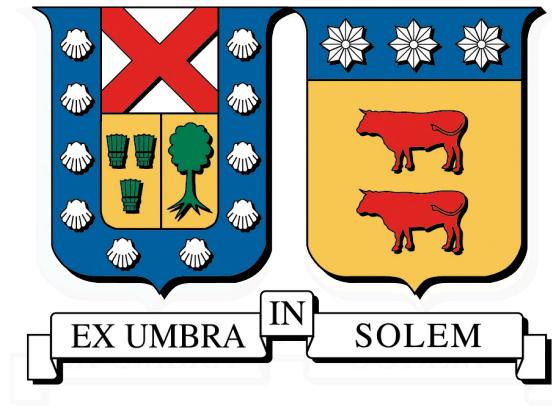


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SANTIAGO - CHILE



**Comparación Técnica de estrategias de eficiencia y  
abastecimiento energético en Quillagua, Región de  
Antofagasta**

**ANDRÉS BENJAMÍN HERRERA MENESES**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL MECÁNICO

PROFESOR GUÍA : SR. RODRIGO BARRAZA  
PROFESOR CORREFERENTE : SR. JOSÉ DELIS

OCTUBRE 2018

---

# Resumen

El presente documento estudia la incorporación de un sistema de generación eléctrica complementario al actual sistema de abastecimiento disponible en el pueblo de Quillagua, región de Antofagasta, el cual consiste en un grupo de generadores eléctricos en base a combustible diésel operando durante 10 horas diarias, ante las necesidades actuales de demanda energéticas del pueblo, así como ante una posible alternativa de abastecimiento de 24 horas diarias de energía.

La metodología utilizada comprende la caracterización de la situación actual de necesidades energéticas del pueblo por medio de información proporcionada por los habitantes del pueblo y sus dirigentes, junto con la evaluación de los recursos energéticos naturales de la zona, para posteriormente establecer las configuraciones de instalaciones óptimas para cada una de las demandas energéticas estimadas, reduciendo las emisiones producidas por la quema de combustibles fósiles y mejorando la calidad de vida de los habitantes del pueblo.

Finalmente, no se recomienda la incorporación de sistemas complementarios al grupo electrógeno ante el actual sistema de demanda, dado su alto costo de inversión, junto con su incapacidad de proporcionar energía continua al pueblo, sin embargo, si es recomendada la incorporación de una instalación híbrida de 55 [kW] ante un abastecimiento continuo de 24 horas de energía eléctrica hacia el pueblo.

# Índice de Contenidos

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Objetivos</b>                                                               | <b>8</b>  |
| 1.1. Objetivo general . . . . .                                                   | 8         |
| 1.2. Objetivos específicos . . . . .                                              | 8         |
| <b>2. Contexto del Estudio</b>                                                    | <b>9</b>  |
| 2.1. Abastecimiento de energía . . . . .                                          | 11        |
| 2.1.1. Sistema APR . . . . .                                                      | 12        |
| 2.1.2. Domiciliario . . . . .                                                     | 12        |
| 2.1.2.1. Energía eléctrica . . . . .                                              | 13        |
| 2.1.2.2. Energía térmica . . . . .                                                | 14        |
| 2.1.3. Comunidad . . . . .                                                        | 15        |
| <b>3. Metodología</b>                                                             | <b>17</b> |
| 3.1. Energía térmica . . . . .                                                    | 17        |
| 3.1.1. Potencial de biogás . . . . .                                              | 18        |
| 3.2. Energía Eléctrica . . . . .                                                  | 20        |
| 3.2.1. Variabilidad de la demanda . . . . .                                       | 20        |
| 3.2.1.1. Variabilidad diurna . . . . .                                            | 20        |
| 3.2.1.2. Variabilidad estacional . . . . .                                        | 21        |
| 3.2.2. Estimación de demanda actual . . . . .                                     | 21        |
| 3.2.3. Estimación de demanda futura constante . . . . .                           | 21        |
| 3.3. Potencial energético disponible . . . . .                                    | 23        |
| 3.4. Potencial eólico . . . . .                                                   | 24        |
| 3.4.1. Perfil de velocidad del viento . . . . .                                   | 24        |
| 3.4.2. Función de densidad de probabilidad para la velocidad del viento . . . . . | 25        |
| 3.4.3. Potencial eólico disponible . . . . .                                      | 26        |
| 3.4.4. Tecnologías eólicas a evaluar . . . . .                                    | 26        |
| 3.5. Potencial solar . . . . .                                                    | 27        |
| 3.5.1. Radiación solar en el plano inclinado . . . . .                            | 27        |
| 3.5.2. Potencial solar disponible . . . . .                                       | 29        |
| 3.5.3. Tecnología solar a evaluar . . . . .                                       | 29        |
| 3.6. Potencial hidroeléctrico . . . . .                                           | 29        |
| 3.7. Análisis económico . . . . .                                                 | 30        |
| 3.7.1. Tasa de descuento . . . . .                                                | 32        |
| 3.7.2. Evaluación del costo global . . . . .                                      | 32        |

|                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. Análisis de resultados</b>                             | <b>36</b> |
| 4.1. Disponibilidad eólica . . . . .                         | 36        |
| 4.1.1. Perfil de velocidad del viento . . . . .              | 36        |
| 4.2. Variabilidad de disponibilidad energética . . . . .     | 38        |
| 4.3. Potencial energético . . . . .                          | 39        |
| 4.4. Evaluación de tecnologías . . . . .                     | 39        |
| 4.5. Estrategias de eficiencia energética . . . . .          | 40        |
| <b>5. Comparación de estrategias</b>                         | <b>42</b> |
| 5.1. Complemento de demanda actual . . . . .                 | 42        |
| 5.1.1. Incorporación de instalación solar . . . . .          | 42        |
| 5.1.2. Incorporación de instalación Eólica . . . . .         | 43        |
| 5.1.3. Incorporación de instalación solar - eólico . . . . . | 44        |
| 5.2. Complemento de demanda futura constante . . . . .       | 44        |
| 5.2.1. Incorporación de instalación solar . . . . .          | 44        |
| 5.2.2. Incorporación de instalación eólica . . . . .         | 45        |
| 5.2.3. Incorporación de instalación híbrida . . . . .        | 45        |
| 5.3. Indicadores económicos . . . . .                        | 46        |
| 5.4. Disponibilidad de la instalación . . . . .              | 47        |
| <b>6. Conclusiones</b>                                       | <b>49</b> |
| <b>7. Anexos</b>                                             | <b>51</b> |
| <b>Bibliografía</b>                                          | <b>77</b> |

# Índice de Tablas

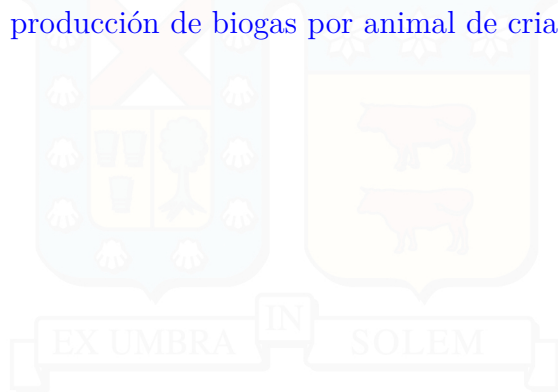
|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Características geográficas de la zona en estudio. . . . .                                                                                                         | 9  |
| 2.2. Resumen de habitantes en el pueblo. . . . .                                                                                                                        | 11 |
| 3.1. Extracto de Tabla de Poderes Calóricos utilizados por BNE 2015 [6].                                                                                                | 18 |
| 3.2. Características geográficas de las estaciones de mediciones disponibles por explorador solar. . . . .                                                              | 23 |
| 3.3. Comparación de datos técnicos de equipos de generación eólica, proporcionados por fabricantes (Véase Anexos). . . . .                                              | 27 |
| 3.4. Datos técnicos de equipos de paneles solares fotovoltaicos. . . . .                                                                                                | 30 |
| 3.5. Tabla de costos mensuales actuales de funcionamiento de grupo electrógeno. . . . .                                                                                 | 32 |
| 3.6. Tasas de descuento utilizadas para el estudio. . . . .                                                                                                             | 32 |
| 3.7. Costos adicionales fijos considerados ante la incorporación de tecnologías de abastecimientos. . . . .                                                             | 34 |
| 4.1. Valores de características geográficas de la zona utilizadas para la estimación del perfil de velocidad vertical del viento. . . . .                               | 37 |
| 4.2. Resumen de disponibilidad energética de la zona en estudio. . . . .                                                                                                | 39 |
| 4.3. Criterios de decisión comparativos para equipos de generación eólicos.                                                                                             | 40 |
| 4.4. Comparación entre tecnologías solares cotizadas . . . . .                                                                                                          | 40 |
| 5.1. Resumen de costo de proyecto abasteciendo únicamente con el grupo electrógeno. . . . .                                                                             | 42 |
| 5.2. Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante la actual demanda con la incorporación de una instalación solar. . . . .                | 43 |
| 5.3. Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante la actual demanda con la incorporación de una instalación eólica. . . . .               | 43 |
| 5.4. Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante la actual demanda con la incorporación de una instalación híbrida solar-eólica. . . . . | 44 |
| 5.5. Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante una demanda futura constante con la incorporación de una instalación solar. . . . .     | 44 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.6. Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante una demanda futura constante con la incorporación de una instalación eólica. . . . .                | 45 |
| 5.7. Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante una demanda futura constante con la incorporación de una instalación híbrida. . . . .               | 46 |
| 5.8. Disponibilidad de instalación ante sistemas de máximo ahorro. . . . .                                                                                                          | 48 |
| 7.1. Representación de las horas del día utilizadas para el estudio. . . . .                                                                                                        | 51 |
| 7.2. Clasificación de centrales hidráulicas según la literatura [24]. . . . .                                                                                                       | 51 |
| 7.3. Valores de caudal registrados en [11]. . . . .                                                                                                                                 | 61 |
| 7.4. Tabla de factores de amplificación horarios. . . . .                                                                                                                           | 62 |
| 7.5. Amplificación mensual utilizada. . . . .                                                                                                                                       | 62 |
| 7.6. Desglose de aparatos eléctricos en domicilios encuestados. . . . .                                                                                                             | 63 |
| 7.7. Disponibilidad mensual de satisfacción de demanda para las instalaciones planteadas. . . . .                                                                                   | 64 |
| 7.8. Disponibilidad horaria de satisfacción de demanda para las instalaciones planteadas. . . . .                                                                                   | 65 |
| 7.9. Consumos y cantidades de aparatos electrónicos esperados. . . . .                                                                                                              | 66 |
| 7.10. Detalle de estimación de futura demanda de energía. . . . .                                                                                                                   | 67 |
| 7.11. Detalle de estimación de la actual demanda de energía. . . . .                                                                                                                | 68 |
| 7.12. Instalaciones óptimas de sistemas solares ante una demanda futura continua. . . . .                                                                                           | 69 |
| 7.13. Instalaciones óptimas de sistemas solares ante la actual demanda. . . . .                                                                                                     | 70 |
| 7.14. Instalaciones óptimas de sistemas eólicos ante la actual demanda. . . . .                                                                                                     | 71 |
| 7.15. Instalaciones óptimas de sistemas eólicos ante una demanda futura constante. . . . .                                                                                          | 72 |
| 7.16. Instalaciones óptimas de híbrido ante una demanda futura constante. . . . .                                                                                                   | 73 |
| 7.17. Instalaciones óptimas de híbrido ante una la demanda actual. . . . .                                                                                                          | 74 |
| 7.18. Flujo de caja de proyecto social con un 100 % de financiamiento propio, ante el abastecimiento de una demanda futura constante con una potencia instalada de 45 [kw]. . . . . | 75 |
| 7.19. Flujo de caja de grupo electrogeno operando ante una demanda futura constante, considerando una tasa de descuento social. . . . .                                             | 76 |

# Índice de Figuras

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1. Ubicación zona en estudio. . . . .                                                                                                                                                 | 9  |
| 2.2. Esquema Hidrográfico de la zona. A la izquierda, el comportamiento del caudal según la ubicación de la zona y a la derecha, el comportamiento de un régimen pluviométrico. . . . . | 10 |
| 2.3. Catastro de tecnologías adicionales utilizadas para la generación de energía eléctrica en forma independiente a la energía proporcionada por la red del pueblo. . . . .            | 13 |
| 2.4. Tiempo de operación de tecnologías adicionales utilizadas para la generación de energía eléctrica en forma independiente a la energía proporcionada por la red del pueblo. . . . . | 13 |
| 2.5. Combustibles utilizados para cocinar, junto con su frecuencia de consumo a nivel doméstico, en base a resultados de la encuesta realizada. . . . .                                 | 14 |
| 2.6. Consumo instantáneo promedio de equipos electrógenos de suministro energético al pueblo durante el mes de Junio. . . . .                                                           | 16 |
| 3.1. Esquema resumen de requerimientos energéticos en Quillagua . . . . .                                                                                                               | 17 |
| 3.2. Curvas de demanda estimada ante abastecimiento las 24 horas del pueblo de Quillagua. . . . .                                                                                       | 23 |
| 3.3. Energía Total sobre un plano inclinado en función del ángulo de inclinación. . . . .                                                                                               | 28 |
| 4.1. Perfil de velocidad unitario (adimensional) por sobre la velocidad a 12 metros de altura(Tabla 4.1) para diferentes alturas y meses del año. . . . .                               | 36 |
| 4.2. Registro de dirección del viento entre el 30 de marzo de 2013 hasta el 29 de marzo de 2014. . . . .                                                                                | 37 |
| 4.3. Velocidad media del viento horaria por mes para una altura de 12 metros. . . . .                                                                                                   | 38 |
| 4.4. Variabilidad en disponibilidad del intensidad de radiación solar sobre un plano a 19° de inclinación hacia el norte. . . . .                                                       | 38 |
| 5.1. Variabilidad porcentual ante la evaluación social del proyecto. . . . .                                                                                                            | 46 |
| 5.2. Disponibilidad mensual para instalación óptima de 45 [kW] y 55 [kW]. . . . .                                                                                                       | 48 |
| 6.1. Flujos de energía recomendado para el pueblo de Quillagua, considerando un abastecimiento constante de energía eléctrica. . . . .                                                  | 50 |

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1. Curva demanda actual estimada durante un año. . . . .                                                                            | 51 |
| 7.2. Curva de demanda futura constante durante un año. . . . .                                                                        | 56 |
| 7.3. Valores del exponente $Z_0$ en función de las condiciones del terreno [27].                                                      | 56 |
| 7.4. Vista satelital de sitio de muestreo de caudal [11]. . . . .                                                                     | 60 |
| 7.5. Velocidades registradas durante el año 2017, promedio diario, mensual<br>y anual para una altura de 12 metros de altura. . . . . | 60 |
| 7.6. Potencial de producción de biogas por animal de crianza [23]. . . . .                                                            | 61 |



# Agradecimientos

Quisiera agradecer el incondicional apoyo que me ha brindado mi familia, pareja, amigos y profesores en mi proceso formativo como persona, cerrando una etapa de este proceso junto con este documento.

*"Puede que yo no pueda cambiar al mundo,  
pero cambiaré la mente de quienes si lo harán"*



# Nomenclatura

|              |   |                                                                                    |
|--------------|---|------------------------------------------------------------------------------------|
| $\%VS$       | : | Porcentaje de Sólidos Volátiles                                                    |
| $\alpha$     | : | Coefficiente de Rugosidad de la Superficie                                         |
| $\alpha_s$   | : | Altitud Solar                                                                      |
| $A_{ps}$     | : | Área de un Panel Solar                                                             |
| $\beta$      | : | Ángulo de inclinación de los paneles foto-voltaicos.                               |
| $c$          | : | Parámetro de escala en función de densidad de probabilidad de velocidad del viento |
| $C_{global}$ | : | Costo Global                                                                       |
| $C_p$        | : | Coefficiente de Potencia                                                           |
| $\delta$     | : | Declinación solar                                                                  |
| $D_{rotor}$  | : | Diámetro del Rotor                                                                 |
| $\Phi$       | : | Zenit Solar                                                                        |
| $\gamma$     | : | Peso específico del agua                                                           |
| $G_T$        | : | Constante Solar                                                                    |
| $h$          | : | Hora Solar                                                                         |
| $H$          | : | Altura de Caída de Agua                                                            |
| $I_{b,i}$    | : | Radiación solar directa en el plano inclinado                                      |
| $I_{b,n}$    | : | Radiación directa normal, proporcionada por la fuente                              |

|                |                                                                                     |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| $I_{d,i}$      | : Radiación solar difusa en el plano inclinado                                      |
| $I_{d,n}$      | : Radiación Solar difusa normal, proporcionada por la fuente.                       |
| $I_{Nom}$      | : Intensidad de corriente Nominal                                                   |
| $I_{r,i}$      | : Radiación solar reflejada en el plano inclinado                                   |
| $I_{T,i}$      | : Radiación Solar Total en el plano inclinado                                       |
| $k$            | : Parámetro de forma en función de densidad de probabilidad de velocidad del viento |
| $L$            | : Latitud                                                                           |
| $\lambda$      | : Longitud                                                                          |
| $m_{comb}$     | : Masa de Combustible                                                               |
| $m_{desechos}$ | : Masa de Desechos                                                                  |
| $N_i$          | : Día del año                                                                       |
| $P$            | : Potencia                                                                          |
| $P_{Nom}$      | : Potencia Nominal                                                                  |
| $P_{ps}$       | : Potencia producida por un Panel Solar                                             |
| $PC_s$         | : Poder Calorífico Superior                                                         |
| $Q$            | : Caudal                                                                            |
| $\rho$         | : Densidad del aire                                                                 |
| $\theta$       | : Ángulo de incidencia.                                                             |
| $V_{Nom}$      | : Diferencia de Potencial Nominal                                                   |
| $Var\%$        | : Variabilidad Porcentual en costo de inversión                                     |
| $V_{E,l}$      | : Volumen de Estiércol Líquido                                                      |
| $V_{ref}$      | : Velocidad del viento de referencia, evaluada a 12 metros de la superficie         |

$V_z$  : Velocidad del Viento a una altura  $z$  determinada

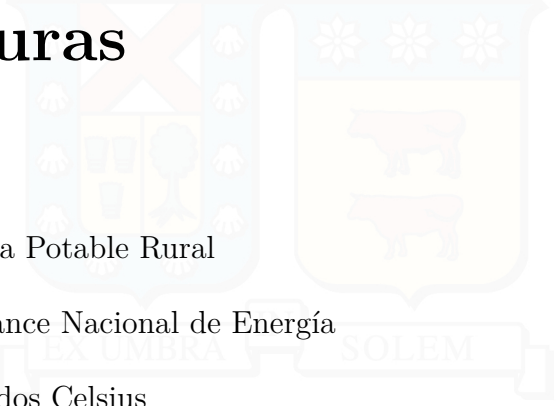
$Y_{biogas}$  : Fracción de biogás

$Z_s$  : Azimut de superficie

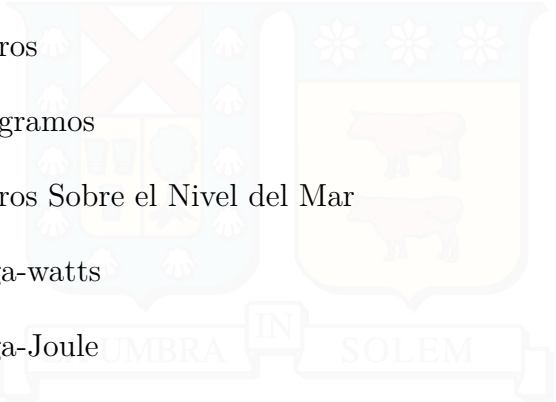
$Z_0$  : Longitud de Rugosidad



# Abreviaturas



|      |   |                                       |
|------|---|---------------------------------------|
| APR  | : | Agua Potable Rural                    |
| BNE  | : | Balance Nacional de Energía           |
| °C   | : | Grados Celsius                        |
| CA   | : | Costos Adicionales                    |
| CC   | : | Costos de Combustible                 |
| CE   | : | Costos de Envío                       |
| CI   | : | Costos de la Instalación              |
| CLP  | : | Pesos Chilenos                        |
| CM   | : | Costos de Mantenimiento               |
| CO   | : | Costos de Operación                   |
| DOH  | : | Dirección de Obras Hidráulicas        |
| ERNC | : | Energías Renovables No Convencionales |
| G.E. | : | Grupo Electrónico                     |
| GLP  | : | Gas Licuado de Petróleo               |
| Hab  | : | Habitantes                            |
| hrs  | : | Horas                                 |
| IMME | : | Ilustre Municipalidad de María Elena  |



|          |   |                               |
|----------|---|-------------------------------|
| kg       | : | Kilogramo                     |
| kW       | : | Kilo-watts                    |
| l        | : | Litros                        |
| m        | : | Metros                        |
| mg       | : | Miligramos                    |
| m.s.n.m. | : | Metros Sobre el Nivel del Mar |
| MW       | : | Mega-watts                    |
| MJ       | : | Mega-Joule                    |
| Pa       | : | Pascal                        |
| s        | : | Segundos                      |
| SSO      | : | Sur Sur Oeste                 |
| TIR      | : | Tasa Interna de Retorno       |
| UAE      | : | Unidad Animal Equivalente     |
| uni      | : | Unidad                        |
| VAN      | : | Valor Actual Neto             |
| Viv      | : | Vivienda                      |
| W        | : | Watts                         |

# 1 | Objetivos

## 1.1. Objetivo general

Establecer una Alternativa de suministro y abastecimiento energético para el pueblo de Quillagua, Comuna de María Elena, Región de Antofagasta, que satisfaga sus necesidades energéticas y presente una eficiencia energética en la zona por medio de fuentes de energías renovables no convencionales (ERNC), las cuales corresponden a: Energía Solar, Energía Eólica y Energía Hidroelectricidad. Posteriormente, evaluar la factibilidad económica de reemplazar el sistema actual de generación de energía eléctrica compuesto por generadores eléctricos en base a combustible diésel por sistemas compuestos de aerogeneradores, mini hidroeléctricas de pasada y paneles fotovoltaicos, complementando con los mecanismos actuales de obtención de energía eléctrica.

## 1.2. Objetivos específicos

- Determinar la situación actual de la localidad respecto a la demanda energética.
- Estimar la disponibilidad energética del recurso eólico, solar, biogás e hidroeléctrico de la zona.
- Proponer estrategias energéticas en base a ERNC, como reemplazo del sistema actual de generación de energía.
- Evaluar económicamente la estrategia definida.

## 2 | Contexto del Estudio

La localidad de Quillagua está ubicada en la Comuna de María Elena, y depende políticamente de la Ilustre Municipalidad de María Elena en la II Región de Antofagasta, Chile, tal como se indican en la figura 2.1 y tabla 2.1.



**Figura 2.1:** Ubicación zona en estudio.

**Tabla 2.1:** Características geográficas de la zona en estudio.

| Latitud ( $L$ ) | Longitud ( $\lambda$ ) | Altitud [m.s.n.m] |
|-----------------|------------------------|-------------------|
| -21,65 °        | 69,52 °                | 805               |

Se encuentra en una zona desértica interior, en un valle de no más de 600 metros de ancho, producto de la presencia del río Loa en la zona, el cual presenta un régimen fluvial de carácter mixto, ya que sus crecidas obedecen a intensas lluvias de verano caídas en la alta cordillera, producto del denominado “Invierno Altiplánico”, produciendo un aumento del caudal del río durante los meses de enero y febrero, comportamiento esquematizado en la figura 2.2, donde el ratio de caudal representa la razón entre el caudal de agua, por sobre el caudal de referencia en el mes de enero.

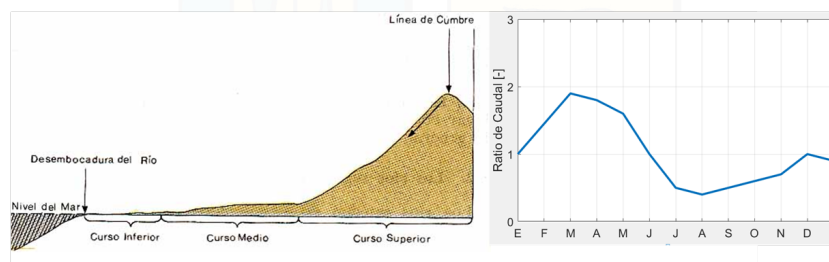


**Figura 2.2:** Esquema Hidrográfico de la zona. A la izquierda, el comportamiento del caudal según la ubicación de la zona y a la derecha, el comportamiento de un régimen pluvifluvial.

En este río crece una gran cantidad de algarrobos y chañares, propiciando el desarrollo de algunas actividades agrícolas orientadas al mercado local y al cultivo de la alfalfa. Dichas actividades se encuentran hoy altamente mermadas y deterioradas debido al incremento en la contaminación de algunos parámetros en el río, por parte de la minería de cobre y salitre que se desarrolla aguas arriba [13].

Producto de las características geográficas en la zona, el río Loa presenta altas concentraciones de arsénico, el cual corresponde a un químico tóxico en concentraciones que pueden estar entre 0,050 y 3 [mg/l]. Por ello, el pueblo cuenta con una red de agua potable abastecida por el Programa de Agua Potable Rural, el cual cumple con la función de realizar un tratamiento de agua para que esta cumpla con las normas de calidad impuestas en la Norma Chilena 409/1 [20].

Actualmente la localidad carece de servicios básicos, situándola dentro de la categoría de una comunidad rural con pobreza multidimensional según el indicador

de vivienda y entorno, pobreza que se encuentra presente en un 6,6 % de la población del país [5], esto dado la carencia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, alcantarillado y abastecimiento de agua potable en forma continua. Esto ha generado una gran preocupación y urgencia para generar programas y proyecto alusivos a regularizar la situación sanitaria del pueblo, como es el caso de poder tener agua potable las 24 horas del día, aumento de la duración del abastecimiento eléctrico diario para satisfacer la necesidad de conectividad e internet. Ya que, al no existir estos recursos básicos ni alternativas de conectividad, han quedado aislados y con la sensación de abandono por parte del municipio.

