje máx. del circuito abierto (Vca) solar FV* | | 120 V | |
| Voltaje nominal de la batería | Detección y ajustes automáticos de 12 o 24 V | | |
| Potencia de funcionamiento máx. nominal** | | | |
| Batería de 12 V | 300 W a 40 °C | 400 W a 40 °C | 560 W a 40 °C |
| Batería de 24 V | 600 W a 40 °C | 800 W a 40 °C | 1.120 W a 40 °C |
| Eficiencia máxima | 98% | | |
| Rango de voltaje de la batería | 10-35 V | | |
| Autoconsumo | < 1,2W | | |
| Potencia de salida de carga USB máxima combinada | 3 A a 5 V | | |
| Especificaciones medioambientales | | | |
| Intervalo de temperatura de funcionamiento | -40 °C a +60 °C | | |
| Intervalo de temperatura de funcionamiento del medidor | -20 °C a +60 °C | | |
| Humedad | 100% sin condensación | | |
| Tropicalización | Placa de circuito impreso con revestimiento conformado: terminales con calificación marina | | |
| Especificaciones mecánicas | | | |
| Dimensiones (cm) | 19,6 (anch.) x 17,3 (alt.) x 7,1 (prof.) | | |
| Peso | 1,4 kg | | |
| Rango de tamaño de cable de los terminales de potencia | 2,5-16 mm ² /14-2 AWG | | |
| Carcasa | IP20, tipo 1 | | |
| Garantía | 2 años | | |
| Certificaciones | CE, TÜV: IEC 62109, EN 62109-1, Emisiones 55014-1, Inmunidad 55014-2 | | |

Protecciones electrónicas

- Entrada solar: sobrecarga, cortocircuito, advertencia de alto voltaje, polaridad inversa, temperatura elevada, corriente inversa por la noche
- Carga de salida: sobrecarga, cortocircuito, temperatura elevada, polaridad inversa
- Polaridad inversa de la batería (sin extraer la batería)
- Ajustes de desconexión y reconexión a bajo voltaje: 11,4 V/12,6 V o personalizado (x2 para sistemas de 24 V)
- Ajustes de iluminación: anochecer hasta amanecer

Carga de batería

- Carga en 4 etapas: en masa, absorción, flotación, ecualización
- 7 ajustes y personalizaciones estándar de la batería
- Compatible con múltiples tecnologías de batería

Datos y comunicaciones

- Puerto de datos microUSB para actualizaciones de *firmware* y acceso a registros de datos del sistema de 30 días (futura característica)

Accesorios

- Sensor de temperatura remoto (STR)
- Soporte para teléfono móvil (incluido)

Anexo 8. Ficha técnica del Inversor

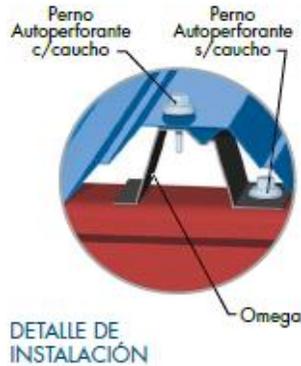
| Model : TW-1500 | | TW-1500-12V | TW-1500-24V | TW-1500-48V |
|-------------------|------------------------------|--|-------------|--------------|
| SALIDA AC: | Potencia continua: | 1500W 3000W | | |
| | Potencia Pico: | 120% < carga 150% < carga | | |
| | Tipo de onda | Sincoidal Pura (THD < 3%) | | |
| | Frecuencia de salida | 50Hz±0.1% or 60Hz±0.1% (Opcional) | | |
| | Voltaje de salida AC | 100~120VAC / 200~240VAC (Opcional) | | |
| DC Input | Voltajes DC de entrada | 12V DC | 24V DC | 48V DC |
| | Rango de voltaje DC | 10.8V-15.5V | 21.6V-31V | 43.2V-62V |
| | Alarma de batería baja | 10.8V±0.2V | 21.6V±0.4V | 43.2V±0.8V |
| | Desconexión de batería baja | 10.2V±0.2V | 20.4V±0.4V | 40.8V±0.8V |
| | Desconexión por voltaje alta | 15.5V±0.2V | 31V±0.4V | 62V±0.8V |
| Eficiencia máxima | | 90% (a toda carga) / 95% (1/3 carga) | | |
| Autoconsumo | | <0.8A | <0.4A | <0.2A |
| Protección | Térmico | Apagado automático con Temperatura >75°C | | |
| | Contra corto circuito | Polaridad Externa a través de fusible | | |
| | Ventilador enfriamiento | A partir de temperatura ≥45°C | | |
| Environmental | Temperatura de operación | -10°C ~ +50°C | | |
| | Humedad | 20% ~ 90% RH | | |
| | Bodegaje | -30°C ~ +70°C | | |
| Físico | Indicadores, LED | Inversor, Falla | | |
| | Dimensiones (mm) | 315*195*135mm | | 6pcs /Carton |
| | Peso (kg) | 2.6 kg | | |
| | Dimensions Carton(mm) | 420*340*460 mm | | |
| | Peso Carton (kg) | 16 kg | | |

Anexo 9. Ficha técnica del techo de la cubierta

PANEL AR - 2000

De la moderna línea **Estilpanel**, el Panel **AR - 2000** es el que ha sido diseñado con el mejor desempeño mecánico y estructural.

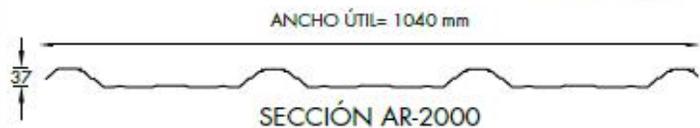
Su exclusivo sello hidráulico, así como sus rigidizadores longitudinales, desarrollados con la más alta tecnología de Novacero hacen de éste un panel excepcional por sus atributos de hermeticidad, resistencia a cargas, accesibilidad y mayor ancho útil. La utilización del conector omega en la instalación de **Estilpanel**, establece el principio de cubierta flotante; es decir, que se adapta a la contracción y dilatación del acero, por efecto de los cambios de temperatura.



