

**Gestión de prefactibilidad y diseño de una microrred eléctrica para una finca productiva
del municipio Planadas del departamento del Tolima**

Neider Eduardo Delgado Anaya, David Vanegas Rivero

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingenieros Electricistas

Director

Manuel José Ortiz Rangel

Magíster en Ingeniería Eléctrica

Codirector

Gabriel Ordoñez Plata

Doctor en Ingeniería Industrial

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

Para nuestras familias.

En memoria de Enrique Vanegas.

Agradecimientos

A Dios nuestro señor, por darme la fuerza, las habilidades, el conocimiento y la perseverancia necesaria para culminar esta meta.

A mis padres, Raúl Delgado y Sandra Anaya quienes han estado apoyándome durante este largo camino, alentándome siempre a ser mejor hijo, estudiante y persona.

A mi hermano, Jesús Delgado quien me ha brindado un apoyo moral en aquellas noches de investigación.

A mi familia en general, especialmente a mi tía Olga Anaya quien ha sido como una segunda madre para mí, que con sus oraciones hizo esto posible.

A mis compañeros de estudio quienes me acompañaron en este largo camino de formación.

A mis profesores que fueron una guía, un apoyo para la elaboración de este proyecto, especialmente al Ingeniero Manuel José Ortiz Rangel quien con su ayuda hizo esto posible.

Neider Eduardo Delgado Anaya

A Dios por ser mi fortaleza y guía, por permitirme culminar esta etapa de mi vida con la satisfacción de vencer las dificultades y obstáculos más difíciles durante estos años.

A mi familia, especialmente a mi padre Rodolfo Vanegas, por su apoyo incondicional y por enseñarme que el camino de la vida se lleva con entusiasmo y verriquera.

A mi compañera de vida Karenlyn Díaz, quien con su amor, comprensión y compañía ha sido una luz en mi vida.

A mis compañeros de formación, especialmente a Omar Sánchez, por su amistad y experiencias vividas durante mi época universitaria.

A Don Josué, dueño de la Finca La Roma, en el municipio de Planadas-Tolima, por brindarnos el espacio en su propiedad para la toma de datos necesarios para ejecutar este proyecto.

A la Universidad Industrial de Santander y a mis docentes del programa de Ingeniería Eléctrica por su aporte académico en mi proceso de formación universitaria.

David Vanegas Rivero

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	21
1. Objetivos	23
1.1 Objetivo general	23
1.2 Objetivos específicos	23
2. Marco referencial	24
2.1 Índice poblacional	25
2.2 Índice de industria y comercio	26
2.3 Índice de producción agrícola	26
2.4 Índice de producción ganadera y pecuaria	26
2.5 Producción cafetera	27
3. Descripción de la zona de estudio	28
3.1 Detalles de la zona de interés	28
3.2 Fuentes renovables no convencionales disponibles en la zona de interés	30
3.2.1 Energía solar	31
3.2.1.1 Insolación	34
3.2.1.2 Irradiación	34
3.2.1.2 Irradiancia	35
3.2.2 Energía eólica	36
3.2.3 Energía hidráulica	39
3.2.4 Biomasa	43
3.3 Fuentes de energía no renovables	44

4. Cálculo de la demanda	45
4.1 Perfiles de uso	47
4.2 Determinación del consumo	50
4.3 Perfiles de carga.....	51
5. Análisis y estudio de alternativas para la generación de energía.....	53
5.1 Evaluación de criterios.....	54
5.1.1 Criterio 1: Impacto ambiental	54
5.1.2 Criterio 2: Confiabilidad	56
5.1.3 Criterio 3: Eficiencia.....	56
5.2 Análisis en el software en Homer PRO	57
5.2.1 Selección de parámetros	58
5.2.2 Caracterización de la fuente biomasa	58
5.2.3 Caracterización de la fuente solar	59
5.2.4 Caracterización de la temperatura.....	60
5.2.5 Caracterización del viento.....	60
5.2.6 Caracterización del recurso hídrico	61
5.3 Estimación del perfil de carga en Homer PRO.....	62
5.4 Selección de componentes y equipos en Homer PRO	62
5.4.1 Modelo de módulo voltaico	62
5.4.2 Modelo de baterías	63
5.4.3 Modelo inversor	64
5.4.4 Modelo generador diésel.....	64
5.4.5 Modelo biomasa.....	65

5.4.6 Modelo turbina eólica	66
5.4.7 Modelo turbina hidráulica.....	66
5.5 Simulación de la MG en Homer PRO.....	67
5.6 Análisis de los resultados obtenidos en Homer PRO.....	68
5.6.1 Criterio 1: Impacto ambiental	68
5.6.2 Criterio 2: Confiabilidad.....	72
5.6.3 Criterio 3: Eficiencia.....	74
5.7 Combinaciones y posibles soluciones en Homer PRO	76
5.7.1 MCH con redundancia en filtro y SFV	76
5.7.1.1 SFV sin baterías.	76
5.7.1.2 SFV con baterías.	76
5.7.2 MCH con redundancia en turbinas y SFV	77
5.7.3 MCH y SFV	77
6. Diseño del sistema hidráulico	79
6.1 Descripción de los componentes y su funcionamiento.....	80
6.2 Bases para el diseño de una central micro eléctrica.....	81
6.3 Determinación del caudal	82
6.4 Elaboración de la curva de duración de los caudales.....	82
6.5 Caudal ecológico o reservado	84
6.6 Altura neta del salto	85
6.7 Duración de potencia	85
6.8 Disponibilidad por mantenimiento	88
6.8.1 Disponibilidad por agua turbia.....	88

6.9 Determinación de equipos.....	89
6.9.1 Cálculo de captación de agua.....	89
6.9.2 Cálculo de la rugosidad relativa.....	91
6.9.3 Cálculo de tuberías.....	91
6.9.4 Cálculo de tipo de flujo.....	92
6.9.4.1 Número de Reynolds.....	93
6.9.4.2 Coeficiente de fricción (λ).	93
6.9.5 Determinación de pérdidas	94
6.9.5.1 Pérdidas de carga por fricción.....	94
6.9.5.2 Pérdidas de carga por tubería.....	94
6.9.5.3 Cálculo de la velocidad en la tubería.	96
6.9.5.4 Cálculo de altura y potencia neta.	97
6.9.6 Diseño y selección de la turbina	99
6.9.6.1 Velocidad específica.	99
6.9.7 Dimensionamiento de la turbina Francis	101
6.9.7.1 Tamaño del rodete.....	101
6.9.7.2 Tamaño de la carcasa o caracol.	104
6.9.7.3 Tamaño del tubo de aspiración.	105
6.9.8 Selección del generador	107
7. Diseño solar fotovoltaico	109
7.1 Descripción de los componentes y su funcionamiento.....	110
7.1.1 Generador fotovoltaico (paneles).....	110
7.1.2 Regulador de carga	110

7.1.3 Inversores	110
7.1.4 Protecciones	110
7.1.4.1 Dispositivos de sobretensión.....	111
7.1.4.2 Sistemas de puesta a tierra.	111
7.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	111
7.2.1 Caracterización y dimensionamiento de componentes	111
7.2.2 Orientación e inclinación óptima.....	112
7.2.3 Dimensionamiento del panel solar.....	112
7.2.4 Dimensionamiento del banco de baterías	113
7.2.5 Dimensionamiento del regulador.....	115
7.2.6 Dimensionamiento del inversor	116
7.2.7 Análisis gráfico	116
7.3 Selección de fichas técnicas de los equipos	118
7.3.1 Panel solar.....	118
7.3.2 Baterías	119
8. Resumen general Sistemas de Generación	120
9. Memoria RETIE.....	121
10. Análisis en Power World	121
11. Conclusiones.....	122
Referencias bibliográficas.....	124
Apéndices.....	126

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 <i>Indicador de población en Planadas, Tolima</i>	25
Tabla 2 <i>Producción agrícola del municipio de Planadas, Tolima</i>	26
Tabla 3 <i>Estructura de la población animal en el municipio de Planadas, Tolima</i>	27
Tabla 4 <i>Incidencia solar en el departamento del Tolima</i>	34
Tabla 5 <i>Potencia y factor de potencia de las cargas existentes en la zona residencial</i>	46
Tabla 6 <i>Potencia y factor de potencia de las cargas existentes en la zona comercial</i>	46
Tabla 7 <i>Potencia y factor de potencia de las cargas existentes en la zona industrial</i>	46
Tabla 8 <i>Perfil de uso en la zona residencial</i>	48
Tabla 9 <i>Perfil de uso en la zona comercial</i>	48
Tabla 10 <i>Perfil de uso en la zona industrial</i>	49
Tabla 11 <i>Consumo diario de las cargas para la zona residencial</i>	50
Tabla 12 <i>Consumo diario de las cargas para la zona comercial</i>	50
Tabla 13 <i>Consumo diario de las cargas para la zona industrial</i>	51
Tabla 14 <i>Análisis de los parámetros de impacto ambiental</i>	72
Tabla 15 <i>Resultados de la evaluación de los parámetros de impacto ambiental</i>	72
Tabla 16 <i>Aproximación de costos significativos</i>	78
Tabla 17 <i>Costos de las configuraciones propuestas</i>	78
Tabla 18 <i>Análisis de confiabilidad y operación de las configuraciones propuestas</i>	79
Tabla 19 <i>Porcentajes de duración de los caudales</i>	84
Tabla 20 <i>Cálculo de energía y potencia a partir del caudal</i>	86

Tabla 21	<i>Selección de turbina según velocidad específica.....</i>	100
Tabla 22	<i>Valores de las dimensiones de la carcasa de la turbina Francis</i>	105
Tabla 23	<i>Valores de las dimensiones del tubo de aspiración de la turbina Francis.....</i>	106
Tabla 24	<i>Datos generales del generador seleccionado.....</i>	108
Tabla 25	<i>Periodos de diseño.....</i>	112
Tabla 26	<i>Resumen del análisis y dimensionamiento de los Sistemas de Generación</i>	121
Tabla 27	<i>Factores de potencia según la carga.....</i>	147
Tabla 28	<i>Medidas tomadas para el cálculo de la resistividad del material.....</i>	157
Tabla 29	<i>Parámetros para el cálculo de la malla de puesta a tierra</i>	158
Tabla 30	<i>Selección del parámetro K_f.....</i>	160
Tabla 31	<i>Selección del calibre del conductor.....</i>	161
Tabla 32	<i>Cálculo de factor de disminución de la capa superficial y factor de reflexión entre resistividades de materiales.....</i>	161
Tabla 33	<i>Cálculo de tensiones de paso y toque (E_p-50, E_t-50).....</i>	162
Tabla 34	<i>Evaluación de la resistencia de la puesta a tierra (R_g)</i>	163
Tabla 35	<i>Selección de la impedancia Z_{eq}.....</i>	164
Tabla 36	<i>Cálculo del factor de elevación del potencial de tierra GPR.....</i>	164
Tabla 37	<i>Fórmulas para el cálculo del número de conductores paralelos de una malla</i>	165
Tabla 38	<i>Cálculo de las dimensiones y número de conductores de la malla de puesta a tierra.....</i>	166
Tabla 39	<i>Comparación entre las tensiones de paso y de toque</i>	167
Tabla 40	<i>Cálculo de las tensiones base del sistema</i>	168
Tabla 41	<i>Cálculo de U_{rp}.....</i>	169
Tabla 42	<i>Condiciones para la selección del factor de deslastre (K_d).....</i>	170

Tabla 43 <i>Análisis de sobretensión de rechazo de carga</i>	170
Tabla 44 <i>Selección del Urp</i>	170
Tabla 45 <i>Selección y cálculo de Ue2</i>	172
Tabla 46 <i>Selección del Up2</i>	172
Tabla 47 <i>Análisis de tensión de truncamiento</i>	173
Tabla 48 <i>Cálculo del COV, TOV y tensiones residuales</i>	173
Tabla 49 <i>Selección del Ups y Upl</i>	174
Tabla 50 <i>Comparación de resultados</i>	174
Tabla 51 <i>Selección del factor Kcd y cálculo del Ucw para la entrada</i>	175
Tabla 52 <i>Selección del factor Kcd y cálculo del Ucw para cualquier equipo excepto en la entrada</i>	176
Tabla 53 <i>Selección de parámetros y cálculo de Ucw</i>	176
Tabla 54 <i>Análisis de la tensión Ucw por aislamiento externo</i>	177
Tabla 55 <i>Cálculo de las sobretensiones Urw por soporte de frecuencia de potencia</i>	177
Tabla 56 <i>Cálculo de las sobretensiones Urw por resistencia al impulso de conmutación</i>	178
Tabla 57 <i>Cálculo de las sobretensiones Urw por resistencia al impulso del rayo</i>	179
Tabla 58 <i>Conversión de tensiones a tensiones normalizadas</i>	179
Tabla 59 <i>Cálculo de canalizaciones</i>	181
Tabla 60 <i>Matriz de riesgo por electrocución debido a ausencia de electricidad del proyecto en general</i>	184
Tabla 61 <i>Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por electrocución por ausencia de electricidad</i>	185
Tabla 62 <i>Matriz de riesgos por electrocución por rayos para el proyecto en general</i>	186

Tabla 63 <i>Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por electrocución por rayos</i>	186
Tabla 64 <i>Matriz de riesgos por electrocución ocasionada por sobrecarga de tableros en general</i>	187
Tabla 65 <i>Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por electrocución por sobrecarga de tableros en general</i>	187
Tabla 66 <i>Matriz de riesgos por electrocución por tensión de contacto de tableros y cuartos técnicos en general</i>	188
Tabla 67 <i>Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por tensión de contacto de tableros y cuartos técnicos en general</i>	188
Tabla 68 <i>Matriz de riesgos por electrocución debido a equipos defectuosos de tableros y cuartos técnicos en general</i>	189
Tabla 69 <i>Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por equipos defectuosos de tableros y cuartos técnicos en general</i>	189
Tabla 70 <i>Matriz de riesgos por electrocución debido a contacto directo de tableros y cuartos técnicos en general</i>	190
Tabla 71 <i>Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por contacto directo de tableros y cuartos técnicos en general</i>	191

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 <i>Imagen satelital de la zona de estudio</i>	28
Figura 2 <i>Gráfico del espectro electromagnético</i>	31
Figura 3 <i>Mapa de radiación solar</i>	32
Figura 4 <i>Gráfica de radiación solar en el departamento del Tolima</i>	33
Figura 5 <i>Gráfica de brillo solar en el departamento del Tolima</i>	33
Figura 6 <i>Irradiación solar en el municipio de Planadas, Tolima</i>	35
Figura 7 <i>Irradiancia solar en el departamento del Tolima</i>	35
Figura 8 <i>Distribución de Weibull</i>	37
Figura 9 <i>Desviación estándar de Weibull</i>	38
Figura 10 <i>Velocidad del viento en Colombia (m/s)</i>	38
Figura 11 <i>Esquema didáctico de una central hidroeléctrica</i>	39
Figura 12 <i>Mapa del potencial hídrico en Colombia</i>	40
Figura 13 <i>Mapa del promedio de lluvias anuales en Colombia</i>	41
Figura 14 <i>Días promedio con lluvia en Ibagué, Tolima</i>	42
Figura 15 <i>Precipitaciones promedio en Planadas, Tolima</i>	42
Figura 16 <i>Mapa de precipitación promedio en el departamento del Tolima</i>	43
Figura 17 <i>Fotografía de la zona estudio</i>	45
Figura 18 <i>Perfil de carga de la zona residencial</i>	52
Figura 19 <i>Perfil de carga de la zona comercial</i>	52
Figura 20 <i>Perfil de carga de la zona industrial</i>	53

Figura 21 <i>Perfil de carga total</i>	53
Figura 22 <i>Cuantificación de aspectos medioambientales</i>	55
Figura 23 <i>Importación de datos al software Homer PRO</i>	58
Figura 24 <i>Caracterización de la biomasa en Homer PRO</i>	59
Figura 25 <i>Irradiancia solar directa en Homer PRO</i>	59
Figura 26 <i>Irradiancia solar horizontal en Homer PRO</i>	60
Figura 27 <i>Niveles de temperatura en Homer PRO</i>	60
Figura 28 <i>Velocidad del viento en Homer PRO</i>	61
Figura 29 <i>Recurso hídrico en Homer PRO</i>	61
Figura 30 <i>Perfil de carga en Homer PRO</i>	62
Figura 31 <i>Modelo de panel solar en Homer PRO</i>	63
Figura 32 <i>Modelo de batería en Homer PRO</i>	63
Figura 33 <i>Modelo de inversor en Homer PRO</i>	64
Figura 34 <i>Modelo de generador diésel en Homer PRO</i>	65
Figura 35 <i>Modelo de generador de biomasa en Homer PRO</i>	65
Figura 36 <i>Modelo de turbina eólica en Homer PRO</i>	66
Figura 37 <i>Modelo hidráulico en Homer PRO</i>	67
Figura 38 <i>Modelo de sistema para simulación en Homer PRO</i>	67
Figura 39 <i>Resultados de la simulación en Homer PRO</i>	68
Figura 40 <i>Estimación de energía y pérdidas en Homer PRO</i>	75
Figura 41 <i>Esquema general y componentes de una MCH</i>	80
Figura 42 <i>Gráfica de caudal promedio mensual en la Finca La Roma</i>	82
Figura 43 <i>Curva de duración de caudales</i>	83

Figura 44 <i>Curva de duración de caudales en el corregimiento de Gaitania, Tolima</i>	85
Figura 45 <i>Eficiencias típicas del sistema para una microrred operando a plena carga</i>	87
Figura 46 <i>Accesorios de la MCH</i>	95
Figura 47 <i>Coefficientes Km de pérdidas menores típicas para accesorios</i>	95
Figura 48 <i>Curva característica de la turbina Francis</i>	101
Figura 49 <i>Curva de las dimensiones del rodete de la turbina Francis</i>	102
Figura 50 <i>Dimensiones del rodete de las turbina Francis</i>	103
Figura 51 <i>Dimensiones de la carcasa de la turbina Francis en vista frontal</i>	104
Figura 52 <i>Dimensiones de la carcasa de la turbina Francis en vista superior</i>	105
Figura 53 <i>Dimensiones del tubo de aspiración de la turbina Francis</i>	106
Figura 54 <i>Esquema básico de conexión de un sistema solar fotovoltaico</i>	109
Figura 55 <i>Curva característica de la producción de energía solar VS la carga eléctrica</i>	117
Figura 56 <i>Energía destinada para cargar baterías</i>	117
Figura 57 <i>Generación hora-hora del SFV y baterías</i>	118
Figura 58 <i>Ficha técnica del panel solar</i>	119
Figura 59 <i>Ficha técnica de la batería seleccionada</i>	120
Figura 60 <i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero general TGA1</i>	149
Figura 61 <i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD1</i>	149
Figura 62 <i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD2</i>	150
Figura 63 <i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD3</i>	150
Figura 64 <i>Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD4</i>	151
Figura 65 <i>Esquema básico de conexiones utilizado para el cálculo de coordinación de protecciones</i>	152

Figura 66 <i>Curva de coordinación del ramal No. 1</i>	153
Figura 67 <i>Curva de coordinación del ramal No. 2</i>	153
Figura 68 <i>Curva de coordinación del ramal No. 3</i>	154
Figura 69 <i>Curva de coordinación de barraje de motores No. 1</i>	155
Figura 70 <i>Curva de coordinación de barraje de motores No. 2</i>	155
Figura 71 <i>Curva de coordinación de barraje de motores No. 3</i>	156
Figura 72 <i>Curva de coordinación del ramal No. 4</i>	157
Figura 73 <i>Registro fotográfico de las medidas de resistividad en el terreno</i>	158
Figura 74 <i>Representación gráfica de la malla de puesta a tierra</i>	162
Figura 75 <i>Selección del factor de falla a tierra (k) con base de $X0/X1$ para $R1/X1 = R = 0$</i>	169
Figura 76 <i>Rango de sobretensiones de frente lento del 2% en el extremo receptor debido a la energización y re-energización de la línea</i>	171
Figura 77 <i>Relación entre los valores del 2% de las sobretensiones de frente lento fase a fase y fase a tierra</i>	172
Figura 78 <i>Evaluación del factor de coordinación determinista K_{cd}</i>	175
Figura 79 <i>Pérdidas de energía</i>	183
Figura 80 <i>Circuito básico para el análisis de fallas</i>	197
Figura 81 <i>Falla línea-tierra en BUS</i>	199
Figura 82 <i>Circuito equivalente de falla línea-tierra</i>	199
Figura 83 <i>Falla línea-línea en BUS</i>	200
Figura 84 <i>Falla línea-línea-tierra en BUS</i>	201
Figura 85 <i>Falla trifásica en BUS</i>	201

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Fichas técnicas	126
Apéndice B. Base de datos de la NASA	134
Apéndice C. Afectaciones en el viento por los fenómenos del Niño y la Niña	139
Apéndice D. Afectaciones en la precipitación debido al fenómeno del Niño	140
Apéndice E. Afectaciones en la precipitación debido al fenómeno de la Niña	141
Apéndice F. Carta de opciones de diseños presentadas al productor	142
Apéndice G. Solicitud de permiso	144
Apéndice H. Memoria RETIE	145
Apéndice I. Planos eléctricos	193
Apéndice J. Diagrama unifilar	194
Apéndice K. Cuadros de cargas	195
Apéndice L. Análisis en Power World	197

Resumen

Título: Gestión de prefactibilidad y diseño de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio Planadas del departamento del Tolima*

Autor: Neider Eduardo Delgado Anaya, David Vanegas Rivero**

Palabras Clave: energía renovable, energía solar, energía eólica, energía hidráulica, microrred eléctrica, dimensionamiento, diseño, paneles

Descripción: El servicio de energía eléctrica es una necesidad de toda la población en general. El servicio de energía es fundamental para el bienestar humano, el desarrollo social y económico de una región. Sin embargo, en Colombia no todas las poblaciones tienen el privilegio de gozar con este servicio. Entre algunas razones se encuentra el difícil acceso diferentes regiones, fluctuaciones climáticas y déficit en la calidad y confiabilidad del suministro de energía. Estas problemáticas aumentan en zonas rurales como el municipio de Planadas, Tolima. Debido a esto, se propuso implementar una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productora y exportadora de café ubicada en este municipio. Esto debido a que por sus actividades productivas es necesario tener un suministro permanente de energía que sea eficiente y confiable. Inicialmente se establecieron tres criterios fundamentales a evaluar en el diseño de la microrred eléctrica: confiabilidad, eficiencia e impacto ambiental. Lo anterior, con el objetivo de establecer la solución energética más viable para el cliente. Adicionalmente, se resalta que las alternativas consideradas fueron energías renovables disponibles en la región. Luego de su identificación se estimó su potencial para determinar su factibilidad en la suplencia de las necesidades energéticas del productor. Posteriormente, se realizó el diseño y dimensionamiento de la microrred eléctrica mediante el software Homer PRO, teniendo en cuenta los criterios previamente establecidos. Los resultados de este informe permitieron concluir que la implementación de una microrred compuesta por un sistema de generación hidráulico (MCH) y un sistema solar fotovoltaico (SFV) conectados a una transferencia permitirán suplir la totalidad de la demanda conectada y respaldarán la generación cuando la fuente principal (MCH) no pueda operar por mantenimientos, ausencia de caudal, averías, entre otros.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones. Ingeniería Eléctrica. Director: Manuel José Ortiz Rangel. Magíster en Ingeniería Eléctrica. Codirector: Gabriel Ordoñez Plata. Doctor en Ingeniería Industrial.

Abstract

Title: Pre-feasibility management and design of an electrical microgrid for a productive farm in the Planadas municipality of the Tolima department*

Author(s): Neider Eduardo Delgado Anaya, David Vanegas Rivero**

Key Words: renewable energy, solar energy, wind energy, hydropower, electrical microgrid, sizing, design, panels

Description: Electricity service is a necessity for the entire population in general. The energy service is essential for human well-being, social and economic development of a region. However, in Colombia not all populations have the privilege of enjoying this service. Some of the reasons include difficult access to different regions, weather fluctuations, and deficits in the quality and reliability of power supply. This problem increases in rural areas such as the municipality of Planadas, Tolima. Due to this, a methodology will be implemented for the design and sizing of an electrical microgrid for a coffee producing and exporting farm located in this municipality. This is because for their productive activities it is necessary to have a permanent supply of energy that is efficient and reliable. Initially, three fundamental criteria were found to evaluate the design of the electrical microgrid: reliability, efficiency, and environmental impact. The foregoing, with the aim of establishing the most viable energy solution for the client. In addition, it is highlighted that the alternatives considered were renewable energies available in the region. After its identification, its potential was estimated to determine its feasibility in supplying the energy needs of the producer. Subsequently, the design and sizing of the electrical microgrid was carried out using the Homer PRO software, taking into account the previously established criteria. The results of this report allowed us to conclude that the implementation of a microgrid made up of a hydraulic generation system (HGS) and a solar photovoltaic system (SPS) connected to a transfer that will allow supplying all the connected demand and will support generation when the main source (HGS) cannot operate due to maintenance, lack of flow, breakdowns, among others.

* Degree Work

** Faculty of Physicomechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Electric engineering. Director: Manuel Jose Ortiz Rangel. Master in Electrical Engineering. Co-director: Gabriel Ordoñez Plata. PhD in Industrial Engineering.

Introducción

Los servicios que requieren de energía modernos son de gran importancia para el bienestar humano y el desarrollo de un país. Más de 1.3 millones de personas en el mundo no poseen acceso a la energía eléctrica siendo esta la causa de problemáticas sociales y económicas que afectan principalmente a zonas rurales de países en desarrollo como Colombia. A pesar del intento de muchos gobiernos por garantizar el suministro confiable de energía eléctrica a zonas rurales, estas tienen muy pocas posibilidades de acceder a un suministro eléctrico de calidad. Esto puede ser evidenciado en las cifras reportadas por la Agencia Internacional de Energía (*IEA*, por sus siglas en inglés) en las que se indica que aproximadamente el 84% de la población mundial que carece de acceso a la energía eléctrica vive en zonas rurales (Ottavianelli & Cadena, 2016).

En Colombia, la problemática energética en zonas rurales y urbanas se encuentra relacionada con que la mayor participación de generación de energía proviene de la producción hidroeléctrica con un 67%. Este tipo de producción de energía presenta afectaciones anuales debido a las fluctuaciones climáticas propias de un país tropical, como el fenómeno del Niño (Shyu, 2014). Lo anterior provoca la elevación del consumo de combustibles fósiles para compensar el déficit de generación hidroeléctrica, generando además afectaciones ambientales.

Adicionalmente, la infraestructura eléctrica no cubre todo el territorio provocando un déficit en el acceso y confiabilidad del suministro de energía, principalmente en zonas rurales. Debido a que la energía posee gran importancia en el desarrollo y el crecimiento económico, social y ambiental del país (Shyu, 2014). El Gobierno Nacional a través del Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para Zonas No Interconectadas (IPSE) realizó la instalación de microrredes híbridas en Zonas No Interconectadas (ZNI) con el objetivo de dar solución al

problema de suministro de energía en zonas rurales y plantear diferentes escenarios de expansión del sistema eléctrico. Lo anterior, permitirá dar alternativas de suministro autónomo de energía en zonas de difícil acceso incorporando Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE). Un caso es el de las microrredes de Titumate en el Chocó y el Cardón en la Guajira, las cuales tuvieron gran éxito obteniendo su generación de energía solar con un 70% y basada en diésel con un 30%, que permitió beneficiar una población de alrededor de 3000 personas (Gaona et al., 2015). Sin embargo, el desarrollo de estas investigaciones no ha logrado ser llevado a la totalidad del campo colombiano.

Por lo cual, estudios orientados hacia la implementación y el dimensionamiento de una metodología para el diseño de microrredes para una localidad rural ubicada en el departamento del Tolima, Colombia, podría ayudar a reducir el impacto de posibles fallas de energía, con el fin de proporcionar confiabilidad y calidad del servicio. Lo anterior, además permitirá potenciar la implementación de generación distribuida, teniendo en cuenta los recursos energéticos renovables de la zona. Adicionalmente, es importante mencionar que la implementación de una microrred permite mitigar algunos problemas ambientales que se vienen presentando desde hace décadas como el aumento de gases de efecto invernadero, deforestación de bosques nativos, entre otros. Por lo que se hace necesario realizar estudios orientados hacia el aprovechamiento del potencial energético viable a partir de estas microrredes. Asimismo, cabe destacar que el despliegue de estos sistemas de microrredes favorece la innovación y evaluación de tecnologías útiles en la generación de energía a partir de FNCE como la energía solar fotovoltaica y eólica, que además de reducir la emisión de CO₂, promueven la eficiencia energética y el desarrollo sostenible de procesos productivos de las zonas de interés (Garzón-Hidalgo & Saavedra-Montes, 2017).

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Realizar la gestión de la prefactibilidad y el diseño de una microrred eléctrica para una finca productiva ubicada en el corregimiento de Gaitania, municipio de Planadas, departamento del Tolima.

1.2 Objetivos específicos

Determinar las variables meteorológicas y la información de la zona de interés por medio de los datos obtenidos de bases de datos, con el fin de establecer la disponibilidad de los recursos energéticos de la zona necesarios en el diseño de una microrred eléctrica.

Estimar perfiles de carga aplicando el código eléctrico colombiano NTC 2050, mediante el análisis de carga del usuario y los perfiles de uso de los equipos de producción para determinar la curva de carga según el tipo de servicio.

Seleccionar los elementos que conforman la microrred eléctrica y definir el diseño y la topología a partir de la información obtenida en las etapas anteriores, con el fin de estimar la capacidad de generación y definir características del terreno.

Aplicar el diseño de una metodología para la microrred eléctrica a partir del análisis de las variaciones de carga y generación de energía, a fin de determinar la viabilidad operativa del diseño inicial de dicha microrred.

2. Marco referencial

La historia de la civilización consiste en la invención de nuevos y diferentes métodos para convertir la energía, dominar sus fuentes de generación y, en última medida, aumentar el consumo de energía. En la actualidad, la energía eléctrica es una necesidad debido a que es la base para el desarrollo de las industrias que determinan el progreso de la producción social, invadiendo todos los sectores de la actividad humana como la agricultura, la industria, la ciencia y el espacio.

Según la Agencia Internacional de Energía en el año 2021 la demanda de energía eléctrica aumento respecto al año 2020 aproximadamente un 4.5%, lo anterior gracias a la recuperación de la actividad económica interrumpida por el COVID-19 y el rápido crecimiento en las principales economías emergentes, como China. Además, en 2020 el aumento de energías renovables fue de un 3% y se proyecta que siga en aumento en todos los sectores económicos. El sector de la energía lidera el camino de expandirse en más de un 8% para alcanzar los 8300 TWh, el mayor crecimiento interanual registrado en términos absolutos (IEA, 2021).

El séptimo objetivo de desarrollo sostenible de Organización de las Naciones Unidas (ONU) es garantizar el acceso a energía asequible, confiable y moderna para todos para 2030, incluido el acceso universal a la electricidad y cocina limpia. Así como una mayor participación de las energías renovables en la combinación energética y una duplicación de la tasa de mejora de la eficiencia energética (Vivanco, 2020).

En la actualidad, la cantidad de población humana que no goza con un suministro de energía eléctrica confiable es de aproximadamente el 20%. Por ejemplo, en la India más de 500 millones de personas se vieron afectadas debido a un apagón nacional, debido mala gestión de la infraestructura eléctrica. La energía eléctrica es fundamental para el desarrollo económico de la

sociedad actual. Por lo que en el panorama colombiano es importante el desarrollo de energías limpias, ya que se estima que para el 2033 se evidenciará un incremento de aproximadamente el 2.36% de la demanda total de energía principalmente dividida por los sectores residencial con un 42%, el sector industrial con un 33% y el sector terciario con un 25%.

Lo anterior muestra que, el aumento de la energía es inevitable con el paso del tiempo. Por lo cual, la implementación de energías renovables en un sector rural de Planadas, Tolima resulta beneficioso para la población de la región. A continuación, se indicarán algunos indicadores relevantes de la zona, entre los que se encuentran su población, economía y producción de café.

2.1 Índice poblacional

En el municipio de Planadas, Tolima cuenta con una población de 29.935 personas, según un estudio realizado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística del 2011 al 2015 (DANE, 2022), en donde 7.621 (25.46%) habitantes pertenecen a la cabecera del municipio, los otros 22.314 (74.54%) habitantes se encuentran situados en el resto del municipio. En la **Tabla 1** se muestra el indicador poblacional de la región.

Tabla 1

Indicador de población en Planadas, Tolima

Año	Total	Población según zonas			
		Cabecera	%	Resto	%
2005	29.417	15.491	52.66	13.926	47.34
2011	29.739	7.475	25.14	22.264	74.86
2012	29.792	7.517	25.23	22.275	74.77
2013	29.832	7.544	25.29	22.288	74.71
2014	29.887	7.586	25.38	22.301	74.62
2015	29.935	7.621	25.46	22.314	74.54

Nota. Tomado de La información del DANE en la toma de decisiones regionales, DANE, 2022.

2.2 Índice de industria y comercio

En total, se encuentran 267 empresas en funcionamiento entre el 2011 y 2014 de las cuales el 0.74% son empresas del sector de agricultura, ganadería y pesca.

2.3 Índice de producción agrícola

La agricultura, el cultivo de granos, cereales y vegetales es muy relevante en la economía del municipio. En la **Tabla 2** se muestra la producción agrícola del municipio.

Tabla 2

Producción agrícola del municipio de Planadas, Tolima

		Producción agrícola del municipio		
Cultivos		2011	2012	2013
Semestrales	Área (ha)	700	925	0
	Producción (Ton)	900	2250	0
Anuales	Área (ha)	150	40	106
	Producción (Ton)	1500	40	455
Semi - permanentes	Área (ha)	4701	811	173
	Producción (Ton)	33950	8758	787
Permanentes	Área (ha)	9455	16080	8021
	Producción (Ton)	8380	31630	30024

Nota. Tomado de La información del DANE en la toma de decisiones regionales, DANE, 2022.

2.4 Índice de producción ganadera y pecuaria

La producción ganadera se encarga de la cría y domesticación de animales para el consumo humano. La producción pecuaria consiste en la transformación de materia prima que proporciona la naturaleza. En Planadas, Tolima se observó para el año 2013 un consolidado de 14.601 cabezas de la especie bovina, además, un total de 980 cabezas del sector de la porcicultura y 310 cabezas del sector de equinos, como se observa en la **Tabla 3**.

Tabla 3*Estructura de la población animal en el municipio de Planadas, Tolima*

Estructura de la población animal en el Municipio			
Especies	2011	2012	2013
Bovinos	15974	15794	14601
Consolidado porcicultura tecnificada, tradicional y traspatio	418	0	980
Consolidado aves de engorde y postura	0	0	0
Equinos	2495	0	310

Nota. Tomado de La información del DANE en la toma de decisiones regionales, DANE, 2022.

2.5 Producción cafetera

La producción y el desarrollo agrícola en el corregimiento de Gaitania presentó beneficios económicos y sociales luego del conflicto armado. Este corregimiento se posicionó como una de las más grandes y eficientes productoras de café, llegando a un aproximado de un millón veintidós mil kilos de café anuales (Guilombo Silva, 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, se determinaron las necesidades energéticas de la zona, específicamente de la finca La Roma, ubicada en el municipio de Planadas, Tolima. Luego se indagó y determinó las fuentes de energía renovables no convencionales disponibles en la región. Lo anterior, con el objetivo de establecer los potenciales energéticos e identificar una solución de generación y distribución de energía eléctrica autosustentable y confiable para la zona de interés. Finalmente, en este documento se consignó la información de la estimación de las necesidades energéticas, demanda y cargas de la zona de estudio. Así como, el estudio de prefactibilidad, diseño y dimensionamiento de la microrred eléctrica, viabilidad técnica y solución más eficiente para el productor.

3. Descripción de la zona de estudio

En este apartado se detallará la zona rural de interés y otros aspectos energéticos disponibles en la región como las fuentes de energía renovables no convencionales (solar, eólica, hidráulica y biomasa) y fuentes de energía no renovables.

3.1 Detalles de la zona de interés

La finca productiva La Roma está ubicada en el municipio Planadas en el departamento del Tolima, se encuentra específicamente en las coordenadas de latitud N 3°04'49.14'' y longitud W 75°41'19.94'' con una altura de 1444 msnm. La **Figura 1** muestra imagen satelital en vista superior de la zona de interés.

Figura 1

Imagen satelital de la zona de estudio



Nota. Fotografía tomada de Google Earth.

La topografía de esta zona es montañosa en su mayoría, pertenece a la cordillera central. Este sector se caracteriza por un clima normalmente templado y una temperatura de 22.2°C. La

zona también está asociada a la zona de convergencia intertropical (ZCIT) la cual puede dar origen a grandes formaciones nubosas y tormentas, lo que produce una humedad en promedio del 88%.

El clima en esta zona es característico debido a que su ubicación está en la zona ecuatorial, gracias a eso es un clima tropical manteniendo una temperatura elevada y constante, sin embargo, el clima varía y puede verse afectado debido a que es una zona llena de cordilleras y montañas. Es por eso, que la temperatura en términos generales es similar en la zona. Por otro lado, los grados de calor atmosférico varían sustancialmente de un punto a otro oscilando de 0°C a 35°C en casos extremos.

El sistema de generación se usa frecuentemente en lugares alejados de la red principal o en zonas de difícil acceso, anteriormente, se mencionó el objetivo de diseñar una microrred eléctrica autosostenible debido al difícil acceso de la red a esta zona rural, en donde, la electricidad generada es utilizada para iluminación, vivienda, operaciones agrícolas, entre otras.

El sistema de generación de energía es un sistema aislado de la red, principalmente por una razón, y es que al ser una producción activa las 24 horas del día es necesario contar con una fuente de energía eléctrica 100% funcional que brinde confiabilidad al proceso. Teniendo en cuenta lo anterior, la red eléctrica puede presentar alguna falla en cualquier instante de tiempo, afectando directamente el proceso de producción sin ningún respaldo, es por eso, que se propone la microrred eléctrica.

El diseño del sistema de generación en esta zona es de vital importancia para la eficiencia productiva y energética, con el fin de proporcionar confiabilidad y calidad en el servicio para los procesos de producción de café, el sector comercial y residencial de dicho establecimiento. Por tal razón, es importante realizar un seguimiento de las cargas presentes, como lo son, los aparatos electrónicos e industriales, además, de cargas futuras que presenten un aumento en la demanda de

energía. En el **Apéndice A** se presentan las fichas técnicas de las cargas presentes en los sectores residencial, comercial e industrial.

3.2 Fuentes renovables no convencionales disponibles en la zona de interés

La región de Gaitania es una zona rica en fuentes no convencionales de energía de las cuales se encuentra el agua, el sol, el viento y la biomasa. Sin embargo, estas fuentes de energía no convencionales poseen ciertas restricciones, por eso fue necesario realizar un estudio de viabilidad en la eficiencia de dichas fuentes de generación de energía. Teniendo en cuenta lo anterior, para ser más preciso sería relevante realizar un estudio de las variables meteorológicas de la zona implementando una estación meteorológica que evalué las condiciones climáticas durante un lapso mínimo de un año. No obstante, por limitaciones de tiempo para la presentación de los resultados del proyecto es inviable dicha solución. Por lo cual, se implementó bases de datos confiables como la NASA para la obtención de estos datos climáticos (NASA, 2022). Esta información se encuentra recopilada en el **Apéndice B** que contiene datos de las condiciones medio climáticas y geográficas de la zona, en los que se incluyen valores de radiación solar, velocidad del viento y temperatura.

Adicionalmente, la producción agrícola que se lleva a cabo en la zona da un gran potencial para la energía por medio de la biomasa. Este tipo de energía posee grandes fuentes de materia prima energética, como lo son los residuos agrícolas y los residuos pecuarios. Por otro lado, en la zona geográfica desemboca una vertiente de agua con potencial para la creación de una Micro Central Hidroeléctrica (MCH). Por lo cual, fue necesario considerar características fundamentales como caudal y salto, características que definen la eficiencia y éxito de la implementación de una MCH en el diseño de la microrred eléctrica usando recursos hídricos. Finalmente, se considera una

posible implementación de un grupo electrógeno como medida de seguridad en caso de que las demás fuentes de generación presenten algún tipo de falla o contratiempo.

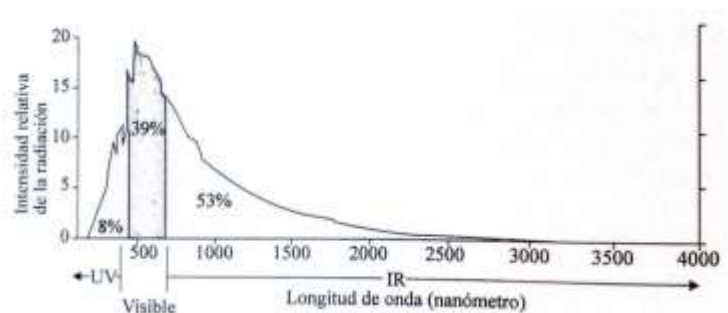
A continuación, se detallan los distintos tipos de fuentes de generación de energía presentes en la zona.

3.2.1 Energía solar

La fuente de energía por excelencia es la proveniente del sol, este aprovechamiento natural se produce en la atmosfera, los océanos y plantas. Todas las fuentes energéticas empleadas por el ser humano provienen de la energía solar, a excepción de la energía nuclear y geotérmica. La energía solar es utilizada por la mayoría de las personas, los animales, las plantas que ayudan a la generación de biomasa que es utilizada como otro tipo de energía. La representación más clara de la energía solar es la propagación de la radiación a través de los rayos solares, produciendo un espectro electromagnético, sin embargo, esta energía solo es aprovechada de la radiación térmica, que incluye los rayos UV, la radiación visible y la infrarroja. En la **Figura 2** se muestra la relación de la intensidad relativa de la radiación y las longitudes de ondas asociadas.

Figura 2

Gráfico del espectro electromagnético

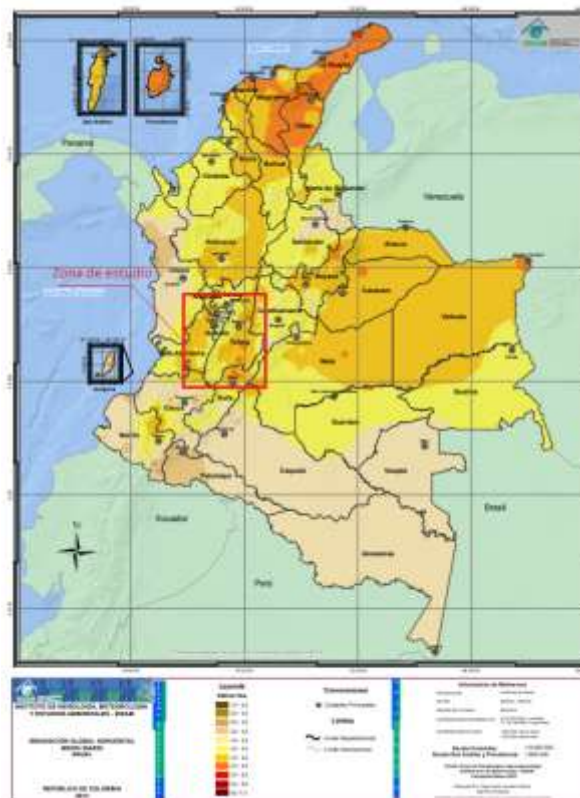


Nota. Tomado de Fuentes de energía renovables y no renovables, De Kuyper, 2014.

Principalmente, la energía solar es utilizada como solar térmica, en donde, su funcionamiento consiste en el uso de dicha energía para calentar fluidos, como el agua y su productividad radica en la calefacción para viviendas, piscinas, etc. Adicionalmente, esta energía puede usarse como energía solar fotovoltaica, que consiste en convertir en energía eléctrica toda la radiación emitida por el sol a través de paneles solares. Dada la ubicación de la finca productiva La Roma es importante mencionar la existencia de zonas libres de vegetación grande como árboles que limitan la implementación de este tipo de energía. Además, el municipio de Planadas cuenta con un gran recurso de radiación solar debido a su ubicación geográfica (**Figura 3**).

Figura 3

Mapa de radiación solar



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Adicionalmente, se presenta un estudio de radiación solar durante un año en cada departamento de Colombia, incluido Tolima (**Apéndice B**). Por otro lado, la radiación solar tiene un promedio anual de 4.6632 kWh/m^2 por día, además, se puede analizar que la presencia de radiación más baja se encuentra en el mes de diciembre. Sin embargo, no es un cambio abrupto ya que en todos los meses se refleja una radiación en un intervalo de 4 a 5 kWh/m^2 por día (**Figura 4**). Adicionalmente, en la **Figura 5** se muestra el brillo solar en Tolima durante un año.

Figura 4

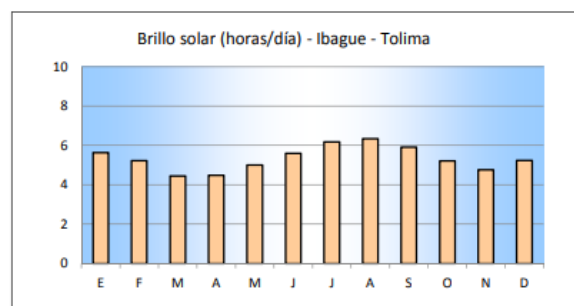
Gráfica de radiación solar en el departamento del Tolima



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Figura 5

Gráfica de brillo solar en el departamento del Tolima



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Para todos los diseños fotovoltaicos es necesario conocer todos los datos posibles sobre la radiación con el objetivo de establecer la viabilidad de este sistema. A continuación, se presenta la información sobre la radiación, irradiancia e insolación de la finca productiva La Roma.

3.2.1.1 Insolación. Se define como la radiación que llega a la tierra en un determinado tiempo. En la **Tabla 4** se exponen distintos escenarios para cada mes del año 2020.

Tabla 4

Incidencia solar en el departamento del Tolima

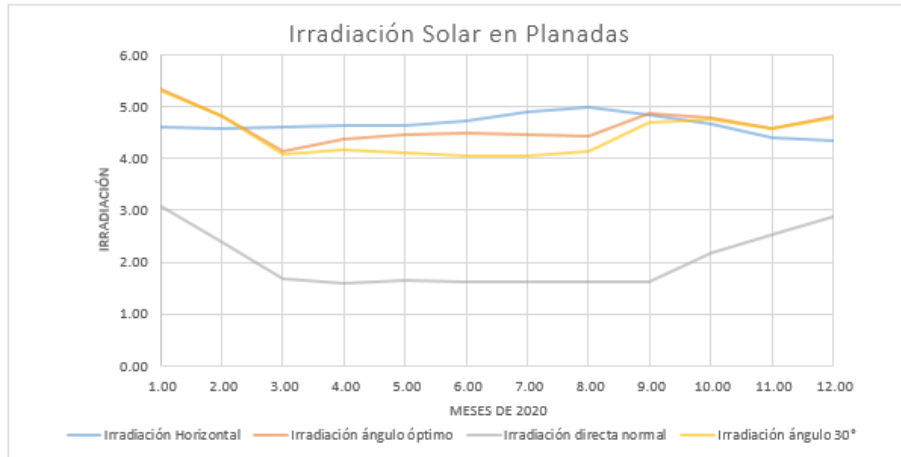
Mes (año 2020)	Incidente de insolación de cielo despejado en una superficie horizontal	Todo el incidente de insolación del cielo en una superficie horizontal	Flujo Radiactivo Infrarrojo Térmico Descendente (Onda Larga)	Todo el incidente de insolación parcial total	Incidente de insolación de cielo despejado parcial total
1	616.75	471.42	31634.79	9791.75	11332.75
2	624.83	470.31	37345.69	9102.66	12784.90
3	606.52	401.16	33672.48	7576.90	11404.74
4	658.57	364.43	33301.00	6300.63	12376.93
5	640.06	397.06	32273.74	8640.45	12694.61
6	682.20	404.43	32826.83	8082.97	12748.83
7	624.90	376.84	34008.52	8032.16	11602.13
8	583.48	398.61	34046.42	7889.16	12508.81
9	623.13	455.37	35309.57	9923.73	11034.27
10	689.52	389.65	28865.81	9018.48	12754.74
11	633.33	375.37	35191.97	7935.10	12090.47
12	665.97	472.94	30897.32	8058.32	12767.81

Nota. Tomado de Prediction of Worldwide Energy Resources, NASA, 2022.