La presencia de basura y vertederos ilegales representa otra necesidad importante a tratar por el municipio, siendo esta clasificada por un 66,2% de los habitantes de la comuna como un factor significativo a trabajar por parte del municipio dado el desarrollo de plagas de roedores en los lugares donde estos se encuentran ubicados. Actualmente, la recolección de basura se lleva a cabo por parte del municipio, quien recolecta los residuos una vez a la semana, depositándolo en un vertedero legal ubicado a las afueras del pueblo.[13]

La población en estudio, según los registros proporcionados por el Comité de Agua Potable Rural de Quillagua y la Dirección de Obras Hidráulicas [8], se encuentran registradas en tabla 2.2.

**Tabla 2.2:** Resumen de habitantes en el pueblo.

| N° Habitantes Permanentes | N° Viviendas Habitadas | N° Viviendas de Veraneo | Densidad Poblacional de Veraneo [Hab/ Viv] |
|---------------------------|------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|
| 135                       | 70                     | 20                      | 2.5                                        |

## 2.1. Abastecimiento de energía

El análisis del abastecimiento eléctrico se enfocará en tres sistemas: sistema de Agua Potable Rural (APR) o planta de tratamiento de agua potable, necesidades

a nivel de pueblo y áreas comunitarias y, necesidades domésticas, dado que estos concentran subsistemas con métodos de abastecimiento independiente.

### 2.1.1. Sistema APR

Este subsistema comprende la energía requerida para operar la planta de tratamiento de agua de ósmosis inversa e intercambio iónico, la cual presenta un tiempo de operación estándar de 5 horas diarias, entre las 12:00 y las 17:00 hrs, durante las cuales se alimenta un estanque de almacenamiento, el que proporciona agua potable al pueblo durante 6,5 horas al día, aumentando a 10 horas en festividades. La operación en forma perpetua de la planta de potabilización de agua, se encuentra limitada por la potencia proporcionada por la instalación fotovoltaica, sin embargo, el abastecimiento continuo de agua hacia el pueblo se encuentra actualmente limitada por problemas de la instalación de las cañerías y conexiones domiciliarias.

La energía eléctrica es proporcionada por una planta de generación fotovoltaica Off-grid de 31 [kW], compuesta por una estación solar con una superficie total de 200 [ $m^2$ ], la cual esta constituida por 100 paneles en un ángulo de inclinación de  $21^\circ$ , dividida en tres áreas; dos de ellas de 50 [ $m^2$ ] y la otra de 100 [ $m^2$ ]; ubicadas a 1600 metros al sur del pueblo, dada la presencia de una zona arqueológica reconocida como patrimonio cultural de la zona. [8]

### 2.1.2. Domiciliario

Este tipo de consumo abarca aquel realizado en forma independiente según cada vivienda, es decir, independiente de la alimentación proporcionado por la red eléctrica del pueblo, siendo considerados los consumos de energía eléctrica y térmica.

Estas variables, serán evaluadas en base a un estudio de campo realizado con la ayuda de la comitiva APR del pueblo, en la cual, se encuestaron 18 viviendas particulares, la escuela y la posta del poblado, llegando a una representación de 49 personas, equivalentes a un 36.3 % de la población.

### 2.1.2.1. Energía eléctrica

En este punto se estudia la necesidad de formas alternativas de generación de energía eléctrica implementada en forma independiente por cada vivienda, para ello, se realizó un catastro respecto a qué tecnologías son utilizadas por vivienda para complementar la alimentación de energía eléctrica proporcionada por la red eléctrica del pueblo, cuyos resultados se encuentran reflejados en la figura 2.3. Asimismo, la figura 2.4 representa la duración de la utilización de cada una de estas tecnologías.

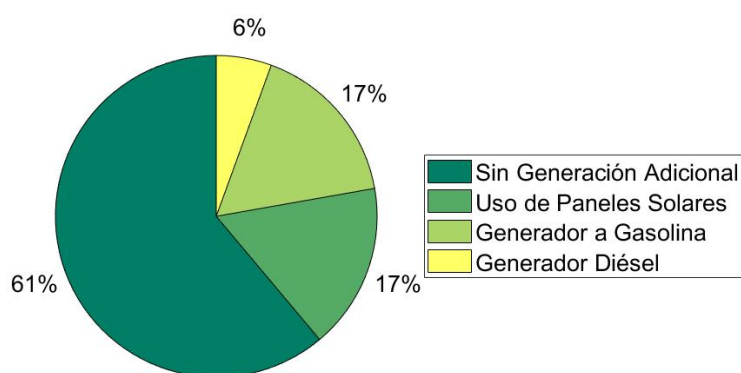


**Figura 2.3:** Catastro de tecnologías adicionales utilizadas para la generación de energía eléctrica en forma independiente a la energía proporcionada por la red del pueblo.

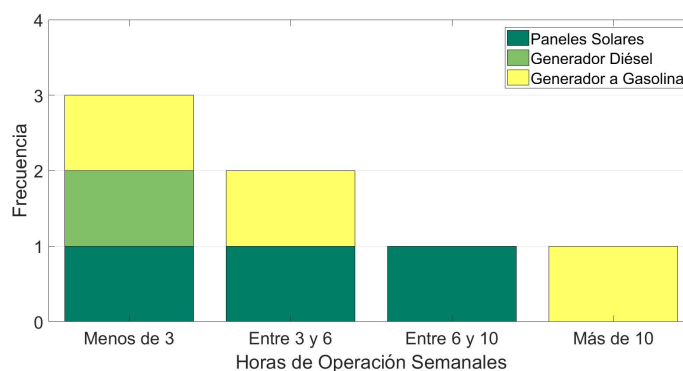


**Figura 2.4:** Tiempo de operación de tecnologías adicionales utilizadas para la generación de energía eléctrica en forma independiente a la energía proporcionada por la red del pueblo.

### 2.1.2.2. Energía térmica

Para este punto se consideraron tres ejes de consumo de energía térmica, cuya estrategia de abastecimiento alternativo se corresponde con la generación de biogás en base a biodigestores domésticos, estudiado posteriormente. Los ejes son los siguientes:

- **Cocina**, en base a la quema de combustibles o recursos alternativos tales como cocinas solar, para suplir necesidades alimentarias a nivel doméstico, de manera de establecer la frecuencia y el tipo de recurso utilizado, así como el costo asociado a esta acción en forma mensual, el que se encuentra representado en la figura 2.5.

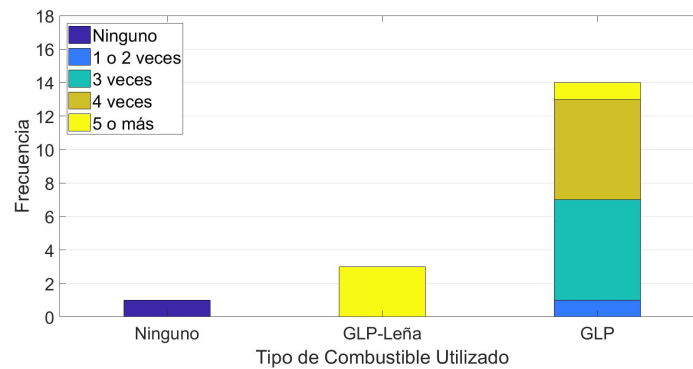


**Figura 2.5:** Combustibles utilizados para cocinar, junto con su frecuencia de consumo a nivel doméstico, en base a resultados de la encuesta realizada.

- **Calefacción**, se centra en la utilización de estufas o medios de calefacción en base a combustibles fósiles o leña.
- **Calderas de agua**, se centra en el consumo de combustible fósiles tal como el GLP o sistemas de colectores solares para suplir necesidades de higiene de los habitantes.

No obstante, para estas últimas dos categorías, no se registraron consumos en la población encuestada, por lo que no serán consideradas como una necesidad a suplir.

### 2.1.3. Comunidad

La alimentación de energía eléctrica al pueblo, es realizada por un grupo de generadores a base de combustible diésel:

- **Generador de 165 [kVA], QAS-165 Volvo**, cuya operación es continua, con un tiempo promedio de operación diaria de 10 horas y 6 minutos.
- **Generador de 150 [kVA], QAS-150 Volvo**, cuya operación se extiende durante el periodo de mantenimiento del generador de 165 [kW], y además en modo compensatorio en la época de máxima demanda energética [1].

Dicho conjunto, presenta un consumo de aproximadamente 187 litros de petróleo diésel diario <sup>1</sup>, cuyo consumo es registrado en forma diaria por el operador de dicho sistema, el cual opera durante las 15:30 a 02:00 hrs con un promedio de 10,11 horas diarias. En festividades, el sistema extiende su operación ocasionalmente hasta las 7:00 hrs. Los domicilios no cuentan con medidores de energía, por lo que no es posible realizar una medición del consumo de cada vivienda y con ello, cuantificar un cobro, siendo este servicio subvencionado en un 100 % por parte de la IMME.

El grupo de generadores se encuentra instalado en una configuración Stand-by, por lo opera solo con un generador, permitiendo el mantenimiento y reparación del otro generador sin interrumpir el servicio proporcionado al pueblo. Gracias a esto, y tras la recopilación de datos obtenidos por la encuesta, no se presentaron interrupciones del servicio durante el último año.

La figura 2.6 representa el consumo instantáneo promedio del grupo electrógeno durante el mes de junio<sup>2</sup>, el cual será considerado como valor de referencia para el estudio de la demanda energética del pueblo.

<sup>1</sup>Valor proporcionado por los registros llevados por la IMME

<sup>2</sup>Valores establecidos del registro llevado por el administrador del grupo electrógeno

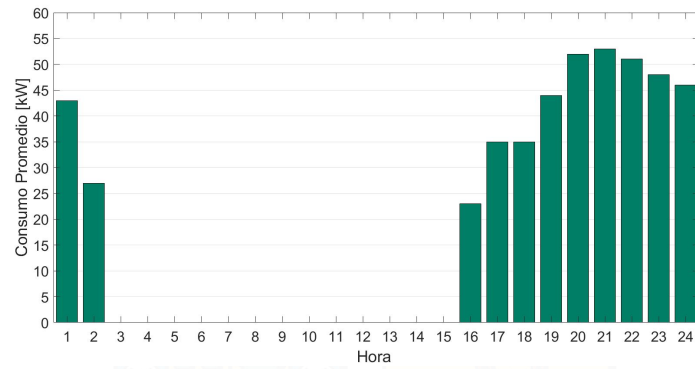


**Figura 2.6:** Consumo instantáneo promedio de equipos electrógenos de suministro energético al pueblo durante el mes de Junio.

### 3 | Metodología

El estudio contempla la evaluación de alternativas para abastecer la demanda de energía global en el pueblo, dentro de la cual se discrimina entre energía eléctrica y energía térmica, cuya distribución actual se encuentra representada en la figura 3.1, utilizando la notación señalada en la tabla 7.1 (Véase sección Anexos).

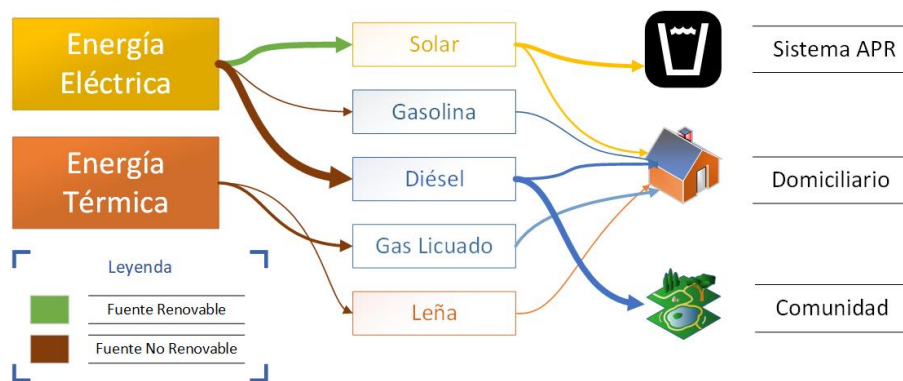


**Figura 3.1:** Esquema resumen de requerimientos energéticos en Quillagua

#### 3.1. Energía térmica

La comparación de este tipo de energía surge a modo de estimar un potencial de biogás que pueda sustituir la quema de combustibles fósiles en actividades domésticas, tales como cocina y calefacción. Para ello, se utilizaron como criterios de estudio a aquellos hogares que cumplen con las siguientes características:

- Disponibilidad de espacio de 12  $[m^2]$ , el cual corresponde al área requerida para la instalación de un pequeño biodigestor en base a desechos ganaderos [23].

- Producción mínima estimada de 759,4 [MJ]<sup>3</sup> de energía mensual por biogás. Valor estimado en base a la ecuación 3.1 y los valores adjuntos en la tabla 3.1.

$$E_{termica} = m_{comb} \cdot PC_s \quad [KJ] \quad (3.1)$$

donde  $m_{comb}$  corresponde a la masa de combustible y  $PC_s$  corresponde al calor específico superior de dicho combustible, el cual sera estimado según los valores estándar descritos en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1:** Extracto de Tabla de Poderes Calóricos utilizados por BNE 2015 [6].

| Combustible             | Poder Calórico Superior | Unidad               |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| Gas Licuado de Petróleo | 50.660                  | [kJ/Kg]              |
| Petróleo Diésel         | 45.640                  | [kJ/Kg]              |
| Biogás <sup>4</sup>     | 23.450                  | [kJ/m <sup>3</sup> ] |

### 3.1.1. Potencial de biogás

Este potencial será evaluado en base a tres fuentes de producción de biogás por medio de la instalación de biodigestores a nivel doméstico. Un biodigestor corresponde a un contenedor cerrado, hermético e impermeable en el cual se deposita materia orgánica para que, producto de la fermentación, produzca un gas rico en metano, generando como subproducto un fertilizante rico en minerales como nitrógeno, fósforo y potasio. Las fuentes para estudiar son:

- **Desechos humanos:** para lo cual se considera como factor crítico, la cantidad de personas que asisten a un determinado lugar. La estimación del recurso se realizará por medio de la ecuación 3.2.

$$V_{Biogás} = m_{desechos} \cdot Y_{Biogás} \cdot \%VS \cdot \left[ \frac{m^3}{día} \right] \quad (3.2)$$

<sup>3</sup>energía estimada producida por el consumo de un balón de 15 [kg] de GLP mensual, representativo de un 83 % de la población entrevistada.

donde  $V_{Biogás}$  corresponde al volumen de biogás generado,  $Y_{Biogás}$  corresponde a la fracción de desechos que biogás generado por kilogramo de desecho, siendo este un valor experimental obtenido por bibliografía [4] y  $\%VS$  corresponde al porcentaje de sólidos volátiles presentes en los desechos.

Dada la baja densidad poblacional, este tipo de fuentes solo es evaluada para satisfacer la demanda de GLP en la escuela del pueblo, la cual registra un total de 35 personas que asisten periódicamente al establecimiento. Las suposiciones utilizadas para la estimación de este recurso son las siguientes:

- Se asume que dos de cada siete de los asistentes realizan sus necesidades en el recinto (dado que la jornada escolar es, en promedio, de 7 horas diarias), de un total .
- Contenido de sólidos volátiles son en promedio un 8 % de los desechos añadidos diariamente[4] [% / kg].
- Producción diaria de 0,15 [kg] de heces y 1,1 [kg] de orina diarios per cápita [14].
- Producción con referencia a un biodigestor de 18 [m<sup>3</sup>] [4] (fracción de biogás de 0,245 [ $m^3/kg \cdot V_{sa}$ ]<sup>5</sup>).

Tras el estudio, se estableció una producción estimada de 0.25 [m<sup>3</sup>/ día], equivalente aproximadamente a 176 [MJ] por mes, siendo insuficiente bajo el criterio planteado.

- **Desechos agrícolas**, para lo cual se consideró los desechos producto de la actividad agrícola en la zona, utilizando como criterio de selección para optar al aprovechamiento de esta fuente a aquellos hogares que ejerzan dicha actividad. Tras el estudio de campo, no se apreció población que fuera candidata para el estudio bajo este criterio.

<sup>5</sup>Sólidos volátiles añadidos, valor de bibliografía [4]

- **Desechos animales**, la base de este cálculo busca satisfacer una producción de 25,3 [MJ/día] (equivalente a 759,4 [MJ] mensual) a base de purines producidos por la actividad ganadera y avícola de la zona en base a la tabla 7.6 (Véase Anexos) utilizando la ecuación 3.3. Estableciendo como criterio una producción mínima diaria de 1,08 [m<sup>3</sup>/día].

$$V_{biogas} = \sum_i^n n_{animales} \cdot UAE_{animal} \cdot V_{E,l} \left[ \frac{m^3}{día} \right] \quad (3.3)$$

donde  $UAE_{animal}$  corresponde a las unidades de ganado equivalente de dicho animal (tabla 7.6),  $V_{E,l}$  es el volumen de estiércol líquido.

Tras el análisis de los datos recopilados en la encuesta, no se detectaron candidatos que cumplieran con la producción estimada diaria mínima requerida, siendo 0,314 [m<sup>3</sup>/día] la mayor producción calculada, por lo que este método no se continuará estudiando como un método de satisfacer la demanda energética.

## 3.2. Energía Eléctrica

El estudio abarca dos comportamientos de demanda: demanda actual anual, considerando como referencia la figura 2.6 y su comportamiento anual estimado, y una demanda futura constante, en la cual se considerando una alimentación de 24 horas de energía eléctrica a la red del pueblo.

### 3.2.1. Variabilidad de la demanda

A modo de mejorar las estimaciones realizadas, se establecieron dos tipos de variabilidad que modificarán la demanda de energía durante el año, trabajándose en base a promedios horarios por cada día.

#### 3.2.1.1. Variabilidad diurna

Este tipo de variabilidad, surge de las diferencias entre días hábiles y no hábiles, es evaluada para cada día de la semana en base a la tabla 7.4 (Véase Anexos) de

la sección de anexos y la demanda media para cada situación. Los valores fueron calculados en base a la información proporcionada por los operadores del grupo electrógeno.

#### 3.2.1.2. Variabilidad estacional

Esta considera la variación poblacional ante diferentes meses del año, representando las variaciones producidas por el comienzo del periodo de vacaciones escolares y festividades. Se considera como referencia la demanda durante el mes de junio y se amortiza según la duración de cada mes, los valores utilizados fueron estimados en base a la apreciación de los habitantes permanentes del pueblo, por medio de la ecuación 3.4 y se encuentran señalados en la tabla 7.5 de la sección de anexos.

$$Consumo_{mes} = Consumo_{estandar} \cdot \left(1 + \frac{2,5 \cdot P_{\%}}{135}\right) \quad [W] \quad (3.4)$$

donde  $P_{\%}$  corresponde al porcentaje de viviendas con habitantes no permanentes habitadas durante estas fechas, y  $Consumo_{estandar}$  corresponde a la curva de demanda definida como referencia (mes de junio).

#### 3.2.2. Estimación de demanda actual

El comportamiento de dicha demanda utiliza como referencia el valor promedio de demanda del mes de junio, representado en la figura 2.6. Utilizando esta como referencia se evalúa la estimación de los consumos reconstruyendo dicha curva en la figura 3.2 y cuyo detalle se encuentra adjunto en la tabla 7.11 (Véase Anexos).

#### 3.2.3. Estimación de demanda futura constante

La estimación de esta demanda se efectúa estimando un aumento en la cantidad de cada equipo electrónico presente en el pueblo, cuya cantidad estimada se encuentra reflejada en la tabla 7.9, cuya distribución diaria se realizó utilizando las siguientes consideraciones:

- 1.- Red de alumbrado público de 132 focos, con un consumo unitario de 70 [W], encendidos entre las horas 19 (aproximadamente las 18:40), hasta la hora 7 del día posterior (7:00 hrs).
- 2.- La alimentación de agua al pueblo continúa operando en el mismo horario, es decir, entre las horas 9 y 15 (desde las 8:00 y las 14:00 hrs).
- 3.- Consumo constante de decodificadores de TV, refrigeradores y conservadoras, con una densidad aproximada de una unidad de cada equipo por vivienda.
- 4.- Uso de Lavadoras y planchas mayoritariamente entre las 10:00 y las 15:00 hrs.
- 5.- Valores Peaks de demanda en el horario previo al inicio de la jornada laboral y escolar (entre 6:00 y 7:00 hrs), horario de alimentación de agua al pueblo, principalmente por las labores domésticas, y en horario nocturno entre las 18:30 y las 22:00 hrs, dado el horario de reuniones familiares (Cena).
- 6.- Disminución del consumo matutino (hora 6, 7 y 8), en periodos de vacaciones escolares, con fechas estimadas; 12 de diciembre a 5 de marzo vacaciones de verano y del 11 al 29 de julio vacaciones de invierno.
- 7.- Disminución porcentual de un 15 % de la actividad matutina (horas 6, 7 y 8) producto de día no hábil.
- 8.- En base a la encuesta utilizada, se registra la presencia de trabajadores en casa en un 38,9 % de las viviendas encuestas y la presencia de jubilados en un 11,1 % de estas.
- 9.- Aumento de las densidades de equipos señaladas en la tabla 7.6 considerando un consumo por equipo señalada en la tabla 7.9.

El comportamiento de esta curva se encuentra reflejado en la figura 3.2, cuyo detalle se encuentra representado en la tabla 7.10.

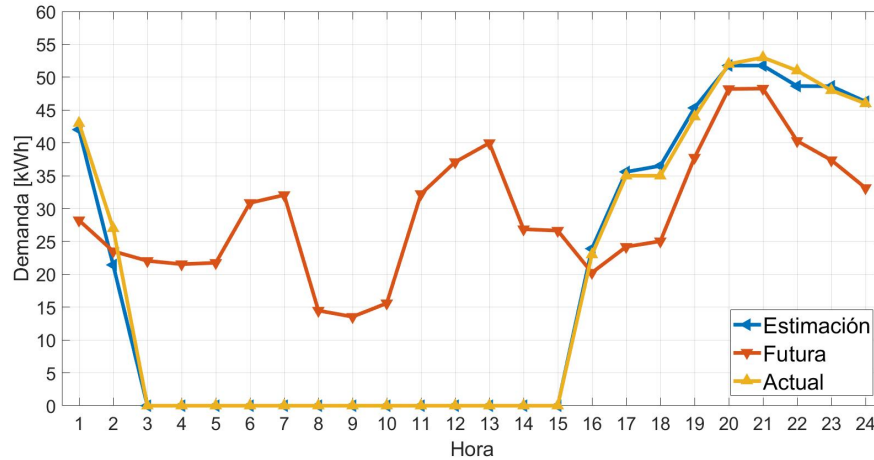


**Figura 3.2:** Curvas de demanda estimada ante abastecimiento las 24 horas del pueblo de Quillagua.

**Tabla 3.2:** Características geográficas de las estaciones de mediciones disponibles por explorador solar.

|                     | Pozo Almonte | Cruceros II | Salar (Chuquicamata) | Quillagua |
|---------------------|--------------|-------------|----------------------|-----------|
| Latitud:            | -20,26       | -22,27      | -22,34               | -21,65    |
| Longitud:           | -69,78       | -69,57      | -68,88               | -69,52    |
| Elevación:          | 1024 [m]     | 1183 [m]    | 2407 [m]             | 805 [m]   |
| Fecha de Mediciones | 2008 - 2018  | 2012 - 2018 | 2010 - 2012          | -         |

### 3.3. Potencial energético disponible

A continuación, se evalúa la disponibilidad energética respecto a ERNC disponibles en la zona, como lo son las energías eólicas, solar e hidroeléctrica de pasada. La base de datos utilizadas, tanto para el recurso eólico como solar, está constituida por mediciones registradas por el portal explorador solar [18] utilizando de referencia la estación Cruceros II dada su cercanía con el pueblo y su disponibilidad de datos para efectuar un análisis con promedios horarios (tabla 3.2), mientras que el recurso hidroeléctrico fue estimado utilizando el registro disponible por DAANC [11]<sup>6</sup>.

Como parte del estudio, se estudia las disponibilidades en forma horaria de cada uno de los recursos; esto, dado la presencia de 2 variabilidades significativas, tanto

<sup>6</sup>Derechos de Aprovechamiento de Aguas No Consuntivas

para el recurso eólico como solar.

- **Variabilidad diurna:** Variabilidad derivada de las diferencias entre el día y la noche, producto de las variaciones de temperatura y presencia o ausencia de luz solar.
- **Variabilidad estacional:** Esta deriva de la variación producida durante el ciclo de rotación de la tierra, siendo factor importante dentro de la disponibilidad mensual de cada uno de los recursos, respecto a las horas de luz solar y corrientes naturales de viento del planeta.

### 3.4. Potencial eólico

El estudio de este recurso busca establecer características del terreno, así como del comportamiento del viento respecto a la dirección, variabilidad y velocidad.

#### 3.4.1. Perfil de velocidad del viento

La estimación del perfil de velocidad vertical del viento, será evaluado en base al modelo de Perfil Exponencial (ecuación 3.5), permitiendo extrapolar la velocidad del viento a diferentes alturas en forma experimental al contar con, al menos una observación de velocidad a una altura constante durante un periodo de un año, así como conocimiento respecto a las características de la geografía física de la zona, para establecer el coeficiente de rugosidad de la superficie ( $\alpha$ ), el cual no corresponde a un valor constante [10].

$$\frac{V_z}{V_{ref}} = \left( \frac{z}{z_{ref}} \right)^\alpha \quad (3.5)$$

donde  $V_z$  corresponde a la velocidad del viento a una determinada altura  $z$  mientras que  $V_{ref}$  es la velocidad del viento medida en una altura de referencia  $z_{ref}$ , siendo esta última de 12 metros de altura.

La evaluación se realiza dentro de los 100 metros sobre la superficie, en la denominada capa límite atmosférica, estableciendo los valores de  $\alpha$  representativo de cada mes considerando la ecuación 3.6, donde  $V_z$  corresponden a las velocidades registradas a 6 metros de altura por la misma estación. [10].