Este sistema está diseñado para soportar cargas de succión de viento y para absorber los desplazamientos producidos por los sismos.



| AR - 2000 | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|
| Cuadro de espesores, peso y distancia máxima entre apoyos | | | | | | |
| Espesor (mm) | 0.30 | 0.35 | 0.40 | 0.45 | 0.50 | 0.60 |
| Peso (Kg/m ²) | 2.70 | 3.15 | 3.60 | 4.05 | 4.50 | 5.40 |
| Distancia (m) | 1.20 | 1.60 | 1.80 | 2.10 | 2.40 | 2.60 |



Ancho útil = 1040 mm.
Altura de onda = 37 mm.

USOS

Cubiertas y Paredes

LONGITUD

Según la necesidad del cliente

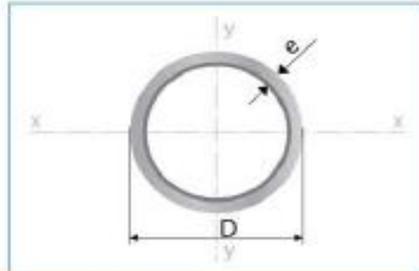
PENDIENTE MÍNIMA

4°

ACCESORIOS

Conectores Omega y Pernos Autoperforantes

Anexo 10. Tubería estructural redonda



Largo Normal:
6 metros
Recubrimiento:
Negro o Galvanizado
Norma de Calidad:
ASTM A 500 Gr. A, B ó C
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2415
Espesores:
Desde 1,50 a 6,00 mm
Observaciones:
Otras dimensiones y largos,
previa consulta

Aplicaciones

- Automotriz y de autopartes: carrocería, guardachoques, tubos de escape, remolques y rodados.
- Agroganadera: maquinaria e implementos agrícolas, avícolas y ganaderos.
- Señalización y vialidad: alumbrado, soportes para señalética.
- Aparatos de gimnasia y fitness.
- Construcción: rejas, portones, columnas, andamios.
- Estructuras: portantes, galpones, invernaderos y naves industriales.

Beneficios

- **Duradero:** Al construir con acero, asegura que su producto tenga una vida útil, superior a los materiales de construcción convencionales.
- **Económico:** Se optimiza el uso del material produciéndose ahorro en obras, por facilidad y rapidez de uso y armado ahorra en tiempo y personal.
- **Ecológico:** Con el uso de acero, se minimiza la utilización de madera y su desecho, por lo que contribuye al medio ambiente.