3.2.1.2 Irradiación. Son las ondas electromagnéticas generadas por el sol propagadas en todas las direcciones y se expresa en kWh/m². En este trabajo establecimos para cada mes del año un nivel de irradiación en distintos escenarios como la irradiación horizontal, con su ángulo óptimo, entre otras. La **Figura 6** muestra que en algunos meses del año esta magnitud disminuye, sin embargo, se mantiene constante.

Figura 6

Irradiación solar en el municipio de Planadas, Tolima

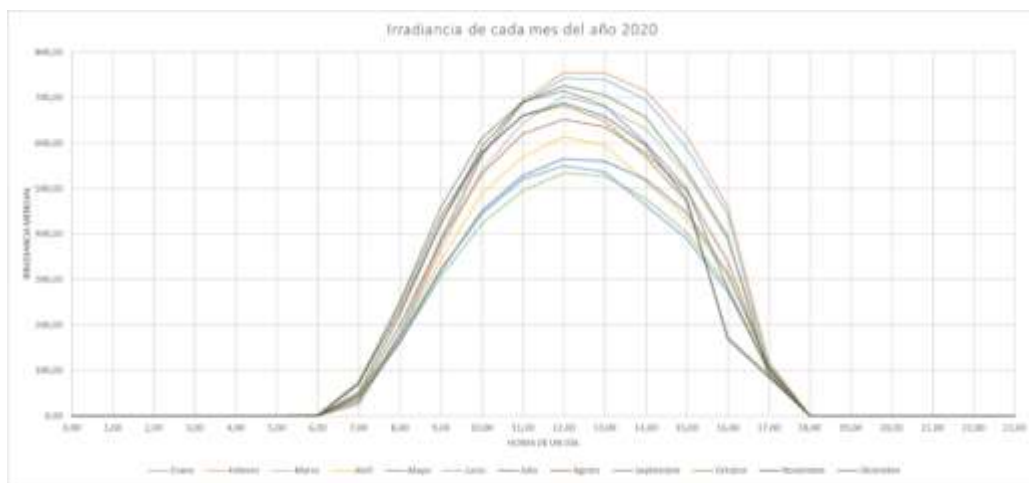


Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

3.2.1.2 Irradiancia. Se entiende como la potencia de la radiación por metro cuadrado (kW/m^2). En la **Figura 7** se muestra los datos de irradiancia promedio en un día para cada mes del año 2020.

Figura 7

Irradiancia solar en el departamento del Tolima

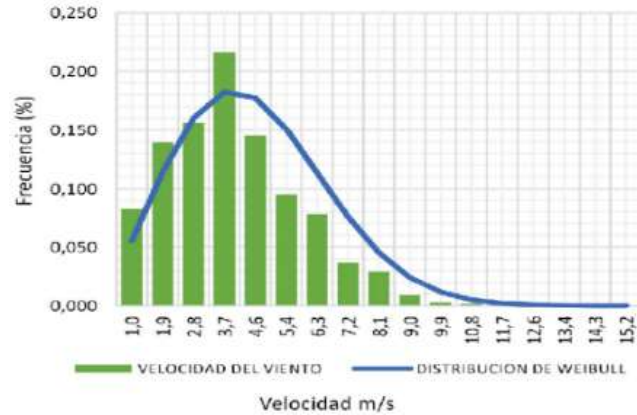


Nota. Tomado de Prediction of Worldwide Energy Resources, NASA, 2022.

3.2.2 *Energía eólica*

La principal fuente de la energía eólica es el viento, gracias a esta variable meteorológica existe un flujo y diferencia de presiones en la atmosfera. Lo anterior conlleva a que se produzca un movimiento en las masas de aire, que permite la producción de energía cinética, que con ayuda de una turbina se puede llegar a producir energía eléctrica. Por otro lado, es necesario tener en cuenta dos características importantes para el correcto funcionamiento e implementación de este tipo de generación, que son la dirección y la velocidad del viento. Al hablar de la dirección y sentido de giro del viento es necesario mencionar el axioma de Bjerknes que indica una diferencia en las direcciones del gradiente de presión y temperatura, produciendo una circulación del aire desde el gradiente de presión al de temperatura. La velocidad del viento es representada mediante un vector con una longitud corresponde a la velocidad, esa tiene una media que varía entre 3 y 7 m/s (De Kuyper, 2014).

Para determinar la cantidad de energía eólica que se requiere para este proyecto es necesario conocer la velocidad media del viento en un periodo de mínimo un año. Dada la característica aleatoria de este tipo de energía, es necesario estudiar si el emplazamiento de un proyecto eólico es viable o no y para esto se requiere usar la estadística, específicamente se habla de la distribución de Weibull que describe la densidad de probabilidad de velocidades medias horarias de viento y por lo tanto corresponde a un conjunto de curvas (Vivanco, 2020). Como las condiciones climáticas varían, la distribución de Weibull varía tanto de forma como de valor medio (**Figura 8**). Mientras que, si la distribución toma la forma de la **Figura 4** se le denomina distribución de Raleigh.

Figura 8*Distribución de Weibull*

Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

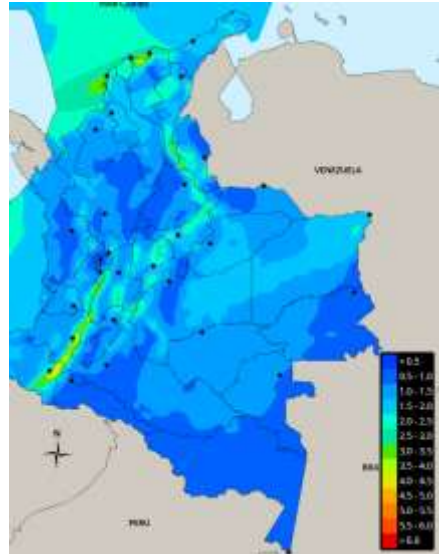
La distribución de Weibull describe una variación del viento representando la asimetría de su comportamiento, dando lugar, a la valoración de dispersión de los datos cercanos al valor medio en función de dicha distribución. Matemáticamente se expresa según la ecuación (1):

$$\sigma(C, K) = C \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{K}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{2}{K}\right)} \quad (1)$$

El comportamiento de esta expresión representa un indicador de las frecuencias de estos valores teniendo una menor dispersión. Asimismo, la **Figura 9** representa la desviación estándar según la distribución de Weibull. Mientras que la **Figura 10** muestra el mapa eólico de Colombia en donde se evidencia la velocidad del viento promedio en las distintas zonas de Colombia. Adicionalmente, en el **Apéndice C** se reporta la afectación que produce los fenómenos del Niño y Niña en la velocidad del viento.

Figura 9

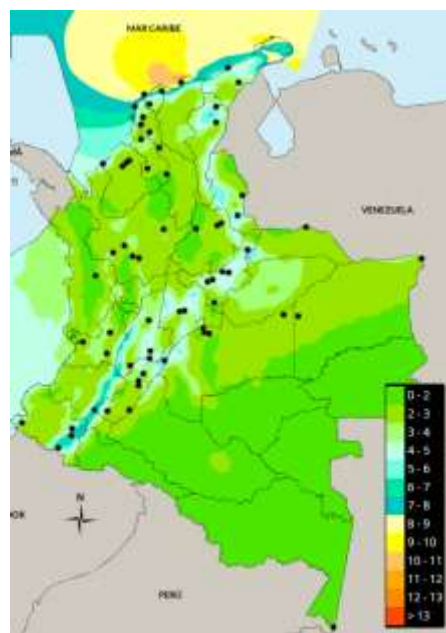
Desviación estándar de Weibull



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Figura 10

Velocidad del viento en Colombia (m/s)



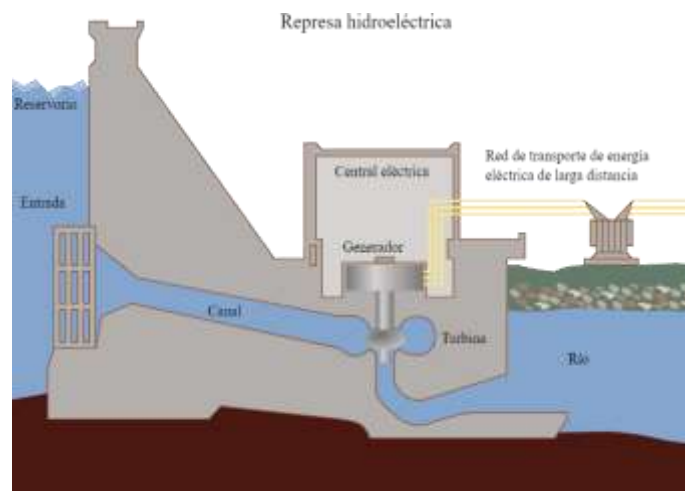
Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

3.2.3 Energía hidráulica

La energía hidráulica tiene como recurso el agua que contempla el 70% del planeta, siendo usada a lo largo de la historia para muchos fines como vía de transporte entre continentes, impulsar molinos y muchas más actividades de desarrollo. Este tipo de energía usa el movimiento del agua, es decir, su energía cinética o su energía potencial. Generalmente, el agua es retenida en embalses o represas con el propósito de aprovechar la altura y su salto, a medida que esta empieza a perder altura, aumenta su velocidad, y a través de un ducto que conecta a una turbina y un generador se transforma dicha energía en energía eléctrica (**Figura 11**).

Figura 11

Esquema didáctico de una central hidroeléctrica



Dentro de las características importantes para la producción de energía hidráulica se encuentran el caudal y el salto, valores a considerar en una MCH. Las características de una MCH, desde su capacidad de generar electricidad son, la potencia de su funcionamiento, la cual es función de un desnivel entre el nivel superior de la toma de agua y el inferior de descarga de este líquido, del caudal que pase por la turbina y de las características de esta y del alternador (De Kuyper, 2014).

Es importante mencionar que este tipo de energía depende de los cambios climáticos y la gestión de esta. Sin embargo, se puede planificar la obtención de energía a largo plazo. Además, esta energía no genera residuos contaminantes reduciendo en gran medida las emisiones de dióxido de carbono. En la **Figura 12** se observa el mapa de potencial hídrico de Colombia, donde se observa que en la zona de estudio existe un potencial considerable que puede ser de gran utilidad para solventar la situación problema (0-20000 kW). Adicionalmente, se muestra la **Figura 13**, que indica el promedio de lluvia anual en el país. Para el departamento del Tolima estos valores oscilan de 1000-3000 mm, valores que aumentan los caudales de los ríos en la región.

Figura 12

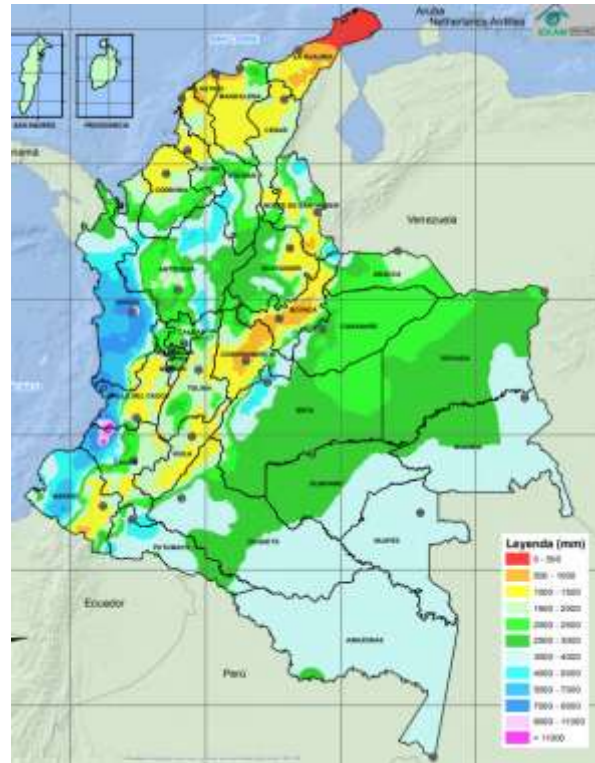
Mapa del potencial hídrico en Colombia



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Figura 13

Mapa del promedio de lluvias anuales en Colombia



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Adicionalmente, en la **Figura 14** se muestran los días de lluvia mes a mes. En donde se evidencia que el mes que menos presenta lluvia es el mes de agosto con un total de aproximadamente 10 días de lluvia. Asimismo, relacionamos el comportamiento de las precipitaciones en la zona de interés (**Figura 15**). También se reporta los cambios del recurso hídricos en relación con los fenómenos del Niño y la Niña (**Apéndice D y E**). Además, se destaca que las precipitaciones en el municipio de Planadas rondan en un intervalo de 1000 a 3000 mm (**Figura 16**).

Figura 14

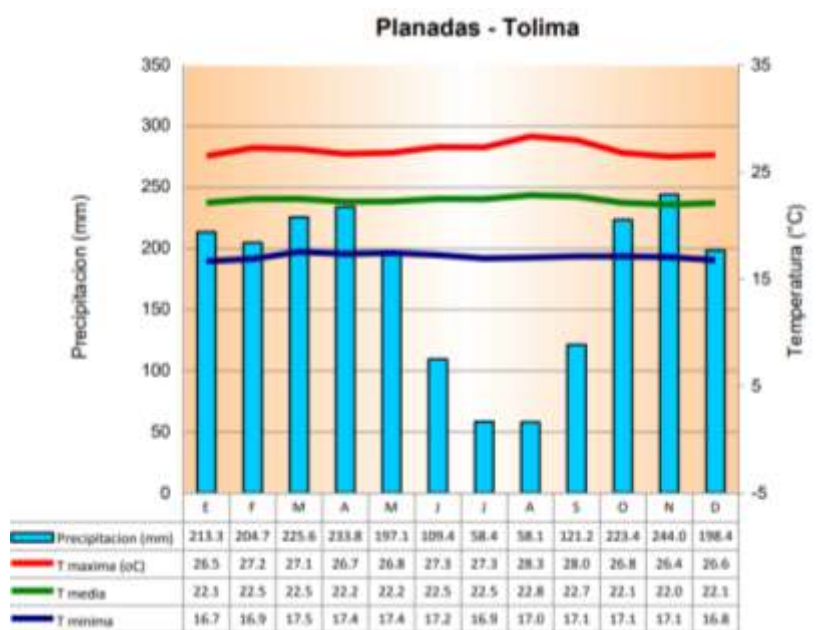
Días promedio con lluvia en Ibagué, Tolima



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Figura 15

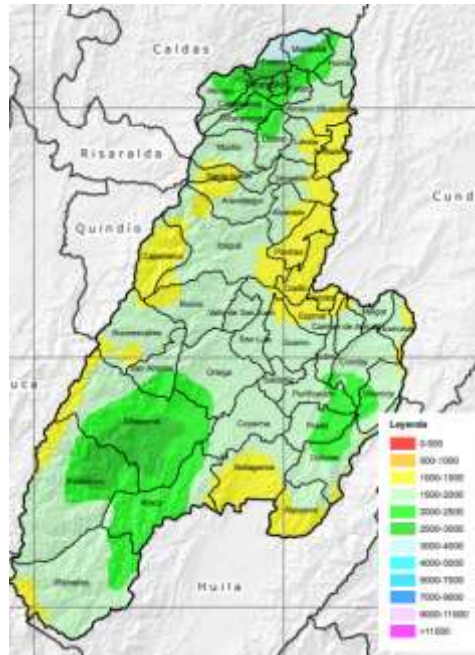
Precipitaciones promedio en Planadas, Tolima



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Figura 16

Mapa de precipitación promedio en el departamento del Tolima



Nota. Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

3.2.4 Biomasa

La biomasa es el conjunto de materia orgánica renovable de origen vegetal natural o artificial que es utilizada como fuente de generación de energía en la obtención de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos mediante diferentes procesos. La biomasa es proveniente de la reacción de la fotosíntesis que produce sustancias orgánicas a partir del dióxido de carbono del oxígeno del aire y otras sustancias simples. En este proceso se generan subproductos que no poseen ningún tipo de valor para la fabricación de otros productos, dichos subproductos suelen ser usados como combustibles en diferentes requerimientos energéticos.

Este tipo de energía se puede aprovechar para fines energéticos en tres categorías: procesos de combustión directa, procesos termoquímicos y procesos bioquímicos. En la rama de la

electricidad se usa la combustión directa que corresponde a la quema directa en un horno, con el propósito de extraer la energía de la biomasa. El funcionamiento consiste en secar la biomasa en un secador rotatorio que usa aire caliente, esta se lleva mediante una cinta transportadora, al horno donde se produce la combustión. La energía proveniente de dicha combustión se transfiere al agua produciendo vapor, que a su vez mueve una turbina que, conectada a un generador, produce energía eléctrica (De Kuyper, 2014).

En Colombia la producción de biomasa es alta. Los principales recursos de biomasa son el bagazo de caña con una producción de 1.5 millones de toneladas aproximadamente, la cascarilla de arroz y el fruto de palma con 457.000 toneladas en un año y los principales sectores de producción son en la Costa Atlántica y los Llanos.

3.3 Fuentes de energía no renovables

Las fuentes de energía no renovables han sido parte del crecimiento industrial, social y económico de la sociedad en general. Su contribución a la seguridad energética en momentos críticos, en los cuales la obtención de energía por medio de sistemas de generación de energía renovables sea demasiado baja o debido a fallas en la distribución de energía. Estos tipos de fuentes nos brindan un respaldo en el sistema eléctrico, lo cual es de vital importancia a la hora de optimizar procesos de producción en la finca. Sin embargo, los efectos negativos en cuanto a la contaminación debido a la producción de gases de efecto invernadero y material radioactivo, presentan la mayor limitante de esta fuente de energía. Los combustibles fósiles provienen de biomasa de miles de años de transformación por medio de alta presión y temperatura. Son combustibles fósiles el carbón, el petróleo y el gas natural (De Kuyper, 2014).

4. Cálculo de la demanda

La finca productiva está dividida en tres zonas las cuales son la zona residencial, la zona comercial y la zona industrial caracterizadas por iluminación, aparatos electrónicos y motores de producción (**Figura 17**).

Figura 17

Fotografía de la zona estudio



Para realizar el cálculo de la demanda existen tres principales formas según la norma NTC 2050 y RETIE que son, el cálculo de la demanda por área, por aforo o por medida, al tratarse de una zona ya construida se descarta el cálculo de la demanda por área ya que esta se usa principalmente para hacer una proyección para proyectos futuros, además de esto, el cálculo de la demanda para construir el perfil de carga por medida también es descartado debido al tiempo que requiere esta, ya que por motivos académicos no se cuenta con dicho tiempo, se realiza dicho cálculo por aforo para realizar el perfil de carga.

Al tratarse de un recinto que ya está construido y en funcionamiento, es necesario saber que cargas están consumiendo energía y durante cuánto tiempo consumen dicha energía, es por eso por lo que se realiza un perfil de uso por cada aparato eléctrico o carga contemplada, además,

de las futuras cargas a conectar. El cálculo de la demanda se realiza por zonas, las cuales son la zona residencial (**Tabla 5**), la zona comercial (**Tabla 6**) y la zona industrial (**Tabla 7**), que cuentan con las siguientes cargas.

Tabla 5

Potencia y factor de potencia de las cargas existentes en la zona residencial

Zona residencial		
Electrodoméstico	Potencia (W)	FP
Nevera LG	500	0.85
Air friyer	1500	0.85
Smart TV	115	0.85
Computador	500	0.85
Lavadora LG	500	0.85
Iluminación LED	7	0.85

Tabla 6

Potencia y factor de potencia de las cargas existentes en la zona comercial

Zona comercial		
Electrodoméstico	Potencia (W)	FP
Parlante SPK N12A/MP3-11	400	0.85
Congelador electro lux	187	0.85
Refrigerador Horizontal curvo	370	0.85
Iluminación LED	25	0.85

Tabla 7

Potencia y factor de potencia de las cargas existentes en la zona industrial

Zona industrial		
Electrodoméstico	Potencia (W)	FP
Congelador electro lux	200	0.85
BUNN Coffee Mill	1320	0.85
Procesador Kaffemat	2200	0.85
Motor Fill-Rate	786.42	0.85
Trilladora de café	248.5	0.85
Balanza	550	0.85
Procesadora de maíz Hercules	2200	0.85
Procesadora de maíz siemens	1492	0.82

Motor 1	1495	0.85
Motor bomba de agua Us F077	4370	0.69
Secadora de café	2400	0.85
Motor Weg MO01C0X0X0000300646	1100	0.69
Motor Emerson R062060Z	373	0.85
Motor ATB 01045842-2	4000	0.67
Motor Magnatek 9-3911 33-62	1475	0.85
Motor Siemens 1LF7 093-4YD90	746	0.85
Motor Emerson R	1119	0.85
Motor Us motors Nidec	5592	0.85
Iluminación LED	30	0.85

4.1 Perfiles de uso

El perfil de uso consiste en observar las horas que están en funcionamiento las cargas antes mencionadas para determinar cuanta energía necesitan para poder tener un correcto funcionamiento. A continuación, se presenta el perfil de uso para las zonas residencial (**Tabla 8**), la zona comercial (**Tabla 9**) y la zona industrial (**Tabla 10**).

4.2 Determinación del consumo

Una vez obtenida la información de los equipos o cargas que se encuentran funcionando en el recinto se realiza un análisis de consumo de energía el cual se puede observar a continuación, con el objetivo de facilitar el perfil de carga y así hallar la demanda del usuario. Se pueden observar las tres zonas de estudio con sus respectivas cargas, potencias y horas de funcionamiento diarias, calculando la energía que ocupan (**Tabla 11-13**).

Tabla 11

Consumo diario de las cargas para la zona residencial

Consumo diario para la zona residencial				
Cantidad	Carga	Potencia (W)	Horas de funcionamiento (h)	Energía (W/h)
6	Iluminación LED	7	32	224
2	Smart Led TV	115	10	1150
1	Computador	500	5	2500
1	Nevera LG	500	24	12000
1	Air friyer	1500	2	3000
1	Lavadora LG	500	1	500
Subtotal				19374

Tabla 12

Consumo diario de las cargas para la zona comercial

Consumo diario para la zona comercial				
Cantidad	Carga	Potencia (W)	Horas de funcionamiento (h)	Energía (W/h)
1	Iluminación LED	25	7	175
1	Congelador Electrolux	187	24	4488
1	Refrigerador horizontal curvo	370	24	8880
1	Parlante spk N12A/MP3-11	400	10	4000
Subtotal				17543

Tabla 13*Consumo diario de las cargas para la zona industrial*

Consumo diario para la zona industrial				
Cantidad	Carga	Potencia (W)	Horas de funcionamiento (h)	Energía (W/h)
1	BUNN Coffee Mill	1320	12	15840
1	Procesador Kaffemat	2200	8	17600
1	Motor Fill-Rate	786.42	6	4718.52
1	Trilladora de café	248.5	5	1242.5
1	Balanza	550	2	1100
1	Procesadora de maíz Hercules	2200	10	22000
1	Procesadora de maíz siemens	1492	10	14920
1	Motor 1	1495	24	35880
1	Motor bomba de agua Us F077	4370	8	34960
1	Secadora de café	2400	18	43200
1	Motor Weg MO01C0X0X0000300646	1100	24	26400
1	Motor Emerson R062060Z	373	8	2984
1	Motor ATB 01045842-2	4000	24	96000
1	Motor Magnatek 9-3911 33-62	1475	24	35400
1	Motor Siemens 1LF7 093-4YD90	746	24	17904
1	Motor Emerson R	1119	8	8952
1	Motor Us motors Nidec	5592	24	134208
1	Iluminación LED	30	14	420
Subtotal				513729.02

4.3 Perfiles de carga

De acuerdo con la información anterior es posible establecer el perfil de carga medio que establece la demanda de la finca productiva. El perfil de carga en un lapso promedio de 24 horas, el cual se recopila la información del perfil de uso para determinar que cargas consumen energía en horas determinadas. Finalmente, se observa la potencia que este conjunto de cargas consume en dicha hora. A continuación, se presentan los perfiles de carga para las distintas zonas (**Figura 18-21**).

Figura 18

Perfil de carga de la zona residencial

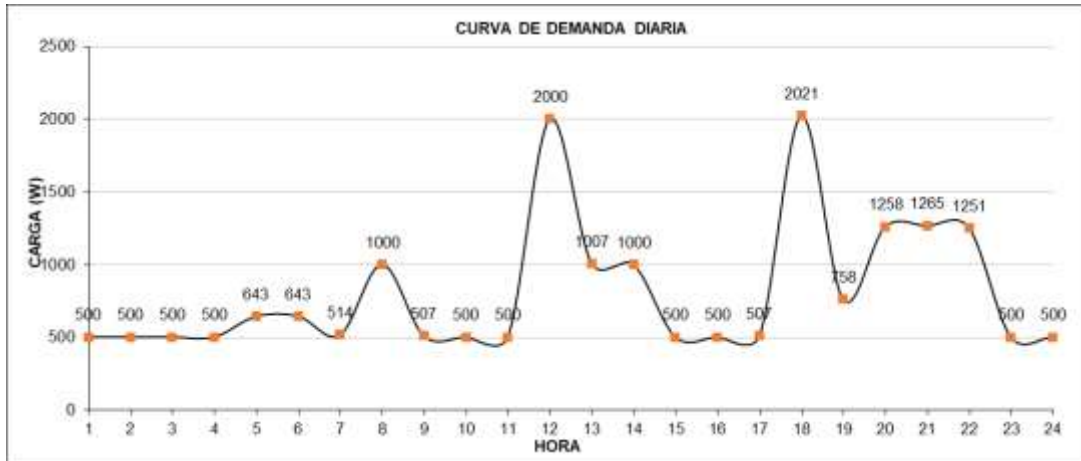


Figura 19

Perfil de carga de la zona comercial

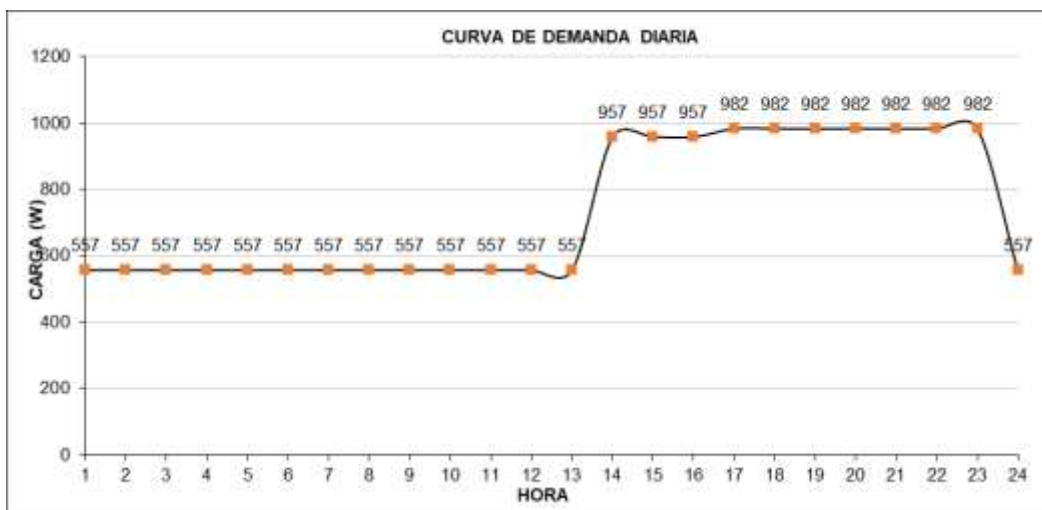


Figura 20

Perfil de carga de la zona industrial

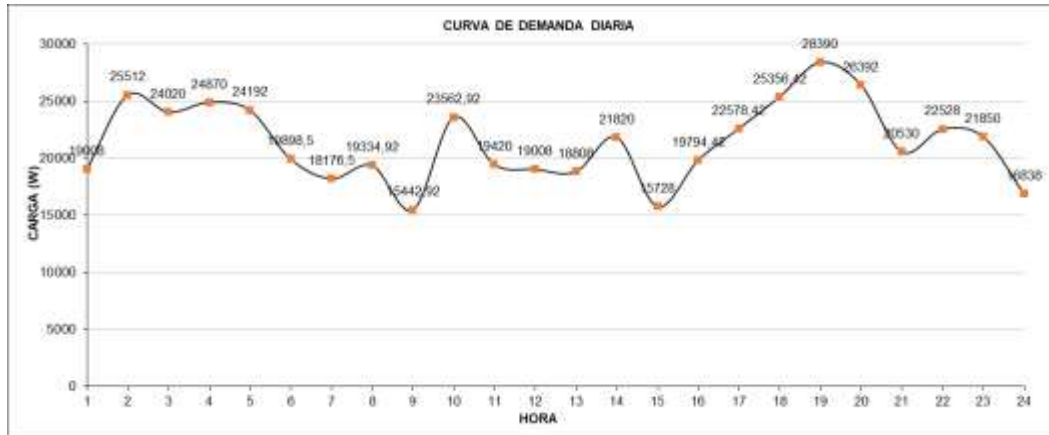


Figura 21

Perfil de carga total



5. Análisis y estudio de alternativas para la generación de energía

El análisis y estudio de los diferentes tipos de generación de energía para la creación de la microrred eléctrica se basa principalmente en 3 criterios fundamentales que son: confiabilidad,

eficiencia e impacto ambiental. Esto con el fin de establecer la solución energética más viable para el cliente y sus objetivos. Es importante mencionar que las alternativas que se buscan son a través de energías renovables disponibles en la región, una vez identificadas, es necesario estimar su potencial con lo cual se podrá determinar si es factible considerarla como opción para suplir las necesidades energéticas.

Mediante el uso del software Homer PRO se generaron las diferentes opciones y combinaciones para los distintos tipos de energía (UL Solutions, 2021). A partir de eso, se evaluaron los criterios mencionados y se seleccionó la opción más favorable para el productor.

5.1 Evaluación de criterios

Es necesario establecer que información se debe evaluar según los criterios estipulados para determinar cuál es la mejor opción que se propone. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el cliente tomará la decisión final de dichas opciones propuestas para la implementación de la microrred eléctrica en la finca productiva en el municipio de Planadas, en el departamento del Tolima. A continuación, se presentan los aspectos esenciales que se deben evaluar en cada criterio para determinar y tomar una decisión final.

5.1.1 Criterio 1: Impacto ambiental

Para la evaluación de este criterio se usa como marco de referencia la norma ISO 14001 de 2015 denominada “Guía de implantación para sistemas de gestión medioambientales” (NC ISO 14001, 2015). En esta guía se definen las normas básicas y necesarias para la implementación de un proyecto en general usando el anexo SL. Este anexo es un formato estándar en donde se estudia y analiza todas las actividades, los productos o los servicios de un proyecto o empresa y su relación e interacción con el medio ambiente, dando lugar a la evaluación de la viabilidad ambiental en la gestión de procesos.

Al tratarse de un proyecto y no la creación de empresa se toma en cuenta la sección 6 del anexo SL: Planificación, que consiste en establecer un marco de referencia que solicita un análisis propio que determina los principales aspectos, riesgos o impactos de las actividades o productos que estos puedan ocasionar al medio ambiente. Entre estos riesgos se incluye: la probabilidad en que pueda ocurrir el impacto, la gravedad del daño producido, el interés de las partes interesadas y los requisitos legales.

Cada aspecto se puede cuantificar de acuerdo con la siguiente información de la **Figura 22** y determinar si el proyecto es viable. Adicionalmente, es necesario considerar la creación de objetivos medioambientales y planificación para conseguirlos.

Figura 22

Cuantificación de aspectos medioambientales

		Clasificación de riesgo potencial			
		Menor	Moderado	Significante	Catastrófico
Probabilidad de ocurrencia	Muy probable	Moderado	Alto	Extremo	Extremo
	Probable	Bajo	Moderado	Alto	Extremo
	Improbable	Muy bajo	Bajo	Moderado	Alto
	Raro	Muy bajo	Muy bajo	Bajo	Moderado

Nota: Tomado de Guía de implantación para sistema de gestión medioambiental, NC ISO 14001, 2015.

5.1.2 Criterio 2: Confiabilidad

La confiabilidad está altamente ligada a la precisión o exactitud de los resultados, teniendo en cuenta una incertidumbre definida, producida por errores sujetos a cambios en las condiciones ya sea climáticas o del instrumento, etc. Por lo general, se definen tres aspectos a evaluar para determinar la confiabilidad de un proyecto. La estabilidad que es la constancia de los resultados a lo largo del tiempo. La equivalencia, que consiste en determinar la similitud de los resultados frente a varios escenarios y consistencia, que indica que tan frecuentes son dichos resultados.

De acuerdo con el proyecto, se determina la confiabilidad de las distintas fuentes de generación de energía eléctrica de acuerdo con los aspectos mencionados anteriormente, enfocándolos en la generación de esta. Entre estos aspectos se incluye:

Estabilidad: Se determina que tan consistente es la fuente de generación en la proyección de energía producida en un tiempo determinado

Equivalencia: Se determinan si los resultados son similares de acuerdo con cambios como ambientales, etc.

Consistencia: Se determina si los resultados producidos por las distintas fuentes complacen los objetivos propuestos.

5.1.3 Criterio 3: Eficiencia

La eficiencia analiza la productividad y optimizar los recursos de manera que se obtengan los máximos resultados. Generalmente, el análisis de la eficiencia se usa para comparar distintas opciones. Es necesario hacer el cálculo de la *OEE (Overall Equipment Effectiveness)* o eficiencia general de equipos, en donde, se deben atender principalmente tres factores fundamentales.

Disponibilidad: Se debe revisar el tiempo de funcionamiento de los equipos.

Rendimiento: Analizar si los equipos cumplen o trabajan cerca a sus condiciones nominales.

Calidad: El estado de los equipos es importante para determinar su eficiencia.

El cálculo de OEE engloba en un único indicador los parámetros fundamentales de la producción industrial, en donde se determina si su productividad está determinada por alguno de los parámetros mencionados anteriormente.

El criterio de disponibilidad es calculado al dividir el tiempo de operación por el tiempo total al cual el equipo pudo haber producido, pero no lo hizo. Estos tiempos de evaluación son básicamente la suma de tiempos de operación menos los periodos de tiempo de no operación. Por último, la eficiencia es calculada de una manera muy simplificada con la siguiente ecuación (2):

$$\% \eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100 = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_{perdidas}} * 100 \quad (2)$$

5.2 Análisis en el software en Homer PRO

Para determinar el modelo del sistema que se usó con las distintas fuentes de energía se implementó el software Homer PRO (UL Solutions, 2021). Este software permite optimizar el diseño de una microrred, determinando su eficiencia y una gama de opciones viables a implementar en los proyectos eléctricos. Mediante el uso de este software se determinó qué tipos de fuentes de generación de energía se van a usar, optimizando y generando resultados. Entre los elementos necesarios para el diseño de la microrred eléctrica, fue importante conocer los recursos tales como, irradiancia solar, radiación solar, biomasa, velocidad del viento, temperatura del ambiente, velocidad del agua, caudal del agua y combustible.

5.2.1 Selección de parámetros

Se consultó la información y los recursos de la zona de estudio con el objetivo de calcular la participación de las fuentes de generación para suplir la carga. Homer PRO cuenta con la capacidad de importar la información necesaria de todos los recursos meteorológicos a partir de bases de datos determinadas. De esta manera, se descendieron los datos de irradiación solar (kWh/m^2), temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), velocidad del viento (m/s) y demás recursos (**Figura 23**).

Por otro lado, en el **Apéndice B** se presentó la información meteorológica de la zona de estudio a través de la base de datos de la NASA (NASA, 2022). Además, fue necesario realizar la caracterización de las distintas fuentes de generación en el software Homer PRO.

Figura 23

Importación de datos al software Homer PRO



5.2.2 Caracterización de la fuente biomasa

La producción de biomasa disponible en la finca productora de café en Tolima es de 10000 toneladas/día (**Figura 24**), con un contenido de carbón de solo el 5% y una gasificación de 25 kg/kg.

Figura 24

Caracterización de la biomasa en Homer PRO



5.2.3 Caracterización de la fuente solar

Se presentan la irradiancia solar directa normal y horizontal respectivamente (kWh/m²/día)

(Figura 25 y 26).

Figura 25

Irradiancia solar directa en Homer PRO



Figura 26

Irradiancia solar horizontal en Homer PRO



5.2.4 Caracterización de la temperatura

Se presentan los niveles de temperatura durante todo el año para la zona de estudio (**Figura 27**).

Figura 27

Niveles de temperatura en Homer PRO



5.2.5 Caracterización del viento

Se presentan los valores de la velocidad del viento promedio de cada mes, durante un año que se presentan en la zona de estudio, con los cuales se realizarán los cálculos en Homer PRO, para el estudio de alternativas de fuentes de generación (**Figura 28**).

Figura 28*Velocidad del viento en Homer PRO*

5.2.6 Caracterización del recurso hídrico

Se presenta el flujo de corriente del recurso hídrico presente en la zona, en donde se puede observar que es irregular en el año, presentando sus mayores niveles de flujo en los últimos 3 meses del año (**Figura 29**).

Figura 29*Recurso hídrico en Homer PRO*

5.3 Estimación del perfil de carga en Homer PRO

En el software Homer PRO se estableció el perfil de carga del sistema (**Figura 30**). Se contempla la carga total que comprende la carga residencial, comercial e industrial, se puede observar que el pico de consumo es a las 19:00 horas con un valor de 30.13 kWh.

Figura 30

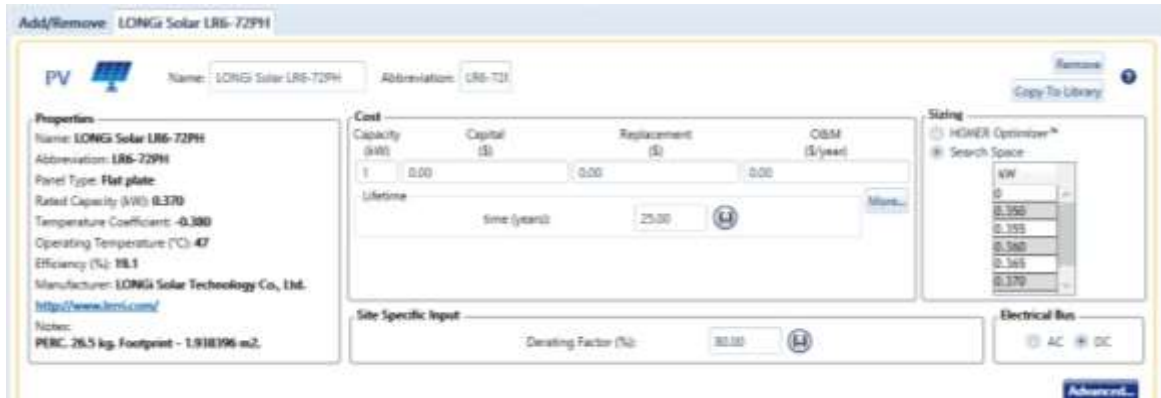
Perfil de carga en Homer PRO



5.4 Selección de componentes y equipos en Homer PRO

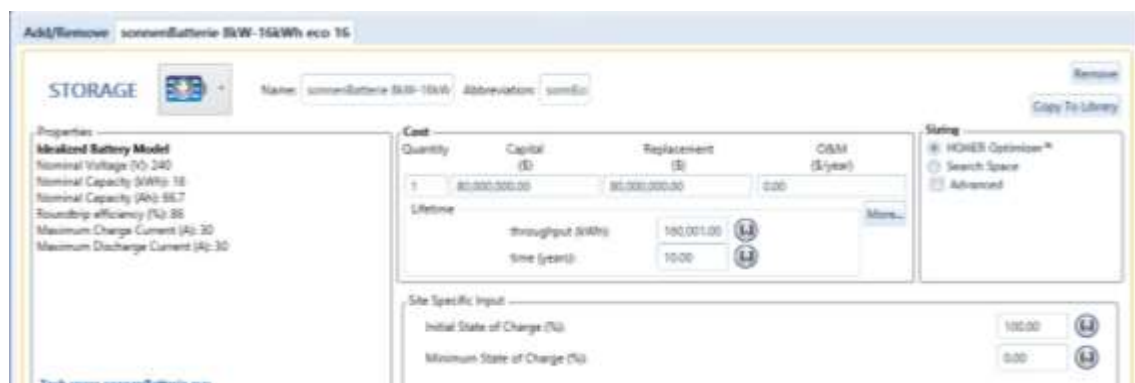
5.4.1 Modelo de módulo voltaico

Se escoge el panel solar Jinko Solar Co, Ltd.300JKM300M-60-V con una capacidad de 0.3 kW cada panel, con temperatura de operación de 45°C y una eficiencia del 13%, tiene un costo unitario de 369.000 pesos colombianos y una vida útil de 25 años. En la **Figura 31** se puede observar con más detalle los datos del panel solar ofrecidos por el software Homer PRO.

Figura 31*Modelo de panel solar en Homer PRO*

5.4.2 Modelo de baterías

Se escoge una batería sonnenBatterie eco 12 con una capacidad de 12 kWh y 50 Ah con un voltaje de 240 V y una eficiencia de 86%, carga máxima de 30 A y descarga máxima de 30 A, tiene un costo unitario aproximadamente de 2'000.000 de pesos colombianos y una vida útil de 10 años (**Figura 32**).

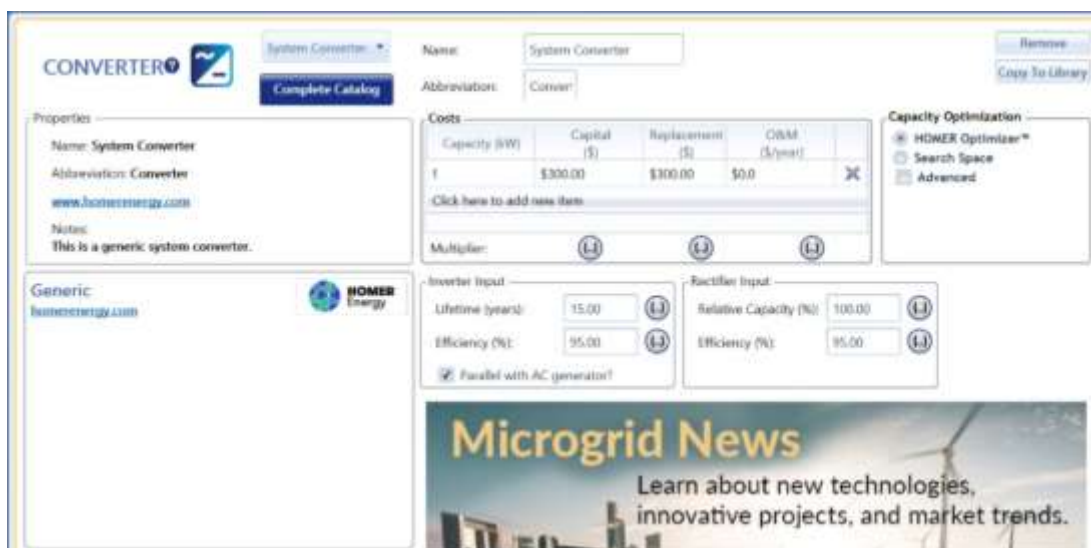
Figura 32*Modelo de batería en Homer PRO*

5.4.3 Modelo inversor

Se escoge un inversor genérico con una capacidad de 1 kW con una eficiencia del 95% y una vida útil de 15 años, su costo unitario es de aproximadamente 1'400.000 pesos colombianos y su costo de mantenimiento es de 230.000 pesos por año (**Figura 33**).

Figura 33

Modelo de inversor en Homer PRO

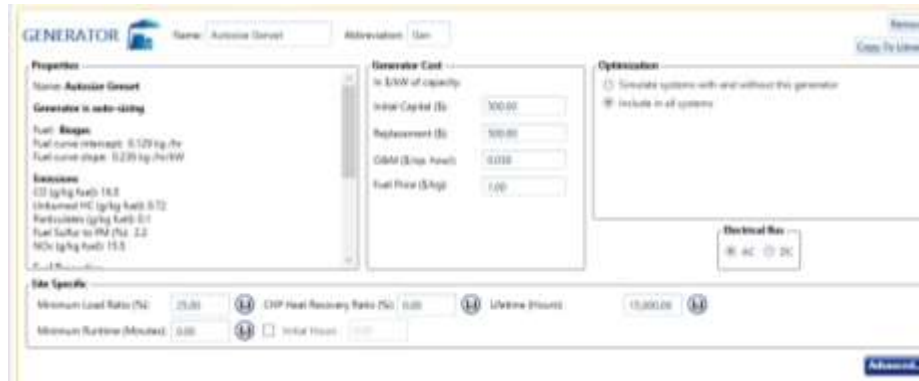


5.4.4 Modelo generador diésel

Se escoge un generador genérico DSL con una capacidad de 17.794 g/L, con una densidad de 820 kg/m³, contenido de carbón del 88% y de azufre del 0.4%, tiene un valor mínimo de calefacción de 43.2 MJ/kg. Cuenta con partículas de 0.0712 g/L y combustible de azufre a PM 2.2%. Su costo unitario y de reemplazo está en 110'000.000 de pesos, su costo de operación por hora ronda alrededor de los 2000 pesos colombianos y el costo del combustible es de 2400 \$/L. Su ciclo útil es de 15000 horas (**Figura 34**).