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{V_z}{V_{ref}}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_{ref}}\right)} \quad [-] \quad (3.6)$$

En forma adicional, se establece el valor de la altura o longitud de rugosidad  $Z_0$ , la cual refleja la altura desde el suelo donde la velocidad del viento es teóricamente cero, como una característica relevante de la zona [10].

$$Z_0 = \exp\left[\ln(z_{ref} \cdot z) + \left(\frac{2}{\alpha}\right)\right] \quad [-] \quad (3.7)$$

### 3.4.2. Función de densidad de probabilidad para la velocidad del viento

La disponibilidad del viento ante un determinado rango de velocidades es evaluado considerando una distribución teórica de velocidades como una variable aleatoria de comportamiento Weibull [12], la cual es evaluada con las velocidades estimadas a las diferentes alturas de instalación de las turbina eólicas, utilizando un nivel de confianza de un 5 % para los parámetros de dicha función.

$$f_{(v,k)} = \frac{k}{c} \cdot \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]} \quad (3.8)$$

donde  $v$  corresponde a la velocidad,  $c$  corresponde a un parámetro de escala y  $k$  es un parámetro de forma.

La dirección preferente del viento es evaluada a través de un Diagrama de rosa de los vientos, el cual será posteriormente establecido (figura 4.2).

### 3.4.3. Potencial eólico disponible

La determinación del potencial eólico disponible, se realizará por medio de la ecuación 3.9 donde  $\rho$  corresponde a la densidad del aire [ $kg/m^3$ ],  $S$  la superficie captada por las aspas del aerogenerador [ $m^2$ ] y  $C_p$  el coeficiente de potencia, el cual representa el porcentaje útil de la energía transportada por el viento, cuyo valor máximo, según la Ley de Betz, alcanza un valor máximo de 59 % de la energía que transporta el viento [22].

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3 \cdot C_p \quad [kW] \quad (3.9)$$

A modo de mantener una estimación estándar, se asumirá un valor de  $C_p$  constante para cada máquina eólica, estimando el factor equivalente a la multiplicación de  $C_p$  y  $\rho$  en base a la información proporcionada por el fabricante y el despeje de la ecuación 3.9.

$$C_p \cdot \rho = \frac{8 \cdot P_{Nom}}{\pi \cdot D_{rotor}^2 \cdot v_{Nom}^3} \quad \left[ \frac{kg}{m^3} \right] \quad (3.10)$$

### 3.4.4. Tecnologías eólicas a evaluar

Los equipos eólicos a evaluar serán de eje horizontal y tripala rápido, con perfil alar, dado que estas corresponden a las principalmente utilizadas para la generación de energía eléctrica en sistemas aislados o remotos, siendo capaces de alcanzar a su vez un mayor rendimiento máximo, a diferencia de los otros tipos de generadores de eje horizontal [19], sin acumulación por baterías, lo cual aumenta altamente el costo del sistema, los cuales se encuentran detallados en la tabla 3.3 <sup>7</sup>.

<sup>7</sup>Se considera de base el valor del dolar observado el día 28 de septiembre de 2018, el cual equivale a \$661.5

**Tabla 3.3:** Comparación de datos técnicos de equipos de generación eólica, proporcionados por fabricantes (Véase Anexos).

|                      | Unidad               | Huaya                                              | Allrun                                   |
|----------------------|----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Potencia Nominal     | [kW]                 | 30                                                 | 3                                        |
| Velocidad Nominal    | [m/s]                | 12                                                 | 10                                       |
| Velocidad de Partida | [m/s]                | 3                                                  | 3                                        |
| Velocidad Máxima     | [m/s]                | 30                                                 | 30                                       |
| Altura de la torre   | [m]                  | 15                                                 | 8                                        |
| Cantidad de Aspas    | -                    | 3                                                  | 3                                        |
| Diámetro del Rotor   | [m]                  | 12                                                 | 5                                        |
| Costo equipo         | [\$/uni]             | 6.085.800                                          | 2.063.880                                |
| Costo de envío       | [\$/uni]             | 12.568.500                                         | 155.452                                  |
| $C_P \cdot \rho$     | [kg/m <sup>3</sup> ] | 0,3070                                             | 0,3056                                   |
| Compañía             | -                    | Qingdao Henryd<br>Wind Power<br>Equipment Co., Ltd | Qingdao Allrun<br>New Energy Co.,<br>Ltd |

### 3.5. Potencial solar

La medición del recurso solar, se realiza estimando el comportamiento de la radiación en un plano inclinado considerando un modelo isotrópico, según metodología descrita en la literatura [15]. Para el cual se cuenta con el registro de mediciones respecto a[18]:

- Radiación solar global horizontal  $I_{g,n}$
- Radiación directa normal  $I_{b,n}$
- Radiación solar difusa  $I_{d,n}$

#### 3.5.1. Radiación solar en el plano inclinado

Esta se define como la cantidad de radiación sobre una instalación inclinada, para la cual se considera una instalación en dirección norte, que maximice la radiación

total durante el año, según la ecuación 3.11. La radiación reflejada será despreciada dada su dificultad de estimación de albedo y su baja proporción respecto a las otras radiaciones incidentes, manteniendo un valor más conservador de la radiación total.

$$I_{T,i} = I_{b,i} + I_{d,i} \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (3.11)$$

donde los subíndices  $i$  corresponde a la radiación sobre un plano inclinado,  $T$  la radiación total, a su vez, el comportamiento de cada tipo de radiación se encuentra esta dada por:

$$I_{b,i} = I_{b,n} \cdot \cos \theta = I_{b,n} \cdot (\sin(L + \beta) \cdot \sin(\delta) + \cos(L + \beta) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(h)) \quad (3.12)$$

$$I_{d,i} = I_{d,n} \cdot \left( \frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right) \quad (3.13)$$

con  $\beta$ ,  $L$ ,  $\delta$ ,  $h$  los ángulos que describen la inclinación del plano, latitud, declinación solar y hora solar respectivamente.

En base a esto, se utiliza para el análisis posterior un ángulo de inclinación óptimo<sup>8</sup> para la instalación de 19° respecto a un plano horizontal en dirección hacia el norte, dado que este maximiza la cantidad total de energía anual recibida según se muestra en la figura 3.3.

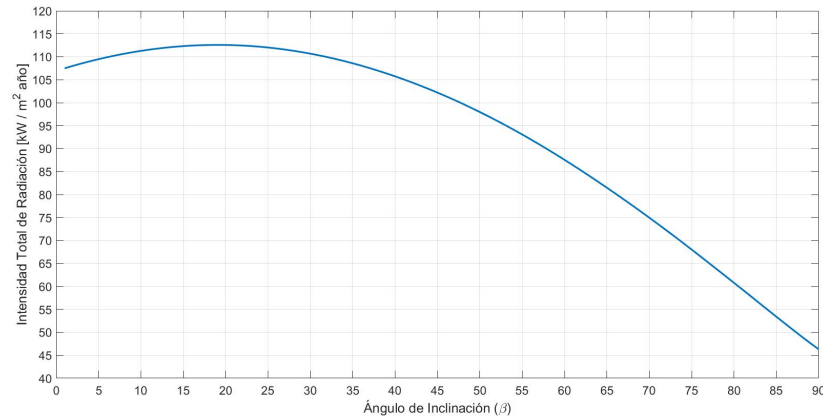


**Figura 3.3:** Energía Total sobre un plano inclinado en función del ángulo de inclinación.

<sup>8</sup>Optimizado utilizando un programa desarrollado en Matlab.

### 3.5.2. Potencial solar disponible

La estimación de este potencial, considera una eficiencia constante  $\eta_{ps}$  para cada sistema solar cotizado, la cual se encuentra dada por la ecuación 3.14, donde  $V_{Nom}$  corresponde a la tensión nominal,  $A_{ps}$  es el área del panel e  $I_{Nom}$  es la corriente nominal del panel, siendo estos 3, valores proporcionados por el proveedor, mientras que  $G_T$  es la constante de 1.000 [W/m<sup>2</sup>] y temperatura de la celda de 25°C [15].

$$\eta_{ps} = \frac{V_{Nom} \cdot I_{Nom}}{G_T \cdot A_{ps}} \quad [-] \quad (3.14)$$

Posteriormente, la energía disponible a aprovechar por medio de un equipo de paneles solares fotovoltaicos, estará dado por la ecuación 3.15.

$$P_{ps} = \eta_{ps} \cdot I_{T,i} \cdot A_{ps} \quad [kW] \quad (3.15)$$

### 3.5.3. Tecnología solar a evaluar

Los sistemas a evaluar consideran la conexión de los paneles solares en configuración On-Grid, por lo que no serán evaluados equipos que incorporen sistemas de baterías para el almacenaje de energía.

Para estos se considera una eficiencia constante, independiente de la cantidad de radiación captada, temperatura ambiente o humedad ambiental, las especificaciones técnicas de los conjuntos solares a comparar se encuentran señalados en la tabla 3.4. El costo de envío sera evaluado en función de la cantidad de dichos paneles utilizados, ya que este se encuentra asociado al volumen transportado por rampa.

## 3.6. Potencial hidroeléctrico

En este se evalua la capacidad de instalación de un sistema microhidráulico de pasada, los cuales en una gama típica de aplicación de entre los 5 [kW] a los 100 [kW]

**Tabla 3.4:** Datos técnicos de equipos de paneles solares fotovoltaicos.

|                             | Unidad            | Sun<br>Energy<br>(300 W) | Sun<br>Energy<br>(600 W) | JXSOL     |
|-----------------------------|-------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| <b>Cantidad de paneles</b>  | [-]               | 1                        | 2                        | 20        |
| <b>Potencia nominal</b>     | [W]               | 300                      | 600                      | 250       |
| <b>Potencia máxima</b>      | [W]               | 320                      | 640                      | 325       |
| <b>Área</b>                 | [m <sup>2</sup> ] | 1,94432                  | 1,94432                  | 1,6269    |
| <b>Eficiencia</b>           | [%]               | 15,43                    | 15,43                    | 15,36     |
| <b>Costo</b>                | [\$/uni]          | 396.000                  | 664.000                  | 1.632.402 |
| <b>Costo de instalación</b> | [\$/uni]          | 39.000                   | 89.000                   | 300.000   |
| <b>Total</b>                | [\$/uni]          | 435.000                  | 753.000                  | 1.932.402 |
| <b>Marca</b>                | -                 | Canadian<br>Solar        | Canadian<br>Solar        | JXSOL     |

de potencia instalada, son consideradas como microcentrales (tabla 7.2 sección de Anexos). La potencia estimada de un flujo se realiza por medio de la ecuación 3.16.

$$P_{Teórica} = \gamma \cdot Q \cdot H \quad [kW] \quad (3.16)$$

donde  $\gamma$  corresponde al peso específico del agua,  $Q$  al caudal captado para la instalación hidroeléctrica y  $H$  la altura de la caída del agua.

La potencia estimada utilizada tiene como registro la figura 7.4, donde se registro un caudal constante de 0,01 [m<sup>3</sup>/s] a lo largo de todo el año (tabla 7.3). Sin embargo, dado el bajo caudal registrado, junto con su disminución de flujo en los últimos años, se pretende no evaluar la instalación de uno de estos sistemas con solución actual de abastecimiento.

### 3.7. Análisis económico

El análisis económico se centra en determinar las configuraciones que presenten un mayor ahorro global ( $Ahorro_{Global}$ ), el cual se entiende como la diferencia entre

el costo de alimentación energética al pueblo utilizando únicamente los generadores diésel  $C_{Global_{G.E.}}$  menos el costo de la alimentación eléctrica al incorporar una planta en base a ERNC  $C_{Global_{Planta}}$ , siendo calculado por la ecuación 3.17. Nótese que valores positivos de estos parámetros, señalarían que es menos cara la alimentación utilizando únicamente los generadores diésel por sobre la incorporación de una planta de generación de energías limpias.

$$Ahorro_{Global} = C_{Global_{G.E.}} - C_{Global_{Planta}} \quad (3.17)$$

Dicha configuración se realiza utilizando dos alternativas de evaluación de proyecto, las cuales son estudiadas para satisfacer la actual demanda energética del pueblo, y en forma adicional, satisfacer una posible demanda futura constante (señalada en la sección 3.3).

- **Evaluación privada del proyecto:** Este busca determinar la viabilidad del proyecto desde el punto de vista de los intereses de los inversores y accionistas, basado en un análisis de costo-beneficio considerando el costo de oportunidad deseado por el inversionista, el cual suele ser mayor al utilizado en las evaluaciones sociales. En este caso se considerará una tasa de descuento del 15 % anual, cuya determinación fue establecida dado que corresponde a 5,1 veces la tasa de descuento ofrecida por los bonos del Banco Central de Chile [3], siendo una buena tasa considerando el riesgo del proyecto al asumir que la población en el pueblo no aumentará producto de los nuevos recursos proporcionados.
- **Evaluación social del proyecto:** Si bien, al igual que la evaluación por parte de privados busca establecer la opción que proporcione un mayor beneficio, en este tipo de evaluaciones se consideran los efectos para la sociedad en conjunto, transformándolo en un análisis de gran relevancia, dado la naturaleza social del proyecto y el rol que cumple el municipio de la comuna. En este caso se considera una tasa de descuento del 6 % anual [17].

La evaluación de proyectos es realizada utilizando un horizonte de tiempo de 20 años.

Desde los costos mensuales actuales de producción de energía eléctrica se desglosan tres puntos, los cuales corresponden a mantención, operación y suministros de combustible, tal como se muestra en la tabla 3.5

**Tabla 3.5:** Tabla de costos mensuales actuales de funcionamiento de grupo electrógeno.

| Costo mantención | Costo de operación | Costo de combustible | Costo total actual |
|------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| \$ 981.750       | \$ 650.010         | \$ 3.371.610         | \$5.003.370        |

### 3.7.1. Tasa de descuento

La tasa de descuento representa la tasa de oportunidad, es decir, el rendimiento mínimo que se espera generar [21]. Si bien es diferente según el accionista o inversionista, en esta ocasión se utilizarán los valores registrados en la tabla 3.6.

**Tabla 3.6:** Tasas de descuento utilizadas para el estudio.

|                | Tasa de descuento mensual | Tasa de descuento anual |
|----------------|---------------------------|-------------------------|
| <b>Privado</b> | 0,012                     | 0,15                    |
| <b>Social</b>  | 0,005                     | 0,06                    |

### 3.7.2. Evaluación del costo global

El costo global de cada proyecto se obtiene evaluando los costos mensuales y anuales como un valor presente, utilizando la ecuación 3.18, considerando los gastos asociados a 20 años de cada proyecto, en base a la ecuación 3.19, donde en cada ítem se abarcan los siguientes puntos:

$$VP = Cuota \cdot \left( \frac{(1+i)^n - 1}{(1+i)^n \cdot i} \right) \quad (3.18)$$

donde  $VP$  corresponde al valor total de un determinado ítem de gasto durante todo el periodo de evaluación,  $Cuota$  corresponde al gasto efectuado periódicamente,  $n$  es la cantidad de periodos de capitalización para dicho ítem e  $i$  es la tasa de descuento a utilizar.

$$Costo_{global} = CI + CM + CE + CO + CC + CA \quad (3.19)$$

- **Costo de instalación ( $CI$ ):** estos consideran el costo de los equipos a instalar, su instalación, incluyendo los costos de llegada al país del producto.
- **Costo de envío ( $CE$ ):** estos comprenden el transporte dentro de Chile de los equipos a instalar, para el cual se realizaron las siguientes estimaciones:
  - Costo de traslado por pesaje para los aerogeneradores y set JXSON, con un valor de \$1.200.000, más un seguro de \$100.000 por cada equipo, ante algún destrozo durante el transporte.
  - Costo de envío por volumen para los sistemas de paneles fotovoltaicos, con un valor de \$500.000 por rampa, en la cual se puede transportar una cantidad de 12 paneles solares más accesorios.

La base de la estimación se funda en el manejo de información proveniente de cotizaciones reales en dichas condiciones.

- **Costo de mantenimiento ( $CM$ ):** incorpora los costos de mantención anual de cada uno de los tres subsistemas utilizados en el estudio, para el cual se consideró un costo de un 2 % de la instalación eólicos anualmente [2], 1 % del costo de la instalación de los equipos solares anualmente [25] y un costo proporcional al porcentaje de demanda que el generador diésel deberá satisfacer, esto dado que la mantención de este se realiza en función de la cantidad de horas de uso de dicho equipo.
- **Costo de operación ( $CO$ ):** este considera el sueldo de la mano de obra encargada del control y accionamiento del grupo de generadores, para el cual se consideró un costo de operación mensual de \$860.000, para mantener un operador del sistema híbrido planteado como alternativa ante la actual demanda de energía, mientras que un monto de \$1.300.020 ante el análisis de una demanda futura de consumo constante.

- **Costo de combustible ( $CC$ ):** este considera el costo del combustible ante las horas de operación complementarias del grupo electrógeno, siendo proporcional al nivel de demanda que el grupo de generadores proporcionaría de energía al pueblo.
- **Costos adicionales ( $CA$ ):** en estos se encuentran los costos asociados al cercado del terreno (\$115.042 por metro), el cual es proporcional al tamaño de la instalación, construcción de caminos e instrumentación varia requerida para la instalación de algunos de estos sistemas, cuyo desglose se señala en la tabla 3.7.

**Tabla 3.7:** Costos adicionales fijos considerados ante la incorporación de tecnologías de abastecimientos.

| Costos adicionales      | Unidad                | Valor Unitario | Cantidad     | Total                |
|-------------------------|-----------------------|----------------|--------------|----------------------|
| Alumbrado solar         | Kit                   | \$2.100.000    | 2            | \$4.200.000          |
| Herramientas            | Mes                   | \$250.000      | 2            | \$500.000            |
| Movilidad               | Mes                   | \$812.500      | 2            | \$1.624.000          |
| Maquinaria              | Mes                   | \$625.000      | 2            | \$1.250.000          |
| Preparación del terreno | 240 [m <sup>2</sup> ] | \$8.000.000    | 6            | \$48.000.000         |
| Estudio arqueológico    | Estudio               | \$15.000.000   | 2            | \$30.000.000         |
| Cableado                | 80 [m]                | \$340.000      | 12,5         | \$4.250.000          |
| Capacitación            | Mes                   | \$1.000.000    | 1,5          | \$1.500.000          |
| Estudios adicional      | Estudio               | \$2.500.000    | 1            | \$2.500.000          |
| Varios                  | -                     | \$10.000.000   | 1            | \$10.000.000         |
|                         |                       |                | <b>Total</b> | <b>\$103.825.000</b> |

Una vez establecidas las configuraciones de máximo ahorro, y a modo de profundizar el análisis económico, se evaluarán los siguientes indicadores económicos sobre las configuraciones propuestas:

- **Valor actual neto:** corresponde a la diferencia entre el valor actual de los beneficios brutos y el valor actual de los costos y las inversiones, se encuentra definido por la ecuación 3.20, siendo el indicador de la riqueza adicional que se

consigue con el proyecto sobre la mejor alternativa [21].

$$VAN = \sum_{k=1}^n \frac{Flujo_k}{(1+i)^k} \quad (3.20)$$

donde *Flujo* representa el valor neto anual de ganancia percibida en un año de operación, *i* corresponde a la tasa de descuento y *k* es el año de generación de dicho flujo.

Se aceptará aquel proyecto que presente el mayor VAN.

- **Tasa interna de retorno:** podemos definirla de manera “operativa”, como aquella tasa que hace al VAN igual a cero. El criterio de decisión es no rechazar los proyectos donde la tasa de costo de capital o tasa de descuento es menor que la TIR [21].

## 4 | Análisis de resultados

A continuación, se señalan los valores de disponibilidad energética para cada una de las fuentes previamente señaladas.

### 4.1. Disponibilidad eólica

#### 4.1.1. Perfil de velocidad del viento

Tras simular el Modelo de Perfil Exponencial (véase sección 3.4.1), se establece la figura 4.1 que representa el comportamiento de la velocidad del viento ante la variación de velocidades, utilizando como referencia los parámetros señalados en la tabla 4.1.

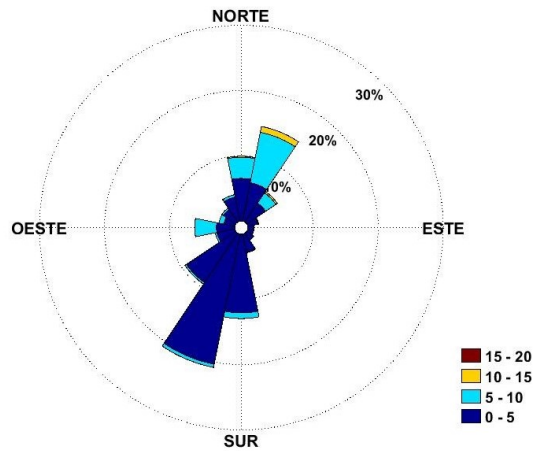
|     |       |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           |
|-----|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 5   | 0.809 | 0.792   | 0.804 | 0.802 | 0.791 | 0.781 | 0.782 | 0.799  | 0.81       | 0.81    | 0.82      | 0.822     |
| 10  | 0.957 | 0.953   | 0.956 | 0.955 | 0.952 | 0.95  | 0.95  | 0.954  | 0.957      | 0.957   | 0.959     | 0.96      |
| 15  | 1.056 | 1.061   | 1.057 | 1.058 | 1.062 | 1.065 | 1.065 | 1.059  | 1.055      | 1.055   | 1.052     | 1.051     |
| 20  | 1.132 | 1.146   | 1.136 | 1.137 | 1.147 | 1.155 | 1.155 | 1.14   | 1.131      | 1.131   | 1.123     | 1.121     |
| 25  | 1.195 | 1.216   | 1.201 | 1.203 | 1.218 | 1.23  | 1.229 | 1.207  | 1.193      | 1.193   | 1.181     | 1.178     |
| 30  | 1.249 | 1.276   | 1.257 | 1.26  | 1.279 | 1.295 | 1.294 | 1.264  | 1.247      | 1.247   | 1.231     | 1.228     |
| 35  | 1.297 | 1.329   | 1.306 | 1.31  | 1.333 | 1.352 | 1.351 | 1.315  | 1.294      | 1.294   | 1.275     | 1.271     |
| 40  | 1.339 | 1.378   | 1.35  | 1.355 | 1.381 | 1.404 | 1.403 | 1.361  | 1.336      | 1.336   | 1.315     | 1.309     |
| 45  | 1.378 | 1.421   | 1.391 | 1.396 | 1.426 | 1.452 | 1.45  | 1.403  | 1.374      | 1.374   | 1.35      | 1.344     |
| 50  | 1.414 | 1.462   | 1.428 | 1.433 | 1.467 | 1.496 | 1.494 | 1.441  | 1.41       | 1.41    | 1.383     | 1.376     |
| 55  | 1.447 | 1.499   | 1.462 | 1.468 | 1.505 | 1.536 | 1.535 | 1.477  | 1.442      | 1.442   | 1.413     | 1.406     |
| 60  | 1.478 | 1.534   | 1.494 | 1.5   | 1.54  | 1.574 | 1.573 | 1.51   | 1.473      | 1.473   | 1.442     | 1.433     |
| 65  | 1.507 | 1.567   | 1.524 | 1.531 | 1.574 | 1.61  | 1.608 | 1.541  | 1.502      | 1.501   | 1.468     | 1.459     |
| 70  | 1.534 | 1.599   | 1.553 | 1.56  | 1.605 | 1.644 | 1.642 | 1.571  | 1.529      | 1.528   | 1.493     | 1.484     |
| 75  | 1.56  | 1.628   | 1.58  | 1.587 | 1.635 | 1.677 | 1.675 | 1.599  | 1.554      | 1.554   | 1.516     | 1.507     |
| 80  | 1.585 | 1.656   | 1.605 | 1.613 | 1.664 | 1.708 | 1.705 | 1.625  | 1.579      | 1.578   | 1.539     | 1.529     |
| 85  | 1.608 | 1.683   | 1.63  | 1.638 | 1.691 | 1.737 | 1.735 | 1.651  | 1.602      | 1.602   | 1.56      | 1.55      |
| 90  | 1.631 | 1.709   | 1.653 | 1.662 | 1.717 | 1.765 | 1.763 | 1.675  | 1.624      | 1.624   | 1.581     | 1.57      |
| 95  | 1.652 | 1.734   | 1.675 | 1.685 | 1.742 | 1.792 | 1.79  | 1.699  | 1.645      | 1.645   | 1.6       | 1.589     |
| 100 | 1.673 | 1.758   | 1.697 | 1.707 | 1.767 | 1.818 | 1.816 | 1.721  | 1.666      | 1.665   | 1.619     | 1.607     |
|     | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |

**Figura 4.1:** Perfil de velocidad unitario (adimensional) por sobre la velocidad a 12 metros de altura(Tabla 4.1) para diferentes alturas y meses del año.

**Tabla 4.1:** Valores de características geográficas de la zona utilizadas para la estimación del perfil de velocidad vertical del viento.

|                | Coeficiente de rugosidad $\alpha$ [-] | Longitud de rugosidad $Z_0$ [-] | Velocidad promedio del viento a 12 metros de altura [m/s] |
|----------------|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Enero          | 0,243                                 | 0,031                           | 3,846                                                     |
| Febrero        | 0,266                                 | 0,048                           | 3,476                                                     |
| Marzo          | 0,249                                 | 0,033                           | 3,180                                                     |
| Abril          | 0,252                                 | 0,037                           | 3,323                                                     |
| Mayo           | 0,268                                 | 0,061                           | 3,667                                                     |
| Junio          | 0,282                                 | 0,083                           | 3,530                                                     |
| Julio          | 0,281                                 | 0,083                           | 3,370                                                     |
| Agosto         | 0,256                                 | 0,043                           | 3,593                                                     |
| Septiembre     | 0,241                                 | 0,034                           | 3,752                                                     |
| Octubre        | 0,241                                 | 0,030                           | 3,733                                                     |
| Noviembre      | 0,227                                 | 0,024                           | 3,895                                                     |
| Diciembre      | 0,224                                 | 0,016                           | 3,776                                                     |
| Promedio anual | 0,253                                 | 0,044                           | 3,595                                                     |

En forma complementaria, se representa la dirección preferencial del viento por medio de la figura 4.2, de donde se desprende como dirección preferente la conocida como SSO, es decir, dirección de  $210^\circ$  respecto al norte medida en sentido horario.