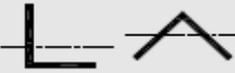
| Designaciones | | Área | Peso | Propiedades Estáticas | | | |
|-------------------|---------|-----------------|-------|-----------------------|-----------------|--------|------|
| Diámetro Exterior | Espesor | | | Flexión | | | |
| D | e | A | P | I | W | i | |
| pulg. | mm | cm ² | kg/m | cm ⁴ | cm ³ | cm | |
| 3/4 | 19,10 | 1,40 | 0,78 | 0,61 | 0,30 | 0,32 | 0,63 |
| | | 1,50 | 0,83 | 0,65 | 0,32 | 0,34 | 0,62 |
| | | 1,80 | 0,98 | 0,77 | 0,37 | 0,39 | 0,61 |
| 7/8 | 22,20 | 2,00 | 1,07 | 0,84 | 0,39 | 0,41 | 0,61 |
| | | 1,40 | 0,92 | 0,72 | 0,50 | 0,45 | 0,74 |
| | | 1,50 | 0,98 | 0,77 | 0,53 | 0,47 | 0,73 |
| 1 | 25,40 | 1,80 | 1,16 | 0,91 | 0,61 | 0,55 | 0,72 |
| | | 2,00 | 1,27 | 1,00 | 0,66 | 0,59 | 0,72 |
| | | 1,40 | 1,06 | 0,83 | 0,76 | 0,60 | 0,85 |
| 1 1/4 | 31,80 | 1,50 | 1,13 | 0,88 | 0,81 | 0,64 | 0,85 |
| | | 1,80 | 1,33 | 1,05 | 0,93 | 0,74 | 0,84 |
| | | 2,00 | 1,47 | 1,15 | 1,01 | 0,80 | 0,83 |
| 1 1/2 | 38,10 | 1,40 | 1,33 | 1,05 | 1,54 | 0,97 | 1,07 |
| | | 1,50 | 1,43 | 1,12 | 1,63 | 1,03 | 1,07 |
| | | 1,80 | 1,69 | 1,33 | 1,91 | 1,20 | 1,06 |
| 1 3/4 | 44,50 | 2,00 | 1,87 | 1,47 | 2,08 | 1,31 | 1,05 |
| | | 1,40 | 1,61 | 1,27 | 2,72 | 1,43 | 1,30 |
| | | 1,50 | 1,72 | 1,35 | 2,89 | 1,52 | 1,30 |
| 1 7/8 | 47,60 | 1,80 | 2,05 | 1,61 | 3,39 | 1,78 | 1,28 |
| | | 2,00 | 2,27 | 1,78 | 3,71 | 1,95 | 1,28 |
| | | 1,40 | 1,89 | 1,49 | 4,39 | 1,98 | 1,52 |
| 2 | 50,80 | 1,50 | 2,02 | 1,59 | 4,67 | 2,10 | 1,52 |
| | | 1,80 | 2,41 | 1,89 | 5,49 | 2,47 | 1,51 |
| | | 2,00 | 2,67 | 2,09 | 6,02 | 2,71 | 1,50 |
| 2 3/8 | 60,30 | 1,40 | 1,89 | 1,49 | 4,39 | 1,98 | 1,52 |
| | | 1,50 | 2,02 | 1,59 | 4,67 | 2,10 | 1,52 |
| | | 1,80 | 2,41 | 1,89 | 5,49 | 2,47 | 1,51 |
| 2 1/2 | 63,50 | 2,00 | 2,67 | 2,09 | 6,02 | 2,71 | 1,50 |
| | | 1,40 | 1,89 | 1,49 | 4,39 | 1,98 | 1,52 |
| | | 1,50 | 2,02 | 1,59 | 4,67 | 2,10 | 1,52 |
| 3 | 76,20 | 1,80 | 2,59 | 2,03 | 6,81 | 2,86 | 1,62 |
| | | 2,00 | 2,87 | 2,25 | 7,47 | 3,14 | 1,61 |
| | | 1,40 | 2,17 | 1,71 | 6,63 | 2,61 | 1,75 |
| 4 | 101,60 | 1,50 | 2,32 | 1,82 | 7,06 | 2,78 | 1,74 |
| | | 1,80 | 2,77 | 2,18 | 8,33 | 3,28 | 1,73 |
| | | 2,00 | 3,07 | 2,41 | 9,14 | 3,60 | 1,73 |
| 5 | 127,00 | 3,00 | 4,51 | 3,54 | 12,92 | 5,09 | 1,69 |
| | | 4,00 | 5,88 | 4,62 | 16,22 | 6,39 | 1,66 |
| | | 1,50 | 2,77 | 2,18 | 12,00 | 3,98 | 2,08 |
| 6 | 152,40 | 1,80 | 3,31 | 2,60 | 14,18 | 4,70 | 2,07 |
| | | 2,00 | 3,68 | 2,88 | 15,80 | 5,17 | 2,06 |
| | | 3,00 | 5,40 | 4,24 | 22,25 | 7,38 | 2,03 |
| 5 5/8 | 168,30 | 4,00 | 7,08 | 5,56 | 28,21 | 9,35 | 2,00 |
| | | 1,50 | 2,92 | 2,29 | 14,05 | 4,42 | 2,19 |
| | | 1,80 | 3,49 | 2,74 | 16,62 | 5,23 | 2,18 |
| 6 1/2 | 182,90 | 2,00 | 3,86 | 3,03 | 18,29 | 5,76 | 2,18 |
| | | 3,00 | 5,70 | 4,48 | 26,15 | 8,24 | 2,14 |
| | | 4,00 | 7,48 | 5,87 | 33,24 | 10,47 | 2,11 |
| 7 | 203,20 | 1,50 | 3,52 | 2,76 | 24,56 | 6,45 | 2,64 |
| | | 1,80 | 4,21 | 3,30 | 29,13 | 7,65 | 2,63 |
| | | 2,00 | 4,66 | 3,66 | 32,11 | 8,43 | 2,62 |
| 8 | 254,00 | 3,00 | 6,90 | 5,42 | 46,29 | 12,15 | 2,59 |
| | | 4,00 | 9,07 | 7,12 | 59,30 | 15,56 | 2,56 |
| | | 5,00 | 11,18 | 8,78 | 71,22 | 18,69 | 2,52 |
| 9 | 304,80 | 2,00 | 6,26 | 4,91 | 77,63 | 15,28 | 3,52 |
| | | 3,00 | 9,29 | 7,29 | 113,04 | 22,25 | 3,49 |
| | | 4,00 | 12,26 | 9,63 | 146,28 | 28,80 | 3,45 |
| 10 | 355,60 | 5,00 | 15,17 | 11,91 | 177,47 | 34,93 | 3,42 |
| | | 6,00 | 18,02 | 14,15 | 206,68 | 40,68 | 3,39 |
| | | 2,00 | 7,85 | 6,17 | 153,44 | 24,16 | 4,42 |
| 11 | 406,40 | 3,00 | 11,69 | 9,17 | 224,75 | 35,39 | 4,39 |
| | | 4,00 | 15,46 | 12,13 | 292,61 | 46,08 | 4,35 |
| | | 5,00 | 19,16 | 15,04 | 357,14 | 56,24 | 4,32 |
| 12 | 457,20 | 6,00 | 22,81 | 17,90 | 418,44 | 65,90 | 4,28 |
| | | 3,00 | 14,08 | 11,05 | 393,01 | 51,58 | 5,28 |
| | | 4,00 | 18,65 | 14,64 | 513,73 | 67,42 | 5,25 |
| 13 | 508,00 | 5,00 | 23,15 | 18,18 | 629,54 | 82,62 | 5,21 |
| | | 6,00 | 27,60 | 21,68 | 740,57 | 97,19 | 5,18 |
| | | 3,00 | 15,58 | 12,23 | 532,28 | 63,25 | 5,85 |
| 14 | 558,80 | 4,00 | 20,65 | 16,21 | 697,09 | 82,84 | 5,81 |
| | | 5,00 | 25,65 | 20,14 | 855,85 | 101,70 | 5,78 |
| | | 6,00 | 30,59 | 24,02 | 1008,69 | 119,87 | 5,74 |

Anexo 11. Relación ancho – espesor: miembros sujetos a compresión axial [35]

| <p style="text-align: center;">TABLE B4.1a Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements Members Subject to Axial Compression</p> | | | | | |
|--|------------------------|---|--|--|--|
| Case | Description of Element | Width-to-Thickness Ratio | Limiting Width-to-Thickness Ratio λ_r (nonslender/slender) | Examples | |
| Unstiffened Elements | 1 | Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections, outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees | b/t | $0.56 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| | 2 | Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections | b/t | $0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ ^[a] | |
| | 3 | Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements | b/t | $0.45 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| | 4 | Stems of tees | d/t | $0.75 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| Stiffened Elements | 5 | Webs of doubly symmetric rolled and built-up I-shaped sections and channels | h/t_w | $1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| | 6 | Walls of rectangular HSS | b/t | $1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| | 7 | Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds | b/t | $1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| | 8 | All other stiffened elements | b/t | $1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ | |
| | 9 | Round HSS | D/t | $0.11 \frac{E}{F_y}$ | |