Figura 34

Modelo de generador diésel en Homer PRO

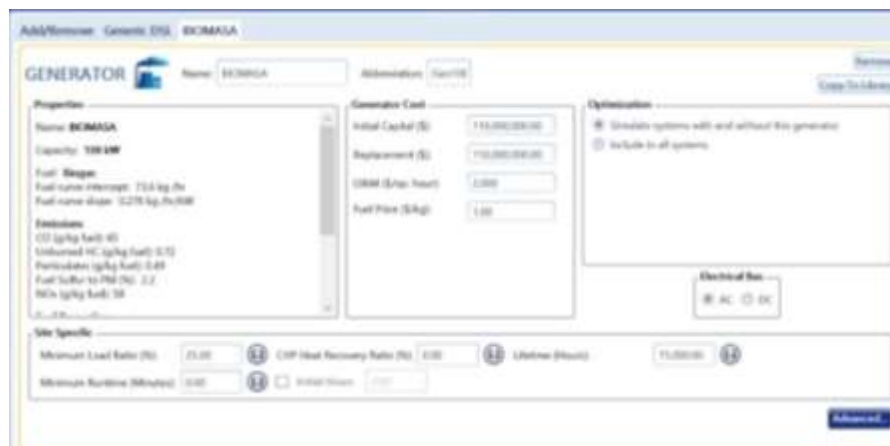


5.4.5 Modelo biomasa

Se escoge un generador de biomasa con una capacidad de 100kW su fuente de alimentación es el biogás. Intercepción de la curva de combustible 73.6 kg/hr, la pendiente de la curva de combustible es 0.276 kg/hr/kW, produce una emisión de 65 g/kg de CO₂. Cuenta con partículas de 0.49 g/L y combustible de azufre a PM 2.2%. Su costo unitario y de reemplazo está en 110'000.000 de pesos, su costo de operación por hora ronda alrededor de los 2000 pesos colombianos y el costo del combustible es de 1 \$/L. Su ciclo útil es de 15000 horas (**Figura 35**).

Figura 35

Modelo de generador de biomasa en Homer PRO

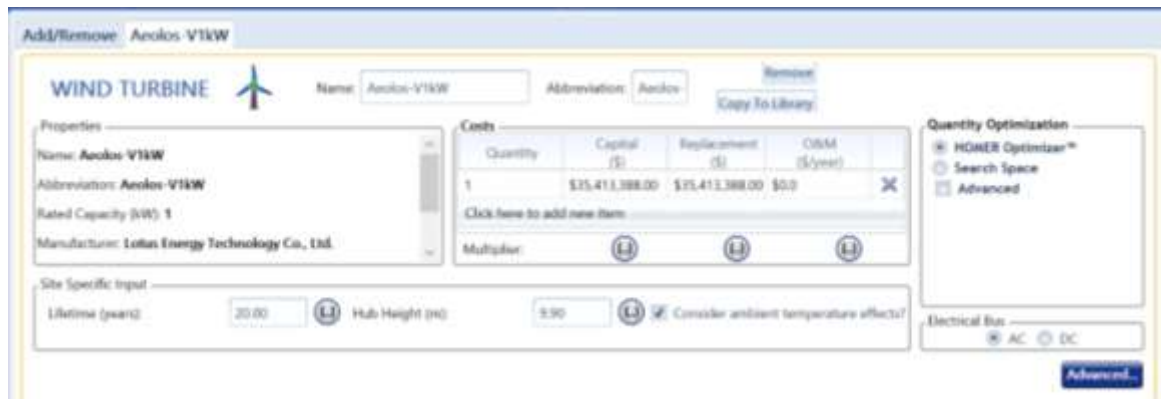


5.4.6 Modelo turbina eólica

Se escoge una turbina Aeolos-V1kW con una capacidad de 1kW, velocidad del viento de 1.5 m/s, velocidad nominal del viento 10 m/s, velocidad del viento de corte de 50 m/s. Cuenta con un diámetro de 2 metros, la superficie del rotor es de 3.2 m² y tiene 3 hojas, su velocidad máxima es de 300 U/min y la velocidad de punta es de 31 m/s. Su costo unitario y de reemplazo es de 35'413.388 pesos colombianos, con una vida útil de 20 años (**Figura 36**).

Figura 36

Modelo de turbina eólica en Homer PRO



5.4.7 Modelo turbina hidráulica

Se escoge una turbina turgo debido a las ventajas que posee sobre las turbinas Francis y Pelton, es una turbina de impulso diseñada para saltos de desnivel medio, de 15 a 65 rpm, atiende caídas entre 15 y 100 metros y caudales de 0.01 a 0.100 m³/s con potencias de 100W a 100kW, con un rendimiento del 90%. Su costo unitario y de reemplazo es de 150'000.000 pesos colombianos, su costo de operación por año es de 13.795 pesos colombianos y tiene una vida útil de 50 años. Su eficiencia es de 50.2 %, cuenta con un cabezal de 57.33 metros, un flujo de 600 L/s, tiene una relación de flujo mínimo de 10% y máximo del 393.33% (**Figura 37**).

Figura 37*Modelo hidráulico en Homer PRO*

5.5 Simulación de la MG en Homer PRO

El sistema muestra un generador diésel genérico en paralelo con un generador eólico, un generador de biomasa y un sistema de generación hidráulica, todos conectados a una barra AC, seguido de esto, podemos observar en el medio la carga eléctrica que demanda el cliente para su finca productiva, junto con un inversor DC/AC, finalmente, se puede observar la conexión de un sistema de generación fotovoltaico junto con las baterías, conectadas a una barra DC (**Figura 38**). Además, a partir de este sistema se realizaron las simulaciones necesarias para determinar una solución óptima (**Figura 39**).

Figura 38*Modelo de sistema para simulación en Homer PRO*

Figura 39

Resultados de la simulación en Homer PRO

Component	Cost (\$)	Capacity (kW)	Efficiency (%)	Hours (h)	Energy (kWh)	Cost/kWh (\$)	Operating cost (\$)	Net Present Value (\$)	System
WTG-700	100000	700	35	8760	100000	1.13	100000	100000	WTG
WTG-150	10000	150	35	8760	10000	1.13	10000	10000	WTG
WTG-300	20000	300	35	8760	20000	1.13	20000	20000	WTG
WTG-450	30000	450	35	8760	30000	1.13	30000	30000	WTG
WTG-600	40000	600	35	8760	40000	1.13	40000	40000	WTG
WTG-750	50000	750	35	8760	50000	1.13	50000	50000	WTG
WTG-900	60000	900	35	8760	60000	1.13	60000	60000	WTG
WTG-1050	70000	1050	35	8760	70000	1.13	70000	70000	WTG
WTG-1200	80000	1200	35	8760	80000	1.13	80000	80000	WTG
WTG-1350	90000	1350	35	8760	90000	1.13	90000	90000	WTG
WTG-1500	100000	1500	35	8760	100000	1.13	100000	100000	WTG

5.6 Análisis de los resultados obtenidos en Homer PRO

Para determinar cuál era la opción más recomendable para realizar el diseño de la microrred eléctrica fue necesario tener en cuenta los criterios de evaluación mencionados en el apartado 5.1. A partir de ello, se evaluó cada alternativa presentada por el software Homer PRO (**Figura 39**).

5.6.1 Criterio 1: Impacto ambiental

Como primer criterio de evaluación se evaluó el impacto ambiental de cada fuente de generación propuesta. Es por eso, que resulta necesario realizar la identificación, previsión, interpretación y medición de las consecuencias ambientales, en este caso, se trata de una zona privada del sector rural ubicada en el municipio de Planadas, Tolima. Se usa la metodología propuesta por (CONESA Fernández-Vitoria, 1997), que define el impacto de un proyecto por medio de los siguientes parámetros.

La naturaleza, que se define como el carácter positivo o negativo del impacto. De acuerdo con esto, es importante mencionar que las fuentes de generación que priman este aspecto son las fuentes de generación hidráulica, ya que, gracias a la presencia de un cuerpo de agua ubicado en la zona, facilita la producción de dicha energía. Debido a que se tiene un sistema en derivación

previo su impacto ambiental es bastante reducido a comparación de las distintas fuentes de generación.

Además, otra fuente de generación importante y beneficiosa resulta ser la energía solar, ya que la finca productora de café cuenta con el espacio necesario para la ubicación de paneles solares, sin necesidad de afectar dicha zona. Por otro lado, las demás fuentes de generación provocarían un mayor impacto ambiental, como lo es la producción de biomasa, ya que estos recursos son usados para la alimentación de animales, etc. El uso de generadores diésel implica uso de combustibles fósiles generando una gran producción de gases contaminantes liberadas por la producción de carbón ayudando al efecto invernadero.

Por otro lado, la intensidad, que se define como el grado de afectación del elemento ambiental por la actividad asociada; tiene en cuenta la intensidad y la velocidad de tal afectación. La generación hidráulica y solar presentan una intensidad de afectación baja, la energía a partir de la biomasa y eólica presentan una intensidad de afectación media, finalmente el generador diésel presenta una intensidad de afectación alta.

En el caso de la extensión, que se define como el área de influencia de la afectación en relación con el entorno del proyecto. La presencia de estas fuentes de generación implica un gran impacto negativo en este parámetro, ya que cada uno de estos tipos de fuentes requiere gran cantidad de espacio del predio, ya sea para la colocación de paneles solares, generadores eólicos, diésel o de biomasa y turbinas hidráulicas. Al ser instalaciones de gran tamaño, son poco respetuosas con los animales y las plantas. De igual modo el suelo deja de ser un espacio aprovechable para la agricultura como pasa en los parques eólicos y solares.

Adicionalmente, el momento, que es la persistencia del efecto en el tiempo. Podrá ser de corto, mediano y largo plazo. El uso de combustibles fósiles, genera un impacto negativo

permanente en el medio ambiente mientras estas fuentes de generación se encuentren en uso, de manera que el momento sería de un largo plazo, de igual manera, el uso de la biomasa puede ser un problema de largo plazo si no se realiza adecuadamente, puesto que se requiere realizar un proceso de combustión, transformando las sustancias que sean aptas para utilizar en este tipo de procesos, dicha combustión supone la aparición de productos contaminantes que pone en alto riesgo al medio ambiente, así que, el uso incontrolado de esta fuente de generación puede provocar un momento de largo plazo en el medio ambiente.

La fuente de generación eólica propone un momento de mediano plazo, esto se debe a que las dimensiones de los aerogeneradores son demasiado grandes, provocando la muerte de aves, murciélagos e insectos ya que dichas instalaciones entorpecen las rutas migratorias. La energía hidráulica y solar propone un momento de corto plazo ya que estas fuentes de generación, aunque producen efectos negativos al medio ambiente, la persistencia del impacto no es tan significativo a comparación de las demás fuentes de generación. A partir del momento, se puede analizar el siguiente parámetro denominado como la reversibilidad, que se define como la capacidad del medio de revertir los efectos negativos de un impacto. Como bien se menciona antes, la posibilidad de que el medio ambiente pueda revertir estas afectaciones está ligado al momento de dichos impactos ambientales.

Las sinergias, que se define como la posibilidad de que el efecto combinado de dos o más impactos sea mayor a la suma de todos ellos. El uso de energías renovables como lo son la solar, eólica e hidráulica proponen de manera general una mejora y un cuidado al medio ambiente, aunque tienen impactos negativos que pueden generar problemas de contaminación, dichos problemas se ven reducidos significativamente frente a otras alternativas de fuentes no renovables como lo es la generación por medio de combustibles fósiles.

De acuerdo con esto, es necesario definir el siguiente parámetro que es la acumulación, que es el carácter aditivo en el tiempo de los efectos ocasionados por un impacto. Siendo este directamente proporcional al sinergismo podemos concluir que, la probabilidad de sinergismo y acumulación de las energías no renovables es elevada o alta, mientras que, por el contrario, la probabilidad de sinergismo y acumulación de las energías renovables es baja.

El efecto, que se define como la posibilidad de ocasionar un efecto secundario, de manera directa o indirecta. En todas las fuentes de generación se presentan efectos secundarios de manera directa o indirecta, principalmente en los procesos de fabricación como la presencia de emisiones derivadas de la instalación de aerogeneradores, en donde, la extracción de los materiales y su distribución genera CO₂ y residuos. La producción de paneles solares es perjudicial para la salud, ya que cuando las placas solares alcanzan el tope de su vida útil son arrojadas a vertederos, produciendo desechos tóxicos para el medio ambiente, de igual forma, las demás fuentes de generación producen distintos tipos de contaminantes que tienen un efecto negativo.

Por último, la periodicidad, que se define como la frecuencia con la que se presenta el impacto, que puede ser: irregular, periódico y continuo. Y la recuperabilidad, que es la posibilidad de retornar el factor afectado a las condiciones iniciales previas. Son parámetros que es necesario analizar en conjunto, debido a que si la periodicidad del impacto es continua es poco probable que se genere una recuperabilidad exitosa.

Estos parámetros pueden ser evaluados en una escala numérica y a partir de los aspectos mencionados anteriormente, se define la importancia del impacto (I), que se expresa matemáticamente de acuerdo con la siguiente ecuación (3).

$$I = (3\text{Importancia} + 2\text{Extensión} + \text{Momento} + \text{Persistencia} + \text{Reversibilidad} + \text{Sinergia} + \text{Acumulación} + \text{Efecto} + \text{Perioriodicidad} + \text{Recuperabilidad})$$

(3)

En la **Tabla 14** se observa el análisis de los parámetros de impacto ambiental y en la **Tabla 15** se indican los resultados de la evaluación de estos aspectos. Los resultados muestran que las fuentes de generación hidráulica y solar presentan un menor impacto ambiental frente a las demás.

Tabla 14

Análisis de los parámetros de impacto ambiental

Impacto	Categoría		
Intensidad, extensión	Baja = 1	Media = 2	Alta = 3
Momento, reversibilidad	Corto = 1	Mediano = 2	Largo = 3
Persistencia	Fugaz = 1	Temporal = 2	Permanente = 3
Sinergias	Sin sinergismo = 1	Sinérgico = 2	Muy sinérgico = 3
Acumulación	Nulo = 0	Simple = 1	Acumulativo = 2
Efecto	Nulo = 0	Sin efecto = 1	Con efecto = 2
Periodicidad	Irregular = 1	Periódico = 2	Continuo = 3
Recuperabilidad	Nulo = 0	Muy probable = 1	Poco probable = 2

Tabla 15

Resultados de la evaluación de los parámetros de impacto ambiental

Parámetros	Energía Hidráulica		Energía Solar		Energía Eólica		Generador Diesel		Generador Biomasa	
	Valor		Valor		Valor		Valor		Valor	
Intensidad	Baja	1	Baja	1	Media	2	Alta	3	Media	3
Extensión	Alta	3	Alta	3	Media	2	Baja	1	Baja	1
Momento	Corto	1	Corto	1	Mediano	2	Largo	3	Largo	3
Persistencia	Temporal	2	Permanente	3	Temporal	2	Temporal	2	Temporal	2
Reversibilidad	Corto	1	Mediano	2	Mediano	2	Largo	3	Largo	3
Sinergias	Sin sinergismo	1	Sin sinergismo	1	Sin sinergismo	1	Muy sinérgico	3	Sinérgico	2
Acumulación	Simple	1	Simple	1	Simple	1	Acumulativo	2	Acumulativo	2
Efecto	Con efecto	2	Con efecto	2	Con efecto	2	Con efecto	2	Con efecto	2
Periodicidad	Irregular	1	Irregular	1	Irregular	1	Continuo	3	Periódico	2
Recuperabilidad	Muy probable	1	Muy probable	1	Muy probable	1	Poco probable	2	Poco probable	2
IMPACTO		19		21		22		31		29

5.6.2 Criterio 2: Confiabilidad

La confiabilidad se define como la posibilidad de contar con los elementos necesarios para generar suficiente energía y atender la demanda de energía eléctrica por parte del usuario. La confiabilidad resulta ser un factor importante en la producción de energía, especialmente en la utilización de recursos renovables como el sol, el viento, la biomasa, el agua, entre otros. Es

importante resaltar que el sistema de producción puede presentar fallas o interrupción del sistema ya que en cualquier momento se puede presentar una carencia del elemento.

Para hablar de confiabilidad, es importante hablar de estabilidad, que se refiere a que tan consistente es la fuente de generación en la proyección de energía producida en un tiempo determinado. La equivalencia que determina si los resultados son similares de acuerdo con cambios como ambientales, etc. Y la consistencia que determina si los resultados producidos por las distintas fuentes complacen los objetivos propuestos.

La propuesta de un generador diésel resulta ser bastante confiable en la producción de energía, ya que presenta una estabilidad bastante elevada ya que su principal recurso son los combustibles fósiles, siendo la forma de generación más común en la actualidad a nivel global. Al proponer esta fuente de generación se obtienen los resultados esperados a pesar de las condiciones climáticas y cualquier imprevisto que esta pueda presentar.

Por otro lado, las fuentes de generación renovables que usen los recursos naturales brindados por la naturaleza requieren un estudio más detallado en cuanto a la confiabilidad que brindan. En el apartado 3.2.1 se indicó que la radiación solar presente en la zona refleja un valor que oscila alrededor de los 4 kWh/m²/día siendo este un valor constante durante los meses del año. De acuerdo con un estudio realizado por el IDEAM durante 9 años, podemos determinar que dicho recurso presenta una gran estabilidad a lo largo del tiempo, además, podemos observar que se presenta una gran cantidad de horas de lluvia, el recurso hídrico es bastante amplio, gracias a que estamos en una zona con grandes cantidades de ríos generando una gran estabilidad en la presencia de dicho recurso hidráulico.

Por otro lado, el recurso eólico es el menos abundante, pero a pesar de esto las velocidades de los vientos por esta zona oscilan entre los 3 m/s y los 7 m/s y la producción de biomasa es

considerable, ya que este recurso natural al encontrarse en una zona de producción de café se genera demasiada biomasa utilizada para distintos fines como el alimento de animales, etc.

Para hablar de equivalencia es importante hablar sobre los posibles cambios climáticos que se puedan presentar a lo largo del año, es por eso por lo que es necesario mencionar que en Colombia se presentan con bastante frecuencia unos fenómenos denominados, el fenómeno del Niño y la Niña. Estos fenómenos consisten en unas variaciones tanto en el océano como en la atmosfera. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) entidad responsable de pronóstico y alertas climáticas del país, ha detectado que estos fenómenos tienen una probabilidad de llegada a Colombia del 78% para el tercer y cuarto trimestre del año respectivamente.

El fenómeno del Niño afecta de manera considerable los recursos en el municipio de planadas Tolima, ya que presenta un déficit entre el 40% al 80%. Por otro lado, el fenómeno de la niña produce el efecto contrario generando excedentes en los recursos de 120% al 160%. Esto nos indica que en estos periodos de tiempo donde se presentan dichos fenómenos se ve reducida la generación de energía con dichos recursos y por tanto su confiabilidad.

Finalmente, la consistencia de estas fuentes de generación se determina de acuerdo con la carga establecida, eso quiere decir que cada fuente de generación se diseña con el propósito de suplir el 100% de la demanda establecida.

5.6.3 Criterio 3: Eficiencia

La evaluación de este criterio se centra en los resultados obtenidos con el software Homer PRO. En la **Figura 39** se pudo que la opción más eficiente y donde se puede aprovechar la mayor cantidad de energía es usando la energía hidráulica junto con la energía solar con baterías como segunda opción, ya que cuenta con una energía de entrada de 8780 kWh/año y una energía de

salida de 8341 kWh/año y unas pérdidas de 439 kWh/año. La eficiencia pudo estimarse usando la siguiente fórmula (4):

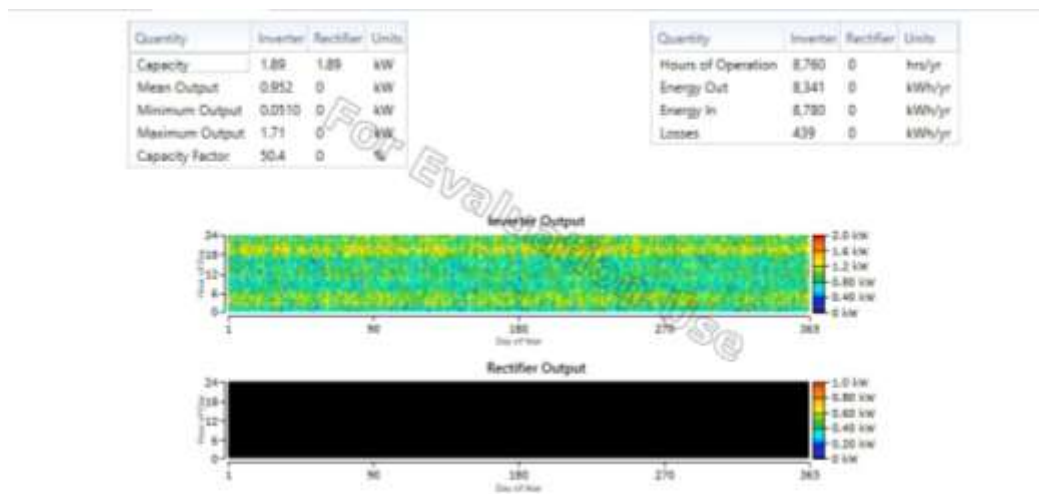
$$\eta = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100 = \frac{P_{salida}}{P_{salida} + P_{perdidas}} * 100 \quad (4)$$

$$\eta = \frac{8341}{8780} * 100 = 95\%$$

Adicionalmente, en la **Figura 40** se evidencia la energía de salida y energía de entrada con la cual se calcula la eficiencia para la configuración propuesta.

Figura 40

Estimación de energía y pérdidas en Homer PRO



Teniendo en cuenta los criterios establecidos se observa que las fuentes que priman sobre las demás, son las fuentes de generación hidráulica y generación solar, debido a que son más agradables con el medio ambiente, su impacto con este es mucho menor, además de esto, la confiabilidad que estas fuentes de generación brindan es considerable, gracias a que los recursos

que se usan para la generación están presentes de manera constante. Finalmente, el software Homer PRO encargado de realizar la optimización de cada opción que se maneja, da como resultado que dichas fuentes trabajando en conjunto son las más eficientes en términos de producción de energía.

5.7 Combinaciones y posibles soluciones en Homer PRO

Existen demasiadas combinaciones o soluciones para implementar dichas fuentes de generación, por lo cual se consideraron las siguientes.

5.7.1 MCH con redundancia en filtro y SFV

El sistema de generación que se propone contiene doble filtro con el fin de mantener y mejorar los niveles de limpieza requeridos por cada uno de los componentes, evitar la contaminación ambiental, prevenir costosas averías provocadas por el arrastre de diferentes elementos sólidos que están presentes en el recurso hidráulico, entre otros. La implementación de filtros como respiradero o filtros de baja presión en succión en redundancia elevan la producción, ya que estos elementos están sometidos a un mantenimiento muy riguroso para asegurar que el sistema hidráulico se encuentre bien protegido, al tener dicha redundancia se pueden alternar estos mantenimientos, evitando que la producción se detenga por completo.

5.7.1.1 SFV sin baterías. Se tiene un sistema solar fotovoltaico sin baterías, únicamente para producir la energía necesaria cuando el sistema de generación hidráulica no esté en funcionamiento. Esta configuración propone que el usuario opere con restricciones, ya que, en primer lugar, al no tener baterías no podrá operar en las horas de la noche cuando el sistema de generación hidráulica no pueda operar debido a factores como mantenimiento o disponibilidad de caudal, siendo así poco confiable y eficiente.

5.7.1.2 SFV con baterías. Al contrario del sistema sin baterías, esta configuración permite almacenar la energía necesaria cuando las demás fuentes de generación no se encuentren en

funcionamiento, mejorando la confiabilidad, sin embargo, se presenta una elevación en los costos, al poseer tanto baterías como dos filtros en el sistema de generación hidráulica.

5.7.2 MCH con redundancia en turbinas y SFV

Con el mismo objetivo de mejorar tanto la confiabilidad y eficiencia del sistema, se plantea un sistema con dos turbinas, para así, mejorar o elevar el tiempo de producción de energía ya que se busca alternar las horas de uso de cada generador para así evitar un alto de producción debido a mantenimiento, esta opción presenta una gran elevación de costos al tener dos generadores, así como los costos de mantenimiento.

5.7.3 MCH y SFV

Aquí se propone que el diseño de la microrred eléctrica esté compuesto por un sistema de generación hidráulica con un generador y un sistema solar fotovoltaico, de manera que la producción de energía la realice como fuente principal la energía hidráulica, así cuando esta deba realizar alguna interrupción en su sistema debido a diversos factores como mantenimiento, disponibilidad de caudal o aumento de este debido a lluvias, agua turbia etc. La fuente de generación solar servirá como respaldo y provee el 100% de la carga, creando un sistema complementario efectivo y con alta confiabilidad.

A continuación, se presenta un análisis de costos básico y aproximado con el fin de seleccionar la configuración y realizar el respectivo diseño. En la **Tabla 16** se presentan los costos aproximados de los equipos significativos que hacen variar la opción de configuración de la microrred eléctrica.

Tabla 16*Aproximación de costos significativos*

Componente	Precio unitario
Turbina pequeña con sistema de control automático 40kW	\$ 85,473,974.40
Filtro hidráulico de alta presión montado en tanque Parker con línea de retorno	\$ 2,054,794.52
Panel solar 550W Monocristalino	\$ 1,199,000.00
Batería solar 200ah 12V	\$ 1,650,000.00

Es importante mencionar que las configuraciones que contienen un sistema con baterías se deben tener en cuenta el valor total de las baterías, suponiendo que se manejan la misma cantidad de baterías en todas las configuraciones se realiza el análisis con el valor unitario. A continuación, se presentan los costos de cada configuración, solo teniendo en cuenta los elementos que varían en cada una de ellas, el análisis no contiene costos detallados de cada componente de dicha configuración debido a que se encuentra fuera del alcance del proyecto, en la **Tabla 17** se presenta la variación de costos.

Tabla 17*Costos de las configuraciones propuestas*

Configuración	Costo turbina	Costo filtro	Costo baterías	Total (\$)
MCH con redundancia en filtros y SFV sin baterías	\$ 85,473,974	\$ 4,109,589	No contiene	89,583,563
MCH con redundancia en filtros y SFV con baterías	\$ 85,473,974	\$ 4,109,589	\$ 1,650,000	91,233,563
MCH con redundancia en turbinas y SFV sin baterías	\$ 170,947,948	\$ 2,054,794	No contiene	173,002,742
MCH con redundancia en turbinas y SFV con baterías	\$ 170,947,948	\$ 2,054,794	\$ 1,650,000	174,652,742
MCH y SFV sin baterías	\$ 85,473,974	\$ 2,054,794	No contiene	87,528,768
MCH y SFV con baterías	\$ 85,473,974	\$ 2,054,794	\$ 1,650,000	89,178,768

Finalmente, se analizó la confiabilidad de cada configuración para determinar y seleccionar la mejor opción, es por eso, que en la **Tabla 18** se presentó un análisis de cada configuración.

Tabla 18

Análisis de confiabilidad y operación de las configuraciones propuestas

Configuración	Confiabilidad	Observaciones
MCH con redundancia en filtros y SFV sin baterías	Buena	Operación con restricciones
MCH con redundancia en filtros y SFV con baterías	Excelente	Operación normal
MCH con redundancia en turbina y SFV sin baterías	Buena	Operación con restricciones
MCH con redundancia en turbina y SFV con baterías	Excelente	Operación normal
MCH y SFV sin baterías	Regular	Operación con restricciones
MCH y SFV con baterías	Buena	Operación normal

Se presentó el análisis al usuario con el fin de determinar que configuración se va a usar y se seleccionó la opción de un sistema de generación hidráulico simple con un sistema solar fotovoltaico con implementación de baterías. Esto debido a que su operación y confiabilidad es buena, no posee restricciones de producción y resulta ser una de las opciones más económicas, en el **Apéndice F** se observan los deseos del usuario. Posteriormente, se realizó el diseño y selección de equipos de la microrred eléctrica.

6. Diseño del sistema hidráulico

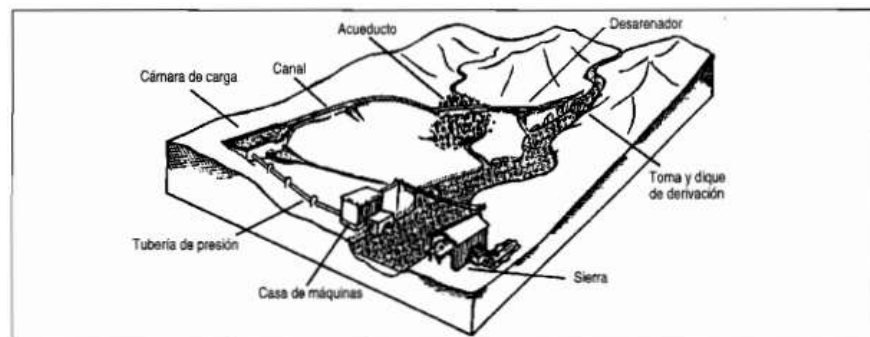
El sistema de generación hidráulica presente en la microrred es de escala micro, ya que se encuentra en un rango por debajo de los 300 kW, tomando una configuración de un sistema en derivación ya que este no detiene el caudal del río, sino que desvía parte del caudal por un canal y una tubería y luego hacia una turbina. La finca La Roma cuenta con una “cámara de agua” donde se permite acumular agua funcionando como un dique.

6.1 Descripción de los componentes y su funcionamiento

La **Figura 41** nos muestra los componentes de un sistema de microhidrogeneración. El caudal principal del río se desvía a través de una abertura hacia un canal abierto, en donde, se encuentra un desarenador que cumple la función de separar las partículas, así como la arena del agua. Siguiendo su recorrido el agua ingresa a una cámara de agua que conlleva a una tubería cerrada que está conectada a una turbina haciendo rotar su eje, que permite accionar un generador eléctrico.

Figura 41

Esquema general y componentes de una MCH



Nota. Tomado de Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos, Coz et al., 1995.

Es importante aclarar, que el sistema de generación requiere que el caudal a lo largo de su recorrido presente una diferencia de altura para producir una potencia útil, tomando esta energía para convertirla en energía eléctrica o mecánica. Normalmente, son utilizadas distintos tipos de turbinas hidroeléctricas, entre las más comunes podemos encontrar la turbina Pelton que funciona como una turbina de acción o de chorro, tangencial y normalmente de eje horizontal, se usa en

saltos de agua generalmente altos superiores a los 200 metros y con caudales pequeños y la fuerza del impulso del agua es la que origina el giro de la turbina.

La turbina Francis es más conocida por ser de reacción, radial-axial y de eje vertical, con un campo de acción inferior a los 200 metros de altura y caudales variados dándole una versatilidad muy amplia. Finalmente, la turbina Kaplan al igual que la turbina Francis es de reacción pura con su eje vertical, diferenciándose de esta en que se usa en saltos de pequeña altura inferiores a los 50 metros y con caudales que suelen superar los 15 metros cúbicos por segundo (De Kuyper, 2014).

6.2 Bases para el diseño de una central micro eléctrica

Es necesario tener en cuenta un procedimiento para diseñar un sistema hidroeléctrico. En primer lugar, se requiere conocer la cantidad y el estudio de la demanda para establecer cuanta energía es necesaria, en este caso, se ha realizado previamente el estudio de la demanda necesaria. Una vez establecido este criterio, el siguiente es realizar un estudio hidrológico o inspección del lugar, esto permite establecer el potencial hidro energético del lugar escogido, que, a través de las bases de datos escogidas, permite observar los datos específicos del caudal, su variación a lo largo del año, la disponibilidad de la potencia y su eficiencia.

Finalmente, se realizó un estudio de prefactibilidad y factibilidad final que consiste en un estudio tanto de costos como del sistema técnico y funcional, dando una solución al problema en cuestión, dando así varias opciones que satisfacen las demandas del cliente, en nuestro caso de estudio, se omite el tema de costos y presupuestos debido principalmente a que el cliente es muy específico al enfatizar que dicho tema no tiene relevancia en este proyecto, así que, no está incluido en el alcance de dicho documento. El principal criterio es la eficiencia que el sistema pueda tomar (Coz et al., 1995).

6.3 Determinación del caudal

Para la determinación del caudal útil de la quebrada Puerto Limón, se hizo uso de los datos recolectados por la comunidad, las cuales tienen registro de caudales medios mensuales desde el año 2017 hasta 2021 en m^3/s . Para la evaluación de los datos brindados por la comunidad durante esos 5 años, es usada el análisis estadístico, elaborando tablas de frecuencia absolutas y relativas, esto nos permite representar la curva de duración de caudales mostradas en la siguiente sección y caudales promedio mensual para cada mes en la **Figura 42**. Es probable que muchas veces no exista información para hacer un estudio de hidrología, entonces es necesario recolectar nuestros propios datos a partir de mediciones instantáneas del caudal, realizando mediciones mensuales, semanales e incluso diarias.

Figura 42

Gráfica de caudal promedio mensual en la Finca La Roma



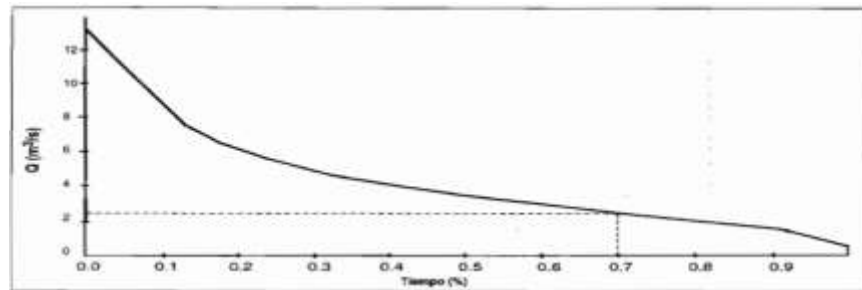
6.4 Elaboración de la curva de duración de los caudales

La curva de duración de caudales nos permite ver la probabilidad como un porcentaje de tiempo de todo el periodo en que el caudal en un cauce excede o no un valor correspondiente de caudal en un porcentaje de tiempo, que utilizarse para realizar un pronóstico de comportamiento

futuro de caudales. La **Figura 43** anterior muestra el comportamiento de los caudales respecto a la duración de estos (Morales & Saavedra, 2017).

Figura 43

Curva de duración de caudales



Nota. Tomado de Fuentes de energía renovables y no renovables. Aplicaciones, De Kuyper, 2014.

Para elaborar la curva de duración de caudales es necesario el análisis estadístico, para esto es necesario calcular la frecuencia relativa (f_r) la cual se calcula con la ecuación (4).

$$f_r(\%) = \frac{F}{N} * 100 \quad (4)$$

Donde,

F = frecuencia de los caudales

N = número total de medidas

Con la obtención de la frecuencia relativa (f_r) calculamos el caudal medio (Q_m). Para determinar la constancia de los caudales usamos el parámetro duración mostrado en la **Tabla 19**. Este parámetro nos muestra el porcentaje de tiempo en un año en que la quebrada mantiene por lo menos el nivel y caudal mostrado en la fila. Con este criterio podremos seleccionar el caudal óptimo partiendo de que la central deberá trabajar a un 50% de plena carga (Morales & Saavedra, 2017).

Con un caudal de 0.66 m³/s que es el valor de mayor caudal para que la micro central trabaje mínimo a un 50% de carga durante un año. En la **Tabla 19** podemos observar las frecuencias de la duración con cada uno de los caudales.

Tabla 19

Porcentajes de duración de los caudales

Caudal (m/s)	F	Fa	Fra (duración)
2.36	1	1	1.67%
2.26	0	1	1.67%
2.16	0	1	1.67%
2.06	1	2	3.33%
1.96	0	2	3.33%
1.86	0	2	3.33%
1.76	2	4	6.67%
1.66	2	6	10.00%
1.56	1	7	11.67%
1.46	0	7	11.67%
1.36	3	10	16.67%
1.26	3	13	21.67%
1.16	2	15	25.00%
1.06	5	20	33.33%
0.96	1	21	35.00%
0.86	3	24	40.00%
0.76	5	29	48.33%
0.66	2	31	51.67%
0.56	3	34	56.67%
0.46	6	40	66.67%
0.36	5	45	75.00%
0.26	10	55	91.67%
0.16	4	59	98.33%
0.06	1	60	100.00%

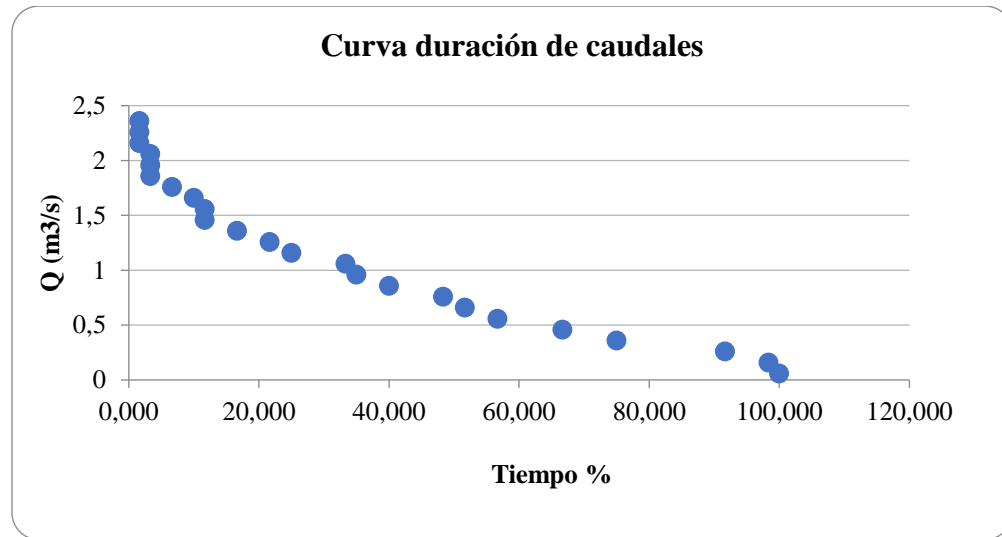
6.5 Caudal ecológico o reservado

El caudal ecológico se refiere a la cantidad y calidad de flujo de agua necesarios para sostener la biodiversidad y sus servicios a la población. El establecimiento de caudales mínimos es una herramienta para mitigar el impacto negativo causado al realizarse regulaciones de caudal, como en este caso el desvío de la quebrada Puerto limón del corregimiento de Gaitania, Tolima.

El caudal mínimo está comprendido en el tramo de la quebrada comprendida entre la toma y la restitución, la evaluación de este caudal a través de la curva de duración de caudales (**Figura 44**).

Figura 44

Curva de duración de caudales en el corregimiento de Gaitania, Tolima



6.6 Altura neta del salto

En el estudio de factibilidad se realizaron mediciones en el lugar, las cuales fueron brindadas por el propietario del terreno. La altura neta de salto es de 60 m desde la salida de la cámara de carga a la casa de máquinas.

6.7 Duración de potencia

La cantidad de energía en kWh al año que se podría generar para cada valor de caudal la obtendremos a partir de la curva de potencias mostrada en la **Figura 44**. Con esta curva podremos determinar un caudal tal que produzca energía eléctrica al menos durante el 50% del año. Si se multiplica la potencia por la duración obtendremos la energía total generada por parte de los diferentes caudales de diseño, lo cual se realiza con la siguiente ecuación (5).

$$P_r = \frac{Q \times H \times 9.8 \times \text{Duración}}{1000} [kW] \quad (5)$$

Donde,

Pr = potencia relativa (kW)

Q = caudal (m³/s)

H = altura (m)

9.8 = peso específico del agua (kN/m³)

En la ecuación (6) encontraremos la potencia útil entregada, la cual está en función de la altura y el caudal.

$$Energía = \frac{pot \times H \times Duración \times 8760}{1000} \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (6)$$

En la **Tabla 20**, podemos observar que para el caudal de diseño seleccionado de 0.6 m³/s podremos obtener una potencia relativa de hasta 182.9 kW para una caída de 60m. La carga que se requiere alimentar en la finca es de 30.13 kW. Podemos ver una eficiencia del 50% lo cual nos indica que la potencia generada para cubrir la demanda de 30.13 kW debe ser mínimo de 60.26 kW, para el caudal de diseño máximo que es el 50% de la capacidad con una caída neta de 60 m se genera un promedio mensual de 182.29 kW, sin embargo, se observa que la demanda se cumple con un caudal de 0.16 m³/s ya que se tiene una capacidad de 92.51kW.

Tabla 20

Cálculo de energía y potencia a partir del caudal

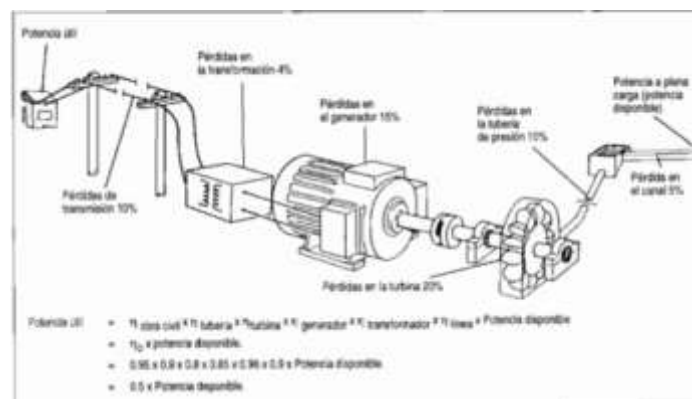
Altura H (m)	Q (m ³ /s)	Potencia (kW)	Duración (%)	Potencia promedio (kW)	Energía al año (MWh)
60	0.06	35.28	100	35.28	309.05
	0.16	94.08	98.33	92.51	810.41
	0.26	152.88	91.67	140.14	1227.63
	0.36	211.68	75	158.76	1390.74
	0.46	270.48	66.67	180.32	1579.6
	0.56	329.28	56.67	186.59	1634.55
	0.6	352.8	51.67	182.29	1596.88
	0.76	446.88	48.33	215.99	1892.09
	0.86	505.68	40	202.27	1771.9
	0.96	564.48	35	197.57	1730.7

1.06	623.28	33.33	207.76	1819.98
1.16	682.08	25	170.52	1493.76
1.26	740.88	21.67	160.52	1406.19
1.36	799.68	16.67	133.28	1167.53
1.46	858.48	11.67	100.16	877.37
1.56	917.28	11.67	107.02	937.46
1.66	976.08	10	97.61	855.05
1.76	1034.88	6.67	68.99	604.37
1.86	1093.68	3.33	36.46	319.35
1.96	1152.48	3.33	38.42	336.52
2.06	1211.28	3.33	40.38	353.69
2.16	1270.08	1.67	21.17	185.43
2.26	1328.88	1.67	22.15	194.02
2.36	1387.68	1.67	23.13	202.6

Es importante, resaltar que se debe garantizar que el caudal ecológico siempre se mantenga, en caso de que el caudal sea igual al ecológico, la planta de generación no podrá operar, adicionalmente, si el caudal supera los 0.6 m³/s tampoco podrá operar gracias a que se debe garantizar el funcionamiento al menos al 50% de plena carga (**Figura 45**).

Figura 45

Eficiencias típicas del sistema para una microrred operando a plena carga



Nota. Tomado de Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos, Coz et al., 1995.

6.8 Disponibilidad por mantenimiento

El mantenimiento son las actividades necesarias que se deben llevar a cabo para que los equipos tengan un correcto funcionamiento, el cual implica prevenir y/o corregir averías de los equipos e instalaciones y definir los costos. Para llevar a cabo correctamente el mantenimiento es necesario actuar con la especificación técnica, normas y demás documentación. Ese estado se refiere a que durante la vida de la maquina cada vez que hagamos evaluaciones de rendimiento, funcionalidades y demás prestaciones es necesario realizar la vigilancia de estos equipos, acciones preventivas y correctivas y el reemplazamiento de maquinaria.

Generalmente, las centrales de generación hidroeléctrica tuvieron turno de mantenimiento y explotación 24 horas hasta los años 80. Luego de esto, se realizó una automatización de la instalación que tiene en cuenta normalmente los niveles de la presa, los caudales de funcionamiento, las restricciones, alarmas entre otros (Monseco, 2013). Con el fin de mejorar la productividad se propone realizar el mantenimiento de los equipos de generación hidroeléctrica en los mismos tiempos que los equipos de carga, como motores, los cuales están establecidos en 6 días seguidos por dos veces al año. Lo que conlleva a que los equipos tengan una disponibilidad del 96.71% del tiempo total de producción.

6.8.1 Disponibilidad por agua turbia

Para analizar este aspecto es necesario evaluar las condiciones climáticas de la zona, como sus precipitaciones. En la **Figura 15** se muestra la cantidad de días promedio de lluvia, del cual podemos concluir que aproximadamente durante un año los días de lluvia son 167 representado un 45.75%, es decir, que la disponibilidad por agua turbia corresponde al 54.24%.

Teniendo en cuenta lo anterior, la disponibilidad total para el cual se puede producir energía hidroeléctrica se calculó usando la siguiente ecuación (7).

$$D_{total} = D_{caudal} * D_{mantenimiento} * D_{agua\ turbia} \quad (7)$$

$$D_{total} = 98.33\% * 96.71\% * 54.24\% = 51.57\%$$

Estos datos coinciden con la disponibilidad del caudal garantizando así la operación al 50% de plena carga. Es decir que la central de generación hidroeléctrica estará en funcionamiento durante 4518 horas en el año.

6.9 Determinación de equipos

6.9.1 Cálculo de captación de agua

La boca toma tiene como objetivo la captación de un determinado caudal para una producción de energía hidroeléctrica. El diseño de la boca toma se diseña por medio de la ecuación (8).

$$H_b = \left(\frac{Q}{1.84 L}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$

Donde,

H_b = altura de la bocatoma

Q = caudal de diseño

L = ancho de la bocatoma

La entrada de la bocatoma cuenta con un filtro que impide el paso de impurezas. El ancho de la bocatoma tiene un ancho efectivo de 0.25 m. Reemplazando estos valores obtenemos.

$$H_b = \left(\frac{0.6}{1.84 (0.25)}\right)^{\frac{2}{3}} = 1.19 \text{ m}$$

De lo anterior podemos decir que la altura mínima de la bocatoma es de 1.19 m, el suministro diario establecido es de 0.6 m³/s durante 24 h y la capacidad de almacenamiento es de 350 m³.

Para el cálculo de la velocidad de agua en la bocatoma utilizaremos la siguiente ecuación

(9).

$$v_b = \frac{Q}{L * H_b} \quad (9)$$

Donde,

V_b = Velocidad del agua en la bocatoma

H_b = Profundidad de la lámina de agua sobre la presa (m)

Q = Caudal de diseño

L = ancho de la bocatoma

Remplazando se obtiene:

$$v_b = \frac{0.6}{0.254 * 1.19} = 0.4155 \frac{m}{s}$$

Para determinar el diseño del ancho del colector usamos las siguientes ecuaciones

$$X_s = V_b^{2/3} + 0.6H^{4/7}$$

$$X_i = V_b^{4/7} + 0.6H^{3/4}$$

$$B = X_s + 0.1$$

Donde,

X_s = Alcance filo superior (m)

X_i = Alcance filo inferior (m)

H = Profundidad de la lámina de agua sobre la presa

B = Ancho del canal colector (m)

$$X_s = 0.4155^{2/3} + 0.6(1.19)^{4/7} = 1.3832 \text{ m}$$

$$X_i = 0.4155^{4/7} + 0.6(1.19)^{3/4} = 1.3840 \text{ m}$$

$$B = 1.3832 + 0.1 = 1.4832 \text{ m}$$

6.9.2 Cálculo de la rugosidad relativa

Tomando la rugosidad absoluta de una tubería del manual técnico para tuberías GRP PAVCO, para encontrar la rugosidad relativa se usa la ecuación (10).