**Figura 4.2:** Registro de dirección del viento entre el 30 de marzo de 2013 hasta el 29 de marzo de 2014.

## 4.2. Variabilidad de disponibilidad energética

La figura 4.3 representa el comportamiento medio durante cada mes para la velocidad del viento, pudiendo apreciarse el valor máximo mensual entre las horas 17 y 19, siendo menor durante la noche, dada la disminución de la temperatura ambiental. Cabe mencionar que corresponden a los valores promedio para cada hora, por lo que la hora 24 es equivalente al tiempo contenido entre las 23:00 y las 24:00 hrs (tabla 7.1).

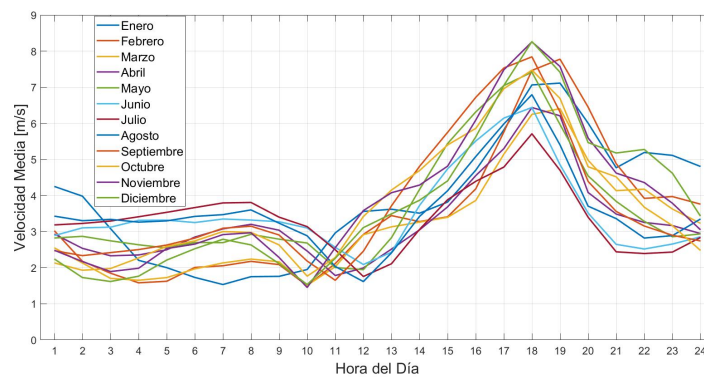


**Figura 4.3:** Velocidad media del viento horaria por mes para una altura de 12 metros.

Análogamente, en la figura 4.4, se aprecia la variabilidad diurna y mensual de la radiación incidente sobre un plano inclinado a una inclinación de  $19^\circ$  orientado hacia el norte, presentado una mayor intensidad entre las 12:00 y las 15:00 hrs, la cual, si bien varía en cuanto al valor peak, mantiene una tendencia similar a lo largo de todo el año.

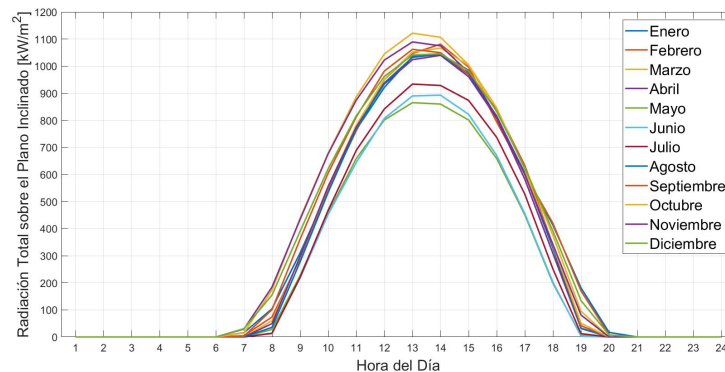


**Figura 4.4:** Variabilidad en disponibilidad de la intensidad de radiación solar sobre un plano a  $19^\circ$  de inclinación hacia el norte.

### 4.3. Potencial energético

La tabla 4.2 resume las disponibilidades de energía máxima de la zona, bajo las siguientes suposiciones:

- 1.- Radiación sobre un plano inclinado a  $19^\circ$  orientado hacia el norte.
- 2.- Potencial eólico evaluado con una densidad normal del aire de  $1,225 \text{ [kg/m}^3\text{]}$  ( $20^\circ \text{ C}$  y  $101.300 \text{ [Pa]}$ ), un factor de potencia de  $0,59 \text{ [-]}$ .
- 3.- Potencial hidroeléctrico con un  $25 \%$  del caudal original [7].

**Tabla 4.2:** Resumen de disponibilidad energética de la zona en estudio.

|                | Potencial eólico<br>total diario<br>promedio [ $kWh/m^2$ ] | Radiación solar<br>total diaria<br>promedio [ $kWh/m^2$ ] | Potencial<br>hidroeléctrico<br>máximo [ $kWh$ ] |
|----------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Enero          | 0,779                                                      | 7,751                                                     | 0,75                                            |
| Febrero        | 0,706                                                      | 7,741                                                     | 0,75                                            |
| Marzo          | 0,459                                                      | 7,695                                                     | 0,75                                            |
| Abril          | 0,459                                                      | 7,367                                                     | 0,75                                            |
| Mayo           | 0,699                                                      | 6,011                                                     | 0,75                                            |
| Junio          | 0,517                                                      | 6,071                                                     | 0,75                                            |
| Julio          | 0,405                                                      | 6,495                                                     | 0,75                                            |
| Agosto         | 0,541                                                      | 7,376                                                     | 0,75                                            |
| Septiembre     | 0,808                                                      | 7,800                                                     | 0,75                                            |
| Octubre        | 0,755                                                      | 8,322                                                     | 0,75                                            |
| Noviembre      | 0,919                                                      | 8,195                                                     | 0,75                                            |
| Diciembre      | 0,875                                                      | 8,033                                                     | 0,75                                            |
| Promedio anual | 0,660                                                      | 7,405                                                     | 0,75                                            |

### 4.4. Evaluación de tecnologías

La selección de tecnologías a utilizar se basa en aquellas que presenten un menor costo del [ $kWh$ ] anual, el cual fue determinado considerando el costo total del equipo, por sobre la potencia total que se estima que estos produzcan a lo largo de un año. Las tablas 4.3 y 4.4 presentan la comparación respecto al criterio seleccionado, en

este último, los sistemas fueron evaluados en un horizonte de instalación de 45 [kW] dado las cotizaciones realizadas y que este corresponde a un mínimo común múltiplo de ambas instalaciones cotizadas.

**Tabla 4.3:** Criterios de decisión comparativos para equipos de generación eólicos.

|                                               | Unidad       | Huaya      | Allrun     |
|-----------------------------------------------|--------------|------------|------------|
| Disponibilidad teórica                        | [ %]         | 56,8       | 50,5       |
| Disponibilidad experimental                   | [ %]         | 55,17      | 47,8       |
| Velocidad del viento promedio                 | [m/s]        | 3,74       | 3,34       |
| Potencia total anual por instalación cotizada | [MWh]        | 17,996     | 2,18       |
| Costo del kW instalado                        | [\$ /kW año] | \$1.031,16 | \$1.017,94 |

**Tabla 4.4:** Comparación entre tecnologías solares cotizadas

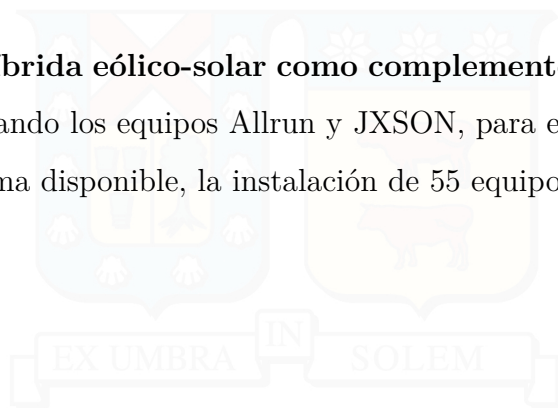
|                          | Unidad            | Sun Energy<br>(300 W) | Sun Energy<br>(600 W) | JXSOL        |
|--------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|
| Potencia teórica         | [kW]              | 45                    | 45                    | 45           |
| Cantidad                 | [-]               | 150                   | 75                    | 9            |
| Costo total              | [\$]              | \$71.500.000          | \$62.725.000          | \$20.370.742 |
| Disponibilidad de diseño | [ %]              | 8,01                  | 8,01                  | 7,99         |
| Área unitaria por panel  | [m <sup>2</sup> ] | 1,944                 | 1,944                 | 1,637        |
| Generación anual         | [kW/uni]          | 808                   | 1.617                 | 13.504       |
| Costo kW instalado       | [\$ /kW]          | 589,60                | 517,24                | 167,62       |

## 4.5. Estrategias de eficiencia energética

El estudio comprende la evaluación de las dos demandas previamente mencionadas en la sección 3.3, considerando una evaluación de proyecto social y privado para cada casos. Evaluando para cada uno de ellos las siguientes posibles instalaciones:

- **Instalación solar como complemento del grupo electrógeno:** para el cual será evaluado en base a los equipos JXSOL y Sun Energy de 600 [W]. Para esto, se consideró como inversión máxima disponible, la instalación de 60 equipos JXSOL y 100 equipos Sun Energy.

- **Instalación eólica como complemento del grupo electrógeno:** la cual será evaluada en base a los equipos Allrun y Huaya. Para esto, se consideró como inversión máxima disponible, la instalación de 60 equipos Huaya y 100 equipos Allrun.
- **Instalación híbrida eólico-solar como complemento del grupo electrógeno:** considerando los equipos Allrun y JXSON, para esto se considera como inversión máxima disponible, la instalación de 55 equipos eólicos y 66 equipos solares.



## 5 | Comparación de estrategias

A continuación, se presentan las evaluaciones económicas de los sistemas optimizados, evaluando aquellas combinaciones que maximizan los ahorros globales según la ecuación 3.17, con el propósito de satisfacer un nivel de demanda eléctrica anual establecido, con la finalidad de determinar posteriormente una configuración de máximo ahorro para los diferentes niveles de demanda.

Los costos asociados a la operación del grupo electrógeno para ambos tipos de demanda y proyectos se encuentra señalada en la tabla 5.1, siendo el costo mensual, evaluado como el sistema de cuotas prolongado por los 240 meses de proyección (ecuación 3.18).

**Tabla 5.1:** Resumen de costo de proyecto abasteciendo únicamente con el grupo electrógeno.

| Inversionista   | Tasa anual de descuento $i$ | Actual        | Futuro          |
|-----------------|-----------------------------|---------------|-----------------|
| Privado mensual | 15 %                        | \$5.003.370   | \$10.798.240    |
| Privado total   |                             | \$400.998.379 | \$865.432.046   |
| Social mensual  | 6 %                         | \$5.003.370   | \$10.798.240    |
| Social total    |                             | \$707.398.010 | \$1.526.701.701 |

### 5.1. Complemento de demanda actual

#### 5.1.1. Incorporación de instalación solar

El presente análisis logra cubrir hasta un 26 % de la demanda actual con el sistema planteado, presentando un costo de proyecto mayor al costo asociado a la persistencia

del sistema actual de abastecimiento, estableciendo que no existe configuración entre los equipos definidos que represente una solución eficiente a un reemplazo parcial de la operación del generador diésel. El detalle de dicho comportamiento se encuentra adjunto en la tabla 7.13, pudiendo apreciarse las configuraciones óptimas en la tabla 5.2, para cada evaluación, de la cual se concluye que, ante una evaluación de proyecto de carácter privado, la configuración de 15 [kW] instalado presenta el máximo ahorro alcanzable, siendo negativo según la ecuación 3.17, lo que no representa una buena decisión de inversión.

**Tabla 5.2:** Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante la actual demanda con la incorporación de una instalación solar.

| Tipo de evaluación | Demanda abastecida | Ganancia del proyecto | Potencia instalada de la configuración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Privada            | 5 %                | \$-124.098.484        | 15 [kW]                                |
| Social             | 10 %               | \$-116.185.317        | 30 [kW]                                |

### 5.1.2. Incorporación de instalación Eólica

Este tipo de instalaciones es capaz de cubrir hasta un 64 % de la demanda actual estimada, sin embargo, no es posible apreciar ahorro en ninguna de las configuraciones óptimas (tabla 7.14). La tabla 5.3 resume los valores máximos alcanzados ante cada una de las evaluaciones de proyecto, estableciendo para cada uno de los tipos de evaluación valores negativos de ahorro, por lo que el proyecto propuesto representa un mayor costo que la actual operación del grupo electrógeno.

**Tabla 5.3:** Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante la actual demanda con la incorporación de una instalación eólica.

| Tipo de evaluación | Demanda abastecida | Ganancia del proyecto | Potencia instalada de la configuración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Privada            | 7 %                | \$ -117.019.936       | 30 [kW]                                |
| Social             | 20 %               | \$ -96.673.721        | 90 [kW]                                |

### 5.1.3. Incorporación de instalación solar - eólico

Estas configuraciones presentan ahorros negativos, pudiendo satisfacer hasta un 39 % de la demanda actual, demostrando producir un mayor costo capitalizable que el sistema actual de abastecimiento de energía. Mientras tanto, los ahorros máximos son expresados en la tabla 5.4, con lo que es posible notar que coincide con la configuración de la tabla 5.2, pudiendo determinar que la incorporación de sistemas eólicos no presenta un complemento eficiente por sobre la incorporación de instalaciones solares.

**Tabla 5.4:** Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante la actual demanda con la incorporación de una instalación híbrida solar-eólica.

| Tipo de evaluación | Demanda abastecida | Ganancia del proyecto | Potencia instalada de la configuración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Privada            | 5 %                | \$-124.098.484        | 15 [kW]                                |
| Social             | 10 %               | \$-116.185.317        | 30 [kW]                                |

## 5.2. Complemento de demanda futura constante

### 5.2.1. Incorporación de instalación solar

Esta configuración permite cubrir hasta un 44 % de la demanda futura estimada, presentando un ahorro positivo entre un nivel de abastecimiento de la demanda de un 16 % y un 39 % ante una tasa de descuento del 15 % o menor, presentando valores de ahorro negativo para cualquier configuración ante una tasa de descuento del 21,7 % o mayor. Por otra parte, el proyecto planteado presenta ahorro a para abastecimientos menores al 41 % de la demanda, presentándose las configuraciones de máximo ahorro en la tabla 5.5.

**Tabla 5.5:** Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante una demanda futura constante con la incorporación de una instalación solar.

| Tipo de evaluación | Demanda abastecida | Ganancia del proyecto | Potencia instalada de la configuración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Privada            | 35 %               | \$ 68.311.919         | 45 [kW]                                |
| Social             | 37 %               | \$ 288.496.483        | 55 [kW]                                |

### 5.2.2. Incorporación de instalación eólica

La tabla 7.15 presenta el desglose del análisis que maximizan los ahorros para un sistema de complemento en base a energía eólica, el cual logra alcanzar un nivel de abastecimiento del 56 %, pudiendo apreciar un valor de ahorro siempre negativo ante una evaluación con una tasa de descuento del 15 %, sin embargo, ante la evaluación social del proyecto, se observa un ahorro positivo máximo al satisfacer un 11 % de la demanda futura anual esperada, la tabla 5.6 señala las configuraciones que maximizan el ahorro estimado para cada tipo de evaluación.

**Tabla 5.6:** Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante una demanda futura constante con la incorporación de una instalación eólica.

| Tipo de evaluación | Demanda abastecida | Ganancia del proyecto | Potencia instalada de la configuración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Privada            | 11 %               | \$ -66.837.702        | 60 [kW]                                |
| Social             | 25 %               | \$ 41.850.771         | 180 [kW]                               |

Cabe señalar que, para valores de la tasa de descuento mayor a 8 %, no es posible apreciar valores de ahorro positivo.

### 5.2.3. Incorporación de instalación híbrida

Esta configuración considera la incorporación de tanto instalaciones solares como eólicas, combinando la cantidad de cada una de estas.

Esta configuración permite abastecer hasta un 52 % de la demanda estimada, presentando ahorro positivo entre un abastecimiento del 16 hasta el 42 %, para un análisis con una tasa de descuento de 15 % y hasta un 51 % de la demanda ante una evaluación social. Los valores de configuración que maximiza los ahorros se encuentra señalada en la tabla 5.7, del cual se observa que ambas configuraciones coinciden con las de una instalación basada únicamente en energía solar previamente analizada.

Dado que tanto el sistema solar como el híbrido presentan la misma configuración óptima, se procederá a evaluar la sensibilidad del costo total del proyecto ante variaciones de la demanda requerida a satisfacer. Para lo cual, se grafica el comportamiento

**Tabla 5.7:** Configuraciones y demanda abastecidas que representan el mayor ahorro ante una demanda futura constante con la incorporación de una instalación híbrida.

| Tipo de evaluación | Demanda abastecida | Ganancia del proyecto | Potencia instalada de la configuración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------------------|
| Privada            | 35 %               | \$ 68.311.919         | 45 [kW]                                |
| Social             | 37 %               | \$ 288.496.483        | 55 [kW]                                |

de la variabilidad en el costo total del proyecto determinada por la ecuación 5.1, representados en la figura 5.1.

$$Var \% = \left\| \frac{C_{Global_{i+1}} - C_{Global_i}}{C_{Global_{i+1}}} \right\| \cdot 100 \% \quad (5.1)$$

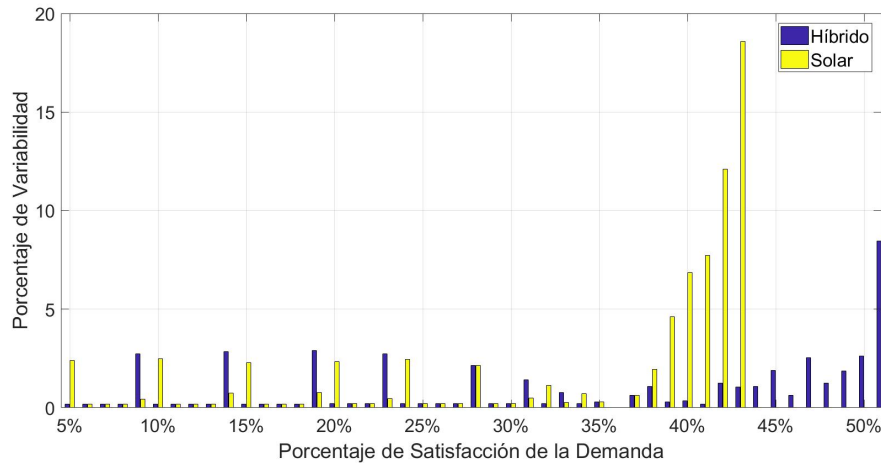


**Figura 5.1:** Variabilidad porcentual ante la evaluación social del proyecto.

Dada su menor sensibilidad, así como su mayor alcance de satisfacción estimando una demanda de alimentación constante de energía eléctrica al pueblo, se recomienda la instalación de un sistema híbrido por sobre un sistema compuesto únicamente por paneles solares fotovoltaicos.

### 5.3. Indicadores económicos

Para profundizar y complementar los criterios de selección de estrategias, se desarrollará un flujo de caja a manera de obtener los indicadores económicos, para lo cual serán consideradas las siguientes suposiciones:

1. Impuesto a la renta de un 27 % ante un evaluación privada del proyecto.
2. Tasa de interés ante créditos bancarios de un 10 %, tanto para créditos a corto como a largo plazo.
3. Pago de crédito bancario en forma de cuotas constantes, amortizado en 8 años.
4. Depreciación de la instalación evaluada en forma lineal por un periodo de 10 años, y depreciación a 20 años de las instalaciones solares y eólicas equivalentes a la vida útil de dichos equipos, con valor residual 0.
5. La evaluación considera un financiamiento de un 100 % de crédito bancario.
6. Una vez transcurridos los 20 años de evaluación, se realizará una re-evaluación, por lo que no se considerará un costo asociado al desmonte de los equipos del lugar.
7. Solicitud de créditos de corto plazo ante un "flujo neto antes de impuesto" negativo.
8. No se considera una valorización del bienestar de los pobladores, lo cual reduce el análisis a solo bienes capitalizables.

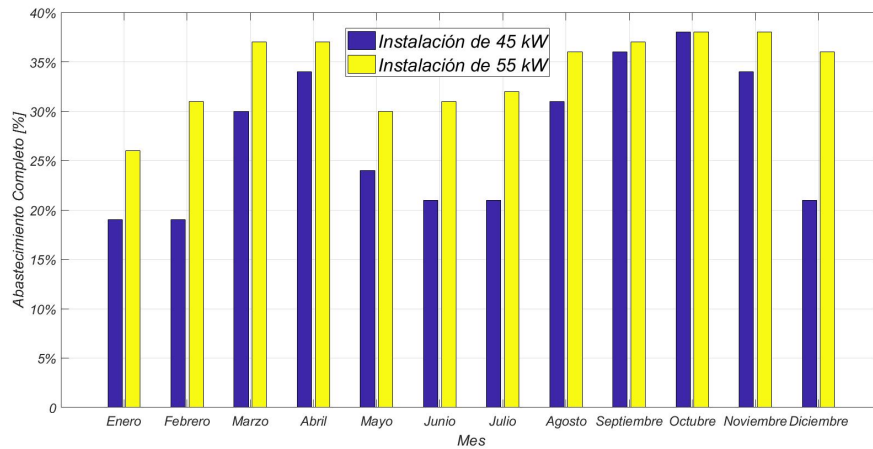
## 5.4. Disponibilidad de la instalación

Por último, se definirá la capacidad de satisfacción de la demanda, como la cantidad de horas anuales en las que los sistemas planteados son capaces de satisfacer completamente la demanda estimada del pueblo. En forma adicional, determinaron los respectivos factores de planta de ambas configuraciones, los cuales se definen como la razón entre la energía real producida por la instalación, sobre la energía producida durante un año al operar a máxima capacidad (45 y 55 [kWh]). Para establecer una estimación más precisa, se determinaron las capacidades de satisfacción de demanda en forma horaria y mensual en las tablas 7.8 y 7.7 respectivamente.

**Tabla 5.8:** Disponibilidad de instalación ante sistemas de máximo ahorro.

|                                  |         |         |
|----------------------------------|---------|---------|
| Porcentaje de demanda satisfecho | 35 %    | 37 %    |
| Disponibilidad                   | 27.34 % | 33.97 % |
| Factor de planta                 | 30.83 % | 30.83 % |

Al estudiar la satisfacción completa de la demanda, en la figura 5.2 es posible apreciar un aumento significativo en la cantidad de horas mensuales en las cuales la instalación sería capaz de satisfacer por completo la demanda del pueblo, a su vez, en la tabla 7.8 es posible apreciar un porcentaje de satisfacción cercano al 100 % entre las 12:00 y las 17:00 hrs por parte de la instalación de 55 [kW].

**Figura 5.2:** Disponibilidad mensual para instalación óptima de 45 [kW] y 55 [kW].

## 6 | Conclusiones

Dada la actual situación energética del pueblo, se recomienda la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales, de la cual el pueblo carece, operativa con un sistema Off-grid, y representa un servicio básico importante para el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes, significando también un mejor aprovechamiento del recurso hídrico, el cual es escaso en la zona. A modo de satisfacer las carencias sanitarias, también puede ser una alternativa de mejora el evaluar la captación de bioenergías a partir de vertederos.

Dadas las condiciones del pueblo, y en base a la muestra medida, no es viable establecer una estrategia a nivel de comunidad respecto a la incorporación de tecnologías de generación de biogás producto de la poca producción de materia orgánica, sin embargo, se recomienda estudiar la posibilidad de la incorporación de métodos alternativos para satisfacer las necesidades de carácter térmico, implementando tecnologías tales como cocinas solares y colectores solares en reemplazo de calderas de agua.

En base a las disponibilidades energéticas, se recomienda incorporar tecnologías que aprovechen principalmente los recursos eólico y solar, siendo este último maximizado en un ángulo de inclinación de  $19^\circ$  hacia el norte. Estos recursos corresponden a las ERNC más abundantes en la zona, siendo económicamente recomendable solo el uso de dichas fuentes de energía ante la prolongación del tiempo de abastecimiento eléctrico a la zona, ya que un programa de abastecimiento constante de energía eléctrica correspondería a una gran mejora de la calidad de vida de los habitantes, pudiendo favorecer al pueblo en forma multidimensional respecto aspectos tales como; nuevas

actividades laborales, aumento del turismo, mejora en la conectividad del pueblo, entre otros, reduciendo así el uso de combustibles para satisfacer las necesidades de los habitantes.

Tras evaluar económicamente las alternativas de abastecimiento, no es posible recomendar alguna configuración de instalación para reducir los costos de combustible actuales. Sin embargo, al evaluar una eventual demanda constante de energía eléctrica, se recomienda la instalación de sistemas híbridos dado su menor sensibilidad, siendo señalados en particular las instalaciones de 45 [kW] y de 55 [kW], las cuales presentan una maximización del ahorro del proyecto ante una evaluación privada (tasa de descuento del 15 %) y social (tasa de descuento del 6 %) respectivamente.

Tras el estudio, se recomienda como una solución óptima de abastecimiento del pueblo el representado en la figura 6.1.

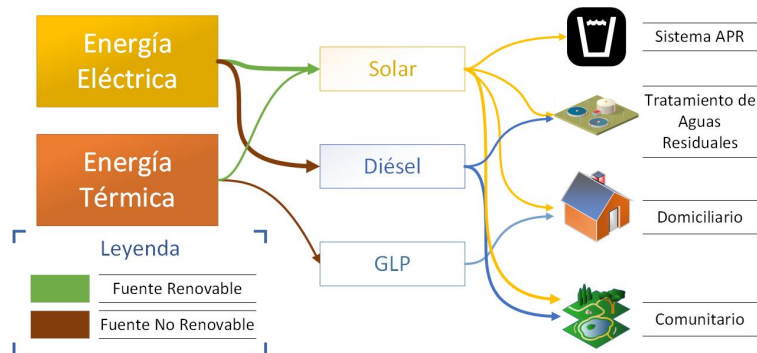


**Figura 6.1:** Flujos de energía recomendado para el pueblo de Quillagua, considerando un abastecimiento constante de energía eléctrica.