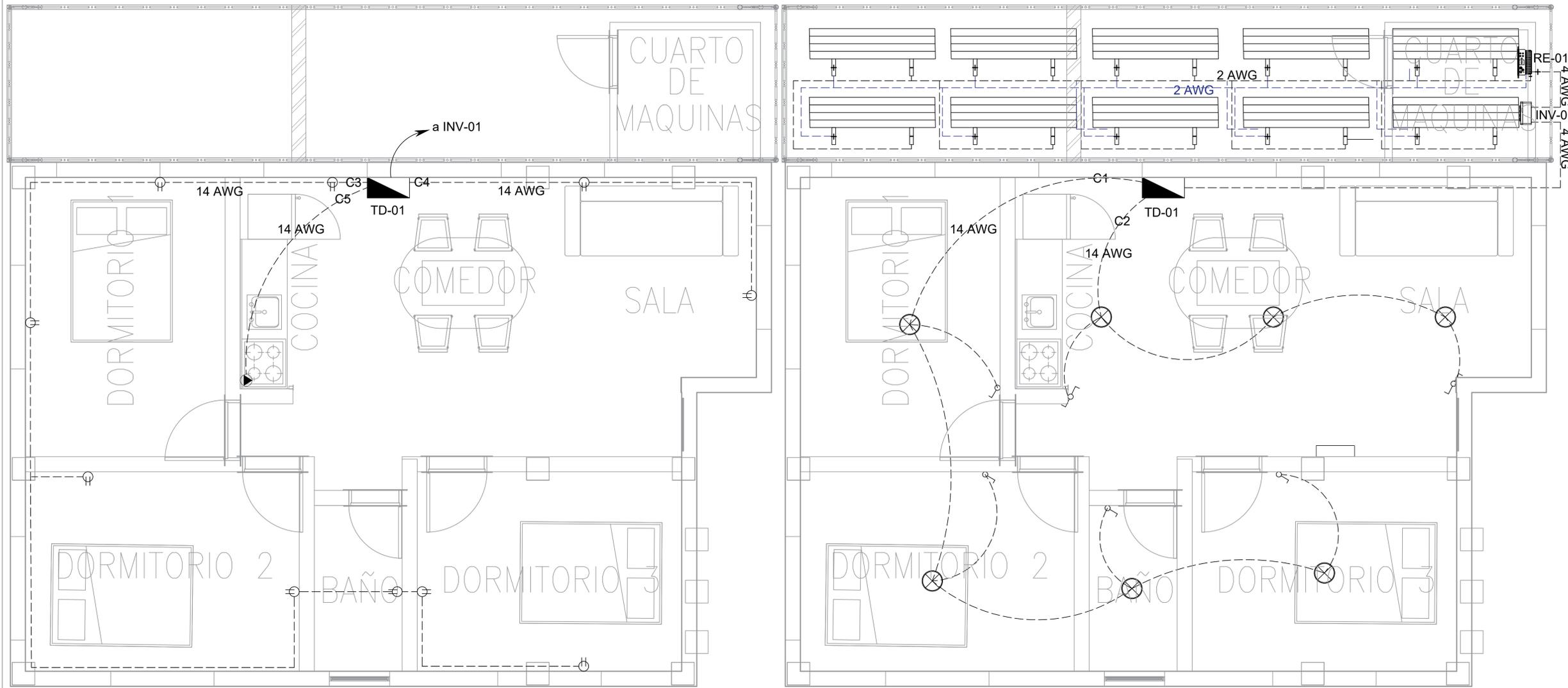
^[a] $k_c = 4\sqrt{h/t_w}$, but shall not be taken less than 0.35 nor greater than 0.76 for calculation purposes.

Anexo 12. Diseño de miembros a compresión [35]

| TABLE USER NOTE E1.1 Selection Table for the Application of Chapter E Sections | | | | |
|---|--------------------------|--------------|-----------------------|-----------------|
| Cross Section | Without Slender Elements | | With Slender Elements | |
| | Sections in Chapter E | Limit States | Sections in Chapter E | Limit States |
|  | E3 E4 | FB TB | E7 | LB FB TB |
|  | E3 E4 | FB FTB | E7 | LB FB FTB |
|  | E3 | FB | E7 | LB FB |
|  | E3 | FB | E7 | LB FB |
|  | E3 E4 | FB FTB | E7 | LB FB FTB |
|  | E6 E3 E4 | FB FTB | E6 E7 | LB FB FTB |
|  | E5 | | E5 | |
|  | E3 | FB | N/A | N/A |
| Unsymmetrical shapes other than single angles | E4 | FTB | E7 | LB FTB |

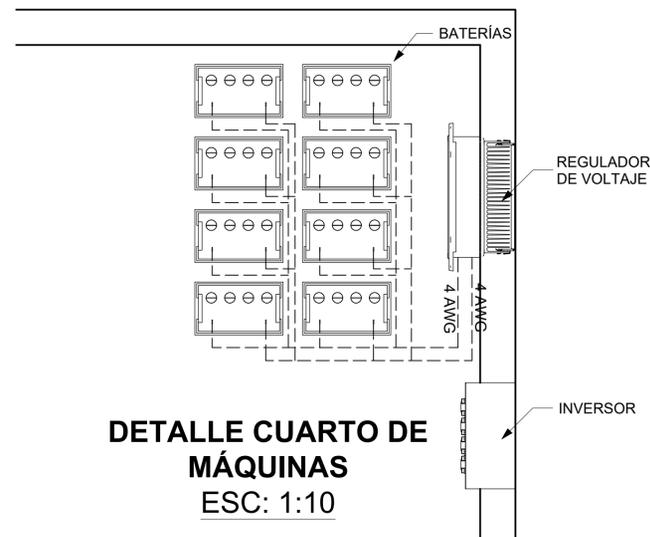
FB = flexural buckling, TB = torsional buckling, FTB = flexural-torsional buckling, LB = local buckling, N/A = not applicable

Anexo 13. Planos de conexión del sistema fotovoltaico aislado en la vivienda encuesta



INSTALACIÓN TOMACORRIENTES
ESC: 1:30

INSTALACIÓN LUMINARIAS
ESC: 1:30



DETALLE CUARTO DE MÁQUINAS
ESC: 1:10



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA

| SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN |
|---------|-------------------------------------|
| | LUMINARIA |
| | TABLERO DE DISTRIBUCIÓN |
| | INVERTIDOR |
| | REGULADOR |
| | PANEL SOLAR |
| | PVC D=3/4" |
| | INTERRUPTOR SIMPLE |
| | INTERRUPTOR DOBLE |
| | INTERRUPTOR CONMUTABLE |
| | TOMACORRIENTE DOBLE POLARIZADO 120V |
| | SALIDA ESPECIAL |