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{k}{d} \quad (10)$$

Donde,

K = Rugosidad relativa.

d = Diámetro de la tubería

Remplazando valores obtenemos,

$$\text{Rugosidad relativa} = \frac{0.023}{254} = 9.055 \times 10^{-5}$$

6.9.3 Cálculo de tuberías

Para el cálculo de la tubería se consideran las fórmulas conocidas como Bresse y Fahlbusch. La fórmula de Bresse está definida como según la ecuación (11).

$$D = 1.5\sqrt{Q} \quad (11)$$

Donde,

D = Diámetro de la tubería

Q = Caudal (m³/s)

$$D = 1.5\sqrt{0.6 \text{ m}^3/\text{s}} = 1.161895 \text{ m}$$

Podemos determinar que el diámetro de la tubería es de 45 pulgadas. La velocidad del fluido se obtiene lo siguiente usando la ecuación (12):

$$v = \frac{Q}{A} \quad (12)$$

Donde,

A = Área de la sección transversal de la tubería

Q = Caudal (m³/s)

$$v = \frac{0.6 \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * \frac{(1.16\text{m})^2}{4}} = 0.565884 \text{ m/s}$$

La fórmula de Fahlbusch está definida según la ecuación (13).

$$D = 0.52 * H^{-1.14} (P/H)^{0.42} \quad (13)$$

Teniendo en cuenta una altura de 60 m y una potencia de 352.8 kW equivalente al caudal de 0.6 m³/s, obtenemos

$$D = 0.52 * 60^{-1.14} (352.8/60)^{0.42} = 0.61687 \text{ m}$$

Obteniendo los dos diámetros establecidos por las dos ecuaciones se obtienen dos diámetros de 0.616 m y 1.16 m. Se realiza el promedio de estos valores y se obtiene que el diámetro es de 0.88 m que aproximado al sistema inglés es de 35”.

6.9.4 Cálculo de tipo de flujo

Para calcular el tipo de flujo es necesario calcular el número de Reynolds con el cual se puede decir si el flujo es máximo o turbulento.

6.9.4.1 Número de Reynolds. El número de Reynolds es un criterio de similitud hidrodinámica de un fluido viscoso, relaciona las fuerzas de inercia y de fricción viscosa. Si este número es de gran cantidad indica que tiene un flujo de viscosidad pequeño y viceversa, La ecuación está definida de la siguiente manera (14).

$$R_e = \frac{4Q}{\pi Dv} \quad (14)$$

Donde,

Re = Número de Reynolds.

Q = Caudal.

D = Diámetro de la tubería.

v = Viscosidad del agua a 10°C.

Reemplazando los valores se tiene,

$$R_e = \frac{4 * 0.6}{\pi * 0.88 * 1.306 \times 10^{-6}} = 657699.0057$$

De acuerdo con el resultado podemos ver que el flujo es turbulento ya que Re es mayor a 2500.

6.9.4.2 Coeficiente de fricción (λ). A partir de este valor encontramos el coeficiente de fricción mediante la ecuación (15).

$$\lambda = \frac{0.316}{R_e^{0.25}} \quad (15)$$

Donde,

λ = Coeficiente de fricción

Re = Número de Reynolds

Reemplazando en la ecuación (15), se tiene,

$$\lambda = \frac{0.316}{2302949.82^{0.25}} = 0.01109$$

La velocidad en la tubería es calculada de la siguiente manera:

$$v = \frac{Q}{\pi d^2/4} = \frac{0.6}{\pi (0.88^2/4)} = 0.9657 \frac{m}{s}$$

6.9.5 Determinación de pérdidas

6.9.5.1 Pérdidas de carga por fricción. Las pérdidas de carga por fricción con la pared de la tubería se calculan mediante la ecuación (16).

$$hf = 0.08 \frac{\lambda \cdot L \cdot Q}{d^5} \quad (16)$$

Donde,

hf = Pérdidas de carga.

λ = Coeficiente de fricción.

L = Longitud de la tubería.

Q = Caudal.

d = Diámetro de la tubería.

Reemplazando los valores se tiene:

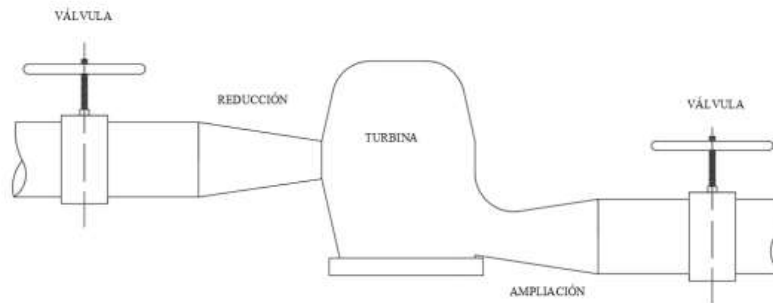
$$hf = 0.08 * \frac{60 * 0.01 * 0.6}{0.88^5} = 0.0574 \text{ m} = 5.74 \text{ cm}$$

Las pérdidas de carga por fricción en las paredes son de 0.0574 m.

6.9.5.2 Pérdidas de carga por tubería. Se realiza una reducción del tubo para aumentar la velocidad. Las pérdidas por tubería son expresadas en la ecuación (17), los valores típicos de pérdidas para accesorios (k) son tomados de la **Figura 46 y 47** que muestra los diferentes diámetros de la tubería.

Figura 46

Accesorios de la MCH



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022

Figura 47

Coefficientes Km de pérdidas menores típicas para accesorios

Coefficientes Km de pérdidas menores típicos para accesorios

diámetro Nominal (pulg.)	Roscado o soldado				Con brida				
	1/2"	1"	2"	4"	1"	2"	4"	8"	20"
válvulas (totalmente abierta)									
Globo	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5
Compuerta	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.25	0.16	0.07	0.03
Retención de disco									
oscilante	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Angulo	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0
Codos									
45° estándar	0.39	0.32	0.30	0.29					
45° radio largo					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14
90° estándar	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21
90° radio largo	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10
180° estándar	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20
180° radio largo					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10
Tees									
Flujo directo	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07
Flujo lateral	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41

Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022

$$h_t = \frac{V^2}{2g} \sum (k_1 + k_2 + \dots + k_n) \quad (17)$$

Seleccionando el diámetro de 20" debido a que a este diámetro queremos realizar la reducción, obtenemos que los coeficientes son. La válvula de globo que es una válvula totalmente abierta con un valor k de 5.5, además, los codos están a 90° dando así un coeficiente de 0.21, así que, reemplazando en la ecuación obtenemos unas pérdidas de:

$$h_t = \frac{0.96^2}{2 * 9.8} \sum 5 * (0.21 + 5.5) = 1.3586 \text{ m}$$

Las pérdidas totales del sistema están definidas por la siguiente ecuación (18).

$$h_p = h_t + h_f \quad (18)$$

$$h_p = 1.3586 + 0.0574 = 1.4160 \text{ m}$$

Las pérdidas totales de 1.416 m equivalen al 2.36% de la altura neta del sistema.

6.9.5.3 Cálculo de la velocidad en la tubería. Para determinar la velocidad del agua en la tubería se tiene la ecuación (19).

$$Q = A * V \quad (19)$$

Donde,

Q = Caudal que maneja la tubería

A = Área de la sección transversal la tubería

V = Velocidad del agua la tubería.

Para una tubería de sección transversal circular se tiene que el área está dada por la ecuación (20).

$$A = \pi \frac{D^2}{4} \quad (20)$$

Donde,

A = Área de la sección transversal

D = Diámetro

Reemplazando se tiene:

$$A = \pi \frac{0.88^2}{4} = 0.608 \text{ m}^2$$

A partir de esto reemplazaremos el en la ecuación de caudal y obtendremos la velocidad (21).

$$V = \frac{Q}{A} \quad (21)$$

Reemplazando los valores se tiene,

$$V = \frac{0.6 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.608 \text{ m}^2} = 0.986 \text{ m/s}$$

6.9.5.4 Cálculo de altura y potencia neta. Para calcular la altura neta del sistema usamos la siguiente ecuación (22).

$$H_n = H - \left[\lambda \frac{H}{D} + \sum k_n \right] * \frac{v^2}{2g} \quad (22)$$

En donde:

λ = Coeficiente de fricción

K_n Perdida por accesorios (total)

V= Velocidad

g = Gravedad

$$H_n = 60 - \left[\left[0.01109 \frac{60}{0.88} + \sum 5(0.21 + 5.5) \right] \right] * \frac{0.9657^2}{2 * 9.8} = 58.605 \text{ m}$$

Para el cálculo de la potencia neta se usa la siguiente ecuación (23):

$$P = Y * Q * H_n * \eta \quad (23)$$

En donde,

Y = Gravedad específica del fluido

n = Eficiencia de la turbina

Para efectos de que la energía generada pueda suplir la demanda en la finca productiva, la eficiencia de la turbina para el caso del diseño se estima de 90%.

$$P = 9806 \text{ N/m}^3 * 0.6 \text{ m}^3/\text{s} * 58.605 \text{ m} * 0.9$$

$$P = 310.33 \text{ kW} , 416.16 \text{ CV}$$

Con la potencia real generada se cumple con la producción de energía necesaria para garantizar el funcionamiento y suplir la carga eléctrica de la demanda, donde pueden tener acceso al fluido eléctrico y hacer uso de equipos electrodomésticos, motores, etc.

Es importante aclarar que dicha potencia se genera garantizando un caudal de 0.6 m³/s de manera constante durante todo el año, sin embargo, se debe garantizar que produzca una potencia como mínimo con el 50% de la duración. En la **Tabla 19** se observa que con un caudal de 0.6 m³/s el flujo tiene una duración del 51.67%, así que, el sistema genera una potencia neta de 160.348 kW supliendo la demanda establecida por el usuario. Por otro lado, se realiza un estudio de la

condición más desfavorable, dicha situación sucede cuando el caudal es mínimo siendo este un caudal de 0.16 m³/s, además, se garantiza este caudal durante el 98.33% ya que es el valor mínimo que este puede tomar

$$P = 9806 \frac{N}{m^3} * 0.16 \frac{m^3}{s} * 58.605 m * 0.9$$

$$P = 82.97 kW , 111.27 CV$$

Como se puede observar en el análisis anterior, se tiene una capacidad de 82.97 kW hasta 160.328 kW lo que permite suplir el 100% de la carga producida por la demanda. De acuerdo con esto, se realiza el diseño y selección de la turbina.

6.9.6 Diseño y selección de la turbina

6.9.6.1 Velocidad específica. La velocidad específica (N_s) o número específico de revoluciones se determina de acuerdo con la siguiente ecuación (24).

$$N_s = N(P_t)^{0.5}(H)^{-1.25} \quad (24)$$

Donde,

N_s = Velocidad específica

P_t = Potencia

H = Salto neto de la central

Q = Caudal que fluye por la turbina (m³/s)

A través de la ecuación (25) se calcula la velocidad de giro (N) de la turbina:

$$N = \frac{60*f}{Z} \quad (25)$$

Donde,

f = Frecuencia

Z = Número de polos

Para efectos de estudio se toma un valor de 4 polos con una frecuencia de 60 Hz, por lo que la velocidad de giro de la turbina sería igual a:

$$N = \frac{60 * 60}{4} = 900 \text{ rpm}$$

Por lo que la velocidad específica toma un valor de:

$$N_s = 900(111.27)^{0.5}(58.76)^{-1.25} = 58.35 \text{ rpm}$$

Una clasificación del tipo de turbina está dada utilizando la potencia en caballos de fuerza, por lo tanto, se escoge un tipo de turbina presentado en la **Tabla 21**.

Tabla 21

Selección de turbina según velocidad específica

Tipo de turbina	Ns mín.	Ns máx.
Pelton con un inyector	5	30
Pelton con varios inyectores	30	50
Francis lenta	50	100
Francis normal	100	200
Francis rápida	200	400
Francis extra rápida y ruedas - hélice	400	700
Kaplan	500	1000

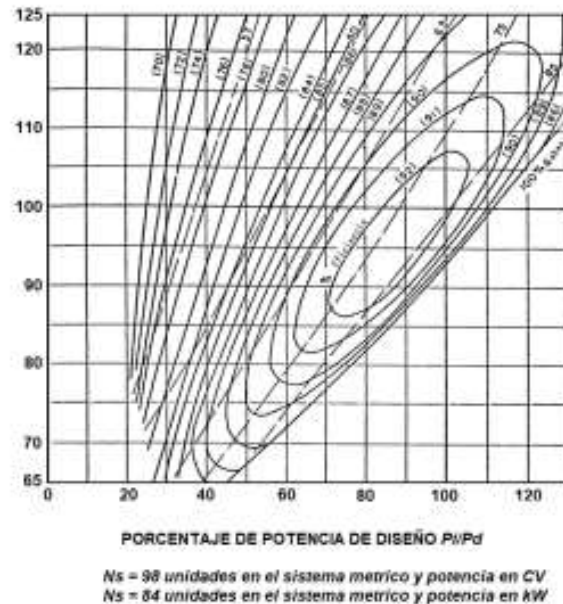
Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022.

De acuerdo con esto, se escoge una turbina de tipo Francis ya que se encuentra en el rango de 50 a 100 rpm, además de esto, se deben considerar varios parámetros para el flujo del agua a

través de la turbina, como por ejemplo la apertura de los alabes del distribuidor principal, entre otros (**Figura 48**).

Figura 48

Curva característica de la turbina Francis



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022

6.9.7 Dimensionamiento de la turbina Francis

Para el dimensionamiento de esta turbina es necesario calcular cada uno de los componentes y distintos accesorios que la componen como el tamaño del rodete, el tamaño de la carcasa, diámetros de succión como de descarga, etc.

6.9.7.1 Tamaño del rodete. En la ecuación (26) se expresa el diámetro para calcular el tamaño del rodete.

$$\phi = D_3 N \frac{\pi}{60} \sqrt{2gH_d} \quad (26)$$

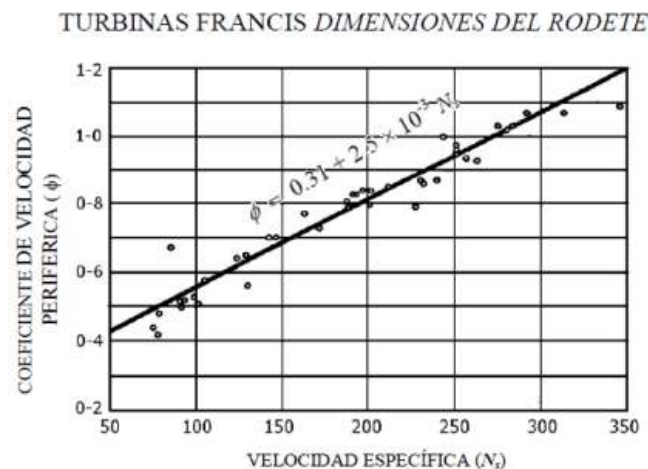
Donde,

D_3 = Diámetro del rodete de la carcasa

Esta razón de la variación de la velocidad periférica ϕ con respecto a la velocidad específica N_s , se interpola del grafico ϕ vs N_s de la **Figura 49**.

Figura 49

Curva de las dimensiones del rodete de la turbina Francis



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022.

Obteniendo la ecuación (27).

$$\phi = 0.31 + 2.5 * 10^{-3} N_s \quad (27)$$

$$\phi = 0.31 + 2.5 * 10^{-3} (58.53) = 0.4558 \text{ m}$$

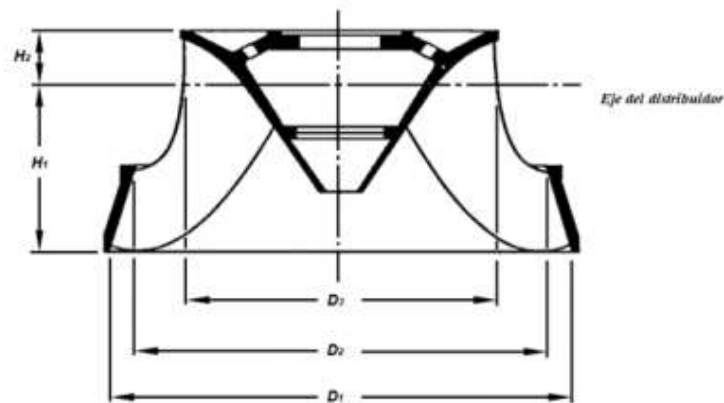
De acuerdo con esto, el diámetro del rodete de la carcasa se calcula despejando el parámetro de la ecuación (27), obteniendo lo siguiente:

$$D_3 = 84.5 \phi \frac{\sqrt{Hd}}{N} = 84.5(0.4558) \frac{\sqrt{55.76}}{900} = 0.3281 \text{ m}$$

En la **Figura 50** se muestra el dimensionamiento del rodete de la turbina Francis.

Figura 50

Dimensiones del rodete de las turbina Francis



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022

Una vez obtenido el parámetro D_3 , se calculan los demás parámetros D_1 y D_2 con las siguientes ecuaciones (28 y 29).

$$D_1/D_3 = 0.4 + \frac{94.5}{N_s} \quad (28)$$

$$D_2/D_3 = \frac{1}{0.96 + 0.00038N_s} \quad (29)$$

Donde,

D_1 = Diámetro de entrada

D_2 = Diámetro medio

$$D_1 = 2.0195 \text{ m}$$

$$D_2 = 1.0181 \text{ m}$$

6.9.7.2 Tamaño de la carcasa o caracol. Para calcular las dimensiones se tienen en cuenta estas consideraciones:

La velocidad del agua a la entrada de la carcasa es: $V_e = 0.22 \sqrt{(2gH_d)^{0.5}}$, sin que esta exceda los 10.7 m/s

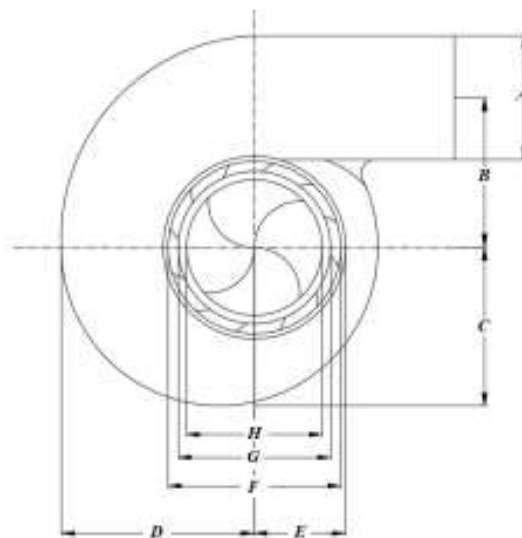
El diámetro será menor o igual que el de la tubería a presión

La velocidad tangencial en secciones sucesivas permanece constante.

Con estas consideraciones se toman las expresiones para el dimensionamiento de la carcasa como se puede observar en las **Figuras 51 y 52**.

Figura 51

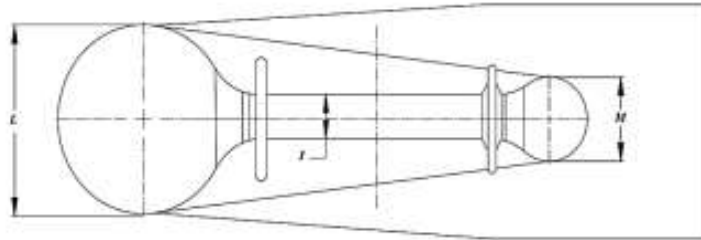
Dimensiones de la carcasa de la turbina Francis en vista frontal



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022

Figura 52

Dimensiones de la carcasa de la turbina Francis en vista superior



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022

En la **Tabla 22** se observan los respectivos cálculos de las dimensiones de la carcasa de la turbina.

Tabla 22

Valores de las dimensiones de la carcasa de la turbina Francis

Tamaño de la carcasa o caracol		F (m)	$F/D_3 = 1 + 131,4/N_s$
A (m)	$A/D_3 = 1,2 - 19,56/N_s$	G (m)	$G/D_3 = 0,89 + 96,5/N_s$
B (m)	$B/D_3 = 1,1 + 54,8/N_s$	H (m)	$H/D_3 = 0,1 + 0,00065N_s$
C (m)	$C/D_3 = 1,32 + 49,25/N_s$	I (m)	$I/D_3 = 0,79 + 81,75/N_s$
D (m)	$D/D_3 = 1,5 + 48,8/N_s$	L (m)	$L/D_3 = 0,88 + 0,00049$
E (m)	$E/D_3 = 0,98 + 63,6/N_s$	M (m)	$M/D_3 = 0,6 + 0,00015N_s$

6.9.7.3 Tamaño del tubo de aspiración. En la **Tabla 23** se pueden observar las expresiones y los valores del cálculo de las dimensiones del tubo de aspiración que muestran la

relación del tamaño del rodete con la velocidad absoluta de succión de entrada del fluido hacia la turbina. Las dimensiones pueden visualizarse en la **Figura 53**.

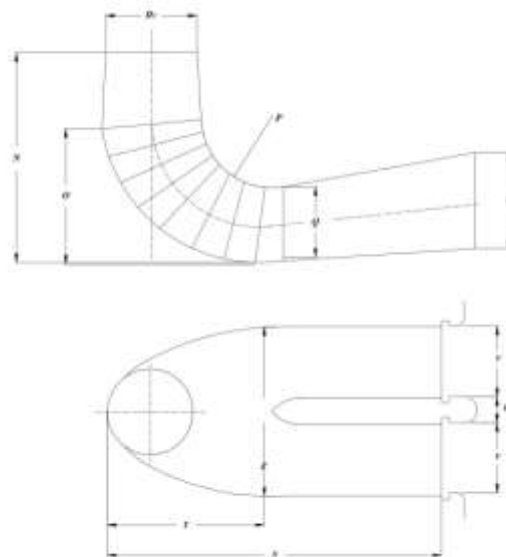
Tabla 23

Valores de las dimensiones del tubo de aspiración de la turbina Francis

Tamaño del tubo de aspiración		S (m)	$S/D_3 = N_s/(-9,28 + 0,25N_s)$
N (m)	$N/D_3 = 1,54 + 203,5/N_s$	3.6070874	$T/D_3 = 1,5 + 0,00019N_s$
1.6495811		T (m)	
P (m)	$P/D_3 = 1,37 - 0,00056/N_s$	0.4958047	$U/D_3 = 0,51 + 0,0007N_s$
0.4495094		U (m)	
Q (m)	$Q/D_3 = 0,58 + 22,6/N_s$	0.1807388	$V/D_3 = 1,1 + 53,7/N_s$
0.3173854		V (m)	
R (m)	$R/D_3 = 1,6 - 0,0013/N_s$	0.66288	$Z/D_3 = 2,36 + 33,8/N_s$
0.5249708		Z (m)	
		0.9644017	

Figura 53

Dimensiones del tubo de aspiración de la turbina Francis



Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022.

6.9.8 Selección del generador

Para seleccionar el generador es importante tener en cuenta que se trabaja a una frecuencia de 60 Hz y que soporte velocidades de 900 rpm. En segundo lugar, el generador debe soportar o suplir la carga que demanda el usuario, en la **Figura 21** se puede observar el perfil de carga de la finca productiva, en donde se puede observar que su punto máximo ocurre en la hora 19 con un consumo de 30.13 kWh, por lo que el generador debe generar y suplir ese punto máximo. Es importante recordar que la **Tabla 19** se mencionan los límites de las capacidades que ofrecen los caudales, dejando en claro que satisfacen las necesidades básicas para la carga requerida. A continuación, se presentan los datos técnicos del generador seleccionado (**Tabla 24**). Como se puede observar se escoge un generador con una potencia de 62.1 kVA y sus respectivas características técnicas.

Tabla 24

Datos generales del generador seleccionado

Datos generales		Grado de protección	: IP23
Carcasa (IEC)	: 200	Forma constructiva	: B15T
Clase de aislamiento	: 180°C (H)	Polos - Tipo de polos	: 4
Distorsión armónica total (sin carga) (%)	: ≤ 3%	Tipo de polo	: Saliente
Paso del bobinado del estator principal	: 2/3	Rotación (rpm) - 50Hz	: 1500 rpm
Altitud	: hasta 1000 m	Rotación (rpm) - 60Hz	: 1800 rpm
Número de Terminales	: 12	Sobrevelocidad (rpm)	: 2250 rpm
Factor de potencia	: 0.8 hasta 1.0	Masa del alternador	: 281 kg
Sistema de excitación	: Brushless con bobina auxiliar	Sobrecarga	: 1.1x In por 1h cada 6h
Refrigeración	: IC01	Sobrecarga Momentánea	: 1.5x In por 30s

Frecuencia y número de fases	50 Hz				60 Hz					
	Trifásico			Monofásico	Trifásico				Monofásico	
Tensión (V)	Conexión Y	380	400	415	-	380	416	440	480	-
	Conexión YY	190	200	208	-	190	208	220	240	-
	Conexión Δ	220	230	239	-	220	240	254	277	-
	Conexión ΔΔ	110	115	120	-	110	120	127	138	-
	Zig-zag paral o triáng. monof.	-	-	-	190 - 200	-	-	-	-	220 - 240
Potencias (kVA)	Continuo 80/40	51.0	51.0	48.0	32.3	62.1	64.4	66.0	66.1	38.7
	Continuo 105/40	59.0	59.0	56.0	36.9	71.2	73.8	75.6	75.7	44.4
	Continuo 125/40	70.0	70.0	67.0	40.4	80.0	84.7	88.0	88.0	48.4
	Standby 150/40	72.0	72.0	68.0	44.3	83.0	90.0	95.0	95.0	53.0
	Standby 163/27	74.0	74.0	70.0	46.1	86.4	92.6	97.0	97.0	55.3

Datos eléctricos (F _p =0.8 / continuo 125/40 (H)) Valores de reactivas saturadas	Xd(%) React. sincrónica eje directo	305.49	276.11	262.3	407.32	388.77	345.09	320.49	269.97	427.32									
	X'd(%) React. trans. de eje directo	25.19	22.75	21.61	33.59	32.16	28.48	26.45	22.25	35.27									
	X"d(%) React. subtrans. eje directo	21.65	19.55	18.57	28.87	27.63	24.46	22.72	19.12	30.29									
	Xq(%) React. sinc. eje en cuadratura	116.2	105.02	99.77	154.93	147.85	133.06	121.9	102.89	162.53									
	X"q(%) React. subt. eje en cuadratura	19.35	17.47	16.6	25.8	24.73	35.6	20.31	17.08	27.08									
	X2(%) React. sec. neg. eje cuadratura	20.44	18.45	17.53	27.25	26.1	30.03	21.45	18.04	28.6									
	X0(%) React. secuencia cero saturada	3.61	3.26	3.1	4.81	4.61	4.08	3.79	3.19	5.05									
	T'd(ms) Cte trans. eje dir. C. Circ.	61.9	62.0	62.0	82.53	61.8	70.81	61.9	62.0	82.53									
	T"d(ms) Cte subt. eje dir. cortocirc	1.0	1.0	1.0	1.33	1.0	1.24	1.0	1.0	1.33									
	T'do(ms) Cte Trans circ. abierto sat.	761.5	762.6	762.6	1015.33	757.2	882.95	760.7	762.6	1014.27									
	T"do(ms) Cte subtrans. circ abierto	1.2	1.2	1.2	1.6	1.2	1.46	1.2	1.2	1.6									
	Ta(ms) Cte cortocirc. armadura	8.97	8.98	8.98	11.97	8.95	10.29	8.97	8.98	11.96									
	uc(V) Voltaje excitación nominal	39.28	40.1	40.1	39.28	34.53	37.52	36.39	37.45	36.39									
	ic(A) Corriente de excitación nominal	4.08	4.17	4.17	4.08	3.59	3.9	3.78	3.89	3.78									
	ic(A) Corriente excitación sin carga	0.7	0.8	0.8	0.93	0.4	0.64	0.6	0.8	0.8									
Icc(A) Corriente mantenim. de cortoc.	319.06	303.11	279.63	303.11	364.64	323.32	346.41	317.54	302.5										
Kcc Relación de cortocircuito	0.36	0.42	0.38	0.46	0.26	0.3	0.33	0.43	0.44										
Rendimientos (%)	Factor de potencia	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0								
	25% de carga	73.7	78.3	73.4	78.1	73.6	78.4	67.8	72.1	75.3	79.7	75.8	80.1	76.5	80.7	76.2	80.4	70.4	74.3
	50% de carga	81.6	85.4	81.3	85.2	81.6	85.5	75.1	78.6	82.8	86.2	83.5	86.9	84.2	87.8	84.3	87.5	77.4	80.7
	75% de carga	83.5	87.1	83.2	87	83.5	87.3	76.8	80.2	84.4	87.6	85.2	88.4	86	89.1	86.4	89.5	79.1	82
	100% de carga	83.5	87.3	83.4	87.4	83.7	87.6	76.8	80.3	84.3	87.6	85.3	88.6	86.2	89.4	86.9	90	79.3	82.2
	125% de carga	82.8	86.8	82.7	87	83	87.2	76.2	79.9	83.6	87	84.8	88.1	85.8	89	86.6	90	78.9	81.9

Nota. Tomado de Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural, León, 2022.

7. Diseño solar fotovoltaico

El dimensionamiento de la instalación debe ser capaz de alimentar las cargas conectadas al sistema durante las horas de mayor radiación solar y al mismo tiempo permitir la carga del acumulador. La corriente continua producida por los módulos fotovoltaicos se transforma por medio de un inversor en corriente alterna para las cargas que usan este tipo de electricidad. La metodología básica para el diseño de una planta generadora fotovoltaica aislada consta de los siguientes procesos: como primera instancia se debe realizar la definición del tipo de planta, seguido a esto se determina el consumo, la caracterización de la localización y por último el dimensionado de los componentes: generador fotovoltaico, cuadros de distribución, acumulador, regulador e inversor (**Figura 54**).

Figura 54

Esquema básico de conexión de un sistema solar fotovoltaico



Nota. Tomado de Instalación solar fotovoltaica: cálculo y diseño de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda, Cabra, 2021.

7.1 Descripción de los componentes y su funcionamiento

Se describen los componentes del sistema con su respectivo funcionamiento mostrando características propias de estos, con el fin, de realizar un correcto dimensionamiento y diseño, de manera que se busque la mayor eficiencia posible.

7.1.1 Generador fotovoltaico (paneles)

Es un dispositivo formado por una muy delgada lámina de un material semiconductor, a menudo silicio normalmente dopado con fósforo (P) y boro (B), pueden ser monocristalinos o policristalino. El fundamento se basa en incidir la luz del sol sobre la superficie de la lámina fotovoltaica, transmitiendo la energía de los fotones de la luz solar a los electrones del semiconductor para que puedan circular saliendo del material generando una corriente eléctrica (Cabra, 2021).

7.1.2 Regulador de carga

El regulador de carga sirve para controlar el flujo de la corriente de la carga que proviene de los paneles hacia el banco de baterías conectado. Es importante mencionar que si las baterías contienen el 10% de la carga el controlador interrumpe la corriente eléctrica.

7.1.3 Inversores

La principal función de los inversores consiste en realizar un cambio de tensión DC a tensión AC, este circuito electrónico, convierte la corriente continua en una onda cuadrada que se filtra y se obtiene una onda sinusoidal y que así funcionen los aparatos eléctricos que estén conectados a este sistema y que funcionan con corriente alterna.

7.1.4 Protecciones

Las protecciones necesarias para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico y prevención de este contra fallas son:

7.1.4.1 Dispositivos de sobretensión. La sobretensión provoca la interrupción del funcionamiento de máquinas o de la instalación completa, es por eso por lo que es necesario instalar un dispositivo de protección de sobrecorriente (DPS) en el sistema fotovoltaico ya que es muy importante tener en cuenta que cuenta con características especiales que deben soportar la tensión sin carga máxima del generador también denominada tensión en circuito abierto en condiciones normales asegurando la seguridad y disponibilidad del sistema.

7.1.4.2 Sistemas de puesta a tierra. El generador fotovoltaico o panel solar es una placa que va enmarcada en unos bastidores y soportes metálicos que se deben conectar todas entre sí, de esta manera son equipotenciales conectándose a su vez a tierra como medida de seguridad para la instalación frente a descargas atmosféricas.

7.2 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

En esta sección se realiza el diseño y dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico.

7.2.1 Caracterización y dimensionamiento de componentes

Como paso inicial se recurre al calcular el número de horas solares pico (HSP) que quiere decir el número de horas en que se dispone de una hipotética irradiancia solar constante de 1000 W/m², que se obtiene dividiendo el valor de la irradiación incidente sobre el valor de irradiancia en condiciones estándar de medida como se muestra en la ecuación (30).

$$HSP = I/G = \frac{4630 \frac{W/m^2}{dia}}{1000 \frac{W/m^2}{dia}} = 4.63 \quad (30)$$

El coeficiente de pérdidas se toma como un factor de 0.85 debido a sombras generadas por diferentes elementos, como árboles, nubes, hojas, polvo o suciedad que puedan presentar los paneles fotovoltaicos.

7.2.2 Orientación e inclinación óptima

Es importante determinar la orientación y ángulo óptimo ($\alpha=0^\circ$; β_{optimo}) para el periodo de diseño elegido. En la **Tabla 25** se observan los periodos de diseño habituales y con su correspondiente inclinación (β) del panel fotovoltaico.

Tabla 25

Periodos de diseño

Periodo de diseño	β óptimo	Coficiente K de inclinación
		$K = \frac{G(\alpha = 0, \beta_{opt})}{G_{dm}(0)}$
Diciembre	$\beta+10$	1.7
Julio	$\beta-20$	1
Anual	$\beta-10$	1.15

Nota. Tomado de Fuentes renovables y no renovables. Aplicaciones, De Kuyper, 2014.

De acuerdo con el estudio se observa que no existe una gran variación en la cantidad de radiación solar del lugar, así que se escoge el periodo de diseño anual. Teniendo en cuenta la latitud del sector que es 3.08317° .

$$\beta = 3.08317^\circ - 10^\circ = -6.91683^\circ \cong -7^\circ$$

Los paneles se deben instalar con una inclinación de -7° . Tomando en cuenta el factor de irradiación que está dado por la siguiente ecuación (31):

$$FI = 1 - \left[1.2 * 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 \right] \text{ para } \beta \leq 15^\circ \quad (31)$$

$$FI = 1 - \left[1.2 * 10^{-4} (-7 + 6.91683)^2 \right] = 0.9999997 \cong 1$$

7.2.3 Dimensionamiento del panel solar

Para calcular el número de módulos necesarios para satisfacer la energía requerida, se considera la demanda diaria promedio mensual y la energía generada por cada módulo como se muestra en la ecuación (32).

$$N_T = \frac{L_{mdcrit}}{E_p} = \frac{L_{mdcrit}}{P_{MPP} * HSP * PR} \quad (32)$$

Donde,

L_{mdcrit} = Demanda diaria promedio mensual

E_p = Energía generada por cada módulo

P_{MPP} = Potencia pico del módulo medida en condiciones estándar

HSP = Número de horas pico de sol

PR = Factor global de funcionamiento del módulo que varía entre 0.65 y 0.9

$$N_T = \frac{549976.02 (W * h)}{500 (W) * 4.63 * 0.85} = 279.49 \cong 280$$

Por seguridad se considera el número entero superior, es decir, serán 280 módulos para satisfacer la demanda.

7.2.4 Dimensionamiento del banco de baterías

Una vez evaluada la energía en Wh de la batería y su autonomía se determina la carga eléctrica, es importante mencionar que para proteger la duración de la batería se permite un nivel máximo de descarga antes de la desconexión del regulador, que se denomina profundidad de descarga máxima y usualmente se considera entre un 15 a 20%, por otro lado, para un ciclo estacional el número máximo de días que una batería puedes estar descargándose al no recibir suficiente radiación solar, es de 4 a 10 días con una profundidad de descarga estacional del orden del 70%.

Es necesario calcular la capacidad nominal de las baterías en función de la descarga diaria y estacional y se escoge la mayor de ellas, por medio de la siguiente ecuación (33):

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{Dmax,d} * F_{CT}} \quad (33)$$

Donde,

C_{nd} (Wh) = Capacidad nominal diaria de la batería

L_{md} = Consumo medio diario de energía

$P_{Dmax,d}$ = Profundidad de descarga diaria

F_{CT} = Factor de corrección de temperatura = 1

$$C_{nd}(Wh) = \frac{549976.02}{0.15 * 1} = 3666506.8 Wh$$

De acuerdo con esto expresamos la capacidad nominal diaria en términos de corriente

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{bat}} = \frac{3666506.8}{48} = 76385.55 Ah$$

Ahora, teniendo en cuenta la profundidad de descarga estacional calculamos la capacidad nominal en función de la descarga máxima estacional.

$$C_{nd}(Wh) = \frac{L_{md}}{P_{Dmax,e} * F_{CT}} = \frac{549976.02}{0.7 * 1} = 785680.02 Wh$$

De acuerdo con esto expresamos la capacidad nominal diaria en términos de corriente.

$$C_{nd}(Ah) = \frac{C_{nd}(Wh)}{V_{bat}} = \frac{785680.02}{48} = 16368.33 Ah$$

El cálculo del número de baterías está dado por la relación entre la capacidad nominal estacional del sistema de acumulación y la capacidad nominal de la batería.

$$N_{bat} = \frac{C_{ne}}{C_{bat}} = \frac{16368.33}{200} = 81.84 = 82$$

El sistema está compuesto de 82 baterías con una capacidad cada una de 200Ah y una tensión de 48V.

7.2.5 Dimensionamiento del regulador

Para realizar el cálculo del regulador se requiere determinar la corriente máxima que debe resistir el regulador tanto a la entrada como a la salida. El cálculo de la corriente de entrada ($I_{entrada}$) se efectúa mediante la siguiente ecuación (34).

$$I_{entrada} = 1.25 * I_{MOD,CC} * N_p \quad (34)$$

Donde,

Fseg = Factor de seguridad para evitar daños al regulador equivale a 1.25

$I_{MOD,CC}$ = Corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico

N_p = Número de ramas en paralelo

$$I_{entrada} = 1.25 * 12.28 A * 2 = 30.7 A$$

Para el cálculo de la corriente de salida se deben estimar las potencias de la carga, tanto de corriente alterna como de corriente continua si es el caso. La ecuación (35) permite calcular la corriente de salida:

$$I_{salida} = \frac{1.25 \left(P_{CC} + \frac{P_{CA}}{n_{inv}} \right)}{V_{bat}} \quad (35)$$

Donde,

P_{CC} = Potencia de las cargas en corriente continua

P_{CA} = Potencia de las cargas en corriente alterna

n_{inv} = Eficiencia del inversor, se considera alrededor del 95%

V_{bat} = Tensión de la batería

$$I_{salida} = \frac{1.25 \left(0 + \frac{30130 \text{ W}}{0.95} \right)}{48V} = 825 \text{ A}$$

7.2.6 Dimensionamiento del inversor

Para calcular el inversor se consideran solamente las cargas que usan corriente alterna, a esto se le debe aplicar un margen de seguridad de mínimo el 25%. Además, como existen algunos aparatos como los motores que requieren una potencia 2 o 3 veces mayor a su consumo nominal para su arranque, se sobredimensiona el inversor considerando dichos picos de arranque, en este caso se considera un factor de 2 para los elementos de la zona industrial como los motores. Para calcular la potencia del inversor se usa la siguiente ecuación (36):

$$P_{inv} = M_{seg}(P_{Zr} + P_{Zc} + 4 * P_{Zi}) \quad (36)$$

Donde,

M_{seg} = Margen de seguridad

P_{Zr} = Potencia de las cargas de la zona residencial

P_{Zc} = Potencia de las cargas de la zona comercial

P_{Zi} = Potencia de las cargas de la zona industrial

$$P_{inv} = 1.25(2021W + 982W + 2 * 28390W)$$

$$P_{inv} = 74.72 \text{ kW}$$

7.2.7 Análisis gráfico

En la **Figura 55** se observa la curva característica de la producción de energía solar con respecto a la demanda establecida por el usuario. Aquí se observa una gran producción de energía, en donde dicha producción inicia a las 7:00 horas y termina a las 17:00 horas, por otro lado, la curva de color naranja indica el perfil de carga de la finca productora de café, así pues, en dicho

intervalo de horas la carga es suplida al 100% por la energía solar. Sin embargo, en el resto de horas la carga debe ser suplida por el uso de baterías. La energía sobrante como se observa en la **Figura 56** está destinada para cargar las baterías y así poder suplir el resto de la carga.

Figura 55

Curva característica de la producción de energía solar VS la carga eléctrica

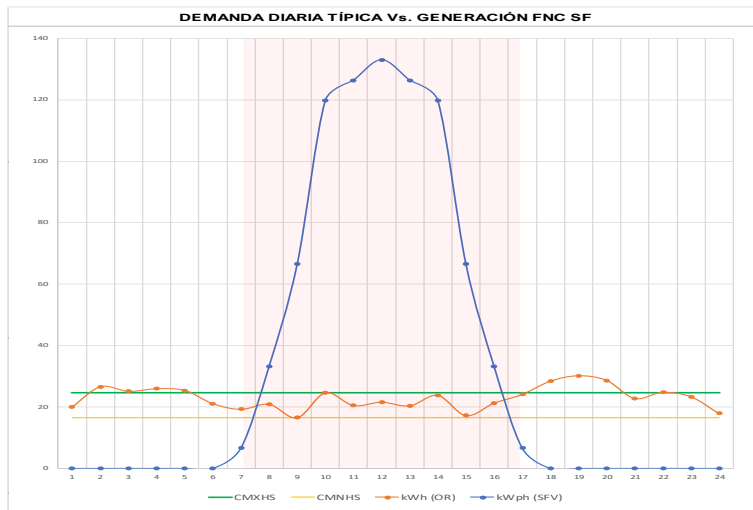
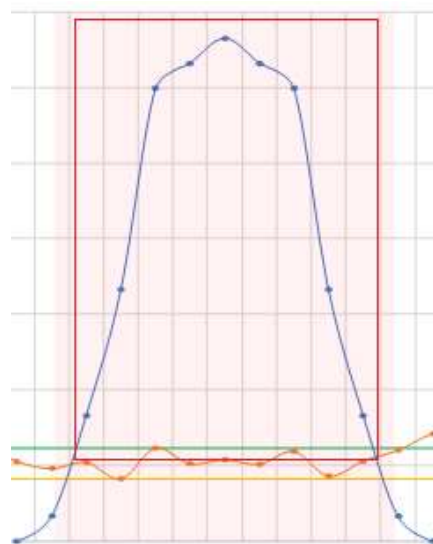


Figura 56

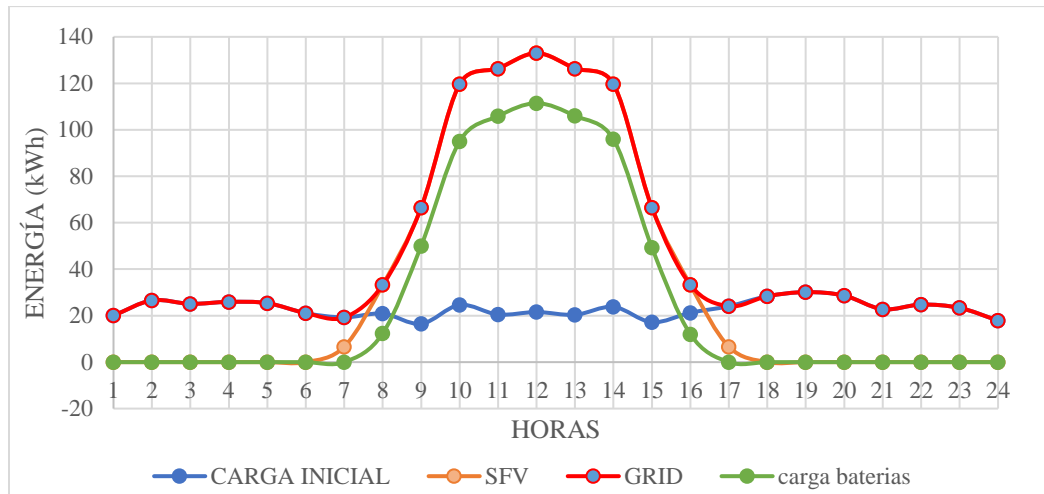
Energía destinada para cargar baterías



En la **Figura 57** se observa la producción y las horas de funcionamiento de la fuente de generación solar y el uso complementario de baterías.

Figura 57

Generación hora-hora del SFV y baterías



Es importante mencionar que el sistema de generación fotovoltaica está sobredimensionado en un 50%, esto es debido a que el sistema requiere de energía para realizar la inyección de energía a las baterías y que estas se carguen completamente, además, para proteger la duración de estas baterías se permite un nivel máximo de descarga antes de la desconexión del regulador que se denomina profundidad de descarga máxima y que usualmente se considera para un ciclo diario alrededor del 15% o 20%.

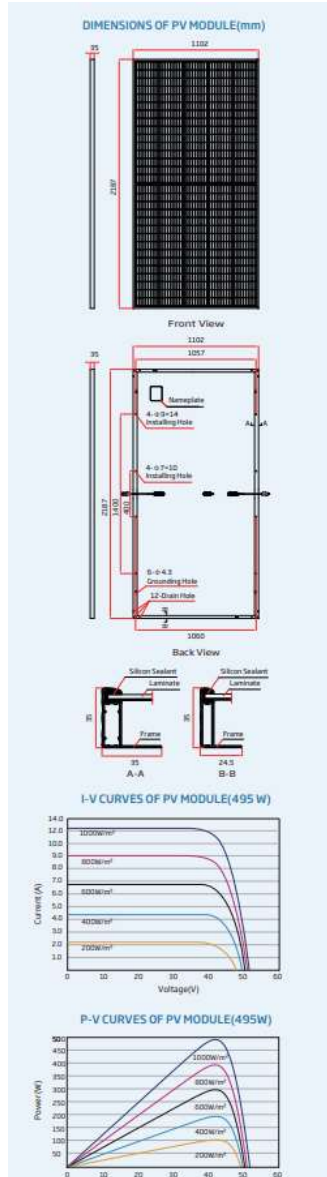
7.3 Selección de fichas técnicas de los equipos

7.3.1 Panel solar

En la **Figura 58** se muestra la ficha técnica del panel solar seleccionado.

Figura 58

Ficha técnica del panel solar



ELECTRICAL DATA (STC)						
Peak Power Watts- P_{max} (Wp)*	485	490	495	500	505	510
Power Tolerance- P_{max} (W)	0 ~ +5					
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	42.2	42.4	42.6	42.8	43.0	43.2
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	11.49	11.56	11.63	11.69	11.75	11.81
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	51.1	51.3	51.5	51.7	51.9	52.1
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	12.07	12.14	12.21	12.28	12.35	12.42
Module Efficiency η (%)	20.1	20.3	20.5	20.7	21.0	21.2

STC: Irradiance 1000W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5.
*Measuring tolerance: ±3%.