## 7 | Anexos

**Tabla 7.1:** Representación de las horas del día utilizadas para el estudio.

| Rango | [0:00 - 1:00] | [1:00 - 2:00] | [2:00 - 3:00] | [3:00 - 4:00] | [4:00 - 5:00] | [5:00 - 6:00] | [6:00 - 7:00] | [7:00 - 8:00] | [8:00 - 9:00] | [9:00 - 10:00] | [10:00 - 11:00] | [11:00 - 12:00] | [12:00 - 13:00] | [13:00 - 14:00] | [14:00 - 15:00] | [15:00 - 16:00] | [16:00 - 17:00] | [17:00 - 18:00] | [18:00 - 19:00] | [19:00 - 20:00] | [20:00 - 21:00] | [21:00 - 22:00] | [22:00 - 23:00] | [23:00 - 24:00] |
|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Hora  | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10             | 11              | 12              | 13              | 14              | 15              | 16              | 17              | 18              | 19              | 20              | 21              | 22              | 23              | 24              |

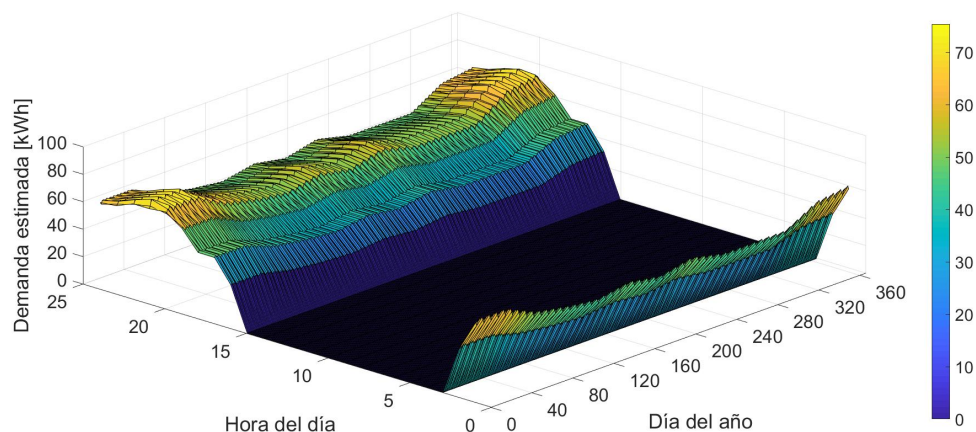


**Figura 7.1:** Curva demanda actual estimada durante un año.

**Tabla 7.2:** Clasificación de centrales hidráulicas según la literatura [24].

| Clasificación de la central | Potencia Instalada                   |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Micro                       | $P < 0.1 \text{ MW}$                 |
| Pequeña                     | $0.1 \text{ MW} < P < 10 \text{ MW}$ |
| Mediana                     | $10 \text{ MW} < P < 100 \text{ MW}$ |
| Grandes                     | $P > 100 \text{ MW}$                 |



## Solicitud de Información para estudio de Memoria:

*Estudio de Tecnologías de Eficiencia Energética para el Suministro de la Comunidad de Quillagua.*

### Departamento de Ingeniería Mecánica

Julio de 2018

#### Datos del Hogar:

Nombre del entrevistado: \_\_\_\_\_

Por favor complete los siguiente 3 puntos

- Trabajo \_\_\_\_\_
- Número de horas de trabajo semanal \_\_\_\_\_
- ¿Cuánto tiempo lleva en su actual empleo? \_\_\_\_\_

|   | Miembro de la familia | Sexo | Edad | Ocupación |
|---|-----------------------|------|------|-----------|
| 1 |                       |      |      |           |
| 2 |                       |      |      |           |
| 3 |                       |      |      |           |
| 4 |                       |      |      |           |
| 5 |                       |      |      |           |
| 6 |                       |      |      |           |

Su hogar, ¿cuenta con sistema de tratamiento de aguas residuales?

☐

Si

☐

No

En su opinión, ¿cree que sería bueno tener alimentación las 24 horas de energía eléctrica?

☐

Si

☐

No

Observaciones:

¿Disponen de un espacio de aproximadamente 12 [m<sup>2</sup>] en la propiedad del terreno? (Esto es equivalente aproximadamente a una habitación de dormir).

☐

Si

☐

No

Observaciones:

## Suministro de Electricidad:

1. Dado el ciclo normal de suministro de energía eléctrica, **¿Con que frecuencia experimenta cortes en el comportamiento normal de la energía?**, si su respuesta es nunca, favor omitir las preguntas a. y b.

☐ Nunca ☐ Cada día ☐ Semanalmente ☐ Mensualmente

Observaciones:

---

- a. En caso de presentar cortes del suministro eléctrico. **Por favor estime la duración promedio de dichos cortes**, si su respuesta es nunca, favor omitir esta pregunta.

☐ Menos de 10 minutos ☐ Entre 10 minutos y 1 hora ☐ Entre 1 y 3 horas ☐ Más de 3 horas

Observaciones:

---

- b. **¿Han ocasionados algún tipo de daño dichos cortes de energía eléctrica?**, de ser afirmativa su respuesta, favor estimar los costos asociados a dichos daños.

.....  
.....  
.....

2. **¿Tiene algún generador de emergencia o adicional en su hogar?**

☐ Si ☐ No

Si su respuesta es "Si" por favor responder las siguientes preguntas:

- a. **¿Cuánto tiempo opera semanalmente?**

☐ Menos de 3 horas. ☐ Entre 3 y 6 horas ☐ Entre 6 y 10 horas ☐ Más de 10 horas

Observaciones:

---

- b. **¿Qué tipo de combustible utiliza el generador?**

☐ Diesel ☐ Parafina ☐ Bencina ☐ Otro

Observaciones:

---



Por favor indicar alguno de la siguiente información:

|                                     |  |    |
|-------------------------------------|--|----|
| Potencia del Generador              |  | KW |
| Costo del combustible del generador |  |    |
| Lugar del cual traen el combustible |  |    |

## Cocina:

3. Aproximadamente, **¿Cuántas veces al día utiliza la cocina?**

☐ 1 o 2 veces ☐ 3 veces ☐ 4 veces al día ☐ Más de 5 veces

4. **¿Qué tipo de combustible utiliza su cocina?**

☐ Gas Licuado ☐ Leña ☐ Bencina ☐ Otro

Observaciones:

Por favor, señale de donde obtiene el combustible y un estimado del costo mensual de este (por ejemplo, a partir de gas licuado que es encargado a María Elena, con un costo x del galón de x kg).

.....  
.....

## Calefacción

5. **¿Cuenta con algún sistema para calefaccionar su hogar?**

☐ No ☐ Si  ¿Cuántos?

Si su respuesta es "Si" Favor señale el tipo de combustible que utiliza

☐ Gas Licuado ☐ Leña ☐ Bencina ☐ Otro

Observaciones:

Por favor, señale de donde obtiene el combustible y un estimado del costo mensual de este (por ejemplo, a partir de gas licuado que es encargado a María Elena, con un costo x del galón de x kg).

.....  
.....

## Suministro de Agua Caliente

### 1. ¿Cuenta con algún sistema para calentar el agua?

|                          |    |                          |     |                                     |                      |
|--------------------------|----|--------------------------|-----|-------------------------------------|----------------------|
| <input type="checkbox"/> | No | <input type="checkbox"/> | Si, | <input type="text" value="¿Cuál?"/> | <input type="text"/> |
|--------------------------|----|--------------------------|-----|-------------------------------------|----------------------|

Por favor, señale de donde obtiene el combustible y un estimado del costo mensual de este (por ejemplo, a partir de gas licuado que es encargado a María Elena, con un costo  $x$  del galón de  $x$  kg).

.....

.....

## Potencial de Biogás

¿Cría animales o tiene alguna mascota? si su respuesta es “Si”, favor completar la siguiente tabla:

|                          |    |                          |    |
|--------------------------|----|--------------------------|----|
| <input type="checkbox"/> | Si | <input type="checkbox"/> | No |
|--------------------------|----|--------------------------|----|

|   | Animal | Cantidad | ¿Con qué los alimenta? (Comida para animales, desechos de comida, vegetación de la zona, etc) |
|---|--------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 |        |          |                                                                                               |
| 2 |        |          |                                                                                               |
| 3 |        |          |                                                                                               |
| 4 |        |          |                                                                                               |
| 5 |        |          |                                                                                               |
| 6 |        |          |                                                                                               |

¿Cultiva algún tipo de cultivo? si la respuesta es “Si”, por favor complete la siguiente tabla.

|                          |    |                          |    |
|--------------------------|----|--------------------------|----|
| <input type="checkbox"/> | Si | <input type="checkbox"/> | No |
|--------------------------|----|--------------------------|----|

|   | Tipo de Cultivo | Área de cultivo [m <sup>2</sup> ] | Tiempo de Siembra (meses) | Tiempo de Cosecha (meses) |
|---|-----------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 |                 |                                   |                           |                           |
| 2 |                 |                                   |                           |                           |
| 3 |                 |                                   |                           |                           |
| 4 |                 |                                   |                           |                           |
| 5 |                 |                                   |                           |                           |
| 6 |                 |                                   |                           |                           |

Muchas Gracias por su cooperación,

Andrés Herrera Meneses.

Estudiante de Ingeniería Civil Mecánica.

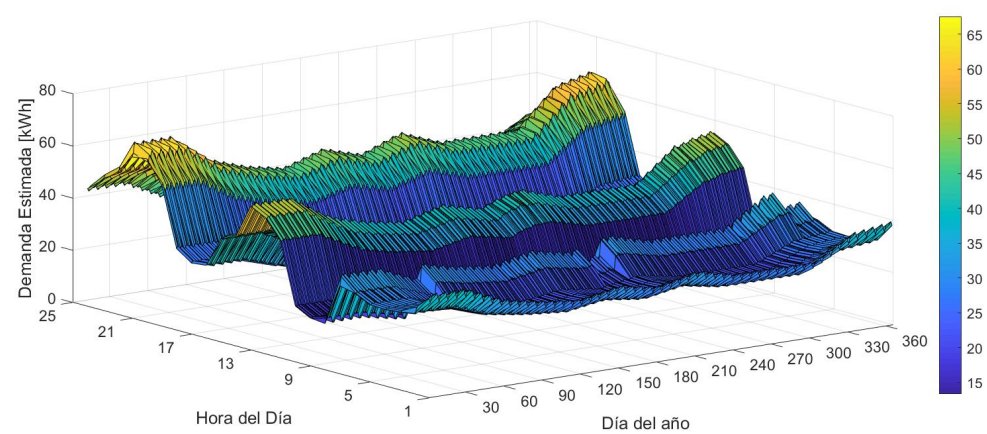


Figura 7.2: Curva de demanda futura constante durante un año.

| Clases         | Rugosidad<br>$Z_0$ , m | Rasgos del paisaje                                                                                                                                                                                                            |
|----------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sup. acuáticas | 0.0002                 | Aguas abiertas (mar, lago, embalse, nieve sobre terreno plano, desiertos, concreto. Varios km sin obstáculos desde el sitio de medición del viento                                                                            |
| Suave          | 0.005                  | Superficie sin obstáculo notable y sin vegetación: plavas, hielo, pantanos                                                                                                                                                    |
| Abierto        | 0.03                   | Terreno llano con gramíneas o muy poca vegetación. Obstáculos aislados con separación de al menos 50 veces la altura, h                                                                                                       |
| Aprox. abierto | 0.10                   | Área cultivada o natural con cobertura vegetal baja. Obstáculos ocasionales (edificaciones o árboles) con distancia de al menos 20 h el obstáculo                                                                             |
| Rugoso         | 0.25                   | Área natural o cultivada con cultivos altos, obstáculos porosos escasos separados por 12h o 15 h, o con objetos sólidos, (edificaciones) distancia de 8 h a 12 h                                                              |
| Muy rugoso     | 0.5                    | Zona de cultivos intensos con obstáculos en grupos (granjas, bosque) etc., separados por 8 h: Plantaciones, frutales, bosques jóvenes, zonas urbanas de baja altura con separación de 3 a 4 edificaciones y sin árboles altos |
| Skimming       | 1.0                    | Zonas con obstáculos altos de altura similar y separación de igual distancia que la altura, como bosques adultos y zonas urbanas densas                                                                                       |
| Caótico        | = 2.0                  | Centros de las ciudades con mezcla de edificaciones de alturas diversas, bosques de altura irregular con zonas deforestadas                                                                                                   |

Figura 7.3: Valores del exponente  $Z_0$  en función de las condiciones del terreno [27].

Solicitud de Información para estudio de Memoria:

*Estudio de Tecnologías de Eficiencia Energética para el Suministro de la Comunidad de  
Quillagua.*

Departamento de Ingeniería Mecánica

Julio de 2018

Aproximadamente, ¿cuántas bolsas de basura desechan en forma semanal?

2 o menos  3 o 4  4 o 6  1 diaria  Más de 7

Observaciones:

Aparatos de Consumo Eléctrico:

Favor completar con los equipos utilizados o aquellos con los que cuente el hogar, que funcionen con energía eléctrica.

| Ítem | Equipo o aparato | Cantidad | Consumo [kW] | Observaciones |
|------|------------------|----------|--------------|---------------|
| 1    |                  |          |              |               |
| 2    |                  |          |              |               |
| 3    |                  |          |              |               |
| 4    |                  |          |              |               |
| 5    |                  |          |              |               |
| 6    |                  |          |              |               |
| 7    |                  |          |              |               |
| 8    |                  |          |              |               |
| 9    |                  |          |              |               |
| 10   |                  |          |              |               |
| 11   |                  |          |              |               |
| 12   |                  |          |              |               |
| 13   |                  |          |              |               |
| 14   |                  |          |              |               |
| 15   |                  |          |              |               |

*Muchas Gracias por su Apoyo*

*Que tenga un buen día*

*Andrés Herrera Meneses*

## AR5.0-3000W 风力发电机

### AR 5.0-3000W WIND TURBINE



拉索杆  
Guy wire tower

立杆总高度: 8 米

Height of pole: 8 m

壁厚: 6mm

Thickness: 6 mm

立杆直径: 133 (mm)

Tower diameter: 133(mm)

法兰尺寸: 150\*150\*10mm

Flange: 150\*150\*10 (mm)

立杆数量: 2 节

Sections of tower: 2

材质: Q235 优质钢管

Material: Q235 Steel pipe

表面处理: 喷漆防腐处理

Surface treatment: painting against decaying

## Overview

### Quick Details

|                   |                            |                      |                    |                       |                            |
|-------------------|----------------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|----------------------------|
| Place of Origin:  | Shandong, China (Mainland) | Brand Name:          | HENRYD             | Model Number:         | 30kw                       |
| Type:             | Wind Power Generator       | Wind Generator Mo... | FD12-30KW          | Rated wind speed:     | 12m/s                      |
| Start wind speed: | 3m/s                       | Warranty:            | 3 Years            | Generator type:       | Permanent Magnetic Gene... |
| Rated power:      | 30kw                       | Max output power:    | 35kw               | Blades rotor diame... | 12m                        |
| Rated Voltage:    | 500V                       | Working system:      | on/off grid system |                       |                            |

### Supply Ability

|                 |                       |
|-----------------|-----------------------|
| Supply Ability: | 50 Set/Sets per Month |
|-----------------|-----------------------|

### Packaging & Delivery

|                                                                                             |                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Packaging Details                                                                           | plywood case for wind turbine main body/controller with dump load/inverter<br>Tower: softpackages |
| Port                                                                                        | qingdao                                                                                           |
| Lead Time  | 10 days after payment                                                                             |

## Product Details

### FD12-30kw Wind turbine:

off grid 30kw wind turbine Use wind energy to generate electricity and charge into storage battery group. Through the multi-voltages power supply system, the electricity can be changed into DC and AC used for illumination, home appliances, communication devices and electric tools.

Grid tie 30kw wind turbine use wind energy to generate electricity and charge into storage battery group. Through the multi-voltages power supply system, the electricity can be changed into DC and AC used for illumination, home appliances, communication devices and electric tools.

| Model                 | FD12-30kw                                                 |
|-----------------------|-----------------------------------------------------------|
| Blades rotor diameter | 12m                                                       |
| Rated wind speed      | 12m/s                                                     |
| Start up wind speed   | 3m/s                                                      |
| Rated output power    | 30kw                                                      |
| Max output power      | 35kw                                                      |
| Blades material       | FRB                                                       |
| Generator type        | 3 phase AC pma                                            |
| Working voltage       | 500v                                                      |
| Working system        | On grid system, off grid system, wind solar hybrid system |
| Tower height:         | 12m-15m                                                   |
| Wind turbine weight   | 1900kgs                                                   |
| Packing size          | 6.5cbm                                                    |
| Working voltage       | 240v-500v                                                 |

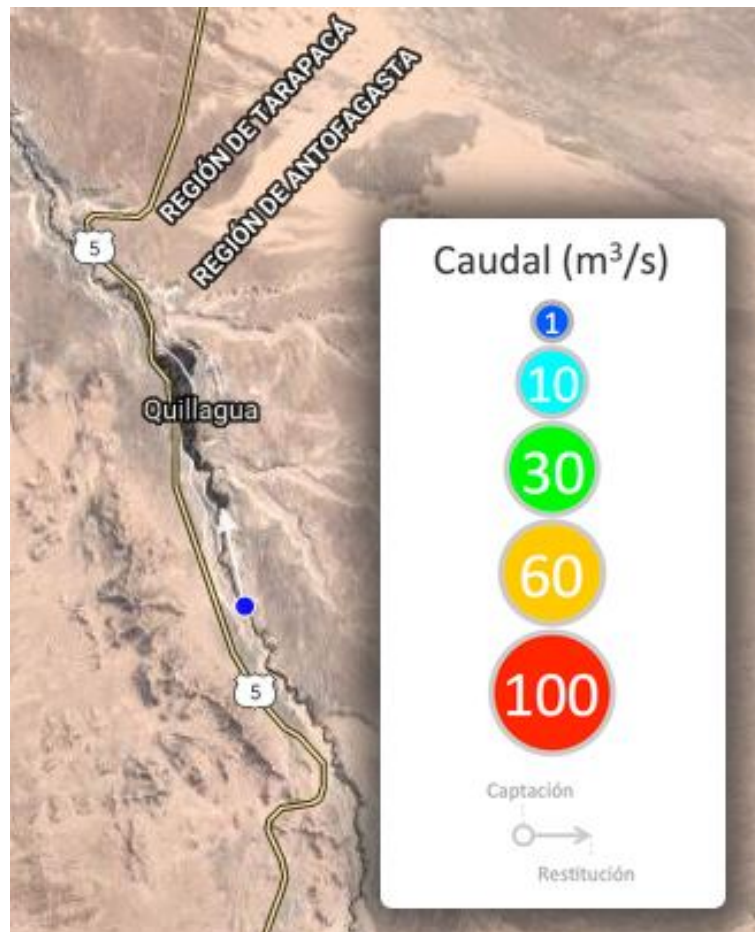


**Figura 7.4:** Vista satelital de sitio de muestreo de caudal [11].

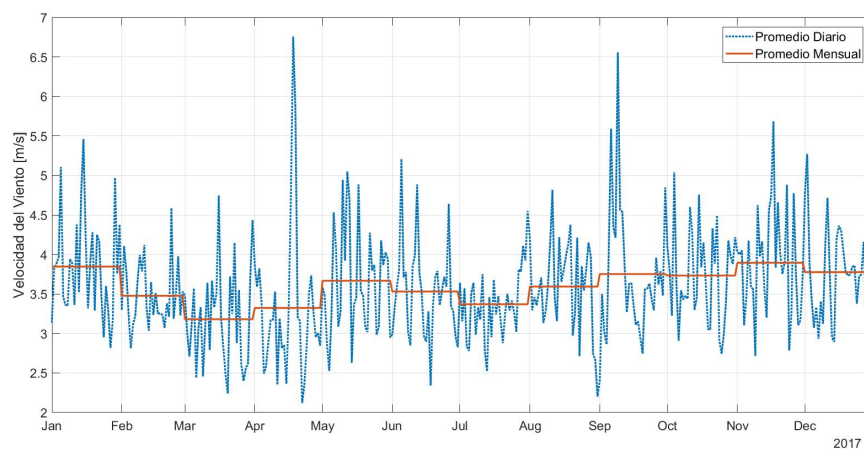


**Figura 7.5:** Velocidades registradas durante el año 2017, promedio diario, mensual y anual para una altura de 12 metros de altura.

**Tabla 7.3:** Valores de caudal registrados en [11].

| Periodo    | Caudal otorgado<br>[m <sup>3</sup> /s] | Potencia teórica bruta<br>[MW] |
|------------|----------------------------------------|--------------------------------|
| Enero      | 0.01                                   | 0.003                          |
| Febrero    | 0.01                                   | 0.003                          |
| Marzo      | 0.01                                   | 0.003                          |
| Abril      | 0.01                                   | 0.003                          |
| Mayo       | 0.01                                   | 0.003                          |
| Junio      | 0.01                                   | 0.003                          |
| Julio      | 0.01                                   | 0.003                          |
| Agosto     | 0.01                                   | 0.003                          |
| Septiembre | 0.01                                   | 0.003                          |
| Octubre    | 0.01                                   | 0.003                          |
| Noviembre  | 0.01                                   | 0.003                          |
| Diciembre  | 0.01                                   | 0.003                          |
| Promedio   | 0.01                                   | 0.003                          |

|                             |                               | UAE <sup>1</sup> | Estiércol liq.<br>[M3/animal] |       |       | Producción de<br>gas<br>M3/UAE/día |
|-----------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|-------|-------|------------------------------------|
|                             |                               |                  | Día                           | Mes   | Año   |                                    |
| <b>Bovinos</b>              | Vacas, vacunos de engorda     | 1                | 0,05                          | 1,5   | 18,00 | 0,56 - 1,5                         |
|                             | Vacas de producción lechera   | 1,2              | 0,055                         | 1,65  | 19,80 | 0,56 - 1,5                         |
|                             | Toro de reproducción          | 0,7              | 0,023                         | 0,69  | 8,28  | 0,56 - 1,5                         |
|                             | Vacunos jóvenes < 2 años      | 0,6              | 0,025                         | 0,75  | 9,00  | 0,56 - 1,5                         |
|                             | Ternero de crianza <1 año     | 0,2              | 0,008                         | 0,24  | 2,88  | 0,56 - 1,5                         |
|                             | Ternero en engorda            | 0,3              | 0,004                         | 0,12  | 1,44  | 0,56 - 1,5                         |
| <b>Porcinos</b>             | Porcino de engorda            | 0,12             | 0,0045                        | 0,135 | 1,62  | 0,6 - 1,25                         |
|                             | Porcina                       | 0,34             | 0,0045                        | 0,135 | 1,62  | 0,6 - 1,25                         |
|                             | Porcino jóvenes (<12 Kg.)     | 0,01             | 0,0045                        | 0,135 | 1,62  | 0,6 - 1,25                         |
|                             | Porcino jóvenes (12 - 20 Kg.) | 0,02             | 0,001                         | 0,03  | 0,36  | 0,6 - 1,25                         |
|                             | Porcino jóvenes (20 -45 Kg.)  | 0,06             | 0,003                         | 0,09  | 1,08  | 0,6 - 1,25                         |
|                             | Porcino jóvenes (45 - 60 Kg.) | 0,16             | 0,0045                        | 0,135 | 1,62  | 0,6 - 1,25                         |
| <b>Ovinos</b>               | Ovejas < 1 año                | 0,05             | 0,003                         | 0,09  | 1,08  | -                                  |
|                             | Ovejas > 1 año                | 0,1              | 0,006                         | 0,18  | 2,16  | -                                  |
| <b>Equinos</b>              | Caballos < 3 años             | 0,7              | 0,023                         | 0,69  | 8,28  | -                                  |
|                             | Caballos enanos               | 0,7              | 0,023                         | 0,69  | 8,28  | -                                  |
|                             | Caballos > 3 años             | 1,1              | 0,033                         | 0,99  | 11,88 | -                                  |
| <b>Aves de<br/>criadero</b> | Pollo de engorda < 1200 gr.   | 0,0023           | 0,0001                        | 0,003 | 0,04  | 3,5 - 4                            |
|                             | Gallina < 1200 gr.            | 0,0023           | 0,0001                        | 0,003 | 0,04  | 3,5 - 4                            |
|                             | Pollo < 800 gr.               | 0,0016           | 0,0001                        | 0,003 | 0,04  | 3,5 - 4                            |
|                             | Gallina < 800 gr.             | 0,0016           | 0,0001                        | 0,003 | 0,04  | 3,5 - 4                            |

**Figura 7.6:** Potencial de producción de biogas por animal de crianza [23].

Tabla 7.4: Tabla de factores de amplificación horarios.

| Rango horario | [0:00 - 1:00] | [1:00 - 2:00] | [2:00 - 3:00] | [3:00 - 4:00] | [4:00 - 5:00] | [5:00 - 6:00] | [6:00 - 7:00] | [7:00 - 8:00] | [8:00 - 9:00] | [9:00 - 10:00] | [10:00 - 11:00] | [11:00 - 12:00] | [12:00 - 13:00] | [13:00 - 14:00] | [14:00 - 15:00] | [15:00 - 16:00] | [16:00 - 17:00] | [17:00 - 18:00] | [18:00 - 19:00] | [19:00 - 20:00] | [20:00 - 21:00] | [21:00 - 22:00] | [22:00 - 23:00] | [23:00 - 24:00] | [00:00 - 24:00] |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Hora del Día  | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10             | 11              | 12              | 13              | 14              | 15              | 16              | 17              | 18              | 19              | 20              | 21              | 22              | 23              | 24              | Promedio        |
| Promedio      | 43            | 27            | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0              | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 23              | 35              | 35              | 44              | 52              | 53              | 51              | 48              | 46              | 42              |
| Máximo        | 48            | 32            | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0             | 0              | 0               | 0               | 0               | 0               | 0               | 26              | 39              | 39              | 53              | 62              | 61              | 59              | 54              | 52              | 48              |
| Lunes         | 0,94          | 0,96          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99           | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 1,03            | 1,03            | 1,03            | 1,04            | 0,96            | 0,97            | 0,98            | 0,99            | 0,97            | 0,99            |
| Martes        | 1,01          | 1,04          | 1,01          | 1,01          | 1,01          | 1,01          | 1,01          | 1,01          | 1,01          | 1,01           | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 0,99            | 1,01            | 1,04            | 1,02            | 1,01            | 1,01            | 1,01            |
| Miércoles     | 1,01          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00           | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 0,98            | 1,00            | 1,00            | 0,98            | 1,00            | 1,02            | 1,00            |
| Jueves        | 1,02          | 1,01          | 1,02          | 1,02          | 1,02          | 1,02          | 1,02          | 1,02          | 1,02          | 1,02           | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,02            | 1,01            | 1,04            | 1,03            | 1,01            | 1,02            | 0,99            | 1,02            |
| Viernes       | 1,01          | 0,98          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00           | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 1,03            | 1,00            | 1,01            | 1,01            | 1,00            | 0,99            | 1,00            |
| Sábado        | 1,03          | 1,05          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00          | 1,00           | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 0,98            | 0,98            | 0,98            | 0,93            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,01            | 1,02            | 1,00            |
| Domingo       | 0,99          | 0,97          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99          | 0,99           | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 0,99            | 1,00            | 1,00            | 1,00            | 1,03            | 0,99            | 0,95            | 0,99            | 0,97            | 0,99            | 0,99            |