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:
"DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA"

AUTOR:
QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

CONTIENE:
PLANOS DE INSTALACIÓN DE PLANOS ELÉCTRICOS

ÁREA:
86 m²

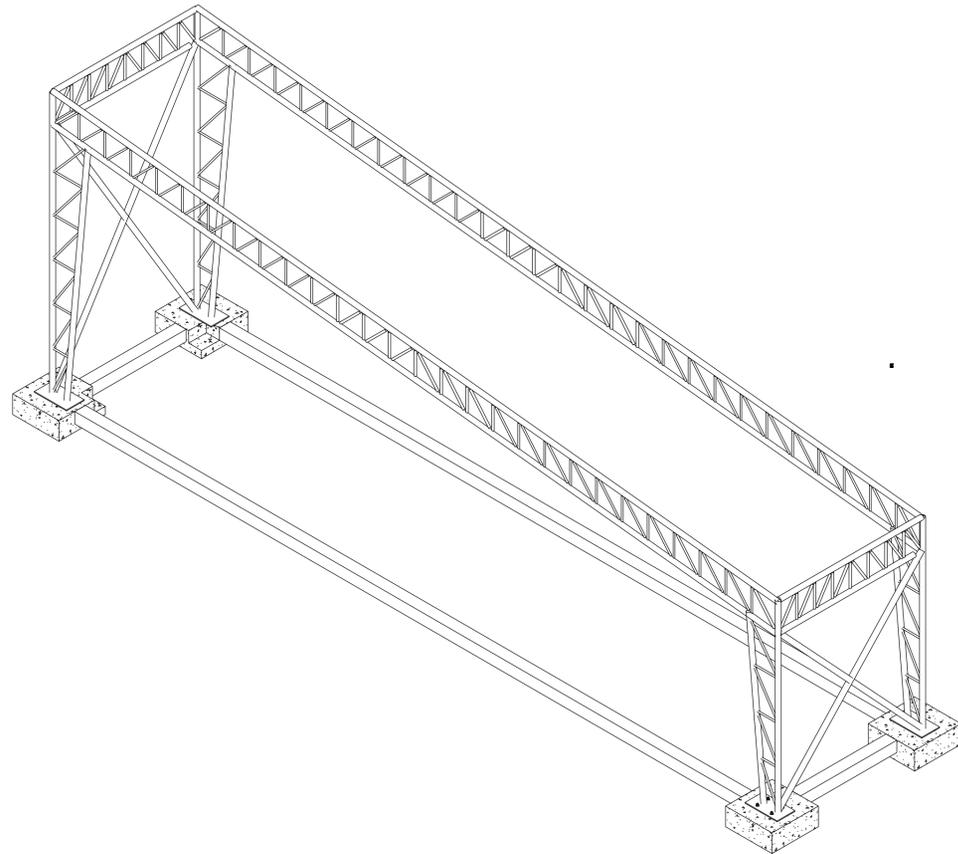
FECHA:
MARZO 2020

DISEÑO:
QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

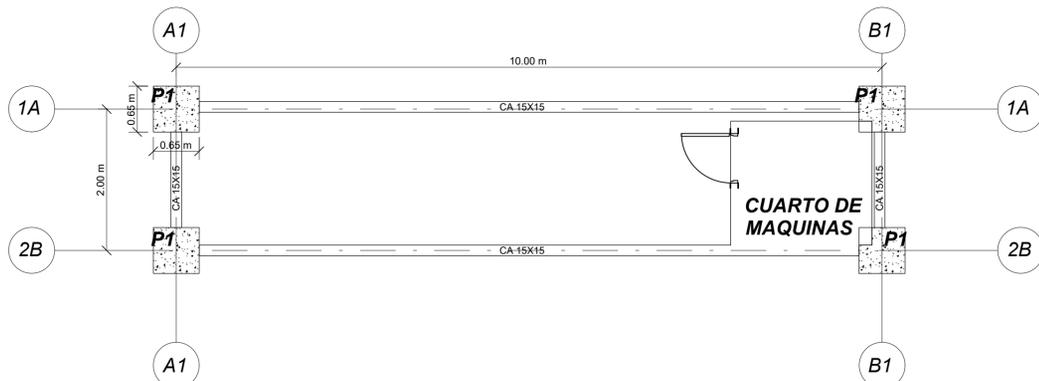
TUTOR:
ING. MG. ALEX LÓPEZ

PLANO:
PLANO 1/4

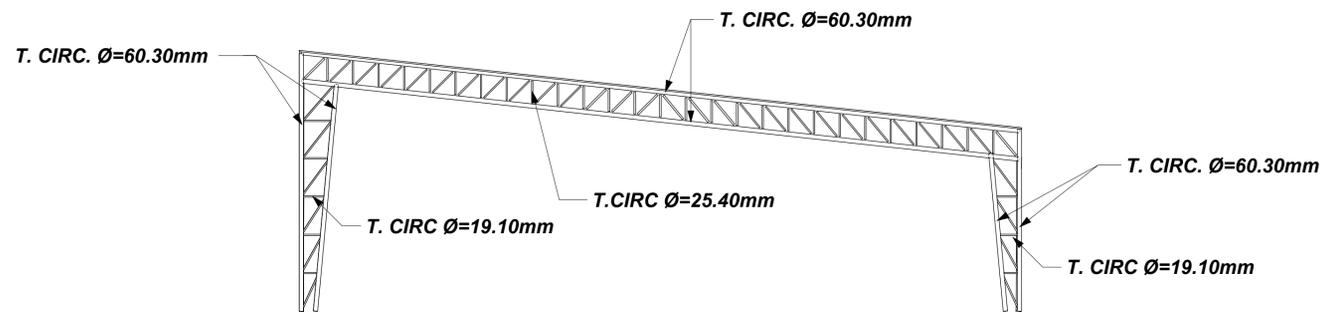
ESCALA:
INDICADAS



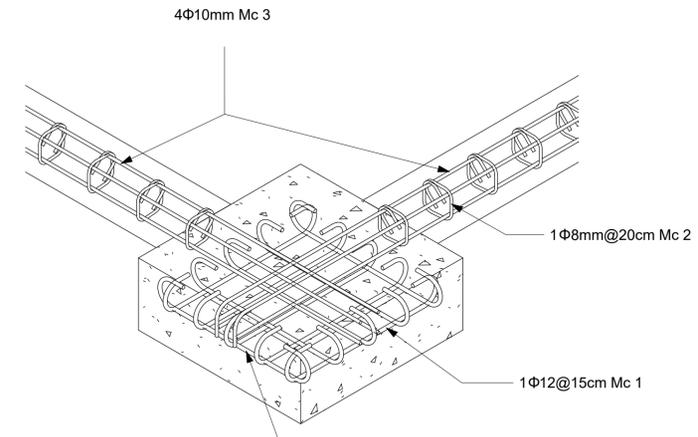
ISOMETRÍA ESTRUCTURAL
ESC: S/N



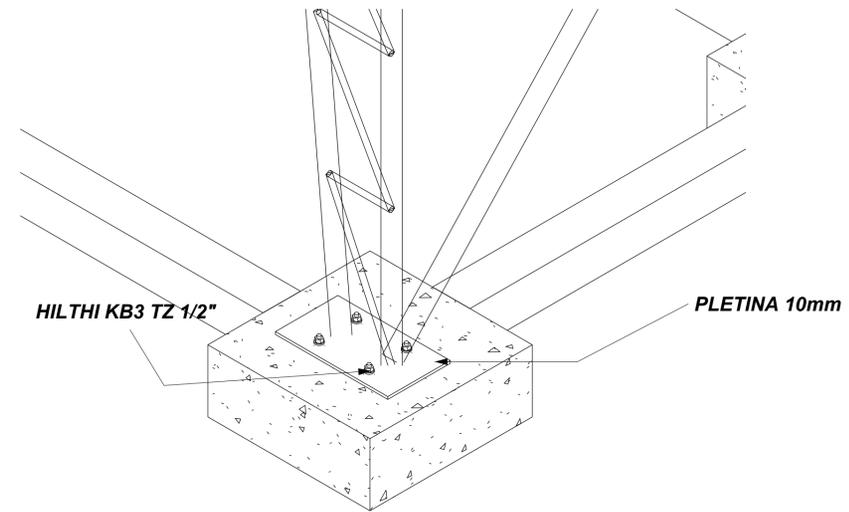
CIMENTACIÓN
ESC: 1:50



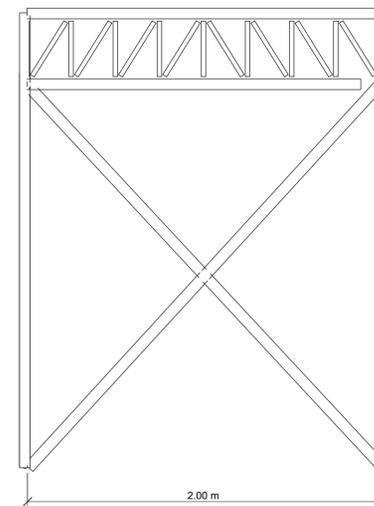
VISTA DE ESTRUCTURA
ESC: 1:50



ARMADURA ESTRUCTURAL
ESC: S/N



DETALLE ANCLAJE
ESC: S/N



VISTA DE ESTRUCTURA
ESC: 1:20



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

UBICACIÓN

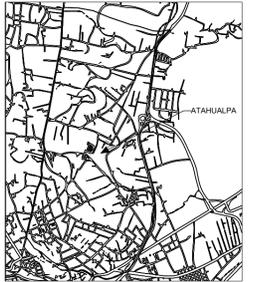


Tabla de aceros

| MC | CANT. | φ | A | B | G | H | J |
|----|-------|----|------|-----|------|-----|------|
| 1 | 40 | 12 | 14,1 | 61 | 14,1 | | 10,4 |
| 2 | 16 | 10 | | 259 | | | |
| 3 | 16 | 10 | | 106 | | | |
| 4 | 112 | 8 | 8,3 | 11 | 8,3 | 4,9 | |

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:

"DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARRROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA"

AUTOR:

QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

CONTIENE:

PLANO ESTRUCTURAL

ÁREA:

20 m²

FECHA:

MARZO 2020

DISEÑO:

QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

TUTOR:

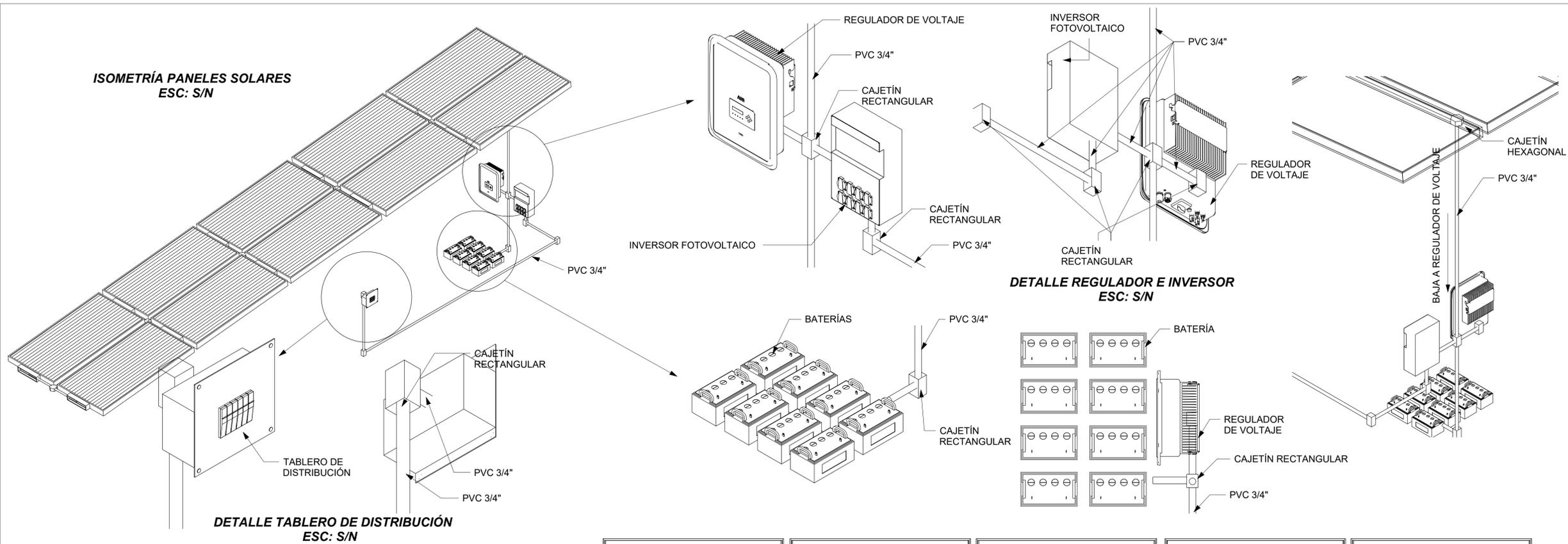
ING. MG. ALEX LÓPEZ

PLANO:

PLANO 2/4

ESCALA:

INDICADAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
 CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL



Tabla de Cuantificación de Cableado Eléctrico

| CABLE 14 AWG | |
|--------------|---------------|
| FASE | 100,925 |
| NEUTRO | 68,255 |
| TIERRA | 44,66 |
| TOTAL | 213,84 |
| CABLE 2 AWG | |
| FASE | 19,14 |
| NEUTRO | 19,14 |
| TOTAL | 38,28 |
| CABLE 4 AWG | |
| FASE | 12,55 |
| NEUTRO | 12,55 |
| TOTAL | 25,10 |

Cantidades expresadas en metros

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:
 "DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARROQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA"

AUTOR:
 QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

CONTIENE:
 PLANOS DE INSTALACIÓN DE SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