ELECTRICAL DATA (NOCT)						
Maximum Power- P_{max} (Wp)	365	369	373	377	381	385
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V)	39.9	40.0	40.2	40.4	40.6	40.5
Maximum Power Current- I_{mp} (A)	9.17	9.22	9.28	9.33	9.38	9.50
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	48.1	48.2	48.4	48.6	48.8	49.0
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	9.73	9.78	9.84	9.90	9.95	10.01

NOCT: Irradiance at 800W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA	
Solar Cells	Monocrystalline
Cell Orientation	150 cells
Module Dimensions	2187*1102*35 mm (86.10*43.39*1.38 inches)
Weight	26.5 kg (58.4 lb)
Glass	3.2 mm (0.13 inches), High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass
Encapsulant Material	EVA
Backsheet	White
Frame	35 mm (1.38 inches) Anodized Aluminium Alloy
J-Box	IP6B rated
Cables	Photovoltaic Technology Cable 4.0mm ² (0.006 inches ²), Portrait: N 280mm/P 280mm(11.02/11.02inches) Landscape: N 1400mm /P 1400 mm (55.12/55.12 inches)
Connector	MC4 EV02 / TS4*

*Please refer to regional datasheet for specified connector.

TEMPERATURE RATINGS		MAXIMUM RATINGS	
NOCT (Nominal Operating Cell Temperature)	43°C (±2°C)	Operational Temperature	-40 ~ +85 °C
Temperature Coefficient of P_{max}	-0.34%/°C	Maximum System Voltage	1500V DC (IEC)
Temperature Coefficient of V_{oc}	-0.25%/°C	Max Series Fuse Rating	20A
Temperature Coefficient of I_{sc}	0.04%/°C		

(Do not connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

WARRANTY	PACKAGING CONFIGURATION
12 year Product Workmanship Warranty	Modules per box: 31 pieces
25 year Power Warranty	Modules per 40' container: 620 pieces
2% first year degradation	
0.55% Annual Power Attenuation	

7.3.2 Baterías

En la Figura 59 se muestra la ficha técnica de la batería seleccionada.

Tabla 26

Resumen del análisis y dimensionamiento de los Sistemas de Generación

Microrred						
Sistema de generación hidráulico			Sistema de generación solar			
Capacidad						
El sistema posee una capacidad de generación desde 82.97 kW hasta 160.32 kW con unos caudales de 0.16 m ³ /s hasta 0.6 m ³ /s respectivamente.			El sistema de generación solar posee una capacidad de generación de 133 kW en su pico máximo que es a las 12:00 horas del día.			
Componentes						
El sistema de generación hidráulica está compuesto por:			El sistema de generación solar está compuesto por:			
Turbina Francis			Número de paneles	280	UND	
Velocidad específica	58.35	rpm	Potencia paneles	500	Wp	
Diámetros	D1	2.01	m	Tensión módulo	42.8	V
	D2	1.01	m	Número de baterías	82	UND
	D3	0.32	m	Tensión de las baterías	48	V
Generador			Capacidad Baterías	200	Ah	
Potencia	48.4	kVA	Regulador corriente entrada	30.7	A	
Frecuencia	60	Hz	Regulador corriente salida	15.07	kA	
Rotación	1800	rpm	Potencia inversor	1.27	MW	
El sistema de generación estará en operación 4518 horas			El sistema de generación estará en operación 4242 horas			

9. Memoria RETIE

El análisis y cálculos de la memoria RETIE se encuentran discriminados en el **Apéndice**

H.

10. Análisis en Power World

El análisis y cálculos de la memoria son presentados en el **Apéndice L.**

11. Conclusiones

La implementación de la microrred se compone de un sistema de generación hidráulico (MCH) y un sistema solar fotovoltaico (SFV) conectados a una transferencia dejando que estas fuentes de generación actúen de manera totalmente independiente, en donde, la MCH actúa como fuente principal supliendo el 100% de la demanda conectada y el SFV será la fuente de generación de respaldo para cuando la fuente principal no pueda operar en casos como mantenimiento, ausencia de caudal, averías, entre otros.

El SFV se encuentra sobredimensionado en un 152% permitiéndole suplir la carga cuando lo requiera y además cargar de manera eficiente las baterías del sistema, además, la MCH se encuentra sobredimensionada un 100% debido a que la carga que se requiere alimentar en la finca es de 30.13 kW. Podemos ver una eficiencia del 50% lo cual nos indica que la potencia generada para cubrir la demanda de 30.13 kW debe ser mínimo de 60.26 kW, para el caudal de diseño máximo que es el 50% de la capacidad con una caída neta de 60 m se genera un promedio mensual de 182.29 kW, sin embargo, se observa que la demanda se cumple con un caudal de 0.16 m³/s ya que se tiene una capacidad de 92.51kW. Esto permite tener una muy buena confiabilidad.

El diseño de la MCH garantiza el caudal mínimo o ecológico. Es importante recalcar que para el diseño de la MCH se parte de una infraestructura ya diseñada en la zona que contempla la tubería y los demás elementos que se requieran para la implementación de esta. De lo contrario, se deberá realizar un estudio ambiental que certifique y autorice la implementación y construcción de la MCH.

Los criterios principales de evaluación para el diseño de la microrred son impacto ambiental, confiabilidad y eficiencia, no se tiene en cuenta el criterio económico ya que no hace

parte del alcance del proyecto gracias a que esto no se ve reflejado en las expectativas del inversionista.

Al tratarse de una microrred off line es necesario implementar un banco de condensadores para suplir la producción de energía reactiva que necesitan las cargas para su correcto funcionamiento.

La curva de la demanda del usuario contiene su pico de producción en horas de la noche, lo que implica un dimensionamiento mayor en la cantidad de paneles y baterías para poder suplir el 100% de la carga. Se recomienda realizar una automatización en los procesos que permita realizar cambios de las horas en que los equipos operan, para así llevar este pico de producción en horas del día cercanas al medio día, lo que mejora la eficiencia del sistema, además de que se requieren menos baterías para suplir la carga en las demás horas, generando una disminución en los costos.

Referencias bibliográficas

- Cabra, M. (2021). *Instalación solar fotovoltaica: cálculo y diseño de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo en vivienda*. Tutoriales Técnicos de Ingeniería y Tecnología de Energía Renovable.
- CONESA Fernández-Vitoria, V. (1997). *Auditorías medioambientales. Guía metodológica: guía metodológica*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Coz, F., Sánchez, T., Viani, B., Segura, J., Rodríguez, L., Miranda, H., & Muñoz, I. (1995). *Manual de mini y microcentrales hidráulicas: una guía para el desarrollo de proyectos*.
- DANE. (2022). *La información del DANE en la toma de decisiones regionales*.
- De Kuyper, J. C. V. (2014). Fuentes de energía renovables y no renovables. Aplicaciones. *Revista Escuela de Administración de Negocios*, 77, 216–218.
- Gaona, E. E., Trujillo, C. A., & Guacaneme, J. A. (2015). Rural microgrids and its potential application in Colombia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 125–137.
- Garzón-Hidalgo, J. D., & Saavedra-Montes, A. J. (2017). Una metodología de diseño de micro redes para zonas no interconectadas de Colombia. *TecnoLógicas*, 20(39), 41–55.
- Grupo EPM. (2019). *Guía metodológica: Análisis de cortocircuito y falla a tierra*.
- Guilombo Silva, J. G. (2017). *Establecimiento de dos sistemas filtro como tratamiento de aguas residuales del café en el Municipio de Planadas Tolima*.
- IDEAM. (2022). *Atlas colombiano*. <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>
- IEA. (2021). *Global Energy Review 2021*. <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>
- IEC 60071-2. (2018). *Guía para la coordinación de aislamientos en sistemas tipo I*.

- León, W. (2022). *Diseño de una PCH para la generación de energía eléctrica aprovechando el sistema de abastecimiento de agua a Riohacha distrito turístico y cultural.*
- Monseco, M. (2013). Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad. *Técnica Industrial*, 301, 40–53.
- Morales, C., & Saavedra, F. (2017). *Diseño de una pequeña central hidroeléctrica para el municipio de Pisba, Boyacá.*
- NASA. (2022). *NASA Prediction of Worldwide Energy Resources.*
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- NC ISO 14001. (2015). *Guía de implantación para sistema de gestión medioambiental.*
- Ottavianelli, E., & Cadena, C. (2016). Acciones para el acceso a la energía de pobladores rurales con la inclusión de sistemas solares fv de 3^o generación y otros equipos. *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente*, 20, 55–63.
- Shyu, C. W. (2014). Ensuring access to electricity and minimum basic electricity needs as a goal for the post-MDG development agenda after 2015. *Energy for Sustainable Development*, 19, 29–38.
- UL Solutions. (2021). *HOMER Pro* (version 3.14.5).
- Vivanco, E. (2020). *Energías renovables y no renovables. Ventajas y desventajas de ambos tipos de energía.*

Apéndices

Apéndice A. Fichas técnicas

Universidad Industrial de Santander Néider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Vinegas Rivero 2161946	
Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima	
Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/27/2021	
EQUIPOS DE PRODUCCIÓN	DATOS DE PLACA
Nombre: 04 motor Referencia: (Néider) DTC21 Estado: Bueno Descripción: Operación site 1 Color: Verde Características: Operación industrial Longitud: N/A Potencia: 5552 W Eficiencia nominal: No Disp.	Número de modelo: 7279 Tipo de fase: 1 fase Cubierta del motor: 009 Caballos de potencia: 7.5 Poles: 4 Número de velocidades: 1 RPM: 1725 Voltios: 230 Amperios de carga completa Primario: 24.5 Factor de servicio amperios Primario: 80 Hertz: 60 Factor de Potencia: No Disp.
Evidencia Fotográfica	
	
Universidad Industrial de Santander Néider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Vinegas Rivero 2161946	
Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima	
Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/27/2021	
EQUIPOS DE PRODUCCIÓN	DATOS DE PLACA
Nombre: Energía Referencia: RB22042 Estado: Excelente Descripción: operación site 1 Color: negro Características: operación industrial Longitud: N/A Potencia: 1119 W Eficiencia nominal: No Disp.	Número de modelo: 2276 Tipo de fase: 1 fase Cubierta del motor: No Disp. Caballos de potencia: 1.7 Poles: No Disp. Número de velocidades: No Disp. RPM: 1725 Voltios: 115/230 Amperios de carga completa Primario: No Disp. Factor de servicio amperios Primario: 1.25 Hertz: 60 Factor de Potencia: No Disp.
Evidencia Fotográfica	
	
Universidad Industrial de Santander Néider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Vinegas Rivero 2161946	
Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima	
Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/27/2021	
EQUIPOS DE PRODUCCIÓN	DATOS DE PLACA
Nombre: Saramo Referencia: 3177 993-2079 Estado: Bueno Descripción: Operación site 1 Color: Azul Características: Operación industrial Longitud: N/A Potencia: 786 W Eficiencia nominal: No Disp.	Número de modelo: 3177 Tipo de fase: 1 fase Cubierta del motor: No Disp. Caballos de potencia: 1 Poles: 4 Número de velocidades: No Disp. RPM: 1800 Voltios: 230 Amperios de carga completa Primario: No Disp. Factor de servicio amperios Primario: No Disp. Hertz: 60 Factor de Potencia: No Disp.
Evidencia Fotográfica	
	

Continúa en el siguiente página...

Apéndice A. Fichas técnicas

<p style="text-align: center;">Universidad Industrial de Santander Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Venegas Rivero 2161946</p> <p style="text-align: center;">Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima</p> <p>Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/07/2021</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">EQUIPOS DE PRODUCCIÓN</th> <th colspan="2">DATOS DE PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre</td> <td>Emergen</td> <td>Número de modelo</td> <td>LS188 80 52</td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>80510402</td> <td>Tipo de fase</td> <td>1 Fase</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Existente</td> <td>Cubierta del motor</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>Operación cilo 2</td> <td>Caballos de potencia</td> <td>1 1/2</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Negro</td> <td>Poles</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Características</td> <td>Operación Industrial</td> <td>Número de velocidades</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>75h</td> <td>RPM</td> <td>1725</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>177 W</td> <td>Voltios</td> <td>115/208-230</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia nominal</td> <td>No Disp.</td> <td>Amperios de carga completa Primaria</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de servicio amperios Primario</td> <td>1,0</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hertz</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de Potencia</td> <td>No Disp.</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Evidencia Fotográfica</p> 	EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA		Nombre	Emergen	Número de modelo	LS188 80 52	Referencia	80510402	Tipo de fase	1 Fase	Estado	Existente	Cubierta del motor	No Disp.	Descripción	Operación cilo 2	Caballos de potencia	1 1/2	Color	Negro	Poles	No Disp.	Características	Operación Industrial	Número de velocidades	No Disp.	Longitud	75h	RPM	1725	Potencia	177 W	Voltios	115/208-230	Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primaria	No Disp.			Factor de servicio amperios Primario	1,0			Hertz	60			Factor de Potencia	No Disp.	<p style="text-align: center;">Universidad Industrial de Santander Welder Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Venegas Rivero 2161946</p> <p style="text-align: center;">Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima</p> <p>Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/07/2021</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">EQUIPOS DE PRODUCCIÓN</th> <th colspan="2">DATOS DE PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre</td> <td>Magnatón</td> <td>Número de modelo</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>3 3912 33-62</td> <td>Tipo de fase</td> <td>1 Fase</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Existente</td> <td>Cubierta del motor</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>Operación cilo 2</td> <td>Caballos de potencia</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Verde</td> <td>Poles</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Características</td> <td>Operación Industrial</td> <td>Número de velocidades</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>147h</td> <td>RPM</td> <td>1725</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>1475 W</td> <td>Voltios</td> <td>220/380</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia nominal</td> <td>No Disp.</td> <td>Amperios de carga completa Primario</td> <td>26/13</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de servicio amperios Primario</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hertz</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de Potencia</td> <td>No Disp.</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Evidencia Fotográfica</p> 	EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA		Nombre	Magnatón	Número de modelo	No Disp.	Referencia	3 3912 33-62	Tipo de fase	1 Fase	Estado	Existente	Cubierta del motor	No Disp.	Descripción	Operación cilo 2	Caballos de potencia	10	Color	Verde	Poles	No Disp.	Características	Operación Industrial	Número de velocidades	No Disp.	Longitud	147h	RPM	1725	Potencia	1475 W	Voltios	220/380	Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	26/13			Factor de servicio amperios Primario	1,5			Hertz	60			Factor de Potencia	No Disp.	<p style="text-align: center;">Universidad Industrial de Santander Welder Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Venegas Rivero 2161946</p> <p style="text-align: center;">Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima</p> <p>Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/07/2021</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">EQUIPOS DE PRODUCCIÓN</th> <th colspan="2">DATOS DE PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre</td> <td>ATB</td> <td>Número de modelo</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>11087843-2</td> <td>Tipo de fase</td> <td>1 Fase</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Existente</td> <td>Cubierta del motor</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>Operación cilo 2</td> <td>Caballos de potencia</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Azul</td> <td>Poles</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Características</td> <td>Operación Industrial</td> <td>Número de velocidades</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>75h</td> <td>RPM</td> <td>1725</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>400 W</td> <td>Voltios</td> <td>400/230-470</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia nominal</td> <td>No Disp.</td> <td>Amperios de carga completa Primario</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de servicio amperios Primario</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hertz</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de Potencia</td> <td>cos 0,88</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Evidencia Fotográfica</p> 	EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA		Nombre	ATB	Número de modelo	No Disp.	Referencia	11087843-2	Tipo de fase	1 Fase	Estado	Existente	Cubierta del motor	No Disp.	Descripción	Operación cilo 2	Caballos de potencia	No Disp.	Color	Azul	Poles	No Disp.	Características	Operación Industrial	Número de velocidades	No Disp.	Longitud	75h	RPM	1725	Potencia	400 W	Voltios	400/230-470	Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	No Disp.			Factor de servicio amperios Primario	No Disp.			Hertz	60			Factor de Potencia	cos 0,88
EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA																																																																																																																																																												
Nombre	Emergen	Número de modelo	LS188 80 52																																																																																																																																																											
Referencia	80510402	Tipo de fase	1 Fase																																																																																																																																																											
Estado	Existente	Cubierta del motor	No Disp.																																																																																																																																																											
Descripción	Operación cilo 2	Caballos de potencia	1 1/2																																																																																																																																																											
Color	Negro	Poles	No Disp.																																																																																																																																																											
Características	Operación Industrial	Número de velocidades	No Disp.																																																																																																																																																											
Longitud	75h	RPM	1725																																																																																																																																																											
Potencia	177 W	Voltios	115/208-230																																																																																																																																																											
Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primaria	No Disp.																																																																																																																																																											
		Factor de servicio amperios Primario	1,0																																																																																																																																																											
		Hertz	60																																																																																																																																																											
		Factor de Potencia	No Disp.																																																																																																																																																											
EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA																																																																																																																																																												
Nombre	Magnatón	Número de modelo	No Disp.																																																																																																																																																											
Referencia	3 3912 33-62	Tipo de fase	1 Fase																																																																																																																																																											
Estado	Existente	Cubierta del motor	No Disp.																																																																																																																																																											
Descripción	Operación cilo 2	Caballos de potencia	10																																																																																																																																																											
Color	Verde	Poles	No Disp.																																																																																																																																																											
Características	Operación Industrial	Número de velocidades	No Disp.																																																																																																																																																											
Longitud	147h	RPM	1725																																																																																																																																																											
Potencia	1475 W	Voltios	220/380																																																																																																																																																											
Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	26/13																																																																																																																																																											
		Factor de servicio amperios Primario	1,5																																																																																																																																																											
		Hertz	60																																																																																																																																																											
		Factor de Potencia	No Disp.																																																																																																																																																											
EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA																																																																																																																																																												
Nombre	ATB	Número de modelo	No Disp.																																																																																																																																																											
Referencia	11087843-2	Tipo de fase	1 Fase																																																																																																																																																											
Estado	Existente	Cubierta del motor	No Disp.																																																																																																																																																											
Descripción	Operación cilo 2	Caballos de potencia	No Disp.																																																																																																																																																											
Color	Azul	Poles	No Disp.																																																																																																																																																											
Características	Operación Industrial	Número de velocidades	No Disp.																																																																																																																																																											
Longitud	75h	RPM	1725																																																																																																																																																											
Potencia	400 W	Voltios	400/230-470																																																																																																																																																											
Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	No Disp.																																																																																																																																																											
		Factor de servicio amperios Primario	No Disp.																																																																																																																																																											
		Hertz	60																																																																																																																																																											
		Factor de Potencia	cos 0,88																																																																																																																																																											

Continúa en el siguiente página...

Apéndice A. Fichas técnicas

Universidad Industrial de Santander
Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
David Vinagre Rivero 2161946

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Páez del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad: Finca
Ubicación: Municipio de Páez del Departamento del Tolima
Teléfono:
Fecha: 5/07/2021

EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA	
Nombre:	Motor 1/2	Número de modelo:	1077
Referencia:	1077	Tipo de fase:	1 Fase
Estado:	Bueno	Cubierta del motor:	Al
Descripción:	Operación sin 2	Caballos de potencia:	3
Color:	Negro	Poles:	4
Características:	Operación industrial	Número de velocidades:	1
Longitud:	No Disp.	RPM:	1725
Potencia:	4370 W	Voltios:	110/230
Eficiencia nominal:	No Disp.	Angechos de carga completa Primario:	No Disp.
		Factor de servicio angechos Primario:	1.15
		Hertz:	60
		Factor de Potencia:	0.87

Evidencia Fotográfica



Universidad Industrial de Santander
Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
David Vinagre Rivero 2161946

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Páez del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad: Finca
Ubicación: Municipio de Páez del Departamento del Tolima
Teléfono:
Fecha: 5/07/2021

PLACA CALENTAMIENTO DE CAFÉ		DATOS DE PLACA	
Nombre:	Secadora de café	Número de modelo:	No Disp.
Referencia:	No Disp.	Tipo de fase:	1 fase
Estado:	Bueno	Cubierta del motor:	No Disp.
Descripción:	Secado de Café	Caballos de potencia:	No Disp.
Color:	Azul	Poles:	No Disp.
Características:	Operación industrial	Número de velocidades:	No Disp.
Longitud:	170 cm	RPM:	No Disp.
Potencia:	2400 W	Voltios:	120
Eficiencia nominal:	No Disp.	Angechos de carga completa Primario:	No Disp.
		Factor de servicio angechos Primario:	No Disp.
		Hertz:	No Disp.
		Factor de Potencia:	No Disp.

Evidencia Fotográfica



Universidad Industrial de Santander
Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
David Vinagre Rivero 2161946

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Páez del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad: Finca
Ubicación: Municipio de Páez del Departamento del Tolima
Teléfono:
Fecha: 5/07/2021

EQUIPOS DE PRODUCCIÓN		DATOS DE PLACA	
Nombre:	Weg	Número de modelo:	No Disp.
Referencia:	M201C200R00030046	Tipo de fase:	1 Fase
Estado:	Bueno	Cubierta del motor:	No Disp.
Descripción:	Operación sin 2	Caballos de potencia:	1 1/2
Color:	Negro	Poles:	No Disp.
Características:	Operación industrial	Número de velocidades:	No Disp.
Longitud:	No Disp.	RPM:	1725
Potencia:	1100 W	Voltios:	110/230
Eficiencia nominal:	No Disp.	Angechos de carga completa Primario:	No Disp.
		Factor de servicio angechos Primario:	1.15
		Hertz:	60
		Factor de Potencia:	0.85

Evidencia Fotográfica




Continúa en el siguiente página...


Apéndice A. Fichas técnicas

 <p>Universidad Industrial de Santander Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Vanegas Rivero 2161946</p>		 <p>Universidad Industrial de Santander Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Vanegas Rivero 2161946</p>		 <p>Universidad Industrial de Santander Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Vanegas Rivero 2161946</p>																																																																																																																																																													
<p>Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima</p>		<p>Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima</p>		<p>Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima</p>																																																																																																																																																													
<p>Nombre de la propiedad Roma Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono Fecha 5/07/2021</p>		<p>Nombre de la propiedad Roma Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono Fecha 5/07/2021</p>		<p>Nombre de la propiedad Roma Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono Fecha 5/07/2021</p>																																																																																																																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROCESADORA DE MAÍZ 2</th> <th colspan="2">DATOS DE PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre</td> <td>Siemens</td> <td>Número de modelo</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>Q2-AS</td> <td>Tipo de fase</td> <td>1 fase</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Buena</td> <td>Cubierta del motor</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>Procesadora de maíz 2</td> <td>Caballos de potencia</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Naranja</td> <td>Polos</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Características</td> <td>Operación industrial</td> <td>Número de velocidades</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>N/A</td> <td>RPM</td> <td>1715</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>1452 W</td> <td>Voltios</td> <td>115/230</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia nominal</td> <td>75.50%</td> <td>Amperios de carga completa Primario</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de servicio amperios Primario</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hertz</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de Potencia</td> <td>0.82</td> </tr> </tbody> </table>		PROCESADORA DE MAÍZ 2		DATOS DE PLACA		Nombre	Siemens	Número de modelo	No Disp.	Referencia	Q2-AS	Tipo de fase	1 fase	Estado	Buena	Cubierta del motor	No Disp.	Descripción	Procesadora de maíz 2	Caballos de potencia	2	Color	Naranja	Polos	No Disp.	Características	Operación industrial	Número de velocidades	No Disp.	Longitud	N/A	RPM	1715	Potencia	1452 W	Voltios	115/230	Eficiencia nominal	75.50%	Amperios de carga completa Primario	No Disp.			Factor de servicio amperios Primario	1			Hertz	60			Factor de Potencia	0.82	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROCESADORA DE MAÍZ 3</th> <th colspan="2">DATOS DE PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre</td> <td>Herrules</td> <td>Número de modelo</td> <td>NSB</td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>NSB</td> <td>Tipo de fase</td> <td>3 fase</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Buena</td> <td>Cubierta del motor</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>Procesadora de maíz 3</td> <td>Caballos de potencia</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Negro</td> <td>Polos</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Características</td> <td>Operación industrial</td> <td>Número de velocidades</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>N/A</td> <td>RPM</td> <td>1720</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>2.2 kW</td> <td>Voltios</td> <td>220/254</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia nominal</td> <td>No Disp.</td> <td>Amperios de carga completa Primario</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de servicio amperios Primario</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hertz</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de Potencia</td> <td>No Disp.</td> </tr> </tbody> </table>		PROCESADORA DE MAÍZ 3		DATOS DE PLACA		Nombre	Herrules	Número de modelo	NSB	Referencia	NSB	Tipo de fase	3 fase	Estado	Buena	Cubierta del motor	No Disp.	Descripción	Procesadora de maíz 3	Caballos de potencia	3	Color	Negro	Polos	No Disp.	Características	Operación industrial	Número de velocidades	No Disp.	Longitud	N/A	RPM	1720	Potencia	2.2 kW	Voltios	220/254	Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	No Disp.			Factor de servicio amperios Primario	1			Hertz	60			Factor de Potencia	No Disp.	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">PROCESADORA DE MAÍZ 1</th> <th colspan="2">DATOS DE PLACA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Nombre</td> <td>Motor</td> <td>Número de modelo</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Referencia</td> <td>No Disp.</td> <td>Tipo de fase</td> <td>1 fase</td> </tr> <tr> <td>Estado</td> <td>Regular</td> <td>Cubierta del motor</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Descripción</td> <td>Procesadora de maíz 1</td> <td>Caballos de potencia</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Color</td> <td>Azul</td> <td>Polos</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Características</td> <td>Operación industrial</td> <td>Número de velocidades</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Longitud</td> <td>N/A</td> <td>RPM</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td>1455 W</td> <td>Voltios</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td>Eficiencia nominal</td> <td>No Disp.</td> <td>Amperios de carga completa Primario</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de servicio amperios Primario</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Hertz</td> <td>No Disp.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Factor de Potencia</td> <td>No Disp.</td> </tr> </tbody> </table>		PROCESADORA DE MAÍZ 1		DATOS DE PLACA		Nombre	Motor	Número de modelo	No Disp.	Referencia	No Disp.	Tipo de fase	1 fase	Estado	Regular	Cubierta del motor	No Disp.	Descripción	Procesadora de maíz 1	Caballos de potencia	No Disp.	Color	Azul	Polos	No Disp.	Características	Operación industrial	Número de velocidades	No Disp.	Longitud	N/A	RPM	No Disp.	Potencia	1455 W	Voltios	No Disp.	Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	No Disp.			Factor de servicio amperios Primario	No Disp.			Hertz	No Disp.			Factor de Potencia	No Disp.
PROCESADORA DE MAÍZ 2		DATOS DE PLACA																																																																																																																																																															
Nombre	Siemens	Número de modelo	No Disp.																																																																																																																																																														
Referencia	Q2-AS	Tipo de fase	1 fase																																																																																																																																																														
Estado	Buena	Cubierta del motor	No Disp.																																																																																																																																																														
Descripción	Procesadora de maíz 2	Caballos de potencia	2																																																																																																																																																														
Color	Naranja	Polos	No Disp.																																																																																																																																																														
Características	Operación industrial	Número de velocidades	No Disp.																																																																																																																																																														
Longitud	N/A	RPM	1715																																																																																																																																																														
Potencia	1452 W	Voltios	115/230																																																																																																																																																														
Eficiencia nominal	75.50%	Amperios de carga completa Primario	No Disp.																																																																																																																																																														
		Factor de servicio amperios Primario	1																																																																																																																																																														
		Hertz	60																																																																																																																																																														
		Factor de Potencia	0.82																																																																																																																																																														
PROCESADORA DE MAÍZ 3		DATOS DE PLACA																																																																																																																																																															
Nombre	Herrules	Número de modelo	NSB																																																																																																																																																														
Referencia	NSB	Tipo de fase	3 fase																																																																																																																																																														
Estado	Buena	Cubierta del motor	No Disp.																																																																																																																																																														
Descripción	Procesadora de maíz 3	Caballos de potencia	3																																																																																																																																																														
Color	Negro	Polos	No Disp.																																																																																																																																																														
Características	Operación industrial	Número de velocidades	No Disp.																																																																																																																																																														
Longitud	N/A	RPM	1720																																																																																																																																																														
Potencia	2.2 kW	Voltios	220/254																																																																																																																																																														
Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	No Disp.																																																																																																																																																														
		Factor de servicio amperios Primario	1																																																																																																																																																														
		Hertz	60																																																																																																																																																														
		Factor de Potencia	No Disp.																																																																																																																																																														
PROCESADORA DE MAÍZ 1		DATOS DE PLACA																																																																																																																																																															
Nombre	Motor	Número de modelo	No Disp.																																																																																																																																																														
Referencia	No Disp.	Tipo de fase	1 fase																																																																																																																																																														
Estado	Regular	Cubierta del motor	No Disp.																																																																																																																																																														
Descripción	Procesadora de maíz 1	Caballos de potencia	No Disp.																																																																																																																																																														
Color	Azul	Polos	No Disp.																																																																																																																																																														
Características	Operación industrial	Número de velocidades	No Disp.																																																																																																																																																														
Longitud	N/A	RPM	No Disp.																																																																																																																																																														
Potencia	1455 W	Voltios	No Disp.																																																																																																																																																														
Eficiencia nominal	No Disp.	Amperios de carga completa Primario	No Disp.																																																																																																																																																														
		Factor de servicio amperios Primario	No Disp.																																																																																																																																																														
		Hertz	No Disp.																																																																																																																																																														
		Factor de Potencia	No Disp.																																																																																																																																																														
<p>Evidencia Fotográfica</p> 		<p>Evidencia Fotográfica</p> 		<p>Evidencia Fotográfica</p> 																																																																																																																																																													

Continúa en el siguiente página...

Apéndice A. Fichas técnicas


 Universidad Industrial de Santander
 Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
 David Vaneegas Rivera 2161946





Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima


Nombre de la propiedad Roma
 Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
 Teléfono
 Fecha 5/07/2021

OPERACIÓN RESIDENCIAL	DATOS DE PLACA
Nombre Smart LED TV	Número de modelo LT-50K0595
Referencia LT-50K0595	Tipo de fase 1-fase
Estado Bueno	Cubierta del motor N/A
Descripción Operación residencial	Caballos de potencia N/A
Color Negro	Polos N/A
Capacidad N/A	Número de velocidades N/A
Potencia 115 W	RPM N/A
Consumo energía No Disp.	Voltios 110/240
Factor de energía No Disp.	Amperios 500 mA
	Factor de servicio N/A
	Hertz 50/60
	Factor de Potencia N/A

Evidencia Fotográfica




 Universidad Industrial de Santander
 Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
 David Vaneegas Rivera 2161946





Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima


Nombre de la propiedad Roma
 Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
 Teléfono
 Fecha 5/07/2021

OPERACIÓN RESIDENCIAL	DATOS DE PLACA
Nombre AIR FRYER	Número de modelo GAF518
Referencia GAF518	Tipo de fase 1-fase
Estado Bueno	Cubierta del motor N/A
Descripción Operación residencial	Caballos de potencia N/A
Color Gris Plateado	Polos N/A
Capacidad N/A	Número de velocidades N/A
Potencia 1500 W	RPM N/A
Consumo energía N/A	Voltios 120
Factor de energía N/A	Amperios No Disp.
	Factor de servicio N/A
	Hertz 60
	Factor de Potencia N/A

Evidencia Fotográfica




 Universidad Industrial de Santander
 Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
 David Vaneegas Rivera 2161946




Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad Roma
 Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
 Teléfono
 Fecha 5/07/2021




OPERACIÓN RESIDENCIAL	DATOS DE PLACA
Nombre Lavadora LG	Número de modelo No Disp.
Referencia WT19099	Tipo de fase 1-fase
Estado Bueno	Cubierta del motor N/A
Descripción Impulsor eje - vertical	Caballos de potencia N/A
Color Gris	Polos N/A
Capacidad 9.6 Libras	Número de velocidades N/A
Capacidad de carga 23 kg	RPM N/A
Consumo energía 11.3 kWh/mes	Voltios 110/240
Factor de energía 85 kWh/ciclo	Amperios de carga completa Primario No Disp.
	Factor de servicio amperios Primario N/A
	Hertz N/A
	Factor de Potencia N/A

Evidencia Fotográfica



Continúa en el siguiente página...

Apéndice A. Fichas técnicas

Universidad Industrial de Santander Néider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Venegas Rivero 2161946		
Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima		
Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/07/2021		
OPERACIÓN COMERCIAL 2	DATOS DE PLACA	
Nombre: Cargador eléctrico Referencia: EFLC28C14020 Estado: Bueno Descripción: Operación comercial Color: Blanco Volumen oil: 300 Litros Consumo específico: 0.08 kWh/litro Consumo energía: 25.61 kWh/mes Factor de energía: N/A Temperatura: hasta 38°C	Número de modelo: No Disp. Tipo de fase: N/A Cubierta del motor: N/A Caballos de potencia: N/A Poleas: N/A Número de velocidades: N/A RPM: N/A Voltios: N/A Amperios: N/A Factor de servicio: N/A Pertz: N/A Factor de Potencia: N/A	No Disp. N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A N/A
Evidencia Fotográfica		
		
Universidad Industrial de Santander Néider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Venegas Rivero 2161946		
Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima		
Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/07/2021		
OPERACIÓN INDUSTRIAL	DATOS DE PLACA	
Nombre: Motor Filtrite Referencia: D608798 Estado: Bueno Descripción: Bomba para combustible Color: Rojo Volumen oil: N/A Consumo específico: N/A Potencia: 796.42 W Factor de energía: N/A Temperatura: N/A	Número de modelo: FRG 10 Tipo de fase: 1-fase Cubierta del motor: N/A Caballos de potencia: 1/4 HP Poleas: No Disp. GPM: 15 RPM: 2800 Voltios: 110ac/120v Amperios: 20 A Factor de servicio: No Disp. Hertz: 60 Factor de Potencia: No Disp.	No Disp. 1-fase N/A 1/4 HP No Disp. 15 2800 110ac/120v 20 A No Disp. 60 No Disp.
Evidencia Fotográfica		
		
Universidad Industrial de Santander Néider Eduardo Delgado Anaya 2171100 David Venegas Rivero 2161946		
Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima		
Nombre de la propiedad: Finca Ubicación: Municipio de Planadas del Departamento del Tolima Teléfono: Fecha: 5/07/2021		
OPERACIÓN RESIDENCIAL 2	DATOS DE PLACA	
Nombre: Nevera LG Referencia: No Disp. Estado: Excelente Descripción: Operación residencial Color: Gris Plateado Capacidad: No Disp. Potencia: 500 W Consumo energía: N/A Factor de energía: N/A	Número de modelo: No Disp. Tipo de fase: 1-fase Cubierta del motor: N/A Caballos de potencia: N/A Poleas: N/A Número de velocidades: N/A RPM: N/A Voltios: 110/120 Amperios: No Disp. Factor de servicio: N/A Hertz: 60 Factor de Potencia: N/A	No Disp. 1-fase N/A N/A N/A N/A N/A 110/120 No Disp. N/A 60 N/A
Evidencia Fotográfica		
		

Continúa en el siguiente página...

Apéndice A. Fichas técnicas


Universidad Industrial de Santander
Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
David Vanezas Rivera 2161946

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad Roma
Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
Teléfono
Fecha 5/07/2021

LABORATORIO		DATOS DE PLACA	
Nombre	Balanza	Número de modelo	89144720
Referencia	89144720	Tipo de fase	3-fase
Estado	Buena	Cubierta del motor	N/A
Descripción	Balanza industrial	Caballos de potencia	N/A
Color	Gris Plateado	Polos	N/A
Capacidad	500 kg	GPM	N/A
División	300 g	RPM	N/A
Potencia	550 W	Voltios	110ac/4ac
Factor de energía	N/A	Amperios	5
Temperatura	N/A	Factor de servicio	N/A
		Hertz	60
		Factor de Potencia	N/A

Evidencia Fotográfica




Universidad Industrial de Santander
Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
David Vanezas Rivera 2161946

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad Roma
Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
Teléfono
Fecha 5/07/2021

LABORATORIO		DATOS DE PLACA	
Nombre	Trilladora de café	Número de modelo	M-250
Referencia	MAGRA M-250	Tipo de fase	1-fase
Estado	Buena	Cubierta del motor	N/A
Descripción	Trilladora de café	Caballos de potencia	1/3
Color	Gris plateado	Polos	N/A
Capacidad	250 gran	GPM	N/A
División	N/A	RPM	N/A
Potencia	248,5 W	Voltios	110/220
Factor de energía	N/A	Amperios	2/1 A
Temperatura	N/A	Factor de servicio	N/A
		Hertz	60
		Factor de Potencia	N/A

Evidencia Fotográfica



Universidad Industrial de Santander
Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
David Vanezas Rivera 2161946

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad Roma
Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
Teléfono
Fecha 5/07/2021


LABORATORIO		DATOS DE PLACA	
Nombre	BLINI Coffee mill	Número de modelo	63 HD
Referencia	G308062037	Tipo de fase	1-fase
Estado	Excelente	Cubierta del motor	N/A
Descripción	Molino Industrial	Caballos de potencia	N/A
Color	Rojo	Polos	N/A
Volumen útil	N/A	GPM	N/A
Consumo específico	N/A	RPM	N/A
Potencia	1320 W	Voltios	120
Factor de energía	N/A	Amperios	11
Temperatura	N/A	Factor de servicio	N/A
		Hertz	60
		Factor de Potencia	N/A

Evidencia Fotográfica




Continúa en el siguiente página...

Apéndice A. Fichas técnicas



Universidad Industrial de Santander
 Neider Eduardo Delgado Anaya 2171100
 David Vaneegas Rivero 2161946



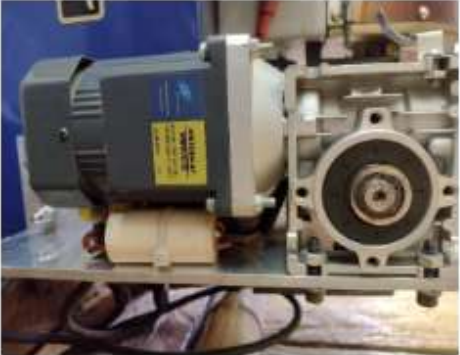

Implementación de una metodología para el diseño y dimensionamiento de una microred eléctrica para una finca productiva del municipio de Planadas del Departamento del Tolima

Nombre de la propiedad Roma
 Ubicación Municipio de Planadas del Departamento del Tolima
 Teléfono

Fecha 5/07/2021

LABORATORIO	DATOS DE PLACA
Nombre	1772
Referencia	1-fase
Estado	N/A
Descripción	Cubierta del motor
Color	Caballos de potencia
Volumen útil	Polos
Consumo específico	GPM
Potencia	RPM
Factor de energía	Volts
Temperatura	Amperios
	Factor de servicio
	Hertz
	Factor de Potencia
	N/A

Evidencia Fotográfica

Apéndice B. Base de datos de la NASA

BASES DE DATOS DE LA NASA																				
YEAR	MO	DT	W11000	W11000 MAX	W11000 MIN	T2M	T2M MAX	T2M MIN	T2M MAX2	W1200	W1200 MAX	W1200 MIN	CLD00	CLD00 MIN	CLD00 MAX	CLD00 SC	CLD00 SC MIN	CLD00 SC MAX	CLD00 SC ST	CLD00 SC ST MAX
2020	1	1	211	401	27	2002	268	1688	102	143	688	1762	55	12508	13343	853	88	88	3379	
2020	1	8	211	247	84	2012	2581	1145	1308	139	707	1775	54	12513	13408	674	69	88	3552	
2020	1	8	28	432	95	2006	2076	1876	1108	308	705	168	52	11121	12005	605	69	77	3628	
2020	1	10	234	497	25	1888	3048	1423	1215	161	754	1805	55	12012	12403	888	72	88	35241	
2020	1	11	246	488	82	1956	2391	1275	1218	162	688	185	52	11211	1248	374	6	75	3678	
2020	1	12	169	53	4	1861	2023	1428	1222	178	688	1448	46	976	11218	381	52	64	3754	
2020	1	13	142	507	48	2028	2087	1404	1203	188	706	188	52	12108	13013	628	68	8	36702	
2020	1	18	258	548	72	1881	263	1418	1112	178	688	1362	48	11338	13278	581	6	73	36818	
2020	1	18	268	506	83	2008	1708	1465	1212	178	688	1488	47	10828	12081	262	26	68	3692	
2020	1	18	301	501	501	2021	2147	1428	1318	202	688	1212	4	6283	12427	483	42	51	38172	
2020	1	17	34	682	82	1108	174	1678	1088	258	688	107	54	7238	13818	333	37	48	36402	
2020	1	18	288	62	77	189	1788	1507	1257	189	708	1381	48	6532	13573	886	5	61	3684	
2020	1	18	277	788	95	2152	2028	148	1188	223	688	1218	38	13627	13227	417	42	52	3832	
2020	1	20	246	565	48	2152	2765	1683	1082	17	638	1242	4	6283	1248	41	42	52	3788	
2020	1	21	177	357	23	2088	2837	1783	636	113	638	858	27	1847	1288	28	28	35	36288	
2020	1	23	188	281	102	2152	2761	1807	1178	116	688	688	28	1842	12203	278	28	34	37807	
2020	1	23	167	135	78	2222	2811	1628	1302	107	70	1238	4	6788	13488	428	48	35	37818	
2020	1	24	184	388	66	1017	228	1738	538	127	678	1178	38	6288	12888	411	42	31	36721	
2020	1	25	185	372	58	2213	2893	1708	1188	127	88	138	43	1081	13813	483	48	38	37848	
2020	1	26	124	281	281	2141	2818	1778	682	184	688	1188	45	6738	13238	483	48	38	37858	
2020	1	27	138	272	5	1128	2842	1788	888	62	688	1387	43	8888	13288	488	48	8	37807	
2020	1	28	178	388	95	2118	2701	170	1012	118	708	1484	48	8881	13288	388	32	62	37184	
2020	1	28	286	458	63	2222	2822	1808	1018	188	688	1385	65	10822	13288	518	52	62	37788	
2020	1	30	100	517	102	2152	2784	1782	982	302	638	1482	47	10788	132	534	58	68	37888	
2020	1	31	245	533	36	2155	2818	1518	1408	138	688	1341	42	6318	13338	48	48	38	37188	
2020	2	1	267	277	87	2122	2844	1728	1888	178	678	1135	41	6788	13288	481	48	38	38888	
2020	2	2	258	458	124	2138	2885	1778	1028	174	688	1428	46	10122	13218	513	52	62	38887	
2020	2	3	238	518	208	2088	2818	1738	988	138	718	1444	47	1028	13288	513	52	64	35787	
2020	2	4	237	461	77	2167	2817	1801	1237	136	728	1748	58	12741	13288	488	48	8	38338	
2020	2	4	237	461	78	2167	2817	1801	1237	136	728	1748	58	12741	13288	488	48	8	38338	
2020	2	5	238	427	78	2112	2812	1802	124	134	718	1462	52	1182	13238	518	54	74	38482	
2020	2	6	231	388	87	2214	3048	1818	138	188	718	1888	58	13641	14037	787	73	88	38888	
2020	2	7	235	442	41	2257	2888	1788	1242	181	718	1731	58	1174	13813	687	48	8	38881	
2020	2	8	238	382	382	2082	2822	1782	1288	181	718	1731	58	1174	13813	687	48	8	38881	
2020	2	8	265	483	8	2205	2888	1728	1138	181	718	188	44	6888	13621	503	5	8	37812	
2020	2	10	238	388	42	2168	284	188	1281	182	718	1478	47	10447	14108	335	33	63	37818	
2020	2	11	212	487	87	2188	3024	1818	1813	178	718	1881	47	11821	13817	718	71	65	38112	
2020	2	12	238	475	112	2218	3038	148	1548	171	722	1882	55	11185	13827	684	68	61	36318	
2020	2	13	263	485	22	2271	3038	1843	1478	178	714	172	54	12505	13787	684	64	77	36711	
2020	2	14	225	485	11	2177	2734	1813	18	156	712	1497	47	10418	13888	528	52	62	38882	
2020	2	15	288	488	58	2185	2842	1845	1245	181	712	1881	51	11007	13888	541	52	68	38112	
2020	2	16	273	523	8	2188	2878	138	1288	183	712	155	48	10888	13838	563	53	68	38882	
2020	2	17	327	677	88	2225	2812	1808	1237	223	714	1461	46	10533	13788	531	52	62	38882	
2020	2	18	381	728	72	2182	2888	1788	1888	244	727	1688	51	10888	13888	617	6	72	37888	
2020	2	18	27	555	55	2186	2888	171	1278	187	746	1331	44	6138	14188	48	45	54	37842	
2020	2	20	278	588	89	2245	2888	1788	1133	182	712	1217	4	682	1382	413	41	48	38888	
2020	2	21	312	288	58	2262	2788	188	888	181	712	1188	58	7828	13587	588	58	45	38114	
2020	2	22	137	278	41	2178	2722	1812	988	181	678	888	53	7112	13847	548	54	4	38812	
2020	2	23	234	507	7	2188	2837	1775	1082	162	683	1052	35	7388	1342	538	54	41	36711	
2020	2	24	26	527	18	2088	2478	1834	638	187	683	1052	52	7685	13108	578	57	48	38784	
2020	2	25	18	57	47	2101	2847	177	117	121	68	1188	38	781	1287	381	38	45	38112	
2020	2	26	181	273	52	2086	281	1888	488	188	703	888	27	3884	13488	284	28	3	38827	
2020	2	27	157	317	18	2087	2418	1738	683	184	683	1138	44	6531	13887	478	48	35	37881	
2020	2	28	28	483	2	2088	2418	1728	123	154	723	1233	41	6788	13828	488	42	48	36717	
2020	2	29	211	483	108	2075	2671	1583	1088	144	708	1383	44	10124	13888	512	48	58	38888	
2020	3	1	124	488	88	2082	2582	1738	838	147	687	1327	58	8888	13302	431	44	33	38422	
2020	3	2	202	387	72	2083	2618	1851	988	13	683	1138	58	681	13831	481	45	32	38338	
2020	3	3	222	488	95	2086	2808	1713	883	143	687	128	17	8881	13445	486	48	31	37888	
2020	3	4	243	458	81	2158	2778	1718	1033	188	688	1383	58	6483	13178	478	48	54	38877	
2020	3	5	225	452	62	2113	2777	1888	1178	153	78	1638	48	11813	13821	613	38	7	37862	
2020	3	6	238	388	12	2158	2771	188	128	146	741	1682	52	11463	1388	583	57	67	38882	
2020	3	7	237	423	103	2187	2822	1888	1127	156	688	1081	54	7788	13218	383	37	43	38833	
2020	3	8	28	543	96	2185	2778	1788	928	192	688	1137	55	6341	12732	421	41	48	38383	
2020	3	8	247	437	84	2113	2888	1888	884	17	648	887	28	1082	12888	381	34	4	38882	
2020	3	10	21	405	51	208	2837	1877	638	142	718	1377	48	6743	13838	488	47	35	37888	
2020	3	11	25	483	86	2158	2734	1887	1138	132	713	1323	48	11127	1381	583	54	63	38382	
2020	3	11	241	433	62	2188	2712	1813	838	163	702	382	4	6514	13488	318	3	35	38881	
2020	3	12	187	458	48	2086	2784	1888	488	127	687	1123	51	1082	1381	473	48	33	37888	
2020	3	14	262	588	103	1884	2314	1888	628	188	70	1062	38	7788	13274	387	37	44	37837	
2020	3	15	21	417	34	2085	2728	1888	1138	14	683	1088	35	741	13888	387	35	41	38833	
2020	3	16	234	458	6	2182	2758	1788	833	162	683	1133	38	6211	13848	414	4	48	38383	
2020	3	17	181	357	21	2082	2701	174												