Tabla 7.5: Amplificación mensual utilizada.

| Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| 1,37  | 1,37    | 1,155 | 1,05  | 0,99 | 1     | 1,09  | 1      | 1,12       | 1       | 1         | 1,296     |

Tabla 7.6: Desglose de aparatos eléctricos en domicilios encuestados.

| Recinto       | Habitante       | Computador | Proyector | Tablet | Equipo de Música | Televisor | Refrigerador | Conservadora | Hervidor | Celulares | Lavadora | Decodificador | DVD  | Horno Eléctrico | Plancha | Centrifugadora | Enceradora | Juguera | Lampara | Microondas | Tostadora | MiniPimer | Licuadora | Batidora | Máquina de Soldar | Galletera | Videoconsola |
|---------------|-----------------|------------|-----------|--------|------------------|-----------|--------------|--------------|----------|-----------|----------|---------------|------|-----------------|---------|----------------|------------|---------|---------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-------------------|-----------|--------------|
| Escuela       | 35 <sup>9</sup> | 8          | 2         | 12     | 2                | 1         | 2            | 2            | 0        | 0         | 0        | 0             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 1             | 2               | 0          | 0         | 0      | 0                | 2         | 1            | 1            | 1        | 3         | 1        | 1             | 0    | 0               | 1       | 1              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 2             | 1               | 0          | 0         | 0      | 0                | 1         | 1            | 1            | 0        | 0         | 0        | 1             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 3             | 1               | 0          | 0         | 0      | 0                | 1         | 0            | 0            | 0        | 0         | 0        | 0             | 1    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 4             | 5               | 0          | 0         | 0      | 1                | 2         | 0            | 0            | 1        | 0         | 1        | 1             | 0    | 0               | 1       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 1         | 0        | 0                 | 0         | 1            |
| 5             | 3               | 0          | 0         | 0      | 1                | 1         | 1            | 1            | 0        | 0         | 0        | 1             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 6             | 2               | 0          | 0         | 1      | 0                | 1         | 0            | 0            | 0        | 1         | 0        | 0             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 7             | 1               | 0          | 0         | 0      | 3                | 0         | 1            | 0            | 0        | 1         | 1        | 0             | 0    | 0               | 1       | 0              | 1          | 1       | 1       | 1          | 1         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 8             | 2               | 0          | 0         | 0      | 3                | 3         | 1            | 0            | 1        | 1         | 0        | 1             | 1    | 0               | 1       | 0              | 0          | 1       | 1       | 1          | 1         | 1         | 1         | 1        | 0                 | 0         | 0            |
| 9             | 3               | 0          | 0         | 0      | 1                | 4         | 1            | 3            | 1        | 0         | 0        | 4             | 2    | 0               | 1       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 1                 | 1         | 0            |
| 10            | 3               | 0          | 0         | 0      | 0                | 2         | 0            | 0            | 0        | 2         | 0        | 1             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 11            | 3               | 0          | 0         | 0      | 1                | 0         | 3            | 1            | 2        | 0         | 0        | 0             | 0    | 1               | 0       | 0              | 0          | 0       | 2       | 1          | 1         | 0         | 1         | 1        | 0                 | 0         | 0            |
| 12            | 2               | 0          | 0         | 0      | 1                | 1         | 1            | 1            | 2        | 0         | 2        | 0             | 0    | 0               | 1       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 13            | 3               | 0          | 0         | 0      | 1                | 1         | 0            | 0            | 0        | 2         | 0        | 1             | 1    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 14            | 2               | 0          | 0         | 0      | 1                | 1         | 1            | 1            | 1        | 1         | 0        | 0             | 0    | 1               | 1       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 15            | 4               | 1          | 0         | 0      | 0                | 1         | 0            | 0            | 1        | 0         | 0        | 0             | 0    | 0               | 1       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 16            | 5               | 0          | 0         | 0      | 1                | 1         | 1            | 0            | 0        | 1         | 1        | 1             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 17            | 4               | 0          | 0         | 0      | 0                | 1         | 1            | 1            | 1        | 0         | 1        | 1             | 0    | 0               | 0       | 1              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| 18            | 3               | 0          | 0         | 0      | 1                | 1         | 1            | 1            | 0        | 3         | 1        | 1             | 0    | 0               | 0       | 0              | 0          | 0       | 0       | 0          | 0         | 0         | 0         | 0        | 0                 | 0         | 0            |
| Total         | 49              | 9          | 2         | 13     | 17               | 25        | 16           | 13           | 11       | 15        | 8        | 14            | 5    | 2               | 8       | 2              | 1          | 2       | 4       | 4          | 4         | 1         | 1         | 3        | 2                 | 1         | 1            |
| Promedio Dom. |                 | 0,06       | 0         | 0,06   | 0,83             | 1,33      | 0,78         | 0,61         | 0,61     | 0,83      | 0,44     | 0,78          | 0,28 | 0,11            | 0,44    | 0,11           | 0,06       | 0,11    | 0,22    | 0,17       | 0,17      | 0,06      | 0,06      | 0,17     | 0,11              | 0,06      | 0,06         |
| Suma Dom.     |                 | 1          | 0         | 1      | 15               | 24        | 14           | 11           | 11       | 15        | 8        | 14            | 5    | 2               | 8       | 2              | 1          | 2       | 4       | 3          | 3         | 1         | 1         | 3        | 2                 | 1         | 1            |

**Tabla 7.7:** Disponibilidad mensual de satisfacción de demanda para las instalaciones planteadas.

|                   | <b>35 % de la demanda</b> | <b>37 % de la demanda</b> |
|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>Enero</b>      | 19 %                      | 26 %                      |
| <b>Febrero</b>    | 19 %                      | 31 %                      |
| <b>Marzo</b>      | 30 %                      | 37 %                      |
| <b>Abril</b>      | 34 %                      | 37 %                      |
| <b>Mayo</b>       | 24 %                      | 30 %                      |
| <b>Junio</b>      | 21 %                      | 31 %                      |
| <b>Julio</b>      | 21 %                      | 32 %                      |
| <b>Agosto</b>     | 31 %                      | 36 %                      |
| <b>Septiembre</b> | 36 %                      | 37 %                      |
| <b>Octubre</b>    | 38 %                      | 38 %                      |
| <b>Noviembre</b>  | 34 %                      | 38 %                      |
| <b>Diciembre</b>  | 21 %                      | 36 %                      |

**Tabla 7.8:** Disponibilidad horaria de satisfacción de demanda para las instalaciones planteadas.

| <b>Hora</b> | <b>Rango Horario</b> | <b>35 % de la demanda</b> | <b>37 % de la demanda</b> |
|-------------|----------------------|---------------------------|---------------------------|
| <b>1</b>    | 0:00 – 1:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>2</b>    | 1:00 – 2:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>3</b>    | 2:00 – 3:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>4</b>    | 3:00 – 4:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>5</b>    | 4:00 – 5:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>6</b>    | 5:00 – 6:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>7</b>    | 6:00 – 7:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>8</b>    | 7:00 – 8:00          | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>9</b>    | 8:00 – 9:00          | 32 %                      | 63 %                      |
| <b>10</b>   | 9:00 – 10:00         | 95 %                      | 96 %                      |
| <b>11</b>   | 10:00 – 11:00        | 41 %                      | 83 %                      |
| <b>12</b>   | 11:00 – 12:00        | 52 %                      | 90 %                      |
| <b>13</b>   | 12:00 – 13:00        | 58 %                      | 95 %                      |
| <b>14</b>   | 13:00 – 14:00        | 96 %                      | 98 %                      |
| <b>15</b>   | 14:00 – 15:00        | 97 %                      | 98 %                      |
| <b>16</b>   | 15:00 – 16:00        | 95 %                      | 97 %                      |
| <b>17</b>   | 16:00 – 17:00        | 89 %                      | 94 %                      |
| <b>18</b>   | 17:00 – 18:00        | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>19</b>   | 18:00 – 19:00        | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>20</b>   | 19:00 – 20:00        | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>21</b>   | 20:00 – 21:00        | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>22</b>   | 21:00 – 22:00        | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>23</b>   | 22:00 – 23:00        | 0 %                       | 0 %                       |
| <b>24</b>   | 23:00 – 24:00        | 0 %                       | 0 %                       |

**Tabla 7.9:** Consumos y cantidades de aparatos electrónicos esperados.

|                     | Consumo [W] | Cantidad Actual | Cantidad Futura |
|---------------------|-------------|-----------------|-----------------|
| Alumbrado doméstico | 60          | 310             | 310             |
| Alumbrado público   | 70          | 132             | 132             |
| Batidora            | 250         | 8               | 28              |
| Celulares           | 20          | 58              | 70              |
| Centrifugadora      | 2000        | 8               | 28              |
| Computador          | 100         | 4               | 14              |
| Conservadora        | 65          | 43              | 56              |
| Data Proyector      | 500         | 0               | 0               |
| Decodificador       | 30          | 54              | 70              |
| DVD                 | 9           | 19              | 28              |
| Enceradora          | 500         | 4               | 6               |
| Equipo de música    | 120         | 58              | 70              |
| Hervidor            | 1500        | 43              | 63              |
| Horno Eléctrico     | 1200        | 8               | 25              |
| Horno Microondas    | 1520        | 12              | 58              |
| Juguera             | 250         | 8               | 24              |
| Lampara             | 40          | 16              | 49              |
| Lavadora            | 1050        | 31              | 49              |
| Licuada             | 450         | 12              | 18              |
| Plancha             | 1200        | 31              | 42              |
| MiniPimer           | 140         | 4               | 18              |
| Refrigerador        | 110         | 54              | 70              |
| Tablet              | 40          | 4               | 14              |
| Televisor           | 54          | 93              | 105             |
| Tostadora           | 500         | 4               | 28              |
| Video Consola       | 30          | 4               | 7               |

Tabla 7.10: Detalle de estimación de futura demanda de energía.

|                      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alumbrado            | 30     | 17     | 3      | 0      | 2      | 6      | 30     | 15     | 5      | 0      | 0      | 0      | 1      | 3      | 0      | 15     | 85     | 85     | 20     | 75     | 70     | 22     | 23     | 24     |
| Computador           | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 9      | 9      | 9      | 0      | 0      | 0      | 0      | 8      | 20     | 18     | 15     | 15     | 12     | 5      | 0      | 95     |
| Data                 | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Tablet               | 4      | 4      | 4      | 4      | 4      | 4      | 4      | 4      | 0      | 0      | 0      | 2      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 5      | 4      | 0      |
| Equipo de Musica     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 10     | 10     | 10     | 4      | 0      | 0      | 0      | 3      | 8      | 6      | 8      | 8      | 8      | 8      |
| Televisor            | 30     | 12     | 3      | 0      | 0      | 12     | 20     | 14     | 5      | 5      | 5      | 5      | 13     | 25     | 25     | 15     | 20     | 50     | 40     | 60     | 70     | 70     | 50     | 50     |
| Refrigerador         | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     | 69     |
| Conservadora         | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     | 35     |
| Hervidor             | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3,5    | 0,8    | 0,4    | 0      | 0      | 2      | 5,5    | 0,5    | 0      | 0      | 0      | 2      | 4      | 5      | 2      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Celulares            | 15     | 12     | 12     | 12     | 12     | 12     | 6      | 0      | 8      | 10     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 12     | 20     | 20     | 18     | 18     | 20     | 20     | 20     | 20     |
| Lavadora             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 15     | 13     | 5,5    | 4      | 2      | 0      | 2      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Decodificador        | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     | 68     |
| DVD                  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 6      | 6      | 0      | 0      | 0      | 2      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Horno                | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3,5    | 4      | 0      | 0      | 0      | 0      | 2      | 1,5    | 1      | 0      | 0      | 0      |
| Plancha              | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 6      | 5      | 3      | 0      | 0      | 0      | 3      | 3      | 1      | 0      | 0      |
| Centrifugadora       | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 2      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Encerradora          | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 3      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Jueguera             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 6      | 4      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3,7    | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Lampara              | 5      | 3      | 1      | 0      | 2      | 5      | 8      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 8      | 12     | 15     | 8      | 0      | 0      |
| Horno Microondas     | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 0,5    | 0      | 0      | 0      | 0      | 4      | 4      | 0,5    | 0      | 0,5    | 2,8    | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Tostadora            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 4      | 4      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 4      | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| MiniPimer            | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Licuadaora           | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Batidora             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 4      | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Alumbrado Público    | 9240   | 9240   | 9240   | 9240   | 9240   | 9240   | 9240   | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 7700   | 9240   | 9240   | 47.508 | 40.302 | 37.375 | 33.145 | 33.145 |
| Video Consola        | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 6      | 7      | 4      | 0      | 3      | 3      | 2      | 0      | 0      |
| Consumo Pueblo [kWh] | 28.225 | 23.333 | 21.927 | 21.545 | 21.745 | 28.003 | 32.385 | 17.081 | 13.535 | 15.595 | 32.225 | 37.085 | 39.982 | 30.565 | 28.749 | 20.249 | 19.989 | 22.935 | 38.515 | 47.508 | 40.302 | 37.375 | 33.145 | 33.145 |

Tabla 7.11: Detalle de estimación de la actual demanda de energía.

|                  | 1      | 2      | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16     | 17     | 18     | 19     | 20     | 21     | 22     | 23     | 24     |
|------------------|--------|--------|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Alumbrado        | 30     | 12     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 60     | 85     | 75     | 85     | 95     | 95     |
| Computador       | 10     | 10     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 12     | 12     | 12     | 12     |
| Data             | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Tablet           | 12     | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 9      | 0      | 0      | 0      | 0      | 12     | 12     | 12     | 12     |
| Equipo de Música | 2      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 3      | 10     | 10     |
| Televisor        | 30     | 12     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 10     | 10     | 15     | 20     | 50     | 55     | 70     | 70     | 50     |
| Refrigerador     | 54     | 40     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 45     | 48     | 54     | 54     | 54     | 54     | 54     | 54     | 54     |
| Conservadora     | 43     | 43     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 28     | 32     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     | 43     |
| Hervidor         | 6      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 8,5    | 13,5   | 8      | 7      | 6      |
| Celulares        | 58     | 58     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 58     | 58     |
| Lavadora         | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 12     | 6      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Decodificador    | 45     | 45     | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 45     | 45     | 45     | 45     | 45     | 45     | 45     | 45     | 45     |
| DVD              | 4      | 4      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 8      | 8      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Horno            | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 7      | 7      | 0      | 1      | 0      | 0      |
| Plancha          | 6      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 6      | 10     | 0      | 0      | 0      | 4      | 4      | 4      |
| Centrifugadora   | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 5      | 5      | 5      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Enceradora       | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 4      | 4      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Juguera          | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 5      | 4      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Lampara          | 4      | 2      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 10     | 12     | 18     |
| Horno Microondas | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 0      | 2      | 2      | 0      | 0      | 0      |
| Tostadora        | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| MiniPimer        | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 2      | 0      | 2      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Licuadora        | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 4      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Batidora         | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 6      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Consumo Nocturno | 9240   | 9240   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 0      | 0      | 7700   | 9240   | 9240   | 9240   | 9240   | 9240   |
| Video Consola    | 0      | 0      | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0      | 3      | 3      | 3      | 3      | 0      | 0      | 0      | 0      |
| Consumo Pueblo   | 42.021 | 21.429 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 23.900 | 35.590 | 36.515 | 45.327 | 51.777 | 51.765 | 48.645 | 48.625 | 46.285 |

Tabla 7.12: Instalaciones óptimas de sistemas solares ante una demanda futura continua.

| Demanda | C.I.          | C.O. <sub>P</sub> | C.O. <sub>S</sub> | C.E.          | Ahorro Comb <sub>P</sub> | Ahorro Comb <sub>S</sub> | C.M. <sub>P</sub> | C.M. <sub>S</sub> | Costo <i>Global,P</i> | Costo <i>Global,S</i> | Ahorro <sub>P</sub> | Ahorro <sub>S</sub> | JXSOL | Sun 600 | Potencia instalada [kWh] | C.A.          |
|---------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-------|---------|--------------------------|---------------|
| 5 %     | \$2,685.402   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$1.800.000   | \$27.283.313             | \$52.216.805             | \$141.084.087     | \$260.178.051     | \$925.855.342         | \$1.549.216.176       | \$-60.426.295       | \$-22.514.475       | 1     | 1       | 5.6                      | \$112,912.118 |
| 6 %     | \$3.864.804   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$2.600.000   | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$140.565.110     | \$257.578.743     | \$910.275.099         | \$1.512.850.719       | \$-44.843.052       | \$13.850.981        | 2     | 0       | 10                       | \$118,216.700 |
| 7 %     | \$3.864.804   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$2.600.000   | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$139.072.310     | \$254.843.200     | \$908.782.299         | \$1.510.115.236       | \$-43.350.252       | \$16.586.465        | 2     | 0       | 10                       | \$118,216.700 |
| 8 %     | \$3.864.804   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$2.600.000   | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$137.579.510     | \$252.107.776     | \$907.280.409         | \$1.507.379.752       | \$-41.857.452       | \$19.321.949        | 2     | 0       | 10                       | \$118,216.700 |
| 9 %     | \$3.864.804   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$2.600.000   | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$136.086.710     | \$249.372.293     | \$905.796.699         | \$1.504.644.269       | \$-40.364.652       | \$22.057.432        | 2     | 0       | 10                       | \$118,216.700 |
| 10 %    | \$4.617.804   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$3.100.000   | \$51.649.095             | \$98.849.825             | \$134.641.043     | \$246.723.178     | \$903.147.768         | \$1.498.125.636       | \$-37.715.721       | \$28.576.065        | 2     | 1       | 10.6                     | \$118,677.968 |
| 11 %    | \$5.797.206   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$3.900.000   | \$73.097.345             | \$139.899.059            | \$133.222.065     | \$244.122.971     | \$887.564.525         | \$1.461.760.179       | \$-22.132.478       | \$64.941.522        | 3     | 0       | 15                       | \$123,982.550 |
| 12 %    | \$5.797.206   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$3.900.000   | \$73.097.345             | \$139.899.059            | \$131.729.265     | \$241.387.487     | \$886.071.725         | \$1.459.024.695       | \$-20.639.678       | \$67.677.005        | 3     | 0       | 15                       | \$123,982.550 |
| 13 %    | \$5.797.206   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$3.900.000   | \$73.097.345             | \$139.899.059            | \$130.236.465     | \$238.652.004     | \$884.578.925         | \$1.456.289.212       | \$-19.146.878       | \$70.417.972        | 3     | 0       | 15                       | \$123,982.550 |
| 14 %    | \$5.797.206   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$3.900.000   | \$73.097.345             | \$139.899.059            | \$128.743.695     | \$235.916.520     | \$883.086.125         | \$1.453.553.728       | \$-17.654.078       | \$73.147.972        | 3     | 0       | 15                       | \$123,982.550 |
| 15 %    | \$7.303.206   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$4.400.000   | \$78.932.408             | \$151.066.630            | \$127.345.131     | \$233.353.774     | \$878.781.063         | \$1.442.751.946       | \$-13.349.016       | \$83.949.755        | 3     | 2       | 16.2                     | \$124,905.086 |
| 16 %    | \$7.729.608   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$5.200.000   | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$125.879.021     | \$230.667.198     | \$864.854.547         | \$1.410.670.781       | \$577.499           | \$116.030.920       | 4     | 0       | 20                       | \$129,748.400 |
| 17 %    | \$7.729.608   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$5.200.000   | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$124.386.221     | \$227.931.714     | \$863.361.747         | \$1.407.935.297       | \$2.070.299         | \$118.766.403       | 4     | 0       | 20                       | \$129,748.400 |
| 18 %    | \$7.729.608   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$5.200.000   | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$122.893.421     | \$225.196.231     | \$861.868.947         | \$1.405.199.814       | \$3.563.099         | \$124.237.370       | 4     | 0       | 20                       | \$129,748.400 |
| 19 %    | \$7.729.608   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$5.200.000   | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$121.400.621     | \$222.460.747     | \$860.376.147         | \$1.402.464.330       | \$5.055.899         | \$124.237.370       | 4     | 0       | 20                       | \$129,748.400 |
| 20 %    | \$9.235.608   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$5.700.000   | \$103.295.177            | \$197.693.885            | \$120.002.086     | \$219.898.001     | \$856.073.501         | \$1.391.667.171       | \$9.358.545         | \$135.034.530       | 4     | 2       | 21.2                     | \$130,670.936 |
| 21 %    | \$9.662.010   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$6.200.000   | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$118.535.976     | \$217.211.425     | \$842.357.944         | \$1.359.989.754       | \$22.074.102        | \$166.711.947       | 5     | 0       | 25                       | \$135,514.250 |
| 22 %    | \$9.662.010   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$6.200.000   | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$117.043.176     | \$214.475.942     | \$840.865.144         | \$1.357.254.270       | \$24.566.902        | \$169.447.430       | 5     | 0       | 25                       | \$135,514.250 |
| 23 %    | \$9.662.010   | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$6.200.000   | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$115.550.376     | \$211.740.158     | \$839.372.344         | \$1.354.518.787       | \$26.039.702        | \$172.182.914       | 5     | 0       | 25                       | \$135,514.250 |
| 24 %    | \$10.415.010  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$7.000.000   | \$124.407.423            | \$238.100.049            | \$114.104.709     | \$209.091.343     | \$836.847.862         | \$1.348.238.333       | \$28.584.184        | \$178.463.368       | 5     | 1       | 25.6                     | \$135,975.518 |
| 25 %    | \$11.594.412  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$7.800.000   | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$112.085.732     | \$206.491.136     | \$823.320.096         | \$1.315.806.798       | \$42.111.951        | \$210.894.902       | 6     | 0       | 30                       | \$141,280.100 |
| 26 %    | \$11.594.412  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$7.800.000   | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$111.192.932     | \$203.755.652     | \$821.827.296         | \$1.313.071.315       | \$43.604.751        | \$213.630.386       | 6     | 0       | 30                       | \$141,280.100 |
| 27 %    | \$11.594.412  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$7.800.000   | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$109.700.132     | \$201.020.169     | \$820.334.496         | \$1.310.335.831       | \$45.097.551        | \$216.365.869       | 6     | 0       | 30                       | \$141,280.100 |
| 28 %    | \$11.594.412  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$7.800.000   | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$108.207.332     | \$198.284.685     | \$818.841.696         | \$1.307.600.348       | \$46.590.351        | \$219.101.353       | 6     | 0       | 30                       | \$141,280.100 |
| 29 %    | \$13.526.814  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$9.100.000   | \$161.458.169            | \$309.010.484            | \$106.835.487     | \$195.770.847     | \$808.810.130         | \$1.280.289.637       | \$56.621.916        | \$246.412.063       | 7     | 0       | 35                       | \$147,045.950 |
| 30 %    | \$13.526.814  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$9.100.000   | \$161.458.169            | \$309.010.484            | \$105.342.687     | \$193.035.363     | \$807.317.330         | \$1.277.554.154       | \$58.114.716        | \$249.147.547       | 7     | 0       | 35                       | \$147,045.950 |
| 31 %    | \$13.526.814  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$9.100.000   | \$161.458.169            | \$309.010.484            | \$103.849.887     | \$190.299.880     | \$805.824.530         | \$1.274.818.670       | \$59.607.516        | \$251.883.030       | 7     | 0       | 35                       | \$147,045.950 |
| 32 %    | \$15.032.814  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$9.600.000   | \$161.923.082            | \$315.641.890            | \$102.451.353     | \$187.737.133     | \$803.889.618         | \$1.268.553.054       | \$61.542.428        | \$258.148.646       | 7     | 2       | 36.2                     | \$147,968.486 |
| 33 %    | \$15.459.216  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$10.400.000  | \$174.103.824            | \$332.212.666            | \$100.985.243     | \$185.050.558     | \$799.312.482         | \$1.254.365.418       | \$66.119.564        | \$272.336.283       | 8     | 0       | 40                       | \$152,811.800 |
| 34 %    | \$16.212.216  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$10.900.000  | \$175.291.777            | \$335.486.258            | \$99.539.576      | \$182.401.443     | \$798.393.130         | \$1.251.156.979       | \$67.038.916        | \$275.544.722       | 8     | 1       | 40.6                     | \$153,273.068 |
| 35 %    | \$17.391.618  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$11.700.000  | \$182.429.787            | \$349.147.505            | \$98.120.598      | \$179.801.236     | \$797.120.127         | \$1.242.179.509       | \$68.311.919        | \$284.522.191       | 9     | 0       | 45                       | \$158,577.650 |
| 36 %    | \$19.324.020  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$13.000.000  | \$187.703.164            | \$359.412.328            | \$96.748.754      | \$177.287.397     | \$799.383.158         | \$1.238.399.099       | \$66.048.889        | \$288.302.601       | 10    | 0       | 50                       | \$164,343.500 |
| 37 %    | \$21.256.422  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$14.300.000  | \$191.282.577            | \$366.090.624            | \$95.376.909      | \$174.773.358     | \$803.320.152         | \$1.238.205.217       | \$61.911.895        | \$288.496.483       | 11    | 0       | 55                       | \$170,109.350 |
| 38 %    | \$25.121.226  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$16.900.000  | \$195.438.799            | \$374.045.105            | \$94.126.021      | \$172.481.365     | \$816.109.545         | \$1.245.955.046       | \$49.322.501        | \$280.746.655       | 13    | 0       | 65                       | \$181,641.050 |
| 39 %    | \$32.850.834  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$22.100.000  | \$200.255.571            | \$383.263.797            | \$93.117.042      | \$170.632.461     | \$846.276.803         | \$1.270.880.459       | \$19.155.243        | \$255.821.241       | 17    | 0       | 85                       | \$204,704.450 |
| 40 %    | \$48.310.050  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$32.500.000  | \$205.295.469            | \$392.909.523            | \$92.591.885      | \$169.670.138     | \$912.697.765         | \$1.332.258.425       | \$-47.265.718       | \$194.443.275       | 25    | 0       | 125                      | \$250,831.250 |
| 41 %    | \$71.498.874  | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$48.100.000  | \$210.315.559            | \$402.517.340            | \$92.550.551      | \$169.594.394     | \$1.015.615.364       | \$1.430.553.889       | \$-150.183.318      | \$96.147.811        | 37    | 0       | 185                      | \$202,021.450 |
| 42 %    | \$100.058.502 | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$66.800.000  | \$215.340.769            | \$412.134.955            | \$92.845.393      | \$174.134.677     | \$1.139.789.060       | \$1.550.380.621       | \$-27.437.013       | \$23.678.920        | 51    | 2       | 256.2                    | \$495,532.166 |
| 43 %    | \$198.347.718 | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$86.200.000  | \$220.452.337            | \$421.917.850            | \$97.504.841      | \$178.672.889     | \$1.353.892.435       | \$1.703.691.434       | \$-48.460.389       | \$-236.989.734      | 59    | 112     | 362.2                    | \$495,532.166 |
| 44 %    | \$424.247.718 | \$104.180.355     | \$183.799.602     | \$111.200.000 | \$225.585.566            | \$431.742.199            | \$110.151.870     | \$201.847.958     | \$1.750.686.636       | \$2.166.322.554       | \$-885.254.590      | \$-639.620.853      | 59    | 412     | 542.2                    | \$636,912.566 |