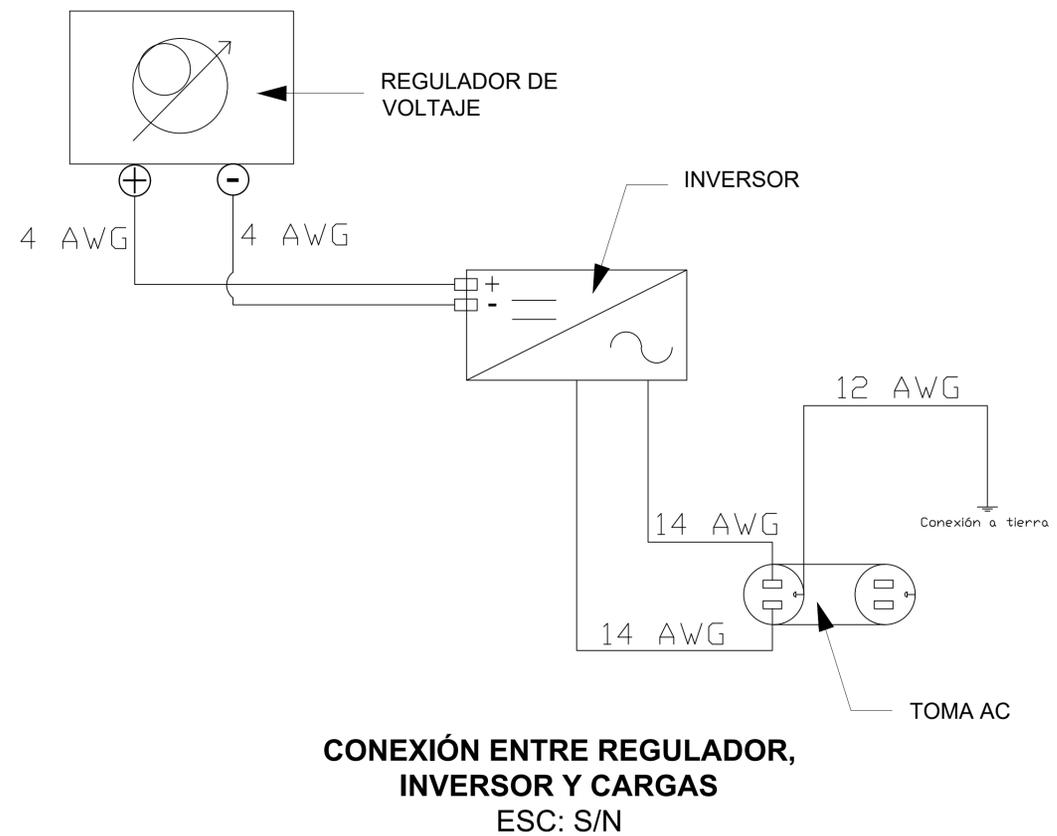
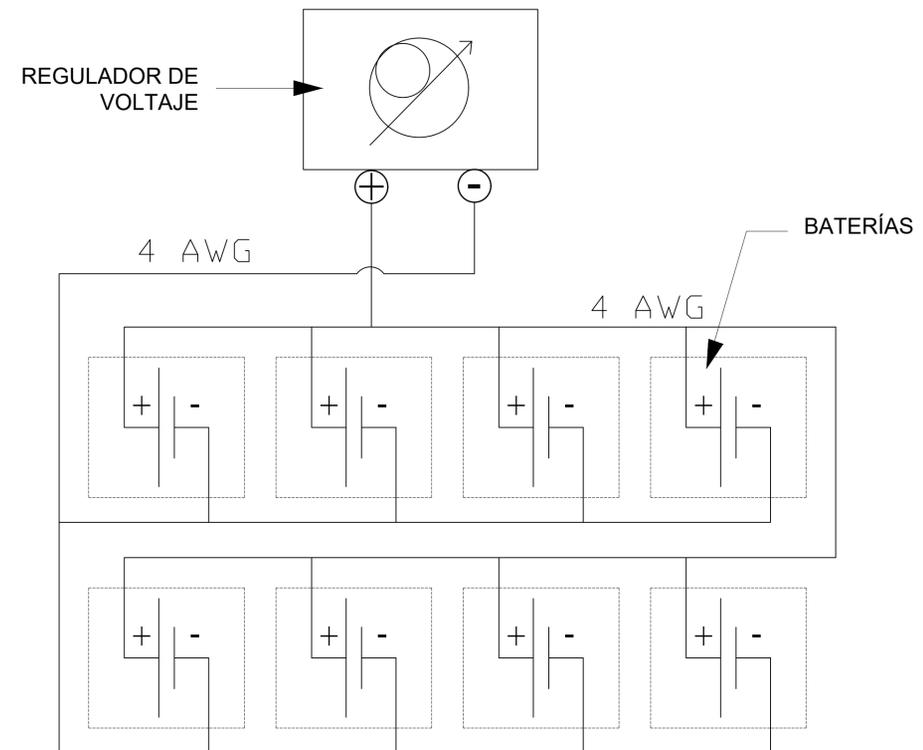
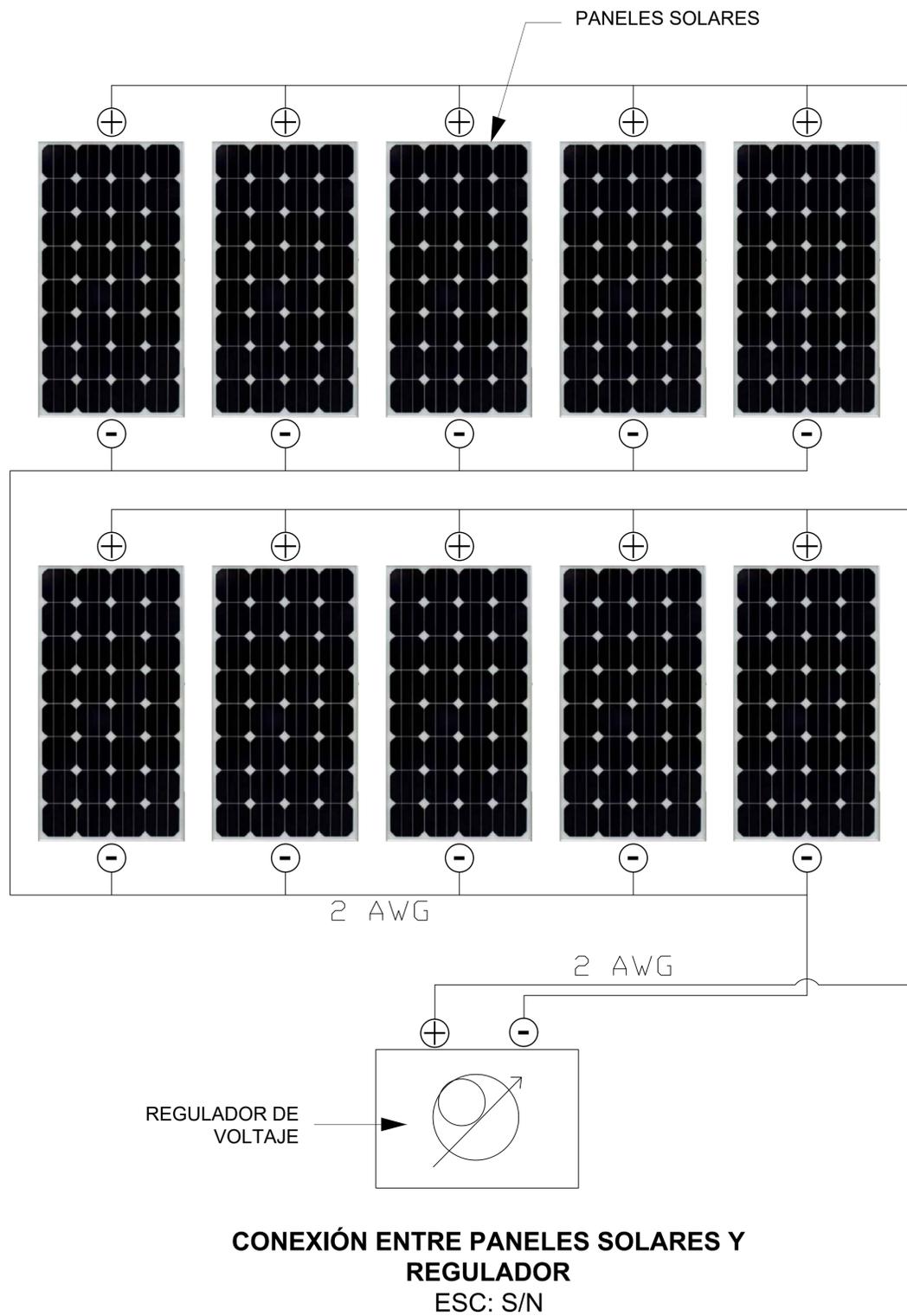
ÁREA: 86 m²
FECHA: MARZO 2020

DISEÑO:
 QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

TUTOR:
 ING. MG. ALEX LÓPEZ

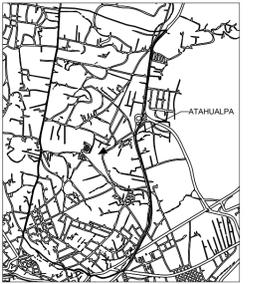
PLANO: PLANO 3/4

ESCALA: INDICADAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

UBICACIÓN



SIMBOLOGÍA

| SÍMBOLO | DESCRIPCIÓN |
|---------|----------------|
| — | CABLE POSITIVO |
| — | CABLE NEGATIVO |

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

TEMA:
"DISEÑO DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE ENERGÍAS RENOVABLES COMO LA SOLAR EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN LA PARRQUIA ATAHUALPA, CANTÓN AMBATO, PROVINCIA TUNGURAHUA"

AUTOR:
QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

CONTIENE:
CONEXIÓN ENTRE COMPONENTES DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

ÁREA: NINGUNA
FECHA: MARZO 2020

DISEÑO:
QUINTANA VÁSQUEZ ROBERTO SEBASTIÁN

TUTOR:
ING. MG. ALEX LÓPEZ

PLANO: PLANO 4/4

ESCALA: INDICADAS