Apéndice B. Base de datos de la NASA

2020	3	26	196	294	34	1872	232	1637	862	104	674	1231	41	912	12886	46	68	52	88322
2020	3	27	243	394	105	2161	2817	1582	1235	18	888	1202	30	892	13039	434	88	51	88388
2020	3	28	252	437	111	2126	2824	1794	694	180	1247	1247	4	879	11468	22	88	57	87241
2020	3	28	252	531	83	208	2024	1705	900	17	824	1162	24	820	11688	484	66	54	88341
2020	3	30	262	574	55	1862	1697	718	179	718	829	27	798	1375	26	29	29	8934	
2020	3	31	232	585	86	2615	2576	1526	105	147	852	859	27	859	12191	31	5	24	88972
2020	4	1	246	152	7	2980	2864	1705	76	168	86	86	24	807	10004	329	3	26	8884
2020	4	3	243	487	00	2867	1227	163	1077	147	8378	1313	28	8378	1113	418	8	47	8883
2020	4	5	207	50	11	2119	2737	1539	1188	181	708	1375	45	1017	13426	52	3	58	88207
2020	4	4	247	237	25	2182	2756	1177	888	172	845	1248	45	122	10768	888	47	18	88124
2020	4	5	288	576	84	2212	2811	1775	1055	105	718	1087	30	768	11688	388	35	41	8832
2020	4	6	283	584	2	2119	2583	170	795	182	734	1263	41	1033	13627	86	45	52	88041
2020	4	7	100	600	58	2094	2684	1679	1053	12	742	1449	48	1050	14042	83	51	58	88424
2020	4	8	262	591	50	2082	2683	103	1052	175	798	1227	42	8432	1344	475	46	54	87842
2020	4	9	247	602	76	2573	1634	838	17	719	1188	39	851	1372	422	41	48	87156	
2020	4	10	250	553	162	2125	283	1585	1545	179	723	1193	38	8234	13667	406	39	46	88332
2020	4	11	259	564	82	2141	2857	1512	1183	177	718	118	38	826	1277	429	40	46	88121
2020	4	12	254	527	13	2057	252	1737	795	161	88	886	22	5041	12862	244	23	27	88072
2020	4	13	242	47	67	2219	2804	1675	1219	162	721	1244	47	11181	13681	572	55	65	13073
2020	4	14	267	578	22	2175	2884	1797	888	116	712	1215	25	1078	13668	387	36	44	882
2020	4	15	188	143	8	2175	2769	1788	871	13	882	1072	13	7845	12743	362	38	45	88441
2020	4	16	17	383	29	2869	2589	1731	868	114	867	708	28	12533	1352	352	24	4	88273
2020	4	17	203	51	72	1684	2529	1689	838	179	821	886	27	8677	11453	345	34	28	88312
2020	4	18	283	538	52	2885	2842	1513	1103	179	708	874	2	4678	11168	226	22	28	88685
2020	4	18	252	512	108	2033	2748	1533	1213	168	684	1232	38	888	12445	453	64	53	88344
2020	4	20	256	48	113	2889	2888	1448	142	17	721	1559	89	10777	13698	343	53	82	88083
2020	4	21	226	425	107	2896	2782	1563	1162	13	739	1525	86	10026	13862	488	48	57	88228
2020	4	22	236	477	95	2122	2788	1672	1136	158	127	1501	48	8033	13933	488	48	56	87437
2020	4	23	193	379	52	2061	2715	1535	1139	124	748	1504	49	883	14214	487	48	56	88284
2020	4	23	193	426	52	2188	2826	1526	1283	127	888	1523	42	888	14227	487	48	56	87482
2020	4	25	176	161	82	2152	277	1752	868	12	757	1388	45	857	13488	464	45	54	87421
2020	4	26	188	46	48	2408	2708	1637	1072	187	788	1455	52	11742	14883	601	50	7	88884
2020	4	27	273	289	85	1988	278	1576	1023	184	886	1317	41	8696	13188	457	45	53	87425
2020	4	28	283	538	33	2105	2842	1519	149	184	888	1473	45	11225	14258	462	46	54	87842
2020	4	29	23	488	42	2167	2886	1638	1239	158	684	1292	41	881	13177	481	42	51	88004
2020	4	30	278	387	42	2178	2777	1762	1014	181	73	1484	47	10286	13939	518	51	6	87273
2020	5	1	244	176	11	2118	2766	1705	1166	11	821	1276	41	1178	1415	41	41	41	8794
2020	5	2	245	527	88	2107	282	1677	1244	17	888	1117	20	7428	12818	378	38	42	88383
2020	5	3	156	546	27	2047	246	1735	705	112	879	1232	4	7939	13517	578	58	45	88181
2020	5	4	244	411	62	2086	2719	1582	1136	119	719	1306	43	8825	13738	426	41	48	88286
2020	5	5	247	546	7	1888	2867	709	133	178	888	1477	38	10765	14177	326	32	81	88248
2020	5	6	244	463	84	2033	2873	1637	837	136	712	1324	43	8327	13853	507	8	47	87886
2020	5	7	236	659	76	1976	2437	1671	798	179	712	1267	37	7172	13866	23	23	28	88719
2020	5	8	203	654	106	2081	2122	1514	1213	188	738	1331	38	1088	1388	318	32	28	87884
2020	5	8	262	595	86	2114	2854	1522	1312	177	715	1489	57	8818	13935	474	48	50	88741
2020	5	10	203	588	53	2177	2888	1689	1227	178	887	1457	47	1045	13424	867	47	55	88210
2020	5	11	243	281	21	2121	2855	1736	1139	186	708	1388	51	10493	13639	52	52	62	87327
2020	5	12	248	498	24	2205	2895	1742	1213	187	883	1304	28	7112	13184	553	55	42	88221
2020	5	13	186	366	59	2043	2411	1784	857	123	707	854	25	4646	13639	221	22	27	8782
2020	5	14	245	46	114	2132	2837	1626	1208	183	708	1406	52	10895	13988	551	55	86	87259
2020	5	15	207	513	111	2073	2888	1732	1134	18	712	1511	48	886	13836	462	46	55	87251
2020	5	16	286	527	45	2084	2873	1573	140	184	722	1579	51	8863	13697	483	48	58	87288
2020	5	17	273	535	29	2089	2734	1584	117	188	889	1527	49	8822	13473	489	48	58	87382
2020	5	18	25	489	12	2096	2829	1637	1023	184	885	1527	43	8827	13157	483	48	55	87888
2020	5	18	214	502	46	2264	2739	1657	1082	162	655	1388	35	7043	14433	535	53	41	87775
2020	5	20	244	583	27	2149	2828	1669	1159	17	884	1348	51	1032	13986	501	51	6	88427
2020	5	21	257	587	28	2177	2884	1646	1218	179	703	1477	48	8862	13971	483	47	58	88383
2020	5	22	275	571	72	2188	2836	1689	1191	188	713	1627	53	10144	1378	487	51	6	87841
2020	5	23	278	606	9	2128	2673	1723	95	196	703	1705	54	11118	13748	548	54	68	87284
2020	5	24	211	617	79	2086	2748	1524	1194	217	708	1389	41	7804	13817	396	37	45	8782
2020	5	25	238	538	68	2080	2778	1549	1227	178	728	1712	58	10718	13978	534	53	65	88479
2020	5	26	223	634	77	2114	2812	159	1223	223	886	1472	48	8811	13429	436	43	53	87238
2020	5	27	237	688	103	1971	2415	1588	819	18	884	127	41	7305	13337	343	35	42	88093
2020	5	28	28	618	27	2042	2842	1682	884	12	888	145	47	8862	12588	483	48	58	87382
2020	5	29	217	434	81	2048	2846	1637	1009	143	67	1453	47	8862	13634	463	46	57	87312
2020	5	30	23	629	38	2032	2808	1627	88	134	883	1313	43	7773	13304	361	37	45	87272
2020	5	31	195	621	32	1886	2762	1646	812	134	879	1462	48	8846	13188	444	44	55	87488
2020	6	1	238	588	83	1886	2808	168	113	133	708	1561	51	1011	13611	477	47	56	87882
2020	6	2	203	423	53	2085	2804	1501	1562	135	889	1491	48	8679	13237	479	47	58	87108
2020	6	3	181	583	76	2008	2487	1637	89	13	887	882	28	1086	13888	226	23	28	8818
2020	6	4	205	786	104	208	2762	1619	1184	18	887	1705	55	11612	13348	567	61	73	88917
2020	6	5	203	441	96	2039	2839	1688	1035	17	882	1386	4	8777	13931	461	46	58	88384
2020	6	6	27	556	103	2033	2871	130	1172	179	884	1421	41	791	13371	351	36	43	8891
2020	6	7	278	539	53														

Apéndice B. Base de datos de la NASA

2020	6	15	24	488	52	1873	2487	1275	111	142	889	1361	42	8099	11007	365	4	48	27336
2020	6	16	23	479	103	1861	2576	1276	1208	243	884	1373	25	8054	11228	483	53	43	27370
2020	6	17	201	600	121	2008	3394	1248	1040	103	883	137	44	8118	11339	370	38	47	27403
2020	6	18	263	88	11	1868	2764	1047	173		846	1423	43	8007	11355	476	40	38	27500
2020	6	19	261	341	64	2487	2631	1311	1438	179	896	1305	26	10833	11448	536	55	86	27477
2020	6	20	27	31	31	2012	2588	1084	1005	183	878	1265	41	7816	11075	369	38	46	27577
2020	6	21	27	245	27	1886	1603	987	163		888	1349	44	8051	11314	423	44	53	28002
2020	6	22	261	551	77	2008	2107	1408	1148	171	912	1342	42	8044	11073	447	47	55	27277
2020	6	23	261	508	68	2488	2141	139	662	134	842	139	43	8042	11073	447	46	53	27264
2020	6	24	247	512	41	1878	2001	1419	1383	19	855	1452	46	10174	11745	504	53	82	28368
2020	6	25	188	58	65	1872	2787	148	1116	181	850	1407	45	8077	11241	464	51	6	27382
2020	6	26	23	424	63	2121	2128	1108	76	137	894	1223	43	8128	11303	408	43	3	26941
2020	6	27	236	617	8	1868	2652	1462	1181	17	854	1344	4	8356	11507	47	40	38	26873
2020	6	28	246	482	102	1857	2769	1483	1086	161	853	1088	54	7227	11317	546	36	43	27038
2020	6	29	234	516	77	1946	2905	1503	1801	172	874	1394	43	8036	11013	441	5	38	27313
2020	6	30	217	438	68	1805	2617	1407	117	147	88	1529	46	10449	11017	539	30	47	28134
2020	7	1	227	426	94	2005	2040	1440	1101	152	873	1294	4	8773	11058	438	40	53	27485
2020	7	2	32	443	38	1807	2114	1555	96	148	87	1389	4	8007	11387	423	44	52	27213
2020	7	3	234	454	33	1875	2367	1452	1141	187	891	1421	44	8063	11227	473	48	38	27374
2020	7	4	187	391	57	1826	2462	1548	813	124	853	1336	35	7757	11205	375	38	46	27441
2020	7	5	218	38	139	1812	2465	149	875	138	873	1438	42	8084	11288	479	5	39	27415
2020	7	6	245	68	68	1887	2468	1498	812	163	878	1128	41	8042	11504	437	43	54	27501
2020	7	7	21	386	8	1885	2484	1811	1003	14	875	1398	4	8043	11066	437	45	34	28008
2020	7	8	222	453	96	1881	2676	1431	1225	143	894	1312	45	10432	11362	534	36	65	27688
2020	7	9	262	519	87	1822	2525	1415	1188	174	894	1442	45	8062	11352	446	4	38	27478
2020	7	10	211	437	134	1826	2164	1562	712	148	883	1321	44	8046	11443	482	42	52	28029
2020	7	11	188	333	10	1844	2381	1355	1027	138	841	1346	42	8188	11002	46	48	37	26758
2020	7	12	212	422	81	1801	2444	1432	1012	137	881	1394	4	8038	11288	434	44	53	26914
2020	7	13	247	479	67	1888	2423	1462	842	148	848	1348	48	10647	11262	534	38	48	27402
2020	7	14	270	562	122	1858	2451	1535	1095	182	714	1370	5	1070	11667	539	55	48	28212
2020	7	15	263	446	145	1735	2329	1283	1036	17	708	1482	54	11284	11336	548	38	7	26373
2020	7	16	272	516	184	1941	2501	1327	1204	176	714	1564	5	1015	11676	500	52	62	28083
2020	7	17	247	137	139	1888	2319	1318	1008	141	708	1363	5	1065	11562	542	39	43	27338
2020	7	18	24	434	61	1801	2483	115	138		703	1508	48	8086	11443	492	51	8	28218
2020	7	19	252	491	11	1942	2498	1444	1023	184	895	1507	47	908	11336	446	41	8	27448
2020	7	20	215	505	21	1889	2467	1467	1023	182	847	132	41	82	112	41	42	3	26761
2020	7	21	215	431	21	1863	2605	2412	1282	138	884	1488	48	8812	11513	485	5	38	27653
2020	7	22	227	483	8	1876	2637	1463	1173	15	837	1388	37	8239	11105	468	41	48	27603
2020	7	23	247	508	104	188	218	1326	1044	105	888	1227	38	7948	11788	37	38	48	27881
2020	7	24	221	475	75	1948	2329	1348	981	144	876	1031	32	8173	11288	281	29	34	28274
2020	7	25	217	406	83	2207	1827	77	141		879	779	22	8021	11284	235	23	27	2687
2020	7	26	255	525	116	1803	2437	1346	1089	167	874	1408	43	8174	11045	458	47	55	27471
2020	7	27	247	462	132	184	2633	134	142	142	704	1409	43	8060	11475	46	47	53	27187
2020	7	28	222	446	12	1853	2626	138	1227	143	708	1316	5	883	11475	488	49	36	26843
2020	7	29	288	405	77	1887	2426	1408	1188	143	70	1342	5	10245	11461	513	32	40	27436
2020	7	30	305	637	121	1844	2468	1514	888	208	874	1363	41	8756	11273	434	44	52	27216
2020	7	31	302	525	14	2002	2684	1388	1298	102	711	1477	40	8888	11389	489	51	8	26716
2020	8	1	301	58	123	2022	2705	1475	1231	102	882	1443	45	8095	11873	514	52	82	28299
2020	8	2	325	585	137	2012	2767	1408	1338	219	708	1704	35	12446	11508	652	46	78	28281
2020	8	3	331	36	184	1804	2819	1413	1409	11	71	1488	47	10170	11547	514	52	63	28432
2020	8	4	291	461	158	1835	2486	1394	1122	184	682	1313	56	7462	11817	563	57	44	27218
2020	8	5	39	509	112	1883	2786	1273	1313	193	86	1302	35	7468	11436	568	37	44	27363
2020	8	6	389	38	118	1805	2854	1464	118	195	841	1086	31	7163	11899	582	35	42	28122
2020	8	7	312	605	138	1887	254	1346	1383	207	841	1308	35	7886	11805	542	38	45	28168
2020	8	8	334	623	139	1908	2623	138	1243	223	834	853	28	7209	11708	375	38	45	28188
2020	8	9	298	573	123	1815	2142	1141	1301	28	848	112	54	8184	11168	433	44	52	27611
2020	8	10	272	548	122	2028	2794	1368	1436	18	586	939	29	7512	11865	583	38	46	27482
2020	8	11	273	539	75	2148	3029	1484	1434	183	568	1025	5	8407	11876	447	45	53	28514
2020	8	12	25	462	47	2185	2807	1488	1441	159	542	894	27	7327	110136	345	38	46	27888
2020	8	13	22	47	512	47	2021	1833	914	168	821	959	29	738	11163	178	38	45	28044
2020	8	14	288	639	88	2125	2861	1587	1274	195	883	1394	36	833	12049	433	42	51	27439
2020	8	15	32	439	94	210	2776	1511	1223	143	70	1134	35	7978	11017	399	8	47	27372
2020	8	16	222	5	825	2089	282	1523	1288	242	72	1206	35	7626	11261	375	38	44	27827
2020	8	17	202	372	65	2123	2776	1673	1104	127	714	852	20	848	11806	51	3	38	28042
2020	8	18	207	377	111	2125	2881	1748	948	134	71	1348	42	8536	11335	48	48	36	27006
2020	8	19	262	374	8	2148	2932	183	882	136	706	1205	35	7612	11423	372	37	43	27735
2020	8	20	252	34	81	2165	2726	1888	1039	188	708	1287	4	8036	11494	444	44	52	28081
2020	8	21	282	548	119	2086	2738	135	1209	189	714	1476	48	10562	11874	532	32	81	27881
2020	8	22	281	536	119	2011	287	1501	1189	186	746	1337	43	8356	11881	472	47	55	27328
2020	8	23	236	501	87	2101	2787	1411	1286	162	708	1362	44	8007	11371	488	49	54	27281
2020	8	24	268	577	67	2073	2894	1534	1327	185	721	1448	53	11888	11573	600	50	7	26884
2020	8	25	241	514	47	2005	2784	139	904	184	717	1432	45	10200	11676	511	5	38	28071
2020	8	26	285	539	68	2086	2848	1488	1389	182	708	1424	48	10562	11881	538	51	8	28089
2																			

Apéndice B. Base de datos de la NASA

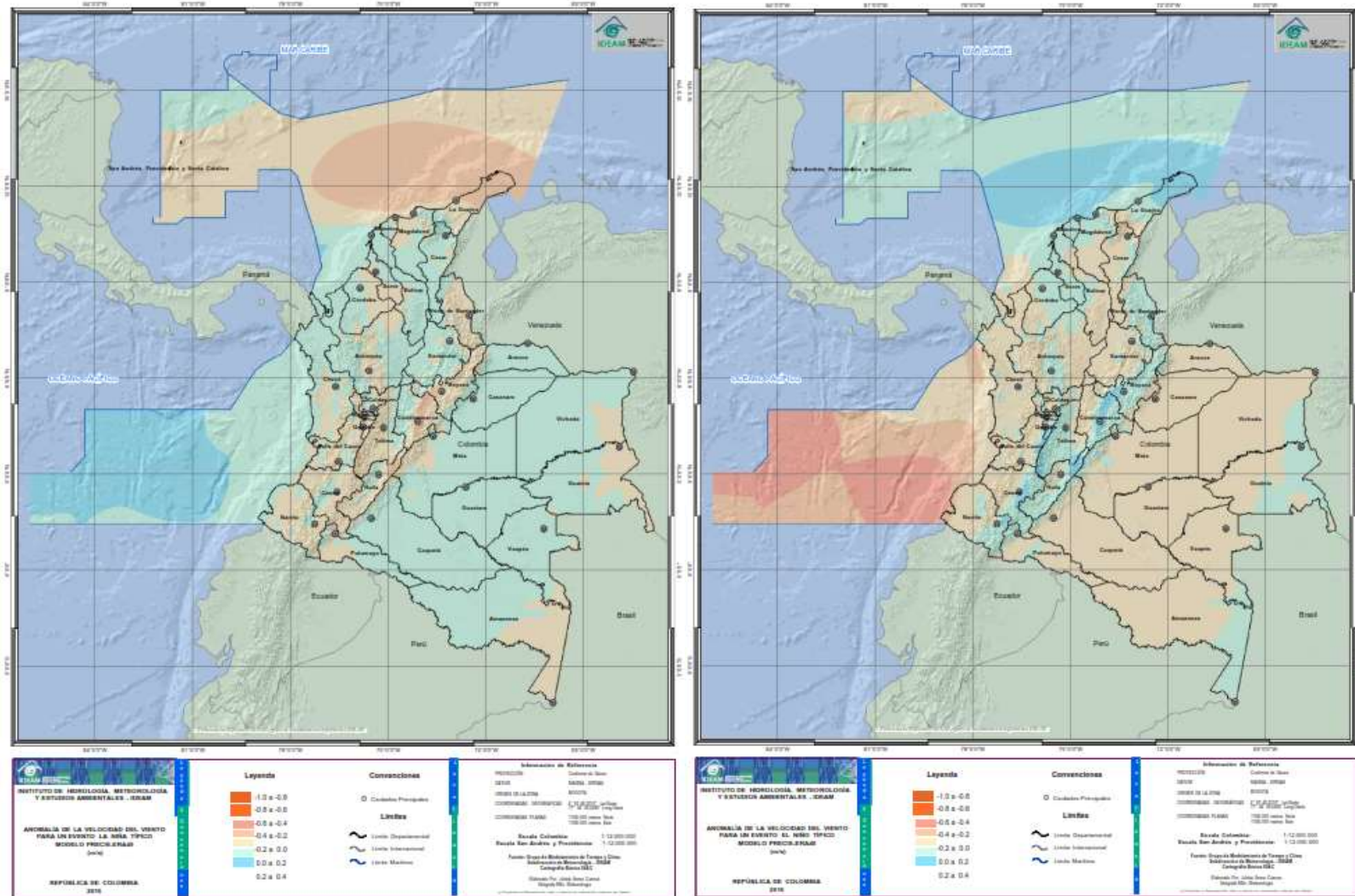
2020	0	4	241	524	67	2144	2955	3533	3332	347	736	1208	43	8842	14033	434	42	46	58234
2020	0	5	272	581	7	2247	3008	3727	328	188	74	1593	51	11570	1485	58	58	88	36097
2020	0	6	254	499	27	2243	2951	3086	1255	158	748	1472	48	10572	14219	517	51	36	27099
2020	0	7	227	457	74	2248	2877	3267	117	244	125	1574	52	11041	14608	553	24	43	27321
2020	0	8	2167	434		2807	2807	1720	108	142	746	1512	45	8048	14243	442	43	51	37872
2020	0	9	261	604	109	2095	2873	1524	1348	188	73	1529	5	11104	13788	508	55	65	37382
2020	0	10	283	848	131	2153	2872	1313	126	188	690	1204	41	7622	1333	486	48	76	27768
2020	0	11	32	559	13	2188	2853	1619	1314	218	706	1486	48	10883	15272	562	55	64	37194
2020	0	12	28	587	223	264	167	137	19		727	1459	48	10472	13668	523	51	59	38942
2020	0	13	317	606	132	2176	2774	1741	105	217	736	1233	41	8612	14957	434	41	48	38298
2020	0	14	255	245	26	2188	289	1621	1726	211	74	1491	49	11814	13769	562	25	44	38024
2020	0	15	246	472	41	2165	2826	1605	1221	164	748	14327	48	8503	14327	46	45	52	37259
2020	0	16	245	435	84	2262	3128	1484	1644	162	737	1261	45	8809	14037	447	44	51	37094
2020	0	17	289	375	46	2282	327	1788	985	188	748	1427	47	8807	14552	488	48	25	38068
2020	0	18	17	334	37	2172	1703	1115	116		75	1526	49	10744	1437	535	52	43	37821
2020	0	19	224	392	118	2071	2555	1733	623	148	735	1393	43	8808	1428	439	43	5	38115
2020	0	20	23	859	37	2076	267	183	1041	144	733	1372	44	8652	14239	477	48	33	37245
2020	0	21	263	814	86	2128	2877	1503	1373	187	747	1514	48	10451	14239	534	52	42	37628
2020	0	22	244	537	42	2205	3054	144	1613	158	734	1738	53	12448	14123	643	62	73	38322
2020	0	23	28	525	88	2075	2688	1688	1099	188	732	1487	35	7488	13412	47	36	42	37348
2020	0	24	25	581	22	1989	2052	1541	1491	173	718	1259	35	7853	13541	509	26	42	37921
2020	0	25	23	431	108	2087	3844	1376	1519	148	743	13834	47	10285	13834	527	51	8	38678
2020	0	26	217	488	58	2109	283	1576	1279	148	73	133	27	7854	13832	584	36	48	38417
2020	0	27	236	467	13	2127	2683	1862	1423	173	721	1484	48	10837	13837	529	43	8	37378
2020	0	28	238	535	41	2177	252	1589	1311	194	725	1434	47	10125	14216	501	48	37	38371
2020	0	28	248	539	88	2044	247	1496	1173	184	708	1578	4	8233	13598	469	45	54	37378
2020	0	30	258	551	96	2085	2767	1515	1212	174	744	1655	35	7111	14056	548	24	8	37141
2020	10	1	206	207	87	209	2669	1465	1213	188	732	14226	38	786	14226	56	26	3	37928
2020	10	2	243	517	8	2154	3878	1548	18		731	1862	52	11224	14149	596	56	88	3573
2020	10	3	326	617	125	2085	2624	171	804	218	725	1213	26	7623	13888	386	38	45	37958
2020	10	4	369	612	152	2161	3161	1519	1011	188	748	1452	24	7188	14276	524	24	41	37851
2020	10	5	324	630	71	2017	1467	1275	221		738	14107	45	8772	14107	404	48	57	38117
2020	10	6	275	566	8	2119	286	1415	1544	179	74	1373	43	8634	13949	48	48	76	3835
2020	10	7	284	684	113	2082	2727	1578	1518	188	735	14802	38	7837	14802	36	38	4	37245
2020	10	8	283	557	103	1972	2574	1527	987	19	718	1082	24	7494	13708	371	36	43	37641
2020	10	9	398	645	75	2178	3681	1533	1828	202	727	1398	41	866	13721	485	48	37	37158
2020	10	10	299	682	118	2148	3015	1419	1596	20	743	1519	48	10259	14141	557	55	65	38841
2020	10	11	248	681	57	2148	2784	1683	113	17	712	11699	44	7812	14274	542	44	48	37084
2020	10	12	272	517	266	2055	266	1581	1079	18	732	1368	37	11295	1368	573	56	88	38005
2020	10	13	295	495	67	2086	2737	1582	1379	197	719	1399	35	8804	1369	532	33	38	37473
2020	10	14	256	534	8	2083	2687	1153	184	173	724	1483	45	8888	1398	487	48	37	38068
2020	10	15	277	570	94	2154	2833	1578	1255	188	734	1452	33	11127	14699	598	55	65	38021
2020	10	16	271	561	89	2105	2827	1552	1176	184	748	1395	47	8687	14232	425	42	5	37486
2020	10	17	241	588	106	206	2722	1512	121	166	72	1439	49	8413	14796	461	4	47	37833
2020	10	18	255	459	184	208	2717	1189	1562	187	718	1378	51	10824	13875	52	52	43	37841
2020	10	19	17	385	14	2114	2702	1638	1074	115	729	1447	46	8533	13977	457	45	54	37242
2020	10	20	242	518	75	2157	265	1687	1173	188	732	1388	51	10599	14044	529	52	62	37216
2020	10	21	275	618	88	2086	289	1689	1041	187	719	1337	51	10286	14041	534	51	61	38121
2020	10	22	27	594	63	2125	2888	1804	1285	183	708	1513	42	862	13523	442	44	52	38821
2020	10	23	281	536	132	2135	2856	156	1296	187	725	1376	49	10352	13888	519	52	63	37823
2020	10	24	281	683	36	2119	2688	1581	1057	124	718	1374	48	8673	13893	486	48	38	37769
2020	10	25	294	478	30	2173	305	1715	1183	177	727	1388	42	10808	13888	528	52	62	38088
2020	10	26	183	538	48	2205	2665	1731	1245	124	733	1488	54	11111	14184	55	55	86	38384
2020	10	27	131	208	38	2156	239	1645	745	42	716	1471	53	10423	13969	536	54	44	38044
2020	10	28	141	214	43	1969	2551	1834	947	8	721	1211	17	7113	14871	532	24	4	38141
2020	10	28	113	242	17	2236	2838	1804	1034	88	757	14075	48	8597	14075	463	46	33	3724
2020	10	30	128	244	35	2215	2723	1887	838	64	713	145	45	8138	13808	48	48	45	38117
2020	10	31	137	394	73	2062	2381	1788	788	185	716	1252	4	7377	13842	544	24	41	37724
2020	11	1	152	234	32	2023	2441	1673	788	65	718	1418	47	8557	14127	411	41	49	38344
2020	11	2	176	29	61	2397	2781	1747	1099	8	719	1425	52	10908	13816	56	56	88	38388
2020	11	3	249	267	48	2186	2312	179	741	64	727	1459	52	11132	1374	574	58	7	38116
2020	11	4	316	407	99	218	1828	1704	1124	242	72	1542	48	10596	13515	536	54	65	37623
2020	11	5	346	27	75	2234	2806	141	867	88	707	1388	43	8447	13509	426	42	31	37173
2020	11	6	184	312	36	2123	2549	1823	748	124	688	1373	27	7718	13102	519	38	46	37769
2020	11	7	269	513	134	2053	3213	1731	603	177	684	881	32	6231	12945	494	3	36	38124
2020	11	8	286	488	141	2044	2706	1609	1087	187	684	12605	44	10273	12605	526	54	45	38711
2020	11	9	387	388	62	2166	2855	1656	1188	123	682	120	41	8807	12901	48	48	54	37301
2020	11	10	233	251	23	2127	2553	1639	713	88	686	1118	24	7538	12838	547	23	43	37028
2020	11	11	167	239	69	2105	2675	1775	601	105	702	1257	39	792	12488	584	39	42	37115
2020	11	12	186	526	6	188	2323	1545	779	188	683	1183	38	7651	1311	524	36	46	37895
2020	11	13	127	237	48	2084	2463	1782	1029	63	702	1188	38	7475	13147	537	37	43	37124
2020	11	14	146	227	52	2169	2611	1686	864	65	708	1411	43	8902	13995	602	48	38	38086
2020	11	15	115	204	43	2015	4313	1718	838	68	695	15246	41	8095					

Apéndice B. Base de datos de la NASA

2020	11	24	201	201	88	2010	2562	1531	1041	111	88	1485	45	10089	13073	503	53	84	37789
2020	11	25	18	323	8	1068	2601	1564	1017	115	88	1572	48	10118	13518	505	53	84	37516
2020	11	26	207	313	58	2008	2352	178	423	13	88	1333	43	8517	13338	413	43	53	37823
2020	11	27	177	37	8	1483	2368	1881	719	118	878	1388	41	8179	13687	507	41	51	3750
2020	11	28	186	38	2	2014	2483	167	823	13	875	1385	44	8085	13603	483	51	82	38447
2020	11	29	202	37	84	2006	2463	1889	704	132	877	1383	41	835	13883	421	48	54	38403
2020	11	30	186	381	80	2021	2363	1625	836	127	882	1373	43	8086	13017	472	48	8	37127
2020	12	1	186	317	81	2024	2462	1823	807	128	883	1449	48	817	13283	437	48	19	38623
2020	12	2	139	39	88	2013	2457	1708	748	105	885	1488	48	8619	13147	601	52	85	37294
2020	12	3	216	383	88	2003	2438	1633	806	136	702	1375	48	8888	13408	428	45	55	37017
2020	12	4	221	588	88	2044	2576	1708	887	143	884	1387	5	10239	13055	515	54	86	38213
2020	12	5	201	388	58	2017	2489	170	77	13	886	1356	44	8723	13072	434	45	56	3804
2020	12	6	212	406	123	1966	2578	137	1006	133	888	1454	45	1011	13079	517	53	80	36887
2020	12	7	18	289	85	2009	2375	1462	1113	112	877	129	4	8839	12878	433	46	56	37413
2020	12	8	156	255	79	2042	255	1635	895	9	874	1364	43	8132	12982	433	46	58	37427
2020	12	9	185	373	3	2062	2339	1888	851	122	889	1334	4	8186	12759	463	48	6	37003
2020	12	10	165	280	81	2114	2626	1819	1007	109	879	1342	45	8737	12985	488	53	63	3738
2020	12	11	133	234	2	2013	2345	1746	589	88	885	1361	48	10627	13188	511	58	71	3764
2020	12	12	200	333	88	2052	2682	104	862	136	881	1402	5	10872	1332	557	58	72	37841
2020	12	13	225	431	129	2031	268	1572	1088	142	885	1435	46	8899	13077	511	58	68	37101
2020	12	14	172	336	71	2076	2685	1487	1289	106	705	1385	54	1153	13387	549	62	77	36476
2020	12	15	219	445	87	1982	2372	171	862	144	878	1488	47	10889	12635	512	58	68	38589
2020	12	16	227	436	108	2044	2648	1496	1183	145	881	1506	48	10134	13273	513	54	68	3877
2020	12	17	205	588	113	1987	2361	1705	858	186	886	1381	43	8224	12873	457	48	58	38773
2020	12	18	185	323	126	1968	2363	184	725	122	878	138	43	8677	12683	456	48	58	37335
2020	12	19	306	299	129	1969	2486	1882	624	128	708	1333	5	10138	13009	518	53	67	38183
2020	12	20	307	388	82	1837	2331	1817	734	137	70	1488	47	8803	13518	488	53	83	37883
2020	12	21	195	334	33	2044	2622	1501	112	127	884	1409	48	10836	13321	534	58	72	37413
2020	12	22	207	334	112	2033	2500	1247	812	138	878	1322	42	875	13077	432	48	56	38584
2020	12	23	198	409	141	2044	2505	168	823	146	883	1467	48	10134	13127	513	54	88	3742
2020	12	24	344	348	141	2030	2521	1735	767	153	888	1444	48	8741	13188	487	52	83	37377
2020	12	25	182	238	36	1904	2388	1716	872	101	888	1588	50	8803	13211	526	58	42	37916
2020	12	26	184	251	81	1964	2375	1578	788	88	887	1388	8	7525	13488	357	58	46	37891
2020	12	27	149	203	82	1989	2415	1823	783	88	882	1313	43	8707	13201	439	45	53	37216
2020	12	28	136	181	58	1905	2389	1574	685	79	886	1372	43	8299	13127	486	43	52	3792
2020	12	28	178	33	71	188	2438	1888	88	113	883	132	43	8805	13103	434	48	56	37934
2020	12	30	245	263	87	1811	2388	1708	457	82	882	1372	41	842	13046	421	45	55	37921
2020	12	31	183	300	79	1945	2372	1673	500	117	878	1378	45	8382	13028	479	5	61	37814
2021	1	1	200	288	138	1907	2388	1808	731	127	883	1388	38	7888	13084	384	41	51	37988
2021	1	2	22	389	88	1945	2379	1842	734	144	882	1382	41	8838	12982	437	48	58	37911
2021	1	3	178	288	72	1875	247	1527	843	11	884	1343	34	8807	12583	537	55	43	37985
2021	1	4	85	136	14	184	2223	172	503	45	704	1344	44	8842	13147	433	48	58	38827
2021	1	5	118	257	27	1871	2347	1888	889	72	708	1382	42	882	13018	43	45	55	37883
2021	1	6	213	401	11	1841	2307	1584	613	133	888	1172	39	7641	13481	374	58	48	37792
2021	1	7	154	504	138	1823	2387	144	848	139	884	1487	47	8742	13138	484	52	83	37258

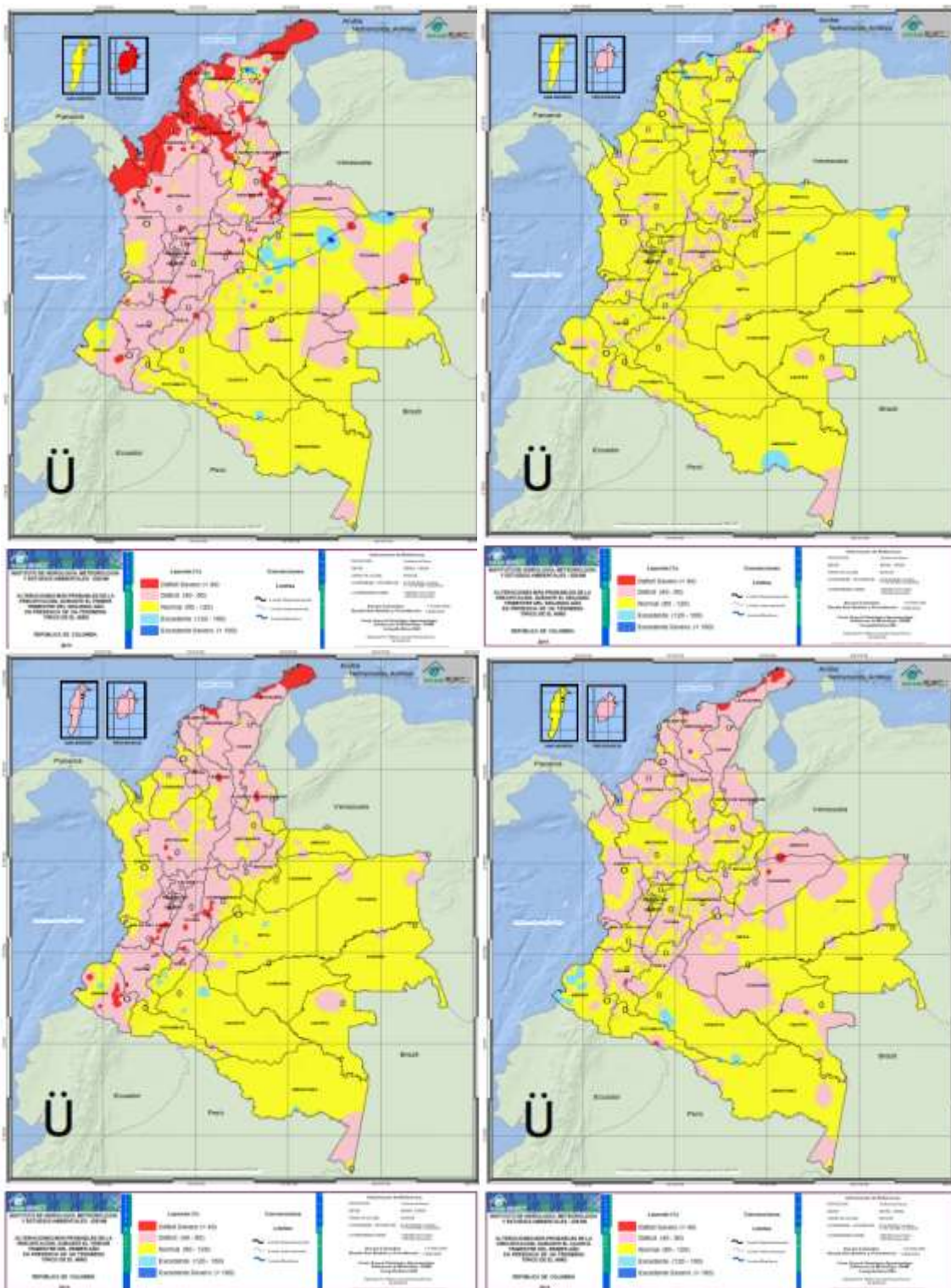
Nota: Tomado de NASA Prediction of Worldwide Energy Resources, NASA, 2022.

Apéndice C. Afectaciones en el viento por los fenómenos del Niño y la Niña



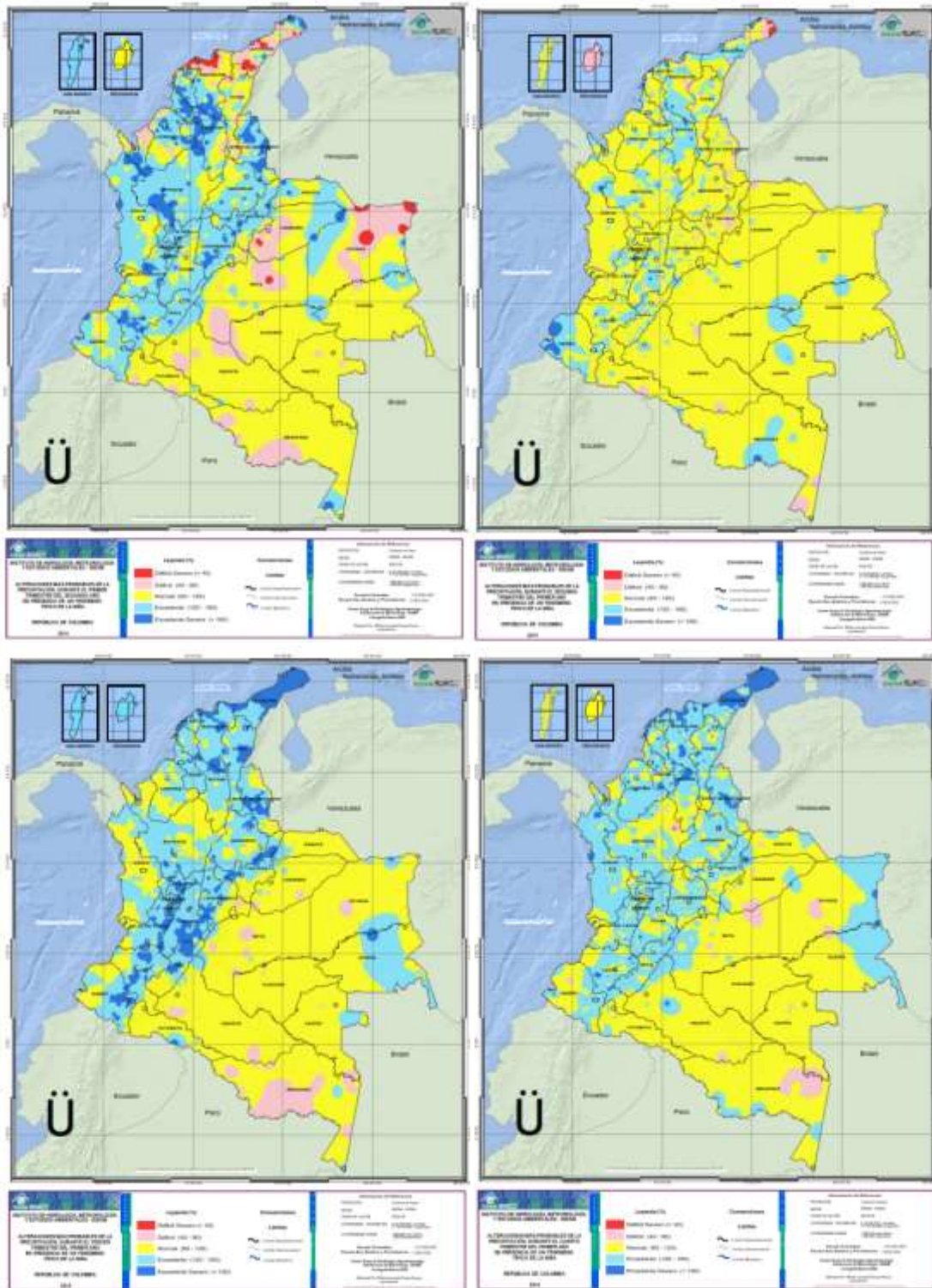
Nota: Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Apéndice D. Afectaciones en la precipitación debido al fenómeno del Niño



Nota: Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Apéndice E. Afectaciones en la precipitación debido al fenómeno de la Niña



Nota: Tomado de Atlas colombiano, IDEAM, 2022.

Apéndice F. Carta de opciones de diseños presentadas al productor

SELECCIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA PARA LA CONFIGURACIÓN DE LA MICRORRED ELÉCTRICA

Bucaramanga, Santander
8 de abril de 2023

Señor
Emmanuel Enciso Villada

Yo **David Vanegas Rivero**, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° **1098815705** domiciliado(a) en **Bucaramanga Santander**, junto con mi compañero **Neider Eduardo Delgado Anaya**, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° **1005333641** domiciliado en **Bucaramanga Santander**, estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, le presentamos un pequeño análisis sobre las configuraciones a usar para la implementación de fuentes de generación eléctrica para el diseño de la microrred eléctrica.

Teniendo en cuenta los criterios establecidos se observa que las fuentes que priman sobre las demás, son las fuentes de generación hidráulica y generación solar, debido a que son más agradables con el medio ambiente, su impacto con este es mucho menor, además de esto, la confiabilidad que estas fuentes de generación brindan es considerable, gracias a que los recursos que se usan para la generación están presentes de manera constante.

Existen demasiadas combinaciones o soluciones para implementar dichas fuentes de generación, se proponen las siguientes:

PCH con redundancia en filtro y SFV

El sistema de generación que se propone contiene doble filtro con el fin de mantener y mejorar los niveles de limpieza requeridos por cada uno de los componentes, evitar la contaminación ambiental, prevenir costosas averías provocadas por el arrastre de diferentes elementos sólidos que están presentes en el recurso hidráulica, entre otros. La implementación de filtros como respiradero o filtros de baja presión en succión en redundancia elevan la producción, ya que estos elementos están sometidos a un mantenimiento muy riguroso para asegurar que el sistema hidráulico se encuentre bien protegido, al tener dicha redundancia se pueden alternar estos mantenimientos, evitando que la producción se detenga por completo.

- **SFV sin baterías:** Se tiene un sistema solar fotovoltaico sin baterías, únicamente para producir la energía necesaria cuando el sistema de generación hidráulica no esté en funcionamiento. Esta configuración propone que el usuario opere con restricciones, ya que, en primer lugar, al no tener baterías no podrá operar en las horas de la noche cuando el sistema de generación hidráulica no pueda operar debido a factores como mantenimiento o disponibilidad de caudal, siendo así poco confiable y poco eficiente.

- **SFV con baterías:** Al contrario del sistema sin baterías, esta configuración permite almacenar la energía necesaria cuando las demás fuentes de generación no se encuentren en funcionamiento, mejorando la confiabilidad, sin embargo, se presenta una elevación en los costos, al poseer tanto baterías como dos filtros en el sistema de generación hidráulica.

PCH con redundancia en turbinas y SFV

Con el mismo objetivo de mejorar tanto la confiabilidad y eficiencia del sistema, se plantea un sistema con dos turbinas, para así, mejorar o elevar el tiempo de producción de energía ya que se busca alternar las horas de uso de cada generador para así evitar un pare de producción debido a mantenimiento, esta opción presenta una gran elevación de costos al tener dos generadores, así como los costos de mantenimiento. En el caso del sistema solar fotovoltaico se presentan las mismas opciones que en el numeral 6.2.5.3.1.

PCH y SFV

Aquí se propone que el diseño de la microrred eléctrica esté compuesto por un sistema de generación hidráulica con un generador y un sistema solar fotovoltaico, de manera que la producción de energía la realice como fuente principal la energía hidráulica, así cuando esta deba realizar alguna interrupción en su sistema debido a diversos factores como mantenimiento, disponibilidad de caudal o aumento del mismo debido a lluvias, agua turbia etc. La fuente de generación solar servirá como respaldo y provee el 100% de la carga, creando un sistema complementario efectivo y con alta confiabilidad. En el caso del sistema solar fotovoltaico se presentan las mismas opciones que en el numeral 6.2.5.3.1.

A continuación, se presenta un análisis de costos básico y aproximado con el fin de seleccionar la configuración y realizar el respectivo diseño. En la **Tabla 1** se presentan los costos aproximados de los equipos significativos que hacen variar la opción de configuración de la microrred eléctrica.

Componente	Precio unitario
Turbina pequeña con sistema de control automático 40kW	\$ 85,473,974.40
Filtro hidráulico de alta presión montado en tanque Parker con línea de retorno	\$ 2,054,794.52
Panel solar 550W Monocristalino	\$ 1,199,000.00
Batería solar 200ah 12V	\$ 1,650,000.00

Tabla 1. Aproximación de costos de los equipos significativos
Fuente: Autores

Continúa en el siguiente página...

Apéndice F. Carta de opciones de diseños presentadas al productor

Es importante mencionar que las configuraciones que contienen un sistema con baterías se deben tener en cuenta el valor total de las baterías, suponiendo que se manejan la misma cantidad de baterías en todas las configuraciones se realiza el análisis con el valor unitario.