**Tabla 7.13:** Instalaciones óptimas de sistemas solares ante la actual demanda.

| Demanda | C.I.          | C.O. <sub>P</sub> | C.O. <sub>S</sub> | C.E.          | Ahorro Comb <sub>P</sub> | Ahorro Comb <sub>S</sub> | C.M. <sub>P</sub> | C.M. <sub>S</sub> | Costo $G_{batt,P}$ | Costo $G_{batt,S}$ | Ahorro <sub>P</sub> | Ahorro <sub>S</sub> | JXSOL | Sum 600 | Potencia instalada [kW <sub>h</sub> ] | C.A.          |
|---------|---------------|-------------------|-------------------|---------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------|---------|---------------------------------------|---------------|
| 5 %     | \$5.797.206   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$3.900.000   | \$13.089.925             | \$25.032.458             | \$65.361.866      | \$119.772.448     | \$525.096.863      | \$826.683.001      | \$-124.008.484      | \$-119.284.991      | 3     | 0       | 15                                    | \$123.982.550 |
| 6 %     | \$7.729.608   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$5.200.000   | \$17.453.233             | \$33.403.278             | \$64.798.621      | \$118.740.329     | \$529.168.563      | \$826.298.316      | \$-128.170.183      | \$-118.900.306      | 4     | 0       | 20                                    | \$129.748.400 |
| 7 %     | \$8.482.608   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$5.700.000   | \$17.976.992             | \$34.405.686             | \$64.161.554      | \$117.572.935     | \$529.722.005      | \$825.842.781      | \$-128.723.625      | \$-118.444.771      | 4     | 1       | 20,6                                  | \$130.209.608 |
| 8 %     | \$9.662.010   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$6.500.000   | \$21.811.526             | \$41.744.497             | \$63.551.177      | \$116.454.448     | \$532.561.078      | \$824.669.466      | \$-131.562.698      | \$-117.271.456      | 5     | 0       | 25                                    | \$135.514.250 |
| 9 %     | \$11.108.010  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$7.000.000   | \$22.852.410             | \$43.736.619             | \$62.961.242      | \$115.373.422     | \$533.858.794      | \$824.524.854      | \$-132.860.415      | \$-117.126.844      | 5     | 2       | 26,2                                  | \$136.436.786 |
| 10 %    | \$11.594.412  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$7.800.000   | \$25.886.252             | \$49.543.007             | \$62.303.732      | \$114.168.566     | \$536.237.159      | \$823.583.327      | \$-135.238.780      | \$-116.185.317      | 6     | 0       | 30                                    | \$141.280.100 |
| 11 %    | \$13.526.814  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$9.100.000   | \$29.115.658             | \$55.723.681             | \$61.740.488      | \$113.136.448     | \$541.442.760      | \$825.368.787      | \$-140.444.381      | \$-117.970.777      | 7     | 0       | 35                                    | \$147.045.950 |
| 12 %    | \$15.459.216  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$10.400.000  | \$31.733.397             | \$60.734.086             | \$61.177.243      | \$112.104.330     | \$547.259.828      | \$828.324.516      | \$-146.261.449      | \$-120.926.506      | 8     | 0       | 40                                    | \$152.811.800 |
| 13 %    | \$17.391.618  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$11.700.000  | \$34.230.856             | \$65.513.522             | \$60.613.999      | \$111.072.211     | \$553.197.577      | \$831.511.213      | \$-152.199.198      | \$-124.113.203      | 9     | 0       | 45                                    | \$158.577.650 |
| 14 %    | \$19.324.020  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$13.000.000  | \$36.688.718             | \$70.217.559             | \$60.050.754      | \$110.040.093     | \$559.174.722      | \$834.773.309      | \$-158.176.343      | \$-127.375.299      | 10    | 0       | 50                                    | \$161.343.500 |
| 15 %    | \$21.256.422  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$14.300.000  | \$39.094.288             | \$74.821.514             | \$59.487.509      | \$109.007.975     | \$565.204.160      | \$838.135.488      | \$-164.205.781      | \$-130.737.478      | 11    | 0       | 55                                    | \$170.109.350 |
| 16 %    | \$23.188.824  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$15.600.000  | \$41.314.078             | \$79.009.913             | \$58.924.265      | \$107.975.856     | \$571.419.377      | \$841.853.224      | \$-170.420.998      | \$-134.455.214      | 12    | 0       | 60                                    | \$175.875.200 |
| 17 %    | \$25.121.226  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$16.900.000  | \$43.168.258             | \$82.618.578             | \$58.361.020      | \$106.943.738     | \$578.000.205      | \$846.270.692      | \$-177.001.825      | \$-138.872.682      | 13    | 0       | 65                                    | \$181.641.050 |
| 18 %    | \$28.986.030  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$19.500.000  | \$46.024.567             | \$88.085.191             | \$57.918.731      | \$106.133.265     | \$592.698.111      | \$857.990.109      | \$-191.699.732      | \$-150.592.099      | 15    | 0       | 75                                    | \$193.172.750 |
| 19 %    | \$32.850.834  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$22.100.000  | \$48.190.312             | \$92.230.152             | \$57.476.442      | \$103.322.791     | \$608.086.581      | \$871.031.179      | \$-207.088.202      | \$-163.633.169      | 17    | 0       | 85                                    | \$204.704.450 |
| 20 %    | \$38.648.040  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$26.000.000  | \$51.143.078             | \$97.881.373             | \$57.155.109      | \$104.733.963     | \$631.807.237      | \$891.785.886      | \$-230.808.858      | \$-184.387.876      | 20    | 0       | 100                                   | \$222.002.000 |
| 21 %    | \$44.445.246  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$29.900.000  | \$53.265.197             | \$101.942.841            | \$56.833.775      | \$104.145.135     | \$656.358.540      | \$914.130.346      | \$-255.300.161      | \$-206.732.336      | 23    | 0       | 115                                   | \$239.299.550 |
| 22 %    | \$57.972.060  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$39.000.000  | \$55.860.609             | \$106.910.131            | \$56.996.263      | \$104.442.886     | \$716.913.380      | \$972.448.571      | \$-315.915.001      | \$-265.050.561      | 30    | 0       | 150                                   | \$279.660.500 |
| 23 %    | \$79.228.482  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$53.300.000  | \$58.349.439             | \$111.673.435            | \$57.642.573      | \$105.627.218     | \$814.051.633      | \$1.067.850.371    | \$-413.053.253      | \$-360.452.361      | 41    | 0       | 205                                   | \$343.084.850 |
| 24 %    | \$105.102.708 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$70.700.000  | \$60.862.442             | \$116.483.004            | \$58.577.926      | \$107.341.208     | \$931.165.527      | \$1.183.446.335    | \$-530.167.148      | \$-476.048.325      | 54    | 1       | 270,6                                 | \$415.502.168 |
| 25 %    | \$183.287.718 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$84.700.000  | \$63.392.432             | \$121.325.086            | \$62.787.585      | \$115.055.204     | \$1.095.834.844    | \$1.349.307.898    | \$-694.836.464      | \$-641.909.888      | 59    | 92      | 350,2                                 | \$489.306.806 |
| 26 %    | \$346.688.718 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$102.700.000 | \$65.925.488             | \$126.173.034            | \$72.331.196      | \$132.543.406     | \$1.384.341.554    | \$1.643.444.308    | \$-983.343.175      | \$-936.046.298      | 59    | 309     | 480,4                                 | \$589.401.962 |

Tabla 7.14: Instalaciones óptimas de sistemas eólicos ante la actual demanda.

| Demanda | CL            | C.O. <sub>P</sub> | C.O. <sub>S</sub> | C.E.         | Almoro Comb <sub>P</sub> | Almoro Comb <sub>S</sub> | CM <sub>S</sub> <sub>P</sub> | CM <sub>S</sub> <sub>S</sub> | Costo Comb <sub>P</sub> | Costo Comb <sub>S</sub> | Almoro <sub>o</sub> | Almoro <sub>s</sub> | Huaya | Altura | Potencia Instalada [kW] | C.A.          |
|---------|---------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------|--------|-------------------------|---------------|
| 5%      | \$15,535,324  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$2,000,000  | \$28,841,796             | \$66,942,145             | \$129,468,509                | \$129,468,509                | \$527,729,423           | \$890,121,262           | \$136,731,044       | \$131,722,252       | 0     | 7      | 31                      | \$19,848,790  |
| 6%      | \$17,774,656  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$2,000,000  | \$32,185,339             | \$66,535,566             | \$129,623,662                | \$129,623,662                | \$531,661,677           | \$840,226,751           | \$140,662,298       | \$132,588,711       | 0     | 8      | 21                      | \$121,235,016 |
| 7%      | \$19,674,000  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$1,800,000  | \$36,599,112             | \$63,879,253             | \$129,679,253                | \$129,679,253                | \$518,013,511           | \$818,121,870           | \$141,010,369       | \$130,726,860       | 1     | 30     | 30                      | \$112,630,092 |
| 8%      | \$20,873,632  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$1,600,000  | \$41,581,327             | \$63,529,289             | \$129,114,217                | \$129,114,217                | \$525,920,238           | \$818,777,697           | \$129,021,859       | \$130,475,687       | 1     | 1      | 33                      | \$116,613,419 |
| 9%      | \$22,062,964  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$1,400,000  | \$45,970,610             | \$63,102,710             | \$129,350,180                | \$129,350,180                | \$532,350,670           | \$817,177,085           | \$124,352,290       | \$109,779,075       | 1     | 2      | 36                      | \$117,387,446 |
| 10%     | \$23,312,296  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$2,300,000  | \$48,785,741             | \$64,786,131             | \$118,644,143                | \$118,644,143                | \$529,326,596           | \$810,667,526           | \$128,928,207       | \$111,669,516       | 1     | 3      | 39                      | \$123,113,573 |
| 11%     | \$25,770,960  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$2,800,000  | \$51,546,996             | \$64,617,172             | \$118,407,533                | \$118,407,533                | \$537,996,779           | \$823,658,880           | \$128,928,207       | \$116,400,870       | 1     | 5      | 45                      | \$130,463,227 |
| 12%     | \$31,970,292  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$3,000,000  | \$59,869,472             | \$59,271,617             | \$117,662,796                | \$117,662,796                | \$541,104,633           | \$825,482,751           | \$140,196,254       | \$118,084,711       | 1     | 6      | 48                      | \$140,638,054 |
| 13%     | \$36,408,266  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$3,800,000  | \$64,125,399             | \$65,885,653             | \$117,426,686                | \$117,426,686                | \$549,698,066           | \$830,720,553           | \$140,699,687       | \$123,922,543       | 1     | 8      | 54                      | \$141,887,708 |
| 14%     | \$37,308,660  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$3,000,000  | \$68,797,323             | \$70,425,798             | \$117,382,177                | \$117,382,177                | \$557,121,165           | \$830,720,553           | \$126,122,796       | \$98,103,409        | 2     | 0      | 60                      | \$121,533,181 |
| 15%     | \$39,527,932  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$3,000,000  | \$68,403,181             | \$73,498,324             | \$115,687,141                | \$115,687,141                | \$551,400,087           | \$807,977,515           | \$130,404,707       | \$90,379,505        | 2     | 1      | 63                      | \$124,288,011 |
| 16%     | \$43,906,596  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$3,000,000  | \$79,867,023             | \$62,976,200             | \$115,000,830                | \$115,000,830                | \$540,233,295           | \$813,840,724           | \$130,234,916       | \$106,442,714       | 2     | 3      | 69                      | \$132,077,665 |
| 17%     | \$48,406,280  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$4,100,000  | \$85,361,586             | \$62,817,241             | \$115,164,520                | \$115,164,520                | \$540,175,599           | \$810,918,469           | \$148,177,220       | \$112,320,459       | 2     | 5      | 75                      | \$139,227,419 |
| 18%     | \$50,624,292  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$4,100,000  | \$88,032,058             | \$62,480,662             | \$114,419,483                | \$114,419,483                | \$553,115,762           | \$822,197,419           | \$152,117,383       | \$114,799,469       | 2     | 6      | 78                      | \$12,602,146  |
| 19%     | \$55,063,256  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$4,100,000  | \$93,417,094             | \$62,311,704             | \$114,581,773                | \$114,581,773                | \$562,216,762           | \$826,634,391           | \$161,217,382       | \$121,236,381       | 2     | 8      | 84                      | \$14,951,800  |
| 20%     | \$55,962,960  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$4,000,000  | \$97,330,955             | \$61,711,966             | \$113,138,865                | \$113,138,865                | \$540,011,868           | \$804,071,731           | \$139,014,489       | \$96,673,721        | 3     | 0      | 90                      | \$130,117,270 |
| 21%     | \$60,401,454  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$4,000,000  | \$102,961,518            | \$61,612,438             | \$112,902,554                | \$112,902,554                | \$540,342,532           | \$810,892,756           | \$143,344,173       | \$103,494,776       | 3     | 2      | 96                      | \$137,266,300 |
| 22%     | \$64,840,228  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$5,000,000  | \$106,003,001            | \$61,483,859             | \$112,666,344                | \$112,666,344                | \$558,752,867           | \$812,922,651           | \$157,784,488       | \$110,525,651       | 3     | 4      | 102                     | \$144,164,584 |
| 23%     | \$69,278,902  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$5,400,000  | \$111,773,323            | \$61,354,931             | \$112,403,034                | \$112,403,034                | \$566,343,907           | \$825,184,997           | \$167,343,218       | \$117,786,987       | 3     | 6      | 108                     | \$151,566,238 |
| 24%     | \$74,617,200  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$5,700,000  | \$119,437,299            | \$61,340,775             | \$112,403,034                | \$112,403,034                | \$566,767,407           | \$800,927,603           | \$155,769,118       | \$102,520,305       | 4     | 1      | 120                     | \$148,881,968 |
| 25%     | \$79,836,532  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$5,700,000  | \$121,511,774            | \$60,933,066             | \$111,683,428                | \$111,683,428                | \$576,470,128           | \$825,373,042           | \$175,477,748       | \$118,176,032       | 4     | 1      | 123                     | \$142,566,105 |
| 26%     | \$85,034,528  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$6,700,000  | \$126,026,518            | \$61,062,558             | \$111,909,158                | \$111,909,158                | \$576,470,128           | \$831,581,531           | \$185,438,162       | \$126,198,482       | 4     | 4      | 132                     | \$150,300,730 |
| 27%     | \$87,033,192  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$6,700,000  | \$127,514,792            | \$60,923,548             | \$111,683,428                | \$111,683,428                | \$576,470,128           | \$831,581,531           | \$185,438,162       | \$126,198,482       | 4     | 4      | 132                     | \$150,300,730 |
| 28%     | \$89,321,590  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$6,500,000  | \$127,530,953            | \$60,928,344             | \$111,667,882                | \$111,667,882                | \$576,470,128           | \$831,581,531           | \$185,438,162       | \$126,198,482       | 4     | 6      | 138                     | \$163,816,460 |
| 29%     | \$97,103,164  | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$7,000,000  | \$141,388,713            | \$60,083,148             | \$111,430,982                | \$111,430,982                | \$586,626,340           | \$827,300,802           | \$181,027,961       | \$120,512,792       | 5     | 0      | 150                     | \$147,645,460 |
| 30%     | \$104,381,566 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$7,000,000  | \$146,519,685            | \$60,083,148             | \$111,430,982                | \$111,430,982                | \$601,371,674           | \$831,616,792           | \$200,537,295       | \$130,518,782       | 5     | 5      | 156                     | \$155,519,356 |
| 31%     | \$110,061,136 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$8,300,000  | \$161,107,110            | \$59,107,110             | \$111,975,815                | \$111,975,815                | \$617,117,784           | \$835,088,725           | \$210,153,405       | \$147,682,715       | 5     | 8      | 174                     | \$172,644,076 |
| 32%     | \$116,561,644 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$8,300,000  | \$161,287,467            | \$59,107,110             | \$111,975,815                | \$111,975,815                | \$617,117,784           | \$835,088,725           | \$210,153,405       | \$147,682,715       | 5     | 8      | 174                     | \$172,644,076 |
| 33%     | \$123,022,160 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$9,300,000  | \$183,018,965            | \$60,012,545             | \$111,975,815                | \$111,975,815                | \$617,117,784           | \$835,088,725           | \$210,153,405       | \$147,682,715       | 5     | 8      | 174                     | \$172,644,076 |
| 34%     | \$130,581,040 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$9,300,000  | \$166,826,129            | \$61,361,082             | \$112,210,376                | \$112,210,376                | \$623,073,405           | \$850,500,508           | \$232,077,086       | \$149,102,498       | 6     | 5      | 195                     | \$171,423,687 |
| 35%     | \$137,238,096 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$10,100,000 | \$189,103,486            | \$60,162,715             | \$112,703,347                | \$112,703,347                | \$618,336,237           | \$849,014,118           | \$237,337,580       | \$141,616,108       | 7     | 0      | 210                     | \$165,173,644 |
| 36%     | \$146,115,124 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$11,100,000 | \$170,332,786            | \$61,602,715             | \$112,703,347                | \$112,703,347                | \$618,336,237           | \$849,014,118           | \$237,337,580       | \$141,616,108       | 7     | 3      | 219                     | \$175,508,125 |
| 37%     | \$153,673,064 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$10,900,000 | \$180,351,784            | \$62,341,993             | \$112,688,677                | \$112,688,677                | \$652,760,320           | \$877,600,603           | \$251,799,140       | \$170,847,446       | 7     | 21     | 231                     | \$190,917,433 |
| 38%     | \$162,550,592 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$11,900,000 | \$196,579,212            | \$62,708,276             | \$112,688,677                | \$112,688,677                | \$673,171,320           | \$898,299,787           | \$271,172,941       | \$190,901,777       | 8     | 2      | 246                     | \$181,087,900 |
| 39%     | \$170,108,432 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$12,200,000 | \$199,149,463            | \$63,081,241             | \$115,610,920                | \$115,610,920                | \$673,171,320           | \$898,299,787           | \$271,172,941       | \$190,901,777       | 8     | 6      | 258                     | \$193,586,098 |
| 40%     | \$181,204,692 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$13,200,000 | \$101,663,722            | \$63,735,145             | \$116,791,560                | \$116,791,560                | \$699,772,070           | \$910,058,809           | \$295,773,691       | \$211,660,799       | 9     | 6      | 288                     | \$204,150,790 |
| 41%     | \$188,762,432 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$13,500,000 | \$109,085,932            | \$63,988,110             | \$117,273,431                | \$117,273,431                | \$696,428,833           | \$913,773,834           | \$295,425,453       | \$206,375,824       | 10    | 1      | 303                     | \$195,040,717 |
| 42%     | \$202,078,224 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$10,670,000 | \$204,317,073            | \$64,979,634             | \$119,072,027                | \$119,072,027                | \$730,973,612           | \$946,676,243           | \$329,975,233       | \$239,275,233       | 10    | 7      | 321                     | \$216,689,709 |
| 43%     | \$211,855,296 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$15,300,000 | \$209,117,080            | \$65,320,220             | \$120,062,025                | \$120,062,025                | \$733,511,372           | \$917,335,590           | \$332,512,993       | \$239,940,580       | 11    | 3      | 339                     | \$210,954,403 |
| 44%     | \$224,881,600 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$15,300,000 | \$216,388,427            | \$66,338,427             | \$121,842,298                | \$121,842,298                | \$743,511,372           | \$917,335,590           | \$332,512,993       | \$239,940,580       | 11    | 3      | 360                     | \$208,094,104 |
| 45%     | \$237,077,592 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$17,100,000 | \$218,816,341            | \$67,319,952             | \$123,990,345                | \$123,990,345                | \$776,841,102           | \$987,538,112           | \$377,845,725       | \$280,140,107       | 12    | 6      | 378                     | \$228,482,677 |
| 46%     | \$249,103,596 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$17,100,000 | \$223,645,271            | \$68,138,158             | \$124,859,869                | \$124,859,869                | \$794,975,101           | \$995,041,424           | \$381,970,725       | \$287,646,411       | 13    | 3      | 399                     | \$236,822,288 |
| 47%     | \$261,100,390 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$18,200,000 | \$228,555,271            | \$68,966,965             | \$126,359,193                | \$126,359,193                | \$794,975,101           | \$995,041,424           | \$381,970,725       | \$287,646,411       | 13    | 3      | 420                     | \$244,252,588 |
| 48%     | \$278,914,536 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$20,200,000 | \$233,031,953            | \$70,403,313             | \$129,175,432                | \$129,175,432                | \$842,114,718           | \$1,048,662,305         | \$441,116,339       | \$341,264,265       | 14    | 8      | 444                     | \$255,120,941 |
| 49%     | \$295,349,524 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$21,500,000 | \$242,485,127            | \$72,866,579             | \$132,690,010                | \$132,690,010                | \$876,085,102           | \$1,068,881,786         | \$461,688,813       | \$361,485,776       | 15    | 7      | 471                     | \$260,130,169 |
| 50%     | \$309,925,160 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$22,300,000 | \$246,788,532            | \$74,027,407             | \$136,700,070                | \$136,700,070                | \$876,085,102           | \$1,068,881,786         | \$461,688,813       | \$361,485,776       | 15    | 7      | 471                     | \$260,130,169 |
| 51%     | \$328,215,550 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$23,600,000 | \$249,461,466            | \$74,613,176             | \$136,725,574                | \$136,725,574                | \$898,885,635           | \$1,109,714,442         | \$475,110,729       | \$375,718,102       | 16    | 5      | 495                     | \$281,924,007 |
| 52%     | \$346,873,652 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$25,000,000 | \$252,551,066            | \$75,287,882             | \$139,015,077                | \$139,015,077                | \$908,885,635           | \$1,109,714,442         | \$475,110,729       | \$375,718,102       | 16    | 5      | 525                     | \$270,688,609 |
| 53%     | \$365,717,092 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$26,200,000 | \$257,555,288            | \$76,183,244             | \$140,533,088                | \$140,533,088                | \$918,918,244           | \$1,109,714,442         | \$475,110,729       | \$375,718,102       | 16    | 5      | 555                     | \$279,632,791 |
| 54%     | \$384,821,424 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$28,000,000 | \$262,195,488            | \$77,027,407             | \$142,693,223                | \$142,693,223                | \$928,164,916           | \$1,109,714,442         | \$475,110,729       | \$375,718,102       | 16    | 6      | 588                     | \$291,910,109 |
| 55%     | \$410,394,600 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$28,000,000 | \$262,195,488            | \$77,027,407             | \$142,693,223                | \$142,693,223                | \$928,164,916           | \$1,109,714,442         | \$475,110,729       | \$375,718,102       | 16    | 6      | 621                     | \$296,635,029 |
| 56%     | \$434,867,464 | \$66,922,266      | \$121,590,506     | \$30,400,000 | \$272,013,283            | \$77,132,779             | \$14                         |                              |                         |                         |                     |                     |       |        |                         |               |

Tabla 7.15: Instalaciones óptimas de sistemas eólicos ante una demanda futura constante.