A continuación, se presentan los costos de cada configuración, solo teniendo en cuenta los elementos que varían en cada una de ellas, el análisis no contiene costos detallados de cada componente de dicha configuración debido a que se encuentra fuera del alcance del proyecto, en la **Tabla 2** se presenta la variación de costos:

Configuración	Costo PCH (\$)	Costo filtros(\$)	Costo baterías(\$)	TOTAL (\$)
PCH con redundancia en filtros y SFV sin baterías	85,473,974.40	4,109,589.04	No contiene	89,583,563.44
PCH con redundancia en filtros y SFV con baterías	85,473,974.40	4,109,589.04	1,050,000.00	91,233,563.44
PCH con redundancia en turbina y SFV sin baterías	170,947,948.80	2,054,794.52	No contiene	173,002,743.32
PCH con redundancia en turbina y SFV con baterías	170,947,948.80	2,054,794.52	1,050,000.00	174,052,743.32
PCH y SFV sin baterías	85,473,974.40	2,054,794.52	No contiene	87,528,768.92
PCH y SFV con baterías	85,473,974.40	2,054,794.52	1,050,000.00	89,178,768.92

Tabla 2. Costos de cada configuración propuesta

Fuente: Autores

Finalmente, se analiza la confiabilidad de cada configuración para determinar y seleccionar la mejor opción, es por eso, que en la **Tabla 3** se presenta un análisis de cada configuración.

Configuración	Confiabilidad	Observaciones
PCH con redundancia en filtros y SFV sin baterías	Buena	Operación con restricciones
PCH con redundancia en filtros y SFV con baterías	Excelente	Operación normal
PCH con redundancia en turbina y SFV sin baterías	Buena	Operación con restricciones
PCH con redundancia en turbina y SFV con baterías	Excelente	Operación normal
PCH y SFV sin baterías	Regular	Operación con restricciones
PCH y SFV con baterías	Buena	Operación normal

Tabla 3. Análisis de confiabilidad y operación de cada configuración propuesta

Fuente: Autores


Proponemos escoger la configuración que contiene el sistema de generación hidráulica con una sola turbina y el sistema solar fotovoltaico con baterías, brindando una buena confiabilidad y operación sin restricciones, supliendo el 100% de la carga, siendo esta la opción más económica.

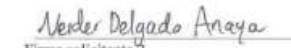
Con el fin de proceder con el diseño de la microrred, solicitamos muy amablemente que en caso de ser positiva su respuesta tomando en consideración la opción propuesta firmar el documento, por el contrario, si su deseo es proporcionar una configuración diferente en el diseño de la microrred, por favor seleccionarla.

Respuesta

Yo **Emmanuel Enciso Villada**, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° **1109413863** domiciliado en **Planadas, Tolima** autorizo y escojo la configuración seleccionada por los solicitantes.


Cordialmente,


 Firma solicitante 1
 Nombre:
 C.C. 7098815705


 Firma solicitante 2
 Nombre: **Neider Delgado**
 C.C. 1005333641


 Firma Solicitado
 Nombre: **Emmanual Enciso Villada**
 C.C. 1.100.413.963

Apéndice G. Solicitud de permiso

SOLICITUD DE ACCESO A EQUIPOS	SOLICITUD DE VISITA TÉCNICA
Bucaramanga, Santander 5 de julio de 2021	Bucaramanga, Santander 5 de julio de 2021
Señor Emmanuel Enciso Villada	Señor Emmanuel Enciso Villada
De mi consideración:	De mi consideración:
Yo David Vanegas Rivero, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° 1098815705 domiciliado(a) en Bucaramanga Santander, junto con mi compañero Neider Delgado Anaya, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° 1025333641 domiciliado(a) en Bucaramanga Santander, estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, por nuestros propios derechos amablemente solicitamos autorizar el acceso a los equipos eléctricos y mecánicos de producción de su finca "Roma", ubicada en el corregimiento de Gaitania, municipio de Planadas, Tolima, con el fin de realizar la toma de datos de campo que servirán como soporte y apoyo para el desarrollo académico y/o pedagógico en la carrera profesional.	Yo David Vanegas Rivero, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° 1098815705 domiciliado(a) en Bucaramanga Santander, junto con mi compañero Neider Delgado Anaya, portador(a) de la Cédula de Ciudadanía N° 1025333641 domiciliado(a) en Bucaramanga Santander, estudiantes de la carrera Ingeniería Eléctrica de la Universidad Industrial de Santander, por nuestros propios derechos amablemente solicitamos autorizar la visita técnica en la semana del 5-9 de julio de 2021 a las instalaciones de su finca productiva "Roma", ubicada en el corregimiento de Gaitania, municipio de Planadas, Tolima, con el fin de realizar un análisis y proyección de carga y, perfiles de uso de equipos de producción, información que será de gran utilidad como soporte y apoyo para el desarrollo académico y/o pedagógico en la carrera profesional.
Cordialmente,	Cordialmente,
 Firma solicitante 1 Nombre: C.C. 1098815705  Firma solicitante 2 Nombre: Neider Delgado C.C. 1025333641  Firma Solicitado Nombre: Emmanuel Enciso Villada C.C. 1109417363	 Firma solicitante 1 Nombre: C.C. 1098815705  Firma solicitante 2 Nombre: Neider Delgado C.C. 1025333641  Firma Solicitado Nombre: Emmanuel Enciso Villada C.C. 1109417363

Apéndice H. Memoria RETIE

**Diseño detallado eléctrico de la finca productiva La Roma, ubicada en el municipio de
Planadas, Tolima, Colombia**

Diseñadores

Neider Eduardo Delgado Anaya, David Vanegas Rivero

Memoria RETIE

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2023

Contexto

Este documento presenta las bases de ingeniería por las cuales son diseñadas las instalaciones eléctricas de energía del proyecto “Gestión de prefactibilidad y diseño de una microrred eléctrica para una finca productiva del municipio Planadas del departamento del Tolima”. Esta finca productora y exportadora de café se compone por 3 principales: la zona residencial que se conforma por una vivienda unifamiliar, la zona comercial que consiste en un pequeño local de alimentos e insumos varios y la zona industrial que se compone de toda la producción de café.

Teniendo en cuenta los lineamientos regidos por la ley según el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas “RETIE” y el código eléctrico colombiano NTC 2050, se realiza el diseño requerido.

Descripción y datos generales

El uso del reglamento RETIE tiene como objetivo establecer medidas para garantizar la seguridad de las personas, de la vida tanto animal como vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico, además, señala las exigencias y especificaciones que garanticen la seguridad de las instalaciones eléctricas con base en su buen funcionamiento.

Toda instalación eléctrica a la que le aplique el RETIE, debe contar con un diseño que podrá ser detallado o simplificado, el proyecto simplificado se aplica a instalaciones eléctricas de vivienda unifamiliar o bifamiliares y pequeños comercios o pequeñas industrias de capacidad instalable mayor de 7kVA y menor o igual de 15kVA con tensión no mayor a 240V, pero en este caso especial al tratarse de una instalación eléctrica que cuenta con zona familiar o residencial, comercial y zona industrial que supera los 15kVA de capacidad instalable, se debe realizar el

diseño detallado de la sección 10.1.1. del reglamento RETIE y determinar y diseñar o calcular los ítems que le apliquen a dicha instalación eléctrica.

Diseño de redes eléctricas

Análisis de carga

El proyecto corresponde a un diseño eléctrico donde involucra una zona residencial, una zona comercial y una zona industrial. Se evidencia que este tipo de cargas tienen un comportamiento no lineal como: cargas electrónicas, motores controlados por medio de arrancadores, equipos de aire acondicionado con su debido control, equipos de cómputo y electrónico, entre otros (**Tabla 27**).

Tabla 27

Factores de potencia según la carga

Tipo de carga	Factor de potencia
Tomacorriente monofásico	0.85
Luminaria fluorescente	0.85
Luminaria led	0.85
Motores eléctricos	0.85

Como se observa, los factores de potencia indican un bajo consumo de reactivos por parte de las cargas, así que no resulta necesario incluir un banco de condensadores que complementen dicho consumo.

Armónicos

Las cargas presentes son de carácter lineal y no generan armónicos tales como inductancias, resistencias y condensadores, por otro lado, las cargas no lineales tales como rectificadores, variadores de velocidad, equipos de soldadura, entre otros, si inyectan armónicos. La importancia de los armónicos de corriente queda definida de la siguiente manera:

Si $THDi > 50\%$: Contaminación importante por lo que es probable que el funcionamiento sea defectuoso; se hace necesario el análisis y el uso de un dispositivo de atenuación.

Si $10\% < THDi < 50\%$: Contaminación significativa, por lo que podrá existir algún funcionamiento defectuoso.

Si $THDi < 0\%$: Situación normal.

En el presente proyecto las cargas instaladas no generan los armónicos como para sobrepasar más del 10% de distorsión de armónicos total. El conductor del neutro se dimensiona con el mismo calibre que el conductor de fases, ya que la corriente presente en el conductor sea manejable y se considera sin problema para el correcto funcionamiento de la instalación.

En síntesis: No se tendrán en cuenta el efecto de los armónicos para este proyecto eléctrico.

Cuadros de carga

Se presentan los cuadros de cargas en el **Apéndice K**.

Análisis de cortocircuito y falla a tierra

El análisis de cortocircuito y falla a tierra tiene como objetivo calcular el valor máximo de la corriente y determinar el comportamiento que toma está en un periodo determinado de tiempo de falla. Teniendo en cuenta lo anterior, se puede obtener el valor al que debe interrumpirse el sistema y los equipos además que permite conocer los esfuerzos a los que son sometidos dichos equipos durante el tiempo que pueda durar esta falla. A continuación, se muestran los cálculos de las corrientes de cortocircuito (**Figura 60-64**).

Figura 60

Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero general TGA1

CORRIENTE DE FALLA TABLERO GENERAL TGA1			
			Alimentador trifásico
Distancia L	70	m	<i>f' factor</i> $1,732xLxI$ $NxCxE_{L-N}$
(ASC) I_sca	364.6	A fase	
# Conductores por fase	1		
K de conductor de fase C	9.317	conductor fase = 1/0 AWG	
Tensión L-L	208	V	
f	0.075		
K de conductor neutro C	5.874	Conductor neutro = 6 AWG	
Tensión L-N	120	V	
f	0.17		
Multiplicador			
Linea - Linea M	0.93	$M = \frac{1}{1+f}$	
Linea - Neutro M	0.854		
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	339	A	
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	258	A	

Figura 61

Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TDI

CORRIENTE DE FALLA TABLERO TDI			
			Tablero distribución 1
Distancia L	100	m	<i>f' factor</i> $1,732xLxI$ $NxCxE_{L-N}$
(ASC) I_sca	365	A fase	
# Conductores por fase	1		
K de conductor de fase C	2.43	conductor fase = 6 AWG	
Tensión L-L	208	V	
f	0.41		
K de conductor neutro C	1.706	Conductor neutro = 10 AWG	
Tensión L-N	120	V	
f	0.839		
Multiplicador			
Linea - Linea M	0.709	$M = \frac{1}{1+f}$	
Linea - Neutro M	0.544		
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	259	A	
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	164	A	

Figura 62

Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD2

CORRIENTE DE FALLA TABLERO TD2			
			Tablero distribución 2
Distancia L	200	m	<i>f' factor</i> $1,732 \times L \times I$ $N \times C \times E_{L-N}$
(ASC) I_{sca}	365	A fase	
# Conductores por fase	1		
K de conductor de fase C	1.559	conductor fase = 8 AWG	
Tensión L-L	208	V	
f	1.278		
K de conductor neutro C	974	Conductor neutro = 14 AWG	
Tensión L-N	120	V	
f	2.938		
Multiplicador			
Linea - Linea M	0.439	$M = \frac{1}{1+f}$	
Linea - Neutro M	0.254		
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	160		A
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	77		A

Figura 63

Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD3

CORRIENTE DE FALLA TABLERO TD3			
			Tablero distribución 3
Distancia L	50	m	<i>f' factor</i> $1,732 \times L \times I$ $N \times C \times E_{L-N}$
(ASC) I_{sca}	365	A fase	
# Conductores por fase	1		
K de conductor de fase C	4.635	conductor fase = 3 AWG	
Tensión L-L	208	V	
f	0.107		
K de conductor neutro C	3.097	Conductor neutro = 8 AWG	
Tensión L-N	120	V	
f	0.231		
Multiplicador			
Linea - Linea M	0.903	$M = \frac{1}{1+f}$	
Linea - Neutro M	0.812		
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	329		A
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	245		A

Figura 64

Cálculo de las corrientes de cortocircuito del tablero de distribución TD4

CORRIENTE DE FALLA TABLERO TD4		
Tablero distribución 3		
Distancia L (ASC) I_{sca}	50	m
# Conductores por fase	365	A fase
K de conductor de fase C	1	
Tensión L-L	4.635	conductor fase = 3 AWG
f	400	V
K de conductor neutro C	0.107	
Tensión L-N	3.097	Conductor neutro = 8 AWG
f	230	V
	0.12	
Multiplicador		
Linea - Linea M	0.947	$M = \frac{1}{1 + f}$
Linea - Neutro M	0.892	
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	345	A
Isca x M = Corriente de falla en bornes del panel L-L	270	A

Cálculo y coordinación de protecciones contra sobrecorriente

Para el cálculo y coordinación de protecciones se deben considerar las limitaciones de corriente de los dispositivos de protección según la norma IEC 60947-2 que se encarga básicamente de definir las características esenciales de los interruptores, así como su clasificación, características eléctricas de regulación, entre otros.

Para realizar la coordinación es necesario tener en cuenta que al tener dos fuentes de generación que son la pequeña central hidroeléctrica y el sistema solar fotovoltaico que trabajan de manera independiente en el sistema, en distintos periodos de tiempo, y que cada una debe suplir el 100% de la demanda del usuario, se trabajan de manera totalmente independiente, es por eso por lo que en el siguiente análisis se presentan sistemas.

En la **Figura 65** se presenta el diagrama unifilar de todo el sistema incluyendo como fuente de generación la pequeña central hidroeléctrica y el sistema solar fotovoltaico. El sistema de

alimentará las cargas de las distintas zonas (residencial, comercial e industrial) presentes en el esquema.

Figura 65

Esquema básico de conexiones utilizado para el cálculo de coordinación de protecciones



Las curvas de coordinación de protecciones y las características de los diferentes *breakers* para tener selectividad entre la protección principal y la protección de los diferentes tableros de medidores son:

Ramal No. 1

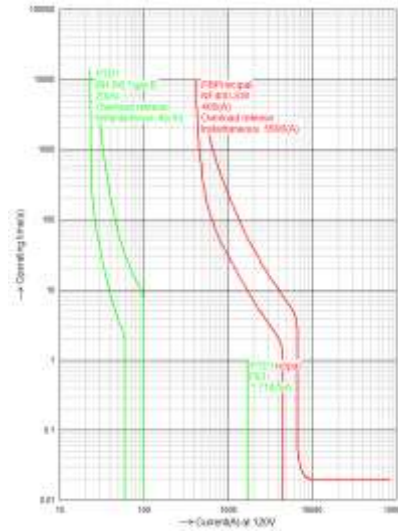
Protección de tableros general de acometidas: In: 400 (A), Icc: 35 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente.

Protección de tableros de medidores No. 1: In: 20 (A), Icc: 10 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente.

La curva de coordinación de este ramal se muestra a continuación (**Figura 66**).

Figura 66

Curva de coordinación del ramal No. 1

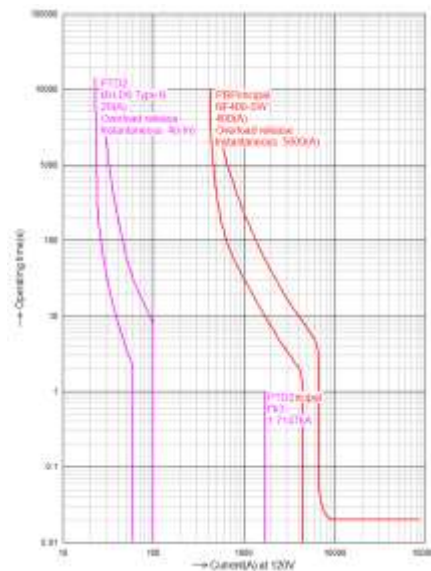


Ramal No. 2

Protección de tableros de medidores No. 2: In: 20 (A), Icc: 10 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente (**Figura 67**).

Figura 67

Curva de coordinación del ramal No. 2

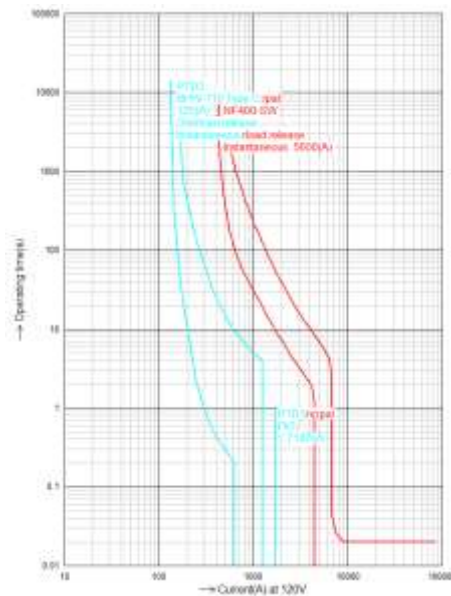


Ramal No. 3

Protección de tableros de medidores No. 3: In: 125 (A), Icc: 25 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente (**Figura 68**).

Figura 68

Curva de coordinación del ramal No. 3



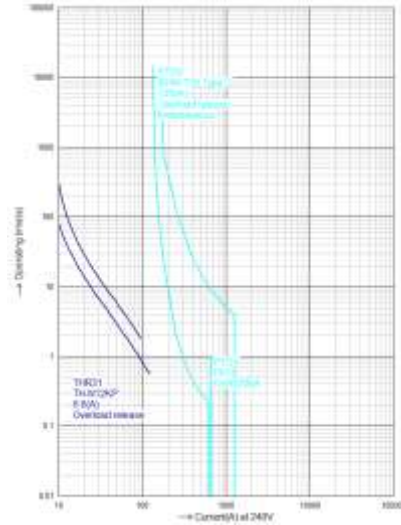
La coordinación de protecciones se muestra en cada una de las curvas anteriores, en las cuales se evidencia que entre ellas se tiene el debido ajuste para que cada protección actúe de manera correcta ante un fenómeno de sobrecarga o cortocircuito. Se muestra la coordinación de los dos totalizadores más cercanos en cada caso.

Protección de barraje de motores No. 1

Esta protección se implementa para todos los motores que no superen esta capacidad de corriente. In: 6.6 (A), Icc: 10 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente (**Figura 69**).

Figura 69

Curva de coordinación de barraje de motores No. 1

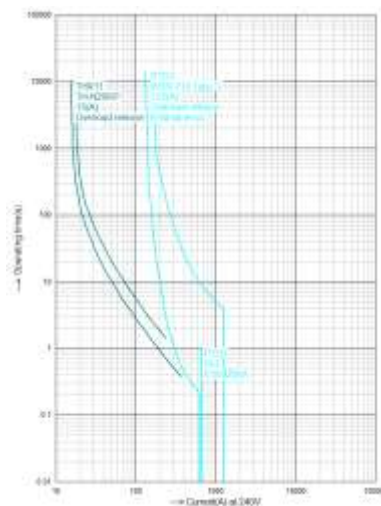


Protección de barraje de motores No. 2

Esta protección se implementa para todos los motores que no superen esta capacidad de corriente. In: 15 (A), Icc: 10 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente (**Figura 70**).

Figura 70

Curva de coordinación de barraje de motores No. 2

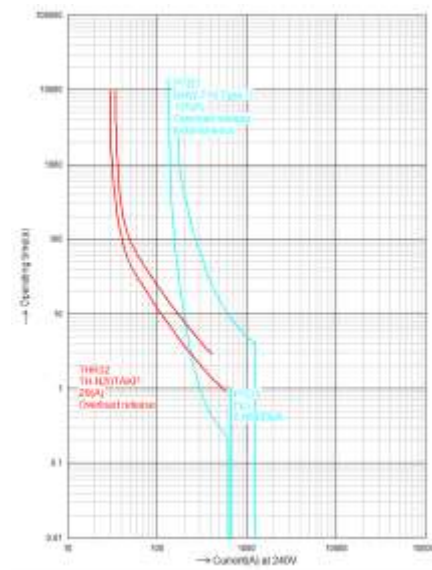


Protección de barraje de motores No. 3

Esta protección se implementa para todos los motores que no superen esta capacidad de corriente. In: 29 (A), Icc: 10 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente (**Figura 71**).

Figura 71

Curva de coordinación de barraje de motores No. 3



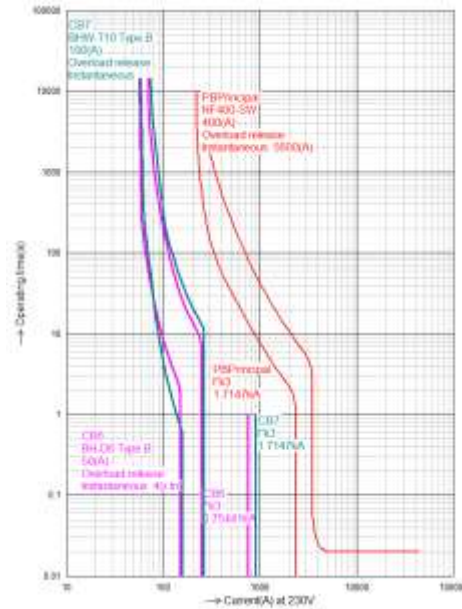
Ramal No. 4

Protección de tableros medidores No. 3

In: 50 (A), Icc: 25 (kA). Se toma este valor por ser la más cercana existente comercialmente (**Figura 72**).

Figura 72

Curva de coordinación del ramal No. 4



Cálculo de puesta a tierra

Para realizar el cálculo del sistema de malla de puesta a tierra es importante conocer la resistividad del terreno en el que se va a trabajar, de acuerdo con esto, se presentan las medidas de resistividad (**Tabla 28**).

Tabla 28

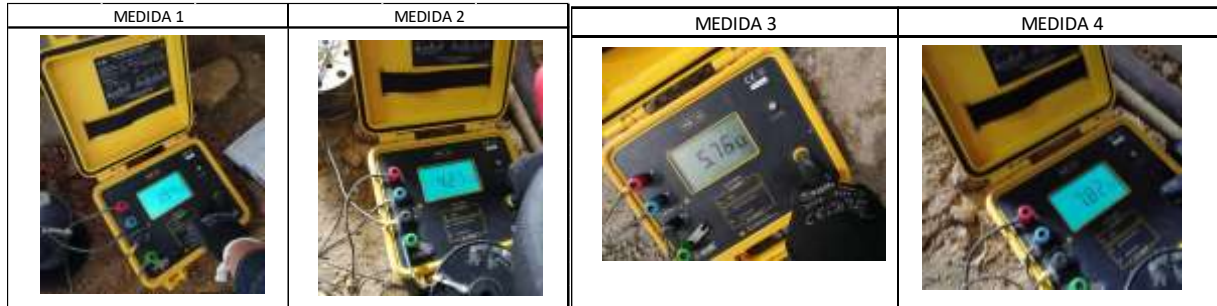
Medidas tomadas para el cálculo de la resistividad del material

Medidas tomadas		
Medida No.	Separación entre electrodos (m)	Resistividad (Ohm-m)
1	2	1.94
2	3	4.27
3	4	5.76
4	5	7.82

Se muestra además el registro fotográfico de estas medidas (**Figura 73**).

Figura 73

Registro fotográfico de las medidas de resistividad en el terreno



Se muestra a continuación el sistema de malla de puesta a tierra y sus parámetros (**Tabla 29**).

Tabla 29

Parámetros para el cálculo de la malla de puesta a tierra

Parámetros		
Tensión (kV)	0.208	kV
SCOCI (MVA)	0.131367	MVA
X (Ω)	0.6	Ω
R (Ω)	0.06	Ω
F (hz)	60	Hz
Tf (s)	0.5	s
Ts (s)	0.5	s
Tc (s)	0.5	s
D (m)	2	m
H (m)	0.5	m
ACM (MCM_AWG)	4.64	MCM
Ps (Ω -m)	50	Ω -m
Hs (m)	0.15	m
P (Ω -m)	4.95	Ω -m
# varillas	sin varillas	-
Nr	56	-
Lr (m)	7	m
Forma de malla	cuadrada	-
Lx (m)	12	m
Nx	4	-
Ly (m)	12	m
My	4	-
Área (m ²)	144	m ²

Inicialmente, se realiza el cálculo de la corriente simétrica de falla la cual está determinada por la Scoci.

$$I_o = I_{coci} = \frac{S_{coci}}{\sqrt{3} * V_{prefalla}} = 364.64 A$$

$$I_F = D_f * 3 * I_o = 1093.92 A$$

Seguido a esto, se halla el factor de Decremento (Df) con la siguiente expresión.

$$D_f = \sqrt{1 + \frac{T_a}{t_f} \left(1 - e^{-\frac{2t_f}{T_a}}\right)}; \quad T_a = \frac{X}{R} * \frac{1}{2\pi f}$$

Donde, t_f es el tiempo de duración de la falla y T_a es la constante de tiempo de la componente DC con una temperatura ambiente de 40 °C.

$$T_a = \frac{0.6}{0.06} * \frac{1}{2\pi 60} = 0.0265$$

$$D_f = 1.0262$$

Es importante aclarar que la malla de puesta contempla su construcción teniendo en cuenta la capacidad total de la subestación y no se consideran aumentos futuros de carga ni de alimentadores, por lo que se puede concluir que el factor de crecimiento $C_p = 1$.

Teniendo en cuenta los parámetros calculados anteriormente el tamaño aproximado del conductor es calculado con la siguiente expresión

$$A_{MCM} = I_F * K_f * \sqrt{t_c}$$

En donde el factor K_f es determinado en la siguiente tabla usando una temperatura de 40°C. Es importante mencionar que el conductor debe resistir los esfuerzos mecánicos esperados y a la corrosión durante la vida útil de la instalación, además, el conductor debe tener alta conductancia para prevenir caídas de tensión peligrosas durante una falla tratando de limitar la temperatura del

conductor. Se escoge un conductor con una conductividad del material del 97%, escogiendo el conductor de cobre comercial trefilado con un K_f de 7.06 (**Tabla 30**).

Tabla 30

Selección del parámetro K_f

DESCRIPTION	Material conductivity (%)	α_r factor at 20°C (1/°C)	K_0 at 0°C (0°C)	Fusing temperature T_m	ρ_r 20°C ($\mu\Omega, \text{cm}$)	TCAP thermal capacity [$\text{J}/(\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$]	K_f
Copper, annealed soft-drawn	100	0,00393	234	1083	1,72	3,42	7
Copper, commercial hard-drawn	97	0,00381	242	1084	1,78	3,42	7,06
Cooper-clad steel wire	40	0,00378	245	1084	4,4	3,85	10,45
Cooper-clad steel wire	30	0,00378	245	1084	5,86	3,85	12,06
Cooper-clad steel rod	20	0,00378	245	1084	8,62	3,85	14,64
Aluminum, EC grade	61	0,00403	228	657	2,86	2,56	12,12
Aluminum, 5005 alloy	53,5	0,00353	263	652	3,22	2,6	12,41
Aluminum, 6201 alloy	52,5	0,00347	268	654	3,28	2,6	12,47
Aluminum-clad steel wire	20,3	0,0036	258	657	8,48	3,58	17,2
Steel, 1020	10,8	0,00316	605	1510	15,9	3,28	15,95
Stainless-clad steel rod	9,8	0,0016	605	1400	17,5	4,44	14,72
Zinc-coated steel rod	8,6	0,0032	293	419	20,1	3,93	28,96
Stainless steel, 304	2,4	0,0013	749	1400	72	4,03	30,05

El conductor más cercano por encima es el N° 2 AWG de cobre 97.5% de conductividad, el cual tiene un área de 66.36 MCM, pero debido a requerimientos de esfuerzo mecánico, el calibre mínimo a emplear es el N° 2 / 0 AWG el cual que tiene un diámetro $d = 0.01\text{m}$ y un área de 133.1 MCM (**Tabla 31**).

Tabla 31*Selección del calibre del conductor*

CALIBRE DEL CONDUCTOR		AREA NOMINAL mm ²	DIAMETRO m
MCM	AWG		
350		177,35	0,015
300		152,01	0,0139
250		126,68	0,0127
211,6	4/0	107,22	0,0117
167,8	3/0	85,03	0,0104
133,1	2/0	67,44	0,0093

Cálculo de tensiones de toque y tensiones de paso (Et50, Ep50)

Para una capa superficial se trabaja con un espesor h_s , con una resistividad ρ_s y una tierra con resistividad ρ mostrados a continuación (**Tabla 32**).

Tabla 32

Cálculo de factor de disminución de la capa superficial y factor de reflexión entre resistividades de materiales

Factor de disminución de la capa superficial		Factor de reflexión entre resistividades de materiales	
$C_s = 1 - \frac{0.09 \left(1 - \frac{\rho}{\rho_s}\right)}{2h_s + 0.09}$	C_s	$K = \frac{\rho - \rho_s}{\rho + \rho_s}$	K
	0.792076923		-0.819836215

Una vez calculado este factor se hallan las tensiones de paso y toque. Es importante aclarar que este estudio se realiza con un peso de una persona de 50 kg, es por eso por lo que el paso a la subestación está restringido para personas con un peso inferior a este (**Tabla 33**).

Tabla 33

Cálculo de tensiones de paso y toque (Ep-50, Et-50)

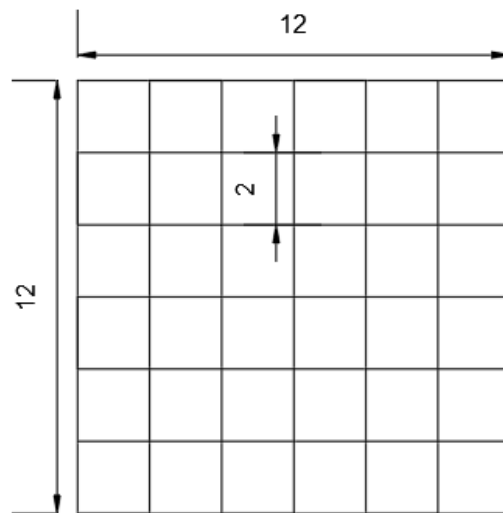
Criterio de tensiones de paso y de toque tolerables					
Tensión de paso límite			Tensión de toque límite		
	$E_{p50} = (1000 + 6C_S\rho_S) * \frac{0.116}{\sqrt{1s}}$			$E_{t50} = (1000 + 1.5C_S\rho_S) * \frac{0.116}{\sqrt{1s}}$	
Ep	203.030547	V	Et	173.7942168	V

Diseño de la malla de puesta a tierra

Se realiza el diseño inicial de la malla con unas dimensiones de 12m*12m, dando un área total de 144 m², una separación entre conductores D = 1m y una profundidad h = 0.5m, por otro lado, cuenta con Nx = 4 y My = 4. Además, se propone una malla sin varillas (**Figura 74**).

Figura 74

Representación gráfica de la malla de puesta a tierra



Determinación de la resistencia de la malla

Mediante el uso de la ecuación de Sverak se obtiene lo siguiente (**Tabla 34**).

Tabla 34

Evaluación de la resistencia de la puesta a tierra (Rg)

Evaluación de la resistencia de la puesta a tierra (Rg)		
	$R_g = p \left[\frac{1}{L_r} + \frac{1}{\sqrt{20A}} \left(1 + \frac{1}{1 + h\sqrt{\frac{20}{A}}} \right) \right]$	
Área	144	m ²
LT	168	m
Rg	0.199452045	Ω

Cálculo de la corriente a disipar por la malla (Ig)

Para el cálculo de la corriente se toma la siguiente formulación:

$$I_g = I_f * D_f * S_f * C_p$$

Donde,

If y Df son los parámetros hallados anteriormente

Sf es un factor de división de corriente.

Cp es un factor de crecimiento futuro de la subestación que como ya lo habíamos determinado es 1.

Se realiza el cálculo del factor de división de corriente Sf:

$$S_f = \left| \frac{Z_{eqX/Y}}{R_g + Z_{eqX/Y}} \right|$$

Para la selección de la Zeq observamos la siguiente tabla, se hace la selección de acuerdo con el número de cables de guarda de líneas de transmisión (1) y número de neutros (1) (**Tabla 35**).

Tabla 35*Selección de la impedancia Zeq*

Número de líneas de transmisión	Número de neutros de distribución	Zeq (ohms)	
		Rtg =15, Rdg =25	Rtg =100, Rdg =200
1	1	0,91 + J0,485	3,27 + J0,652
1	2	0,54 + J0,33	2,18 + J0,412
1	4	0,295 + J 0,20	1,32 + J0,244
1	8	0,15 + J 0,11	0,732 + J0,133
1	12	0,10 + J 0,076	0,507 + J0,091
1	16	0,079 + J 0,057	0,387 + J0,069

$$S_f = \left| \frac{3.27 + 0.652j}{2.85 + 3.27 + 0.652j} \right| = 0.943$$

Y finalmente se realiza el cálculo de la corriente a disipar.

$$I_g = 1059.203 \text{ A}$$

Cálculo de la elevación de potencial de tierra (GPR)

Se muestra este parámetro a continuación (**Tabla 36**).

Tabla 36*Cálculo del factor de elevación del potencial de tierra GPR*

Elevación del potencial de tierra		
$GPR = I_g \times R_g$	GPR	211.260

Cálculo de la tensión de malla y de paso

El valor de la tensión real de la malla se obtiene mediante la expresión.

$$E_m = \frac{\rho * I_G * K_m * K_i}{L_M}$$

Donde, K_m es el valor geométrico de espaciamento de la malla, calculado así:

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \left[\ln \left(\frac{D^2}{16hd_c} + \frac{(D+2h)^2}{8Dd_c} - \frac{h}{4d_c} \right) + \frac{K_{ii}}{k_h} \ln \left(\frac{8}{\pi(2n-1)} \right) \right]$$

Como el sistema está compuesta por cero varillas el factor de corrección que ajusta los efectos de los conductores sobre la esquina de malla K_{ii} es igual a 1, además, el factor de corrección que tiene en cuenta los efectos de la profundidad de la malla K_h está dado por:

$$K_h = \sqrt{1 + h/h_o} \text{ con } h_o = 1m$$

$$K_h = 1.2247$$

n representa el número de conductores paralelos de una malla, en donde, es importante recalcar que este factor difiere según la forma de la malla (**Tabla 37 y 38**).

$$n = n_a n_b n_c n_d$$

Para mallas cuadradas: $n = n_a$ ya que $n_b = n_c = n_d = 1$.

Para mallas rectangulares: $n = n_a \cdot n_b$ ya que $n_c = n_d = 1$.

Para mallas en forma de L: $n = n_a \cdot n_b \cdot n_c$ ya que $n_d = 1$.

Tabla 37

Fórmulas para el cálculo del número de conductores paralelos de una malla

na	nb	nc	nd
$n_a = \frac{2L_C}{L_P}$	$n_b = \sqrt{\frac{L_P}{4\sqrt{A}}}$	$n_c = \left[\frac{L_X L_Y}{A} \right]^{0.7A}$	$n_d = \frac{D_m}{\sqrt{L_X^2 + L_Y^2}}$

Donde,

LC = Longitud total de los conductores de la malla en m

LP = Longitud del perímetro de la malla en m

Lx = Longitud máxima de la malla en la dirección X, en m

L_y = Longitud máxima de la malla en la dirección Y, en m

D_m = Distancia máxima entre dos puntos cualesquiera de la malla, en m

Tabla 38

Cálculo de las dimensiones y número de conductores de la malla de puesta a tierra

		Parámetros		Número de conductores II
Lc (m)	168	na	7	$n = n_a n_b n_c n_d$
Lp (m)	48			
Lx (m)	12	nb	1	
Nx	7			
Ly (m)	12	nc	1	7
My	7			
Dm (m)	2	nd	1	

De acuerdo con esto el factor K_m es

$$K_m = 0.622994933$$

El siguiente factor por calcular es el factor de irregularidad y se define como:

$$K_i = 0.644 + 0.148n = 1.68$$

Y, por último, para mallas sin varillas de tierra en las esquinas, así como a lo largo del perímetro, la longitud efectiva enterrada L_M es:

$$L_M = 168 \text{ m}$$

La tensión máxima de la malla es:

$$E_m = 32.663 \text{ V}$$

Ahora, el cálculo de la tensión de paso está definido por la siguiente expresión.

$$E_p = \frac{\rho * I_G * K_s * K_i}{L_S}$$

Donde, la longitud efectiva enterrada es:

$$L_S = 0.75L_C + 0.85L_R = 126\text{m}$$

Y el valor de K_s :

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left[\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right]$$

$$K_s = 0.599815$$

La tensión real de paso es:

$$E_p = 41.93 \text{ V}$$

Comparación entre las tensiones de malla y de paso con las tolerables

Se muestran los cálculos a continuación (**Tabla 39**).

Tabla 39

Comparación entre las tensiones de paso y de toque

Em (V)	Et50 (V)
32.6639878	173.7942168
Ep (V)	Ep50 (V)
41.93154727	203.0305475

Nota: Si la tensión de malla excede la tensión de contacto tolerable o la tensión de paso excede la tolerable, el diseño debe modificarse; ello puede hacerse disminuyendo la distancia entre conductores paralelos, incrementando el número de varillas.

Se observa ahora que $E_m < E_{t50}$ ($32.66\text{V} < 173.79\text{V}$).

Se tiene también que $E_p < E_{p50}$ ($41.93\text{V} < 203.03\text{V}$).

No son necesarias las modificaciones al diseño, se encontró la solución.

Coordinación de aislamiento

La coordinación de aislamiento consiste en la selección de un conjunto de tensiones soportadas normalizadas para caracterizar el aislamiento de equipos, en función de las sobretensiones que podrían aparecer en el sistema, teniendo en cuenta las condiciones ambientales y las características de los dispositivos de protección disponibles. La tensión nominal del sistema es de 0.208 kV y se realizan cálculos de coordinación de aislamiento para esta tensión ya que el dimensionamiento se hace de manera radial para que los equipos soporten esfuerzos mecánicos o arcos eléctricos.

$$V_n = 0.208kV$$

$$V_{m\acute{a}x} = 0.2184kV$$

Es importante mencionar que, gracias a la ubicación del sistema, se tendrá en cuenta los siguientes parámetros:

Humedad: 8 g/m³

Altura sobre el nivel del mar: 1212 metros

Se realiza el cálculo de las tensiones base de cresta (**Tabla 40**).

Tabla 40

Cálculo de las tensiones base del sistema

Selección de tensión máxima		
Tensión nominal	0.24	kVeff
Tensión máxima ó U_s	0.252	kVeff
Cálculo de tensiones base		
Ubase 1 fase cresta	0.178322853	kVp fase-tierra
Ubase 3 fase cresta	0.308864242	kVp fase-fase

Falla a tierra

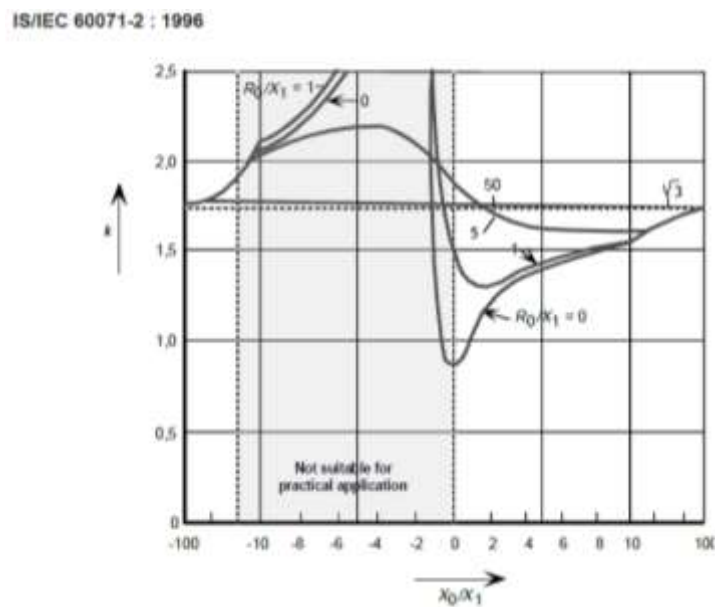
Se requiere calcular el valor de tensión U_{rp} como se observa en la siguiente fórmula

$$U_{rp} = k * \frac{U_s}{\sqrt{3}}$$

Es necesario hallar el cálculo del factor de tierra (k). Para hallar el factor k a partir de los parámetros de la red se observan las curvas proporcionadas por la IEC 60071-2, en donde por medio de los valores de las impedancias de secuencia cero y secuencia positiva del sistema se elige la más apropiada. Generalmente, los sistemas tienen a manejar un factor de tierra $k=1.2$ como se muestra en la **Figura 75**. Adicionalmente, se realizaron los cálculos de URP (**Tabla 41**).

Figura 75

Selección del factor de falla a tierra (k) con base de X_0/X_1 para $R_1/X_1 = R = 0$



Nota: Tomado de Guía para la coordinación de aislamientos en sistemas tipo I, IEC 60071-2, 2018.

Tabla 41

Cálculo de Urp

Selección del factor de falla-tierra (K)		
K		1.2
Selección de URP		
Urp kVeff	0.151311959	kVeff fase-tierra
Urp kVp	0.213987424	kVp fase-tierra

Rechazo de carga

Para realizar el cálculo de la tensión por rechazo de carga es importante tener en cuenta el factor de deslastre, cuyo valor toma según las condiciones generales del sistema, para este caso se escoge el factor de deslastre $K_d = 1.2$ (**Tabla 42**)

Tabla 42

Condiciones para la selección del factor de deslastre (K_d)

Condiciones del K_d (Factor de deslastre)	
Sistemas con líneas cortas y potencias de coci elevadas	1.2
Sistemas con redes de muy alta tensión (efecto Ferranti)	1.5
Cargas especiales, generadores	2.5

Adicionalmente, se realizó el cálculo para hallar las tensiones por rechazo de carga (**Tabla 43**).

Tabla 43

Análisis de sobretensión de rechazo de carga

Análisis sobretensión rechazo de carga			
Selección del K_d (Factor de deslastre)			
K_d		1.2	
Fase-tierra		Fase-Fase	
Urp2	UND	Urp2	UND
0.213987424	kVp fase-tierra	0.37063709	kVp fase-fase

Finalmente, se requirió hacer una comparación entre los valores de sobretensión por rechazo de carga y falla a tierra para determinar cuál es el más crítico y así obtener la selección final del Urp (**Tabla 44**).

Tabla 44

Selección del Urp

Selección del Urp			
Fase-tierra		Fase-Fase	
Urp2	UND	Urp2	UND
0.213987424	kVp fase-tierra	0.37063709	kVp fase-fase

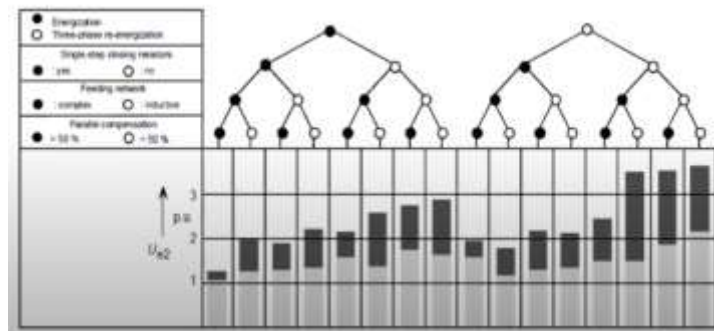
0.213987424	kVp fase-tierra	-	-
Valores definitivos Se determina cual es el mayor de los Urp			
Fase-tierra		Fase-Fase	
Urp2	UND	Urp2	UND
0.213987424	kVp fase-tierra	0.37063709	kVp fase-fase

Análisis de sobretensión de frente lento

El análisis de sobretensión por frente lento generalmente se presenta por situaciones de maniobra que pueden estar presentes en el sistema, es por eso, que la norma IEC 60071-2 ofrece un conjunto de configuraciones estandarizadas que se usan para determinar los niveles de sobretensión que mejor se adecúen al sistema en cuestión (**Figura 76**).

Figura 76

Rango de sobretensiones de frente lento del 2% en el extremo receptor debido a la energización y re-energización de la línea



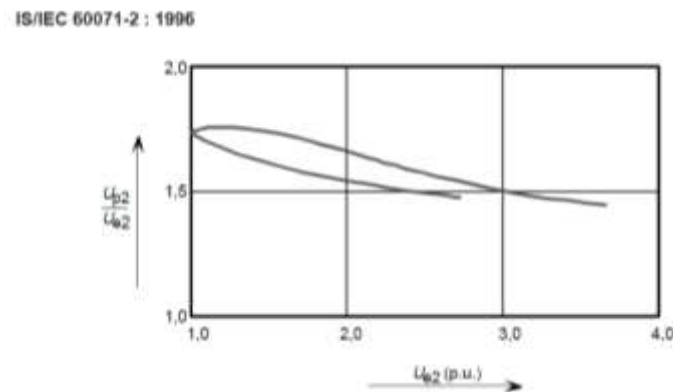
Nota: Tomado de Guía para la coordinación de aislamientos en sistemas tipo I, IEC 60071-2, 2018.

El sistema se compone de energización simple, sin resistores de amortiguamiento, red compleja y compensación mayor al 50%. De acuerdo con la configuración propuesta se hallan los valores máximo, mínimo y promedio de la tensión U_{e2} (**Tabla 45**).

Tabla 45*Selección y cálculo de Ue2*

Selección del Ue2		
Ue2 máximo	2.1	p.u.
Ue2 mínimo	1.6	p.u.
Ue2 promedio	1.85	p.u.
Ue2 máx kVp	0.374477992	kVp fase-tierra
Ue2 prom kVp	0.329897279	kVp fase-tierra

A partir de los valores de Ue2 (**Figura 77**), se calculan los valores de Up2 con la siguiente gráfica y partiendo de que el sistema es una red de energización simple (**Tabla 46**).

Figura 77*Relación entre los valores del 2% de las sobretensiones de frente lento fase a fase y fase a tierra*

Nota: Tomado de Guía para la coordinación de aislamientos en sistemas tipo I, IEC 60071-2, 2018.

Tabla 46*Selección del Up2*

Selección del Up2		
Up2/Ue2 (máx)	1.52	p.u.
Up2 máx (p.u.)	3.192	p.u.
Up2 máx kVp	0.985984661	kVp fase-fase
Up2/Ue2 (prom)	1.56	p.u.
Up2 prom (p.u.)	2.886	p.u.
Up2 prom kVp	0.891382202	kVp fase-fase

Tensión de truncamiento

Se muestra el análisis de tensión de truncamiento del sistema (**Tabla 47**).

Tabla 47

Análisis de tensión de truncamiento

Análisis tensión de truncamiento			
Cálculo de U _{et} y U _{pt}			
Fase-tierra		Fase-Fase	
$U_{et} = (1.25 * U_{e2} - 0.25) * U_{base1f}$		$U_{pt} = (1.25 * U_{p2} - 0.43) * U_{base3f}$	
U _{et}	UND	U _{pt}	UND
0.423516777	kVp fase-tierra	1.099556702	kVp fase-fase

Valores de tensiones Ups y Upl

Para hallar dichos valores se debe hallar la tensión residual, seguidamente se examina un datasheet en el cual de acuerdo con U_r y a la corriente de descarga determina Ups y Upl. Es necesario hallar los valores de tensión continua de operación COV y la relación Red/Puesta a tierra TOV (**Tabla 48**).

Tabla 48

Cálculo del COV, TOV y tensiones residuales

COV	Tensión continua de operación	$COV = 1.05 * \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} kV_{eff\ f-t}$
TOV	Relación red/puesta a tierra	$TOV = K_e * \frac{U_{m\acute{a}x}}{\sqrt{3}} kV_{eff\ f-t}$
Ur1	Tensión residual nominal	$U_{r1} = COV / K_0 kV_{eff\ f-t}$ K ₀ = 0.8 – valor típico
Ur2	Tensión residual por descarga	$U_{r2} = TOV / K_{tov} kV_{eff\ f-t}$
	U _{max}	0.2184 kVeff fase-fase
	COV	0.132397964 kVeff fase-tierra
	TOV	0.151311959 kVeff fase-tierra
	Ur1	0.165497455 kVeff fase-tierra
	Ur2	0.142747131 kVeff fase-tierra

Se obtiene como tensión residual $0.19kV_{eff}$ $i_d=10kA$, a partir de ello se escogen los valores de Ups y Upl (**Tabla 49**).

Tabla 49

Selección del Ups y Upl

Ups	UND	Upl	UND
12.5	kVp fase-tierra	11	kVp fase-fase

Como ya se tienen los valores de Ups y Upl, se procede a comparar estos valores para determinar Urp de frente lento fase- fase y fase- tierra (**Tabla 50**).

Tabla 50

Comparación de resultados

Comparación de resultados y selección del mínimo			
Ups con Uet		2Ups con Upt	
Ups	Uet	2Ups	Upt
12.5	0.423516777	25	1.099556702
Selección del mínimo			
Urp	UND	Urp	UND
0.423516777	kVp fase-tierra	1.099556702	kVp fase-fase

Tensiones de coordinación

Frente lento

En la entrada

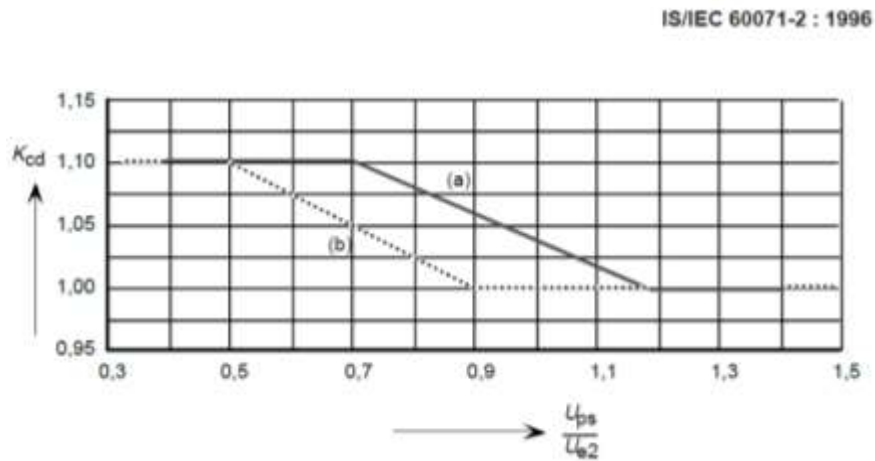
$$U_{cw} = k_{cd} * U_{rp}$$

Factor Kcd

Para determinar el valor del factor Kcd para fase-tierra la curva (a) y para fase-fase con la curva (b) (**Figura 78**).

Figura 78

Evaluación del factor de coordinación determinista Kcd



Nota: Tomado de Guía para la coordinación de aislamientos en sistemas tipo I, IEC 60071-2, 2018.

Además, se obtuvieron los datos para Kcd y el cálculo de Ucw (**Tabla 51**).

Tabla 51

Selección del factor Kcd y cálculo del Ucw para la entrada

fase-tierra		fase-fase	
$\frac{U_{ps}}{U_{e2}}$	Kcd	$\frac{2U_{ps}}{U_{p2}}$	Kcd
28.929	1	21.977	1
Ucw	UND	Ucw	UND
0.213987424	kVp fase-tierra	0.37063709	kVp fase-fase

Cualquier equipo excepto en la entrada

Se realiza de la misma forma que en la entrada, teniendo en cuenta que se usa U_{e2prom} (**Tabla 52**).

Tabla 52

Selección del factor Kcd y cálculo del Ucw para cualquier equipo excepto en la entrada

fase-tierra		fase-fase	
$\frac{U_{ps}}{U_{e2}}$	Kcd	$\frac{2U_{ps}}{U_{p2}}$	Kcd
32.839	1	24.307	1
Ucw	UND	Ucw	UND
0.423516777	kVp fase-tierra	1.099556702	kVp fase-fase

Sobretensiones de frente rápido/impulso atmosférico

Aislamiento interno

$$U_{cw} = U_{pl} + \frac{A}{n} * \frac{L}{L_{sp} + L_a}$$

Donde,

A = Factor de comportamiento de las líneas ante descargas, para este caso las líneas de transporte son de haz de conductores

N = Número de líneas

L = Distancia neta para descarga equipo a DPS

Lsp = Longitud vanos de las líneas

La = Sección de la línea efectiva para tasa de fallas, un valor típico según la IEC 0.25

La selección de parámetros y cálculo de Ucw se muestra en la **Tabla 53**.

Tabla 53

Selección de parámetros y cálculo de Ucw

Selección de los parámetros y cálculo de Ucw		
La "A" es el factor de comportamiento entre líneas		
La "L" está entre 3 y 4 "distancia neta de equipo a maya de p.t."		
El "Lsp" se sugiere valores entre 300 y 400 metros		
A (Haz de 1 conductor)	900	kV
n	1	líneas

L	3	m
Lsp	400	m
La	0.25	-
Ucw	17.74578389	kVp

Aislamiento externo

En la **Tabla 54** se muestra el análisis de tensión Ucw para aislamiento externo.

Tabla 54

Análisis de la tensión Ucw por aislamiento externo

Aislamiento externo (frente rápido)			
Ucw	$Ucw = 2Upl$	22	kVp

Determinación de la tensión soportada requerida Urw

Soporte de frecuencia de potencia

En la **Tabla 55** se muestra el cálculo de las sobre tensiones Urw.

Tabla 55

Cálculo de las sobretensiones Urw por soporte de frecuencia de potencia

Cálculo de sobretensiones por soporte de frecuencia de potencia			
Selección de factor Ks y Ka			
Ks (Factor de seguridad)		Ka (Factor atmosférico)	
Interno	Externo	$K_a = e^{m \cdot \left(\frac{H}{8150}\right)}$	
		H (m.s.n.m)	1212
1.15	1.05	m (Factor contaminación)	1
		Ka	1.160338365
Cálculo Urw			
fase-tierra		fase-fase	
Aislamiento interno		Aislamiento interno	
Urw	UND	Urw	UND
0.246085538	kVp	0.426232654	kVp
Aislamiento externo		Aislamiento externo	
Urw	UND	Urw	UND
0.260712708	kVp	0.451567657	kVp

Resistencia al impulso de conmutación

En la **Tabla 56** se muestra el cálculo de las sobretensiones Urw para este caso.

Tabla 56

Cálculo de las sobretensiones Urw por resistencia al impulso de conmutación

Cálculo de las sobretensiones Urw por resistencia al impulso de conmutación			
Selección de factor Ks y Ka			
Ks (Factor de seguridad)		Ka (Factor atmosférico)	
Interno	Externo	$K_a = e^{m*\left(\frac{H}{8150}\right)}$	
1.15	1.05	H (m.s.n.m)	1212
		m (Factor contaminación)	fase-tierra 1
			fase-fase 1
		Ka f-f	1.160338365
		Ka f-t	1.160338365
Cálculo Urw			
fase-tierra		fase-fase	
Entrada		Entrada	
Aislamiento externo		Aislamiento externo	
Urw	UND	Urw	UND
0.515993902	kVp	1.339650716	kVp
Menos la entrada		Menos la entrada	
Aislamiento interno		Aislamiento interno	
Urw	UND	Urw	UND
0.487044293	kVp	1.264490207	kVp
Aislamiento externo		Aislamiento externo	
Urw	UND	Urw	UND
0.515993902	kVp	1.339650716	kVp

Resistencia al impulso del rayo

Se muestra el cálculo de las sobretensiones Urw para este caso (**Tabla 57**).

Tabla 57

Cálculo de las sobretensiones Urw por resistencia al impulso del rayo

Cálculo de las sobretensiones Urw por resistencia al impulso del rayo			
Selección de factor Ks y Ka			
Ks (Factor de seguridad)		Ka (Factor atmosférico)	
Interno	Externo	$K_a = e^{m*\left(\frac{H}{8150}\right)}$	
1.15	1.05	H (m.s.n.m)	1212
		m (Factor contaminación)	1
		Ka	1.160338365
Cálculo Urw			
fase-tierra		fase-fase	
Aislamiento interno		Aislamiento interno	
Urw	UND	Urw	UND
20.40765147	kVp	20.40765147	kVp
Aislamiento externo		Aislamiento externo	
Urw	UND	Urw	UND
26.80381623	kVp	26.80381623	kVp

Conversión a tensiones normalizadas

En la **Tabla 58** se muestran los datos de la conversión a tensiones normalizadas. Se observa una tensión de 1.406832659 kVeff como la más crítica. Se escoge un BIL normalizado de 3kV.

Tabla 58

Conversión de tensiones a tensiones normalizadas

Conversión de tensión soportada de impulso de maniobra a tensiones soportadas de frecuencia industrial de corta duración			
Factores de conversión			
Aislamiento exterior			
Fase-tierra		0.6 + Urw/8500	
Fase-fase		0.6	
Aislamiento interno			
Fase-tierra		0.5	
Fase-fase		0.5	
Entrada		Otros equipos	
Aislamiento Externo		Aislamiento Externo	
fase-tierra	fase-fase	fase-tierra	fase-fase
0.309627665	0.80379043	0.309627665	0.80379043

kVeff	kVeff	kVeff	kVeff
-	-	Aislamiento Interno	
-	-	fase-tierra	fase-fase
-	-	0.243522147	0.632245103
-	-	kVeff	kVeff
Conversión de tensión soportada de impulso tipo maniobra a tensión soportada de impulso tipo rayo			
Factores de conversión			
Aislamiento exterior			
Fase-tierra		1.3	
Fase-fase		1.05+U _{rw} /9000	
Aislamiento interno			
Fase-tierra		1.1	
Fase-fase		1.1	
Entrada		Otros equipos	
Aislamiento Externo		Aislamiento Externo	
fase-tierra	fase-fase	fase-tierra	fase-fase
0.670792073	1.406832659	0.670792073	1.406832659
kVeff	kVeff	kVeff	kVeff
-	-	Aislamiento Interno	
-	-	fase-tierra	fase-fase
-	-	0.535748722	1.390939228
-	-	kVeff	kVeff

Cálculo de canalizaciones y regulación

Para el cálculo de regulación se cumple con lo establecido en la norma NTC 2050 y en la norma de distribución del operador de red. Al ser un sistema netamente en baja tensión se considera que este debe presentar una caída de tensión del 3% hasta el tablero de medidores, del 4.5% hasta el tablero de distribución y del 6.5% hasta la salida de uso final, además, para circuitos de fuerza como motores y bombas de consumo se considera una caída de tensión del 3%. Para el cálculo y selección de las canalizaciones. Debido al tipo de proyecto todas las acometidas y conductores son subterráneos desde el punto de generación hasta cada uno de los medidores de las torres, así como hasta las cargas de uso final.

Se realiza el análisis y cálculo de las canalizaciones por tramos dividida así:

Tramo 1: TGA1 = Desde el punto de generación hasta el barraje principal (70m)

Tramo 2: TD1= Desde el barraje principal hasta el tablero de la zona residencial (100m)

Tramo 3: TD2 = Desde el barraje principal hasta el tablero de la zona comercial (200m)

Tramo 4: TD3 = Desde el barraje principal hasta el tablero de la zona industrial (50m)

Tramo 5. TD4 = Desde el barraje principal hasta el tablero de la zona industrial (50m)

Además, se realiza en campo un estimado de las canalizaciones para cada circuito de cada zona, es importante resaltar que los cálculos se hicieron con base a la norma NTC 2050 (Tabla 59). Se observa que cada una de las canalizaciones no sobrepasa el 40% de ocupación establecidos por la norma NTC 2050.

Tabla 59

Cálculo de canalizaciones

	Distancia (m)	I (A)	I (A) * 1,25	Capacidad 90°C	AWG/kcmi I	mm2	Recubrimiento	Regulación (%) <3%	Cond. PT AWG	Protección (A)	Canalización PVC TIPO A	% Ocupación del conduit
TGA1	70	121.68	152.11	170.00	1/0 AWG	53.50	Cu - THWN	2.64	6 AWG	3X200 A	1 - 1/4'	35.20%
TD1	100	23.09	28.86	75.00	6 AWG	13.29	Cu - THWN	2.40	10 AWG	3x30 A	1/2'	39.87%
Iluminación	5	0.18	0.23	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.01	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_PA	20	6.25	7.81	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.80	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_PA	20	6.25	7.81	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.80	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Nevera	5	2.08	2.60	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.07	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Air friyer	5	6.25	7.81	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.20	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Lavadora	5	2.08	2.60	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.07	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
TD2	200	8.67	10.84	55.00	8 AWG	8.36	Cu - THWN	2.83	14 AWG	3x20A	1/2'	25.08%
Iluminación	7	0.10	0.13	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.00	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_Cong	7	0.78	0.98	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.04	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_PA	7	6.25	7.81	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.28	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_Refri	7	1.54	1.93	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.07	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
TD3	50	50.26	62.83	225.00	3 AWG	85.02	Cu - THWN	1.36	8 AWG	3x125A	2'	27.13%
Cto_1	15	3.74	4.67	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.36	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_2	15	6.23	7.78	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.60	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_3	15	2.23	2.78	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.21	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_4	15	0.70	0.88	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.07	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_5	15	0.13	0.16	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.01	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_6	15	2.29	2.86	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.22	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_7	20	4.22	5.28	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.54	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_8	20	4.23	5.29	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.54	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_9	20	12.37	15.46	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	1.59	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_10	20	6.79	8.49	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.87	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_11	15	3.11	3.89	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.30	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_12	15	1.06	1.32	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.10	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
Cto_13	10	3.17	3.96	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.20	14 AWG	1x20A	1/2'	6.24%
TD3	50	39.66	49.58	75.00	6 AWG	13.29	Cu - THWN	2.06	8 AWG	3x50A	1/2'	39.87%
Cto_14	15	11.32	14.15	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	1.09	14 AWG	3x20A	1/2'	6.24%
Cto_15	15	4.17	5.22	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.40	14 AWG	3x20A	1/2'	6.24%
Cto_16	20	6.23	7.78	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.80	14 AWG	3x20A	1/2'	6.24%
Cto_17	10	2.11	2.64	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	0.14	14 AWG	3x20A	1/2'	6.24%
Cto_18	10	15.83	19.79	25.00	14 AWG	2.08	Cu - THWN	1.02	14 AWG	3x20A	1/2'	6.24%

Cálculo de campos electromagnéticos

Para el sistema de estudio no es necesario calcular los campos electromagnéticos ya que según el artículo 14.4 del RETIE, el análisis de campos electromagnéticos debe incluirse en los diseños de líneas o subestaciones de tensión superiora 57.5 kV. Por lo que no se requiere dicho análisis debido a que el nivel de tensión es de 240/416 V.

Clasificación de áreas

El proyecto de estudio presenta instalaciones básicas, de baja complejidad y riesgo, gracias a que se cumplen con los primeros cuatro capítulos de la NTC 2050 y los requisitos del artículo 28.1 del RETIE no se requiere la clasificación.

Diagrama unifilar y planos eléctricos

Estos pueden ser visualizados en los **Apéndices I y J**.

Cálculos de pérdidas de energía

Las pérdidas del sistema por calor generado en el conductor se describen por medio del efecto joule con la siguiente expresión.

$$w_c = I^2 \times R_{ca} \times 10^{-3} \text{ kW/km}$$

Para evaluar las perdidas en un año se acostumbra a ponderar las pérdidas en unidades de energía como Kwh, de la ecuación anterior se obtiene:

$$WC = w_c \times L \times N \times H \times F_p \text{ (kWh)}$$

Donde,

Wc = Pérdidas elevadas

L = Longitud del circuito en km

H = Horas efectivas de operación del sistema

F_p = factor de pérdidas

$$F_p = 0.3(F_c) + 0.7(F_c)^2$$

F_c = Factor de carga por unidad

$$F_c = \frac{\text{Potencia demandada}}{\text{Potencia instalada}}$$

Aplicando el concepto y las ecuaciones se obtienen las pérdidas de energía de acuerdo con el factor de potencia (**Figura 79**). Se observa que en el año el sistema presenta pérdidas de 13.729284 MWh/año.

Figura 79

Pérdidas de energía

PERDIDAS DE ENERGÍA DE ACUERDO AL FACTOR DE POTENCIA					
Alimentador principal					
Potencia Demandada:	31.03	kW	Numero de Conductores:	1	h /año A KW/Km
Potencia Instalada:	34	kW	Horas Efectivas del Traba	8760	
Nivel de Tension:	208	V	Corriente del sistema:	364.64	
Factor de Potencia:	0.9		Potencia del Sistema:	36.053463	
Conductor a Instalar Cu:	1/0	AWG	Factor de Carga:	0.9205882	
Resistencia del Conductor:	0.394	Ω /Km	Factor de Perdidas:	0.8694144	
Longitud del Alimentador:	0.05	Km			
Perdidas en unidades de Energia:			13729.284	KW-h/año	
Porcentaje en Perdidas 3σ			0.0003925		

Análisis de riesgos de origen eléctrico y medidas para mitigarlos

Para la evaluación del nivel de riesgo eléctrico en las instalaciones eléctricas de la microrred ubicada en el corregimiento de Gaitania, Tolima es necesario seguir el reglamento o norma aplicada para la construcción y operación de instalaciones eléctricas RETIE. Se presentan las respectivas matrices de riesgo referentes a la evaluación del riesgo eléctrico en las redes y

tableros de baja tensión en general, considerados como puntos de eventual riesgo eléctrico para el personal técnico.

Se realiza una inspección visual con el fin de identificar los posibles riesgos que puedan generar accidentes eléctricos dentro de la finca, ya que al tratarse de una zona con gran cantidad de elementos eléctricos destinados a la producción de café se pueden presentar riesgos debido a errores constructivos, de mantenimiento o de uso indebido por parte del personal. La identificación de riesgos eléctricos se realiza a partir del conocimiento de las consecuencias que se causan a raíz de los riesgos, que van desde una simple molestia física, hasta la muerte de una persona, o bien a la afectación a bienes inmuebles.

A continuación, se observa la evaluación de la matriz de riesgo para algunos elementos y equipos eléctricos (**Tabla 60 y 61**).

Tabla 60

Matriz de riesgo por electrocución debido a ausencia de electricidad del proyecto en general

EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO ELECTRICO										
PROYECTO PLANADAS - TOLIMA										
Riesgo a evaluar	Electrocución por Ausencia de electricidad (al) o (en) Proyecto en general				FUENTE					
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO					
POTENCIAL: <u>X</u>		REAL: <u> </u>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Tabla 61

Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por electrocución por ausencia de electricidad

	Consecuencia	Frecuencia	Nivel
En personas	2	E	Bajo
Económicas	2	E	Bajo
Ambientales	2	E	Bajo
En la imagen de la empresa	2	E	Bajo

Los escenarios encontrados fueron:

Cables o conductores eléctricos expuestos sin ninguna protección.

Sistema de puesta a tierra en mal estado por deterioro debido a la antigüedad del predio.

Accesorios eléctricos en mal estado.

Sobrecarga de circuitos.

Sistemas de control a implementar:

Disponer de sistemas ininterrumpidos de potencia y de plantas de emergencia con transferencia automática.

Adicionalmente se realizó el cálculo de riesgos por electrocución por rayos (**Tabla 62 y 63**).

Tabla 62

Matriz de riesgos por electrocución por rayos para el proyecto en general

EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO ELECTRICO										
PROYECTO PLANADAS - TOLIMA										
RIESGO A EVALUAR:	Electrocución			por		Rayos		(al) o (en)		Proyecto en general
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO		FUENTE				
POTENCIAL: X			REAL: —			FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Tabla 63

Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por electrocución por rayos

	Consecuencia	Frecuencia	Nivel
En personas	3	D	Medio
Económicas	2	D	Bajo
Ambientales	2	D	Bajo
En la imagen de la empresa	2	D	Bajo

Sistemas de control a implementar:

Pararrayos, bajantes, puestas a tierra, equipotencialización, apantallamientos, topología de cableados.

Suspender actividades de alto riesgo, cuando se tenga el personal al aire libre.

Tableros y cuartos técnicos

Se estudian los análisis de riesgos para los tableros y cuartos técnicos con un riesgo de electrocución por tensión de contacto, tensión de paso, sobrecarga y equipos defectuosos (**Tabla 64 y 65**).

Tabla 64

Matriz de riesgos por electrocución ocasionada por sobrecarga de tableros en general

EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO ELECTRICO										
PROYECTO PLANADAS - TOLIMA										
RIESGO A EVALUAR:	Electrocución		por			Sobrecarga		(al) o (en)		Tableros en general
	EVENTO O EFECTO		FACTOR DE RIESGO			FUENTE				
CONSECUENCIAS	POTENCIAL: X		REAL: _____			FRECUENCIA				
	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Tabla 65

Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por electrocución por sobrecarga de tableros en general

	Consecuencia	Frecuencia	Nivel
En personas	3	D	Bajo
Económicas	2	D	Bajo
Ambientales	2	D	Bajo
En la imagen de la empresa	2	D	Bajo

Sistemas de control a implementar:

Uso de breakers automáticos con relés de sobrecarga, interruptores automáticos asociados con cortacircuitos, fusibles bien dimensionados, dimensionamiento técnico de conductores y equipos, compensación de energía reactiva con banco de condensadores.

También se calculó el riesgo a electrocución por tensión de contacto de tableros y cuartos técnicos (**Tabla 66 y 67**).

Tabla 66

Matriz de riesgos por electrocución por tensión de contacto de tableros y cuartos técnicos en general

EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO ELECTRICO										
PROYECTO PLANADAS - TOLIMA										
RIESGO A EVALUAR:	Electrocución		por			Tensión de contacto		(al) o (en)		Tableros y cuartos técnicos
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO			FUENTE			
	POTENCIAL: <u>X</u>			REAL: <u> </u>			FRECUENCIA			
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Tabla 67

Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por tensión de contacto de tableros y cuartos técnicos en general

	Consecuencia	Frecuencia	Nivel
En personas	4	D	Medio
Económicas	2	D	Bajo
Ambientales	2	D	Bajo
En la imagen de la empresa	2	D	Bajo

Sistemas de control a implementar:

Implementación de puesta a tierra de baja resistencia.

Restricción de accesos.

Equipotencializar.

Se considero también los riesgos por equipos defectuosos de tableros y cuartos técnicos (Tabla 68 y 69).

Tabla 68

Matriz de riesgos por electrocución debido a equipos defectuosos de tableros y cuartos técnicos en general

EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO ELECTRICO										
PROYECTO PLANADAS - TOLIMA										
RIESGO A EVALUAR:	Electrocución por Equipo defectuoso (al) o (en) Tableros y cuartos técnicos en general									
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO		FUENTE				
	POTENCIAL: X			REAL: ___		FRECUENCIA				
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucedee varias veces al año en la Empresa	Sucedee varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO

Tabla 69

Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por equipos defectuosos de tableros y cuartos técnicos en general

	Consecuencia	Frecuencia	Nivel
En personas	1	C	Medio
Económicas	1	C	Bajo
Ambientales	1	C	Bajo
En la imagen de la empresa	1	C	Bajo

Sistemas de control a implementar:

Verificar alturas y distancias de seguridad.

Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.

Verificar que todos los trabajadores involucrados en la obra tengan su seguridad social al día de acuerdo con la ley.

Evaluación de riesgos por contacto directo

La evaluación de riesgo por contacto directo se realizó teniendo en cuenta criterios de evaluación reales, debido a que los accidentes por contacto directo pueden presentarse en humanos o animales, presentando posibles lesiones desde sensaciones leves en las manos hasta la muerte. Para que la instalación eléctrica sea segura buscamos situaciones extremas que se puedan dar en situaciones reales en la finca, los criterios fueron los siguientes (**Tabla 70 y 71**).

Tabla 70

Matriz de riesgos por electrocución debido a contacto directo de tableros y cuartos técnicos en general

EVALUACION DEL NIVEL DE RIESGO ELECTRICO										
PROYECTO PLANADAS - TOLIMA										
RIESGO A EVALUAR:	Electrocución			por Contacto directo			(al) o (en) Tableros y cuartos técnicos en general			
	EVENTO O EFECTO			FACTOR DE RIESGO			FUENTE			
CONSECUENCIAS	POTENCIAL: X			REAL: ___			FRECUENCIA			
	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación.	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (> 1 día)	Daños severos. Interrupción temporal.	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves. No interrupción.	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	

Tabla 71

Parámetros seleccionados en la matriz de riesgo por contacto directo de tableros y cuartos técnicos en general

	Consecuencia	Frecuencia	Nivel
En personas	2	D	Medio
Económicas	2	D	Bajo
Ambientales	2	D	Bajo
En la imagen de la empresa	2	D	Bajo

Sistemas de control a implementar:

Verificar alturas y distancias de seguridad.

Verificar que todos los trabajadores involucrados en la obra tengan su seguridad social al día de acuerdo con la ley.

Mantenimiento predictivo y preventivo, construcción de instalaciones siguiendo las normas técnicas, caracterización del entorno electromagnético.

Es importante recalcar que para todo trabajo en media o baja tensión es importante seguir las siguientes reglas de oro.

Desconectar y efectuar el corte visible de todas las fuentes de tensión, mediante interruptores y seccionadores antes de iniciar cualquier trabajo eléctrico, debe existir un dispositivo que garantice que el corte sea efectivo.

Enclavamiento, bloqueo y señalización de los aparatos de corte indicando que no se debe energizar y se debe retirar los portafusibles de los cortacircuitos.

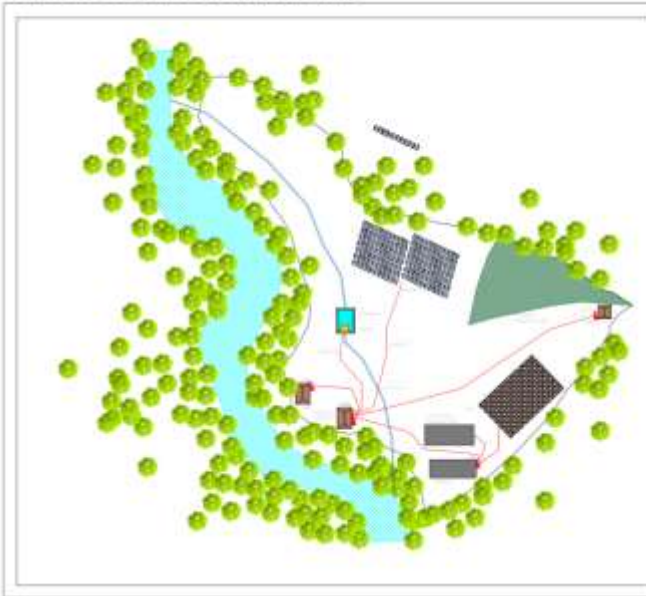
Verificar ausencia de tensión en cada una de las fases, con el detector de tensión apropiado al nivel de tensión nominal de la red, el cual debe probarse antes y después de cada utilización.

Puesta a tierra y en cortocircuito de todas las posibles fuentes de tensión que incidan en la zona de trabajo.

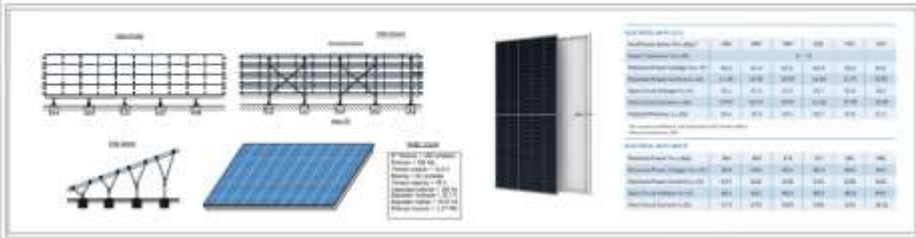
Señalizar y delimitar la zona de trabajo. Es la operación de indicar mediante carteles con frases o símbolos el mensaje que debe cumplirse para prevenir el riesgo de accidente.

Apéndice I. Planos eléctricos

Ubicación de equipos eléctricos y zonas



Módulo fotovoltaico



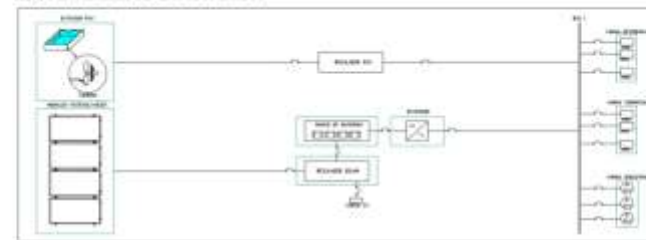
Sistema de generación hidráulica (Turbina y generador)



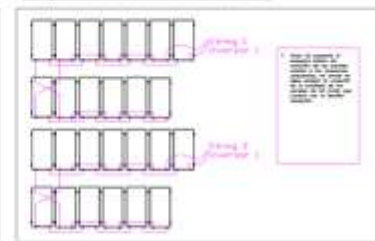
Vista superior de la ubicación de la zona de estudio




Esquema básico de conexión



Esquema de conexiones SFV



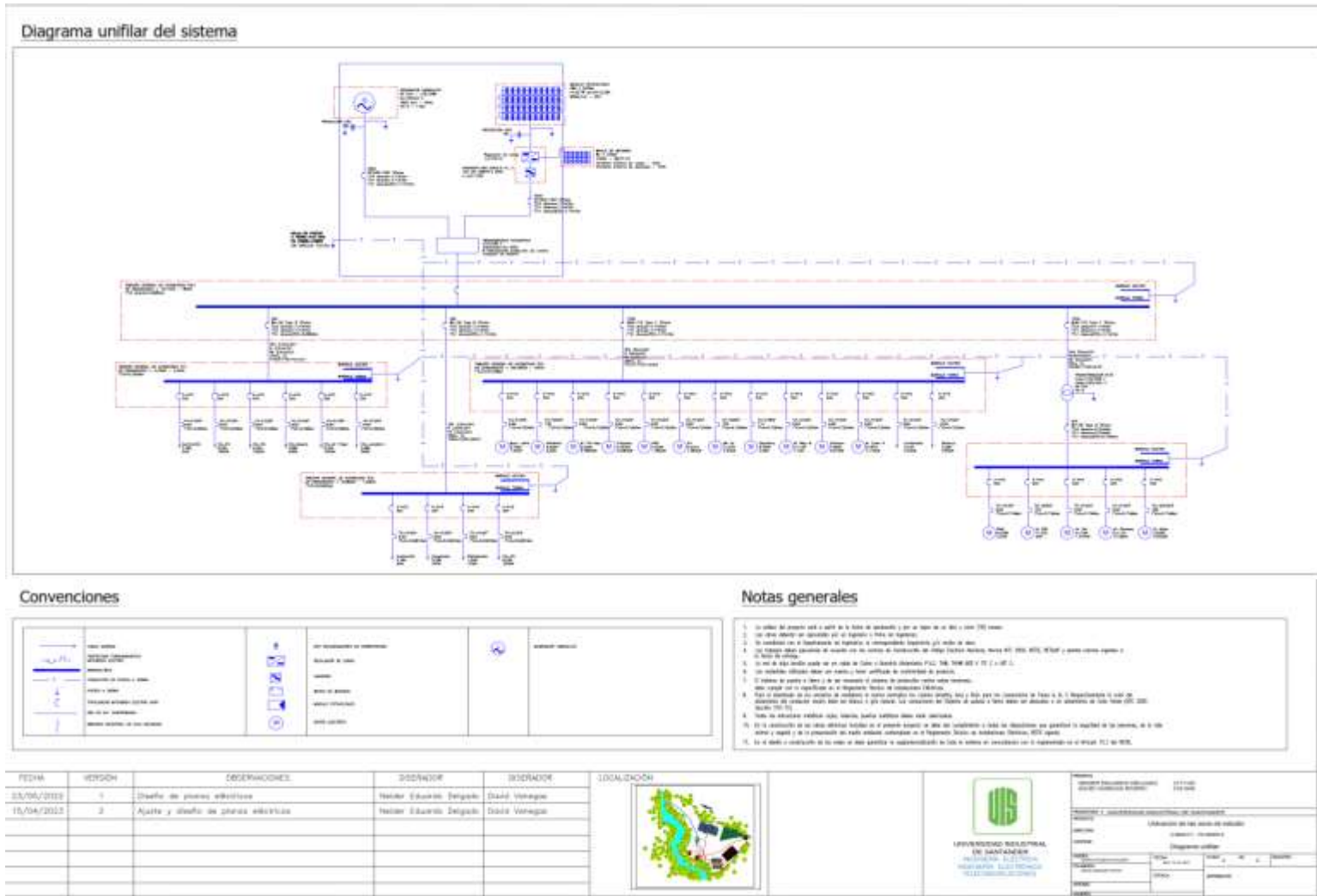
FECHA	VERSIÓN	DESCRIPCIONES	ELABORADOR	REVISOR	COORDINADOR
23/08/2022	1	Diseño de plano eléctrico	Heider Eduardo Delgado	David Viquegas	
15/04/2023	2	Ajuste y diseño de plano eléctrico	Heider Eduardo Delgado	David Viquegas	



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE SANTIAGO DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Proyecto: ...
 Nombre: ...
 Ubicación: ...
 Fecha: ...
 Escala: ...
 Autor: ...
 Revisor: ...

Apéndice J. Diagrama unifilar



Apéndice K. Cuadros de cargas

1. Cuadro de cargas TD1 (Zona residencial)

NOMBRE: TD1
 TIPO: Módulo de protecciones automáticas
 PUESTOS: 6
 V. FASE: 120
 FASES EN USO: II

NÚMERO DE CIRCUITO	TIPO Y POTENCIA DE LA CARGA POR CIRCUITO (VATIOS)						CARGA POR FASE			I MAX [A]	I para cálculo del conductor NTC 2004	CONDUCTOR Material del conductor y calibre	DUCTERIA Tipo de tubería y diámetro	PROTECCIÓN [A]	DESCRIPCIÓN Zona, recibo o tipo de servicio que será atendido por el circuito
	REFRIGERADOR	LAVADORA US	SMART TV	COMPUTADOR	SEÑORA US	AIR-TRON	R	S	T						
	7	500	300	500	500	1500									
1		42					542			4.5	5.8	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona residencial
2			1	500			500			4.2	5.2	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona residencial
3					1	300				4.2	5.2	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona residencial
4							1.00	500		4.2	5.2	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona residencial
5									1	1.300	1.300	Cobre 12 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona residencial
6															Reserva
Nº salidas	6		1		1		1		1		3.542		9.8	12.3	OBSERVACIONES:
											3.542				

2. Cuadro de carga TD2 (Zona comercial)

NOMBRE: TD2
 TIPO: Módulo de protecciones automáticas
 PUESTOS: 6
 V. FASE: 120
 FASES EN USO: II

NÚMERO DE CIRCUITO	TIPO Y POTENCIA DE LA CARGA POR CIRCUITO (VATIOS)						CARGA POR FASE			I MAX [A]	I para cálculo del conductor NTC 2004	CONDUCTOR Material del conductor y calibre	DUCTERIA Tipo de tubería y diámetro	PROTECCIÓN [A]	DESCRIPCIÓN Zona, recibo o tipo de servicio que será atendido por el circuito
	REFRIGERADOR RESIDENTIAL COMER	CONDICIONADOR SPLIT TRIPLE	REFRIGERADOR RESIDENTIAL COMER	PLANCHAS SIN REFRIGERACI			R	S	T						
	7	300	500	500											
1		42					542			4.5	5.8	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona comercial
2			1	300			300			4.2	5.2	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona comercial
3					1	300				4.2	5.2	Cobre 14 AWG	PVC 1/2"	1x20A	Zona comercial
4															Reserva
5															
6															
Nº salidas	6		1		1		1		1		1.542		4.3	5.4	OBSERVACIONES:
											1.542				

Continúa en la siguiente página...

Apéndice L. Análisis en Power World

Análisis de fallas en una microrred eléctrica

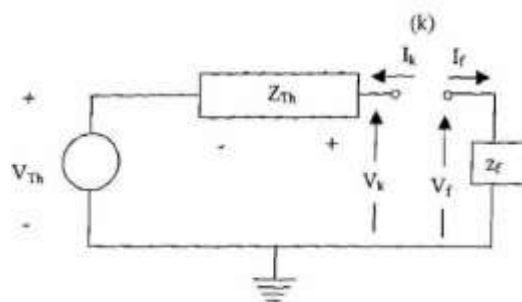
Una falla como cortocircuitos, sobre cargas, fallas humanas o factores ambientales pueden ser muy comunes en sistemas eléctricos. Para el diseño y planificación de esta microrred realizamos un análisis de fallas con el fin de especificar estrategias de operación del sistema en cuanto a protecciones y niveles de corto circuito. Debido a que generalmente las fallas en sistemas eléctricos son fallas asimétricas puesto a que en su mayoría el sistema eléctrico nos es balanceado por eso es necesario realizar un análisis de fallas asimétrico.

Conceptos básicos

El suceso de una falla es similar a que se conecte una impedancia de falla Z_f , esta impedancia introduce una corriente de falla $I_k = -I_f$ como se muestra en la **Figura 80**.

Figura 80

Circuito básico para el análisis de fallas



A partir del conocimiento de la corriente de punto de falla I_k pudimos evaluar el comportamiento del sistema conociendo así voltajes nodales y las condiciones del sistema dadas en las siguientes ecuaciones.

$$I_k = -I_f$$

$$V_k = V_f$$

$$V_k = Z_{Th}I_k + V_{Th}$$

$$V_f = Z_f I_f$$

Donde,

V_k = Voltaje en el nodo k

V_f = Voltaje a través de impedancia de falla

V_{Th} = Voltaje nodal de prefalla, puede ser del estudio de flujos

Z_{Th} = Impedancia equivalente del sistema visto desde el nodo de falla

I_f = Vector de corrientes de falla

Z_f = Impedancia de falla

Dado que el problema central del análisis de fallas es la determinación de la corriente de falla I_f la cual podemos obtener mediante principio de superposición y el equivalente de Thévenin del sistema en los puntos de falla, o a partir de herramientas de simulación como Power World. simulación de fallas. Las fallas más comunes en microrredes eléctricas son cortocircuitos línea-línea, línea-línea a tierra y trifásicos, para la obtención de estos resultados utilizamos el simulador POWER WOLRD planteando la falla en el Bus 1 slack, mostrando resultados a continuación.

Corriente de falla línea tierra

Es una de las fallas más frecuentes en sistemas de potencia, ya sea por desconexión de la línea dándose la pérdida de fase, estas fallas pueden ocasionar incendios o accidentes por contado directo, por esto esa falla es de vital importancia para la determinación de coordinación de aislamiento. El simulador Power World nos permite analizar fallas en el sistema de potencia de la microrred mostrando el valor de la corriente de falla mostrado en la **Figura 81**. En donde podemos

ver un valor de $I_f = 369090,3 \text{ A}$. El circuito equivalente de falla línea tierra se muestra a continuación (**Figura 82**).

Figura 81

Falla línea-tierra en BUS

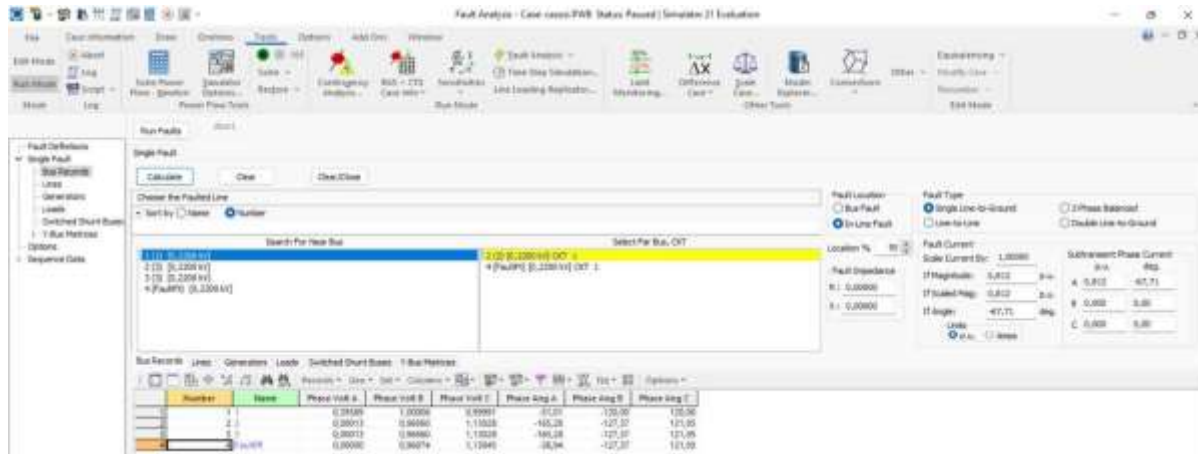
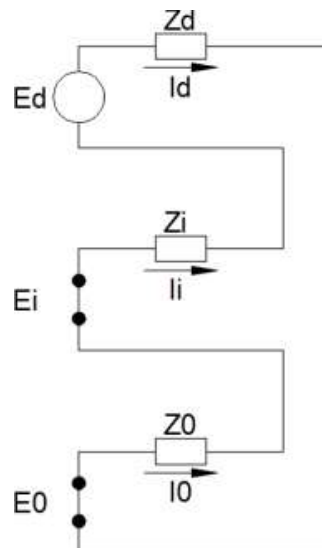


Figura 82

Circuito equivalente de falla línea-tierra



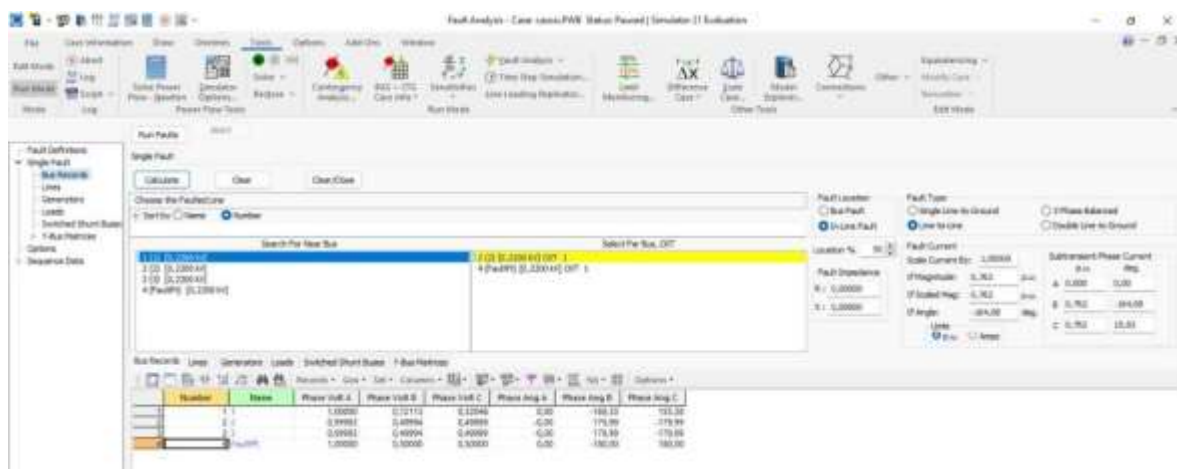
Nota. Tomado de Guía metodológica: Análisis de cortocircuito y falla a tierra, Grupo EPM, 2019.

Corriente de falla línea-línea

Esta falla ocurre entre dos fases del sistema interconectándose en un punto de falla, en este caso el Bus 1, de los resultados obtenidos podemos ver que las fases afectadas son la B y C son iguales en magnitud y en ángulo como podemos ver en la **Figura 83**. La magnitud de la corriente de falla es de $I_f = 346363,63$ A.

Figura 83

Falla línea-línea en BUS

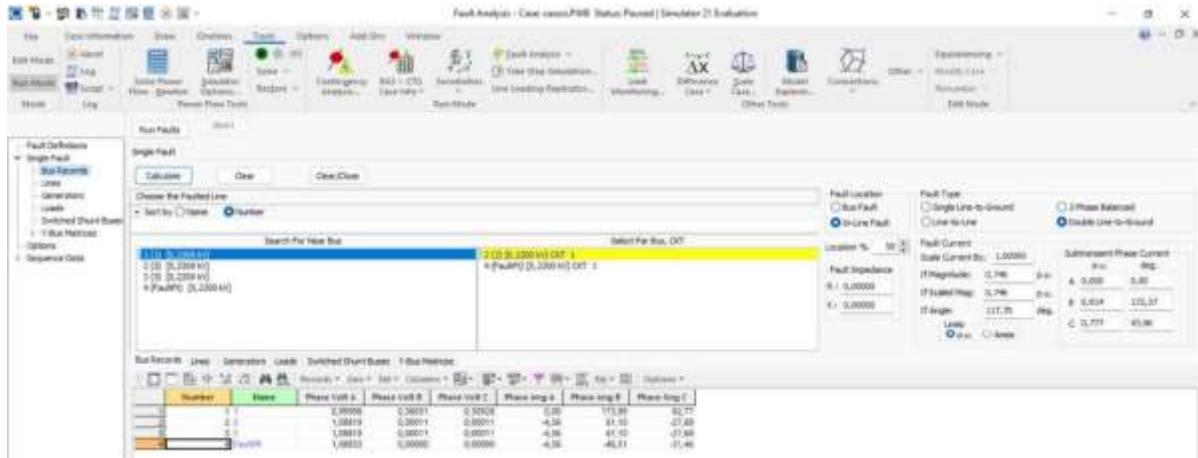


Corriente de falla línea-línea tierra

Esta falla se produce cuando en un solo punto se conectan dos fases y tierra, se propone que la falla se produzca en las fases B y C de esta forma podemos ver la corriente de corto y en fases en la **Figura 84**.

Figura 84

Falla línea-línea-tierra en BUS



Corriente de falla trifásica

Esta falla presenta la mayor magnitud de corriente de falla como podemos ver en la figura 6, es ocurre cuando todas las fases del sistema se conectan en un solo punto en este caso el BUS 1. Como se puede mostrar en la simulación esta corriente de falla es de $I_f = 400000 A$, podemos afirmar que es el corto circuito más severo que se puede presentar en la microrred (Figura 85).

Figura 85

Falla trifásica en BUS