| Demanda | C.I.          | C.O <sub>o,p</sub> | C.O <sub>o,s</sub> | C.E.         | Ahorro Comb <sub>p</sub> | Ahorro Comb <sub>s</sub> | C.M <sub>p</sub> | C.M <sub>s</sub> | Costo Global <sub>p</sub> | Costo Global <sub>s</sub> | Ahorro <sub>op</sub> | Ahorro <sub>s</sub> | Huaya | Allrun | Potencia Instalada [kW] | C.A.          |
|---------|---------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|------------------|------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------|-------|--------|-------------------------|---------------|
| 5 %     | \$17.754.656  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.000.000  | \$28.002.149             | \$53.592.566             | \$144.036.965    | \$263.340.750    | \$961.973.136             | \$1.586.382.866           | \$-96.541.089        | \$-59.681.265       | 0     | 8      | 24                      | \$132.423.616 |
| 6 %     | \$18.654.300  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$1.300.000  | \$33.188.819             | \$63.510.195             | \$142.658.468    | \$261.414.721    | \$865.773.089             | \$1.554.205.428           | \$-70.341.042        | \$-27.503.727       | 1     | 0      | 30                      | \$112.589.092 |
| 7 %     | \$20.873.632  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$1.800.000  | \$36.316.834             | \$69.500.821             | \$141.443.280    | \$259.187.964    | \$897.721.053             | \$1.552.376.394           | \$-72.292.007        | \$-25.674.504       | 1     | 1      | 33                      | \$116.033.919 |
| 8 %     | \$23.312.296  | \$183.799.602      | \$183.799.602      | \$2.300.000  | \$42.250.983             | \$80.863.031             | \$140.505.780    | \$257.469.933    | \$942.940.663             | \$1.551.389.282           | \$-77.508.617        | \$-24.687.582       | 1     | 3      | 39                      | \$123.313.373 |
| 9 %     | \$29.790.960  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.800.000  | \$47.868.745             | \$101.614.715            | \$139.568.172    | \$255.751.903    | \$948.473.661             | \$1.551.007.586           | \$-83.041.615        | \$-24.306.185       | 1     | 5      | 45                      | \$130.463.227 |
| 10 %    | \$34.199.024  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.300.000  | \$53.254.353             | \$101.922.144            | \$138.630.013    | \$254.033.872    | \$954.238.793             | \$1.551.070.744           | \$-88.800.736        | \$-24.309.043       | 1     | 7      | 51                      | \$137.612.881 |
| 11 %    | \$37.308.600  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.600.000  | \$60.281.830             | \$115.371.768            | \$137.529.737    | \$252.016.570    | \$962.209.749             | \$1.521.763.097           | \$-66.837.702        | \$4.038.604         | 2     | 0      | 60                      | \$121.353.184 |
| 12 %    | \$39.527.932  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.100.000  | \$62.752.978             | \$120.101.252            | \$136.314.558    | \$249.789.813    | \$954.877.570             | \$1.521.101.015           | \$-69.445.524        | \$5.000.686         | 2     | 1      | 63                      | \$124.928.011 |
| 13 %    | \$43.966.596  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.600.000  | \$67.469.835             | \$120.186.134            | \$135.376.999    | \$248.071.782    | \$941.281.473             | \$1.522.386.420           | \$-75.849.427        | \$4.313.280         | 2     | 3      | 69                      | \$132.077.065 |
| 14 %    | \$48.405.260  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$4.100.000  | \$72.000.665             | \$137.800.152            | \$134.439.441    | \$246.353.752    | \$947.931.403             | \$1.524.142.600           | \$-82.499.356        | \$2.550.011         | 2     | 5      | 75                      | \$139.227.319 |
| 15 %    | \$55.063.256  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$4.600.000  | \$78.336.200             | \$140.925.736            | \$133.779.593    | \$245.144.448    | \$958.518.317             | \$1.528.690.729           | \$-93.386.270        | \$-1.985.578        | 2     | 8      | 84                      | \$149.951.800 |
| 16 %    | \$55.962.900  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.900.000  | \$82.940.881             | \$157.015.555            | \$132.401.066    | \$242.618.419    | \$954.100.348             | \$1.499.439.550           | \$-68.668.392        | \$27.262.600        | 3     | 0      | 90                      | \$130.117.757 |
| 17 %    | \$62.620.896  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$4.900.000  | \$87.809.199             | \$168.035.684            | \$131.741.068    | \$241.409.115    | \$946.054.570             | \$1.505.572.595           | \$-80.362.144        | \$24.210.040        | 4     | 5      | 135                     | \$156.755.403 |
| 22 %    | \$93.271.560  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$6.500.000  | \$115.151.420            | \$220.385.233            | \$128.114.744    | \$244.764.052    | \$954.140.331             | \$1.485.652.390           | \$-88.708.285        | \$41.049.411        | 5     | 0      | 150                     | \$140.841.756 |
| 23 %    | \$99.929.496  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.500.000  | \$119.267.802            | \$228.263.083            | \$127.454.806    | \$233.554.748    | \$967.746.689             | \$1.494.947.013           | \$-102.314.643       | \$31.754.087        | 5     | 3      | 159                     | \$155.369.941 |
| 24 %    | \$106.587.492 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$8.000.000  | \$123.217.207            | \$235.922.126            | \$126.794.868    | \$232.455.444    | \$961.010.624             | \$1.504.061.743           | \$-115.587.577       | \$22.639.958        | 5     | 6      | 168                     | \$160.094.422 |
| 25 %    | \$111.925.540 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.800.000  | \$128.523.553            | \$242.877.801            | \$125.971.613    | \$230.536.868    | \$967.343.459             | \$1.484.859.930           | \$-101.911.413       | \$41.859.771        | 6     | 0      | 180                     | \$156.409.552 |
| 27 %    | \$123.022.460 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$9.300.000  | \$137.311.238            | \$257.311.238            | \$125.866.917    | \$230.645.018    | \$991.787.839             | \$1.503.796.437           | \$-126.355.784       | \$29.905.264        | 6     | 5      | 195                     | \$174.283.087 |
| 28 %    | \$137.238.096 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$10.100.000 | \$140.366.805            | \$265.644.286            | \$125.321.282    | \$229.645.168    | \$983.658.265             | \$1.489.711.137           | \$-118.136.222       | \$36.990.563        | 7     | 0      | 210                     | \$165.173.644 |
| 29 %    | \$140.234.400 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$10.100.000 | \$143.560.275            | \$271.776.182            | \$124.601.344    | \$228.435.864    | \$998.097.338             | \$1.500.772.415           | \$-132.665.292       | \$25.929.286        | 7     | 3      | 219                     | \$175.898.125 |
| 30 %    | \$155.892.966 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$11.400.000 | \$151.000.425            | \$280.127.744            | \$124.670.911    | \$228.153.468    | \$1.000.033.710           | \$1.496.734.170           | \$-135.501.663       | \$19.947.326        | 8     | 0      | 240                     | \$173.937.786 |
| 31 %    | \$167.888.790 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$11.400.000 | \$153.942.962            | \$294.626.813            | \$124.011.013    | \$228.344.164    | \$1.015.782.982           | \$1.508.428.475           | \$-150.330.935       | \$18.274.229        | 8     | 3      | 249                     | \$184.662.317 |
| 32 %    | \$170.766.028 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$11.700.000 | \$160.829.503            | \$307.807.397            | \$124.020.020    | \$227.361.768    | \$1.019.241.693           | \$1.513.809.646           | \$-153.809.646       | \$21.100.911        | 9     | 0      | 270                     | \$192.001.136 |
| 33 %    | \$186.543.000 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$13.000.000 | \$169.773.742            | \$324.935.437            | \$123.370.280    | \$226.070.668    | \$1.038.365.515           | \$1.516.010.602           | \$-172.933.668       | \$10.691.639        | 10    | 0      | 300                     | \$191.465.920 |
| 34 %    | \$199.858.992 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$14.500.000 | \$174.393.578            | \$333.767.218            | \$123.543.213    | \$226.386.944    | \$1.070.183.557           | \$1.543.750.111           | \$-204.751.511       | \$-17.048.410       | 10    | 6      | 318                     | \$212.914.582 |
| 35 %    | \$211.855.296 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$15.300.000 | \$180.135.977            | \$344.757.442            | \$123.552.820    | \$226.604.548    | \$1.075.286.680           | \$1.543.613.405           | \$-209.854.634       | \$-16.911.705       | 11    | 3      | 339                     | \$219.954.493 |
| 36 %    | \$224.851.600 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$15.600.000 | \$185.371.488            | \$355.160.922            | \$123.562.427    | \$226.422.151    | \$1.080.196.691           | \$1.545.564.044           | \$-214.764.444       | \$-16.862.443       | 12    | 0      | 360                     | \$206.994.104 |
| 37 %    | \$239.386.924 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$17.000.000 | \$190.030.133            | \$365.710.830            | \$124.012.972    | \$227.447.754    | \$1.118.738.703           | \$1.578.398.552           | \$-255.306.657       | \$-51.696.551       | 12    | 7      | 381                     | \$234.017.893 |
| 38 %    | \$251.383.228 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$17.000.000 | \$194.985.290            | \$373.177.148            | \$124.022.579    | \$227.365.358    | \$1.124.138.068           | \$1.579.255.452           | \$-258.706.021       | \$-52.583.752       | 13    | 4      | 402                     | \$232.057.904 |
| 39 %    | \$265.598.864 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$18.700.000 | \$200.249.669            | \$383.252.401            | \$124.309.806    | \$227.791.688    | \$1.135.790.991           | \$1.586.366.503           | \$-270.338.945       | \$-59.664.803       | 14    | 2      | 426                     | \$233.671.942 |
| 40 %    | \$279.814.400 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$19.500.000 | \$205.231.374            | \$392.796.554            | \$124.507.033    | \$228.318.018    | \$1.147.726.587           | \$1.593.988.555           | \$-282.294.341       | \$-67.286.554       | 15    | 0      | 450                     | \$235.286.380 |
| 41 %    | \$298.468.800 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$20.500.000 | \$210.933.780            | \$403.790.337            | \$125.439.702    | \$229.801.802    | \$1.171.585.042           | \$1.613.337.447           | \$-306.132.095       | \$-86.635.447       | 16    | 0      | 480                     | \$244.030.772 |
| 42 %    | \$317.123.100 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$22.100.000 | \$216.298.186            | \$413.967.431            | \$126.281.071    | \$231.405.355    | \$1.195.781.407           | \$1.633.332.429           | \$-330.349.450       | \$-106.650.728      | 17    | 0      | 510                     | \$252.814.564 |
| 43 %    | \$335.777.400 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$23.100.000 | \$221.359.570            | \$423.654.178            | \$127.124.440    | \$232.649.369    | \$1.220.280.974           | \$1.653.997.758           | \$-354.848.928       | \$-127.206.057      | 18    | 0      | 540                     | \$261.578.656 |
| 44 %    | \$354.431.700 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$24.700.000 | \$226.124.974            | \$432.773.596            | \$127.966.990    | \$234.033.152    | \$1.245.076.934           | \$1.675.056.515           | \$-379.644.587       | \$-148.348.814      | 19    | 0      | 570                     | \$270.342.748 |
| 45 %    | \$373.305.332 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$26.500.000 | \$230.926.994            | \$441.953.333            | \$129.086.990    | \$236.545.662    | \$1.276.413.692           | \$1.700.935.639           | \$-410.981.005       | \$-176.233.039      | 20    | 1      | 603                     | \$282.681.667 |
| 46 %    | \$400.617.028 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$28.500.000 | \$235.998.119            | \$451.670.308            | \$130.702.530    | \$239.615.625    | \$1.319.612.127           | \$1.742.889.690           | \$-454.180.080       | \$-216.187.796      | 21    | 4      | 642                     | \$302.170.240 |
| 47 %    | \$429.048.900 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$31.000.000 | \$242.343.592            | \$463.814.039            | \$132.829.265    | \$243.703.770    | \$1.348.504.056           | \$1.767.793.357           | \$-483.162.010       | \$-241.091.057      | 23    | 0      | 690                     | \$305.399.116 |
| 48 %    | \$452.141.864 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$33.700.000 | \$246.259.657            | \$471.300.700            | \$134.227.286    | \$245.605.006    | \$1.380.882.413           | \$1.805.666.433           | \$-521.450.366       | \$-276.964.752      | 24    | 2      | 726                     | \$321.312.862 |
| 49 %    | \$483.011.900 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$33.500.000 | \$252.087.384            | \$482.463.323            | \$136.849.792    | \$250.770.604    | \$1.420.025.648           | \$1.842.666.984           | \$-563.503.601       | \$-315.965.283      | 26    | 0      | 790                     | \$343.691.392 |
| 50 %    | \$521.420.756 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$37.100.000 | \$256.354.974            | \$490.630.550            | \$139.913.227    | \$256.384.260    | \$1.504.803.156           | \$1.917.184.017           | \$-639.401.110       | \$-390.482.916      | 27    | 8      | 834                     | \$369.054.100 |
| 51 %    | \$559.629.000 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$39.000.000 | \$262.502.130            | \$502.462.130            | \$143.205.268    | \$262.342.705    | \$1.539.893.392           | \$1.949.187.845           | \$-674.373.555       | \$-422.486.144      | 30    | 0      | 900                     | \$366.747.760 |
| 52 %    | \$596.937.600 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$41.000.000 | \$266.942.553            | \$510.894.034            | \$146.383.006    | \$268.942.073    | \$1.596.014.044           | \$1.767.708.357           | \$-730.551.998       | \$-471.313.875      | 32    | 0      | 960                     | \$384.275.944 |
| 53 %    | \$652.900.400 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$45.000.000 | \$272.627.145            | \$521.773.823            | \$151.896.012    | \$278.442.973    | \$1.681.497.635           | \$2.080.303.480           | \$-816.565.889       | \$-562.691.780      | 35    | 0      | 1050                    | \$410.568.290 |
| 54 %    | \$708.863.400 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$49.000.000 | \$277.380.796            | \$530.871.708            | \$157.409.010    | \$288.444.360    | \$1.768.912.167           | \$2.176.553.689           | \$-963.480.121       | \$-649.851.388      | 38    | 0      | 1140                    | \$436.800.486 |
| 55 %    | \$783.480.600 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$54.000.000 | \$282.574.126            | \$550.811.065            | \$166.257.265    | \$302.525.975    | \$1.886.440.681           | \$2.295.808.864           | \$-1.021.008.634     | \$-1.070.167.164    | 42    | 0      | 1260                    | \$471.916.864 |
| 56 %    | \$876.752.100 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$61.000.000 | \$287.625.754            | \$550.479.361            | \$175.440.840    | \$321.486.826    | \$2.035.164.558           | \$2.448.453.501           | \$-1.169.732.511     | \$-921.751.880      | 47    | 0      | 1410                    | \$515.737.324 |



Tabla 7.16: Instalaciones óptimas de híbrido ante una demanda futura constante.

| Demanda | C.I.          | C.O. <sub>sp</sub> | C.O. <sub>ss</sub> | C.E.         | Ahorro Comb <sub>p</sub> | Ahorro Comb <sub>s</sub> | C.M. <sub>p</sub> | C.M. <sub>s</sub> | Costo Global <sub>p</sub> | Costo Global <sub>s</sub> | Ahorro <sub>p</sub> | Ahorro <sub>s</sub> | JXSOL | Allrnn | Potencia Instalada [kW <sub>h</sub> ] | C.A.          |
|---------|---------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-------|--------|---------------------------------------|---------------|
| 5 %     | \$3.864.804   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.600.000  | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$142.057.010     | \$260.314.227     | \$911.707.899             | \$1.515.586.203           | \$-46.335.852       | \$11.115.498        | 2     | 0      | 10                                    | \$118.216.700 |
| 6 %     | \$3.864.804   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.600.000  | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$140.565.110     | \$257.578.743     | \$910.275.099             | \$1.512.850.719           | \$-44.843.052       | \$13.850.981        | 2     | 0      | 10                                    | \$118.216.700 |
| 7 %     | \$3.864.804   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.600.000  | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$139.072.310     | \$254.843.260     | \$908.782.299             | \$1.510.115.236           | \$-43.350.252       | \$16.586.465        | 2     | 0      | 10                                    | \$118.216.700 |
| 8 %     | \$3.864.804   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.600.000  | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$137.579.110     | \$252.107.776     | \$907.289.499             | \$1.507.379.732           | \$-41.857.452       | \$19.321.949        | 2     | 0      | 10                                    | \$118.216.700 |
| 9 %     | \$3.864.804   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$2.600.000  | \$48.731.563             | \$93.266.039             | \$136.086.710     | \$249.372.293     | \$905.796.099             | \$1.504.644.269           | \$-40.364.652       | \$22.057.432        | 2     | 0      | 10                                    | \$118.216.700 |
| 10 %    | \$5.797.206   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.900.000  | \$73.097.345             | \$130.899.059            | \$134.714.865     | \$246.858.454     | \$889.067.324             | \$1.501.645.662           | \$-23.025.278       | \$62.266.038        | 3     | 0      | 15                                    | \$123.982.550 |
| 11 %    | \$5.797.206   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.900.000  | \$73.097.345             | \$130.899.059            | \$133.222.065     | \$244.122.971     | \$887.664.525             | \$1.491.760.179           | \$-22.132.478       | \$64.941.522        | 3     | 0      | 15                                    | \$123.982.550 |
| 12 %    | \$5.797.206   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.900.000  | \$73.097.345             | \$130.899.059            | \$131.729.265     | \$241.387.487     | \$886.071.725             | \$1.490.024.695           | \$-20.639.678       | \$67.677.005        | 3     | 0      | 15                                    | \$123.982.550 |
| 13 %    | \$5.797.206   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.900.000  | \$73.097.345             | \$130.899.059            | \$130.236.465     | \$238.652.004     | \$884.578.925             | \$1.486.289.212           | \$-19.146.878       | \$70.412.489        | 3     | 0      | 15                                    | \$123.982.550 |
| 14 %    | \$5.797.206   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$3.900.000  | \$73.097.345             | \$130.899.059            | \$128.743.665     | \$235.916.520     | \$883.081.125             | \$1.483.553.728           | \$-17.654.078       | \$73.147.972        | 3     | 0      | 15                                    | \$123.982.550 |
| 15 %    | \$7.729.608   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$5.200.000  | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$127.371.821     | \$233.402.082     | \$866.347.347             | \$1.413.406.264           | \$-9.015.301        | \$113.295.436       | 4     | 0      | 20                                    | \$129.748.400 |
| 16 %    | \$7.729.608   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$5.200.000  | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$125.879.021     | \$230.667.198     | \$864.854.547             | \$1.410.670.781           | \$-877.499          | \$116.039.920       | 4     | 0      | 20                                    | \$129.748.400 |
| 17 %    | \$7.729.608   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$5.200.000  | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$124.396.221     | \$227.931.714     | \$863.491.747             | \$1.407.935.297           | \$-870.299          | \$118.766.403       | 4     | 0      | 20                                    | \$129.748.400 |
| 18 %    | \$7.729.608   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$5.200.000  | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$122.893.421     | \$225.196.231     | \$861.868.947             | \$1.405.199.814           | \$-863.099          | \$121.501.887       | 4     | 0      | 20                                    | \$129.748.400 |
| 19 %    | \$7.729.608   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$5.200.000  | \$97.462.529             | \$186.530.936            | \$121.400.021     | \$222.460.747     | \$860.376.147             | \$1.402.464.330           | \$-855.899          | \$124.237.370       | 4     | 0      | 20                                    | \$129.748.400 |
| 20 %    | \$9.662.010   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$6.500.000  | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$120.028.776     | \$221.946.909     | \$843.850.744             | \$1.362.725.238           | \$21.381.362        | \$163.976.463       | 5     | 0      | 25                                    | \$135.514.250 |
| 21 %    | \$9.662.010   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$6.500.000  | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$118.535.976     | \$217.211.425     | \$842.367.944             | \$1.359.989.754           | \$23.674.102        | \$166.711.947       | 5     | 0      | 25                                    | \$135.514.250 |
| 22 %    | \$9.662.010   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$6.500.000  | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$117.043.76      | \$214.755.942     | \$840.865.144             | \$1.357.254.270           | \$24.566.902        | \$169.447.430       | 5     | 0      | 25                                    | \$135.514.250 |
| 23 %    | \$9.662.010   | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$6.500.000  | \$121.614.340            | \$232.754.442            | \$115.550.376     | \$211.740.458     | \$839.372.344             | \$1.354.518.787           | \$26.059.702        | \$172.182.914       | 5     | 0      | 25                                    | \$135.514.250 |
| 24 %    | \$11.594.412  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.800.000  | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$114.178.532     | \$209.226.020     | \$824.812.886             | \$1.318.542.282           | \$40.619.151        | \$298.159.419       | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 25 %    | \$11.594.412  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.800.000  | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$112.685.732     | \$206.491.136     | \$823.320.096             | \$1.315.896.708           | \$42.111.951        | \$210.894.902       | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 26 %    | \$11.594.412  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.800.000  | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$111.192.932     | \$203.755.652     | \$821.827.286             | \$1.313.071.315           | \$43.694.751        | \$213.639.386       | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 27 %    | \$11.594.412  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.800.000  | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$109.700.132     | \$201.020.160     | \$820.334.496             | \$1.310.335.851           | \$45.097.551        | \$216.365.899       | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 28 %    | \$11.594.412  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$7.800.000  | \$143.800.196            | \$275.215.360            | \$108.207.532     | \$198.284.085     | \$818.841.696             | \$1.307.600.348           | \$46.590.351        | \$219.101.363       | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 29 %    | \$13.526.814  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$9.100.000  | \$161.455.169            | \$309.010.484            | \$106.835.487     | \$196.770.847     | \$808.810.130             | \$1.280.289.637           | \$56.021.916        | \$246.412.963       | 7     | 0      | 35                                    | \$147.045.950 |
| 30 %    | \$13.526.814  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$9.100.000  | \$161.455.169            | \$309.010.484            | \$105.342.687     | \$193.035.963     | \$807.317.330             | \$1.277.554.154           | \$58.114.716        | \$249.147.547       | 7     | 0      | 35                                    | \$147.045.950 |
| 31 %    | \$13.526.814  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$9.100.000  | \$161.455.169            | \$309.010.484            | \$103.849.887     | \$190.299.880     | \$805.824.530             | \$1.274.818.670           | \$59.607.516        | \$251.883.009       | 7     | 0      | 35                                    | \$147.045.950 |
| 32 %    | \$15.459.216  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$10.400.000 | \$174.103.824            | \$333.212.666            | \$102.478.043     | \$187.786.041     | \$800.805.282             | \$1.257.100.902           | \$64.026.764        | \$269.600.799       | 8     | 0      | 40                                    | \$152.811.900 |
| 33 %    | \$15.459.216  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$10.400.000 | \$174.103.824            | \$333.212.666            | \$100.985.243     | \$185.050.558     | \$799.312.482             | \$1.254.365.418           | \$66.119.564        | \$272.336.283       | 8     | 0      | 40                                    | \$152.811.900 |
| 34 %    | \$17.391.618  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$11.700.000 | \$182.429.787            | \$349.147.505            | \$99.613.398      | \$182.536.719     | \$798.129.927             | \$1.244.914.993           | \$66.819.119        | \$281.786.708       | 9     | 0      | 45                                    | \$158.577.650 |
| 35 %    | \$17.391.618  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$11.700.000 | \$182.429.787            | \$349.147.505            | \$98.129.598      | \$179.801.236     | \$797.120.127             | \$1.242.179.599           | \$68.311.919        | \$284.322.191       | 9     | 0      | 45                                    | \$158.577.650 |
| 36 %    | \$19.324.020  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$13.000.000 | \$187.792.164            | \$359.412.328            | \$96.748.754      | \$177.287.397     | \$790.383.158             | \$1.238.399.019           | \$68.048.889        | \$288.392.401       | 10    | 0      | 50                                    | \$164.343.630 |
| 37 %    | \$21.256.422  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$14.300.000 | \$191.282.577            | \$366.090.624            | \$95.376.969      | \$174.773.558     | \$803.520.152             | \$1.238.205.217           | \$61.911.895        | \$288.496.483       | 11    | 0      | 55                                    | \$170.109.350 |
| 38 %    | \$25.121.226  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$16.900.000 | \$195.438.799            | \$374.045.105            | \$94.126.020      | \$172.481.365     | \$816.109.545             | \$1.245.955.046           | \$49.322.501        | \$289.746.655       | 13    | 0      | 65                                    | \$181.641.050 |
| 39 %    | \$31.203.685  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$20.000.000 | \$200.034.922            | \$382.841.593            | \$93.152.752      | \$170.697.988     | \$834.829.140             | \$1.259.664.168           | \$30.692.907        | \$297.037.533       | 15    | 1      | 78                                    | \$196.747.277 |
| 40 %    | \$38.141.983  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$19.700.000 | \$205.465.523            | \$393.231.157            | \$92.649.479      | \$169.775.676     | \$844.068.942             | \$1.263.529.967           | \$21.363.104        | \$293.177.754       | 14    | 5      | 85                                    | \$265.281.035 |
| 41 %    | \$45.080.121  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$19.000.000 | \$235.942.810            | \$403.029.692            | \$92.146.207      | \$168.853.453     | \$853.020.095             | \$1.267.979.486           | \$1.812.037         | \$258.722.214       | 13    | 9      | 92                                    | \$21.084.093  |
| 42 %    | \$52.303.592  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$17.800.000 | \$215.377.055            | \$412.204.403            | \$91.799.600      | \$168.218.313     | \$860.443.112             | \$1.270.130.940           | \$4.988.934         | \$256.570.760       | 11    | 14     | 97                                    | \$220.156.628 |
| 43 %    | \$60.888.959  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$20.100.000 | \$220.760.340            | \$422.507.328            | \$91.260.618      | \$167.230.654     | \$881.896.543             | \$1.286.216.054           | \$16.464.497        | \$249.485.646       | 12    | 17     | 111                                   | \$226.647.259 |
| 44 %    | \$69.759.579  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$21.100.000 | \$225.945.184            | \$432.430.462            | \$90.873.301      | \$166.530.076     | \$900.499.311             | \$1.299.762.271           | \$35.067.264        | \$226.939.439       | 12    | 21     | 123                                   | \$229.946.867 |
| 45 %    | \$78.630.199  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$22.100.000 | \$230.890.514            | \$441.885.164            | \$90.495.984      | \$165.829.469     | \$919.341.591             | \$1.313.766.886           | \$-53.900.545       | \$212.934.815       | 12    | 25     | 135                                   | \$265.245.875 |
| 46 %    | \$89.147.968  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$25.300.000 | \$235.942.810            | \$451.564.666            | \$90.079.957      | \$165.063.485     | \$949.745.212             | \$1.339.205.457           | \$84.313.165        | \$187.496.347       | 14    | 28     | 154                                   | \$287.502.056 |
| 47 %    | \$98.569.094  | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$24.100.000 | \$240.995.528            | \$461.234.914            | \$90.008.970      | \$164.947.071     | \$962.891.903             | \$1.347.667.080           | \$-97.449.856       | \$179.034.021       | 12    | 34     | 162                                   | \$297.419.318 |
| 48 %    | \$111.039.365 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$29.000.000 | \$246.178.807            | \$471.153.655            | \$89.711.899      | \$164.392.702     | \$1.022.775.754           | \$1.382.574.172           | \$-137.341.707      | \$144.126.928       | 15    | 37     | 186                                   | \$325.441.349 |
| 49 %    | \$122.412.793 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$29.000.000 | \$251.270.051            | \$480.899.051            | \$89.763.868      | \$164.847.933     | \$1.024.991.118           | \$1.400.182.646           | \$-159.559.072      | \$126.510.654       | 14    | 43     | 199                                   | \$341.124.461 |
| 50 %    | \$135.718.723 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$30.700.000 | \$256.548.140            | \$491.000.000            | \$89.936.763      | \$164.804.869     | \$1.056.548.140           | \$1.426.652.821           | \$-126.652.821      | \$100.048.880       | 14    | 49     | 217                                   | \$362.573.423 |
| 51 %    | \$150.671.802 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$34.300.000 | \$261.705.492            | \$500.871.164            | \$90.074.007      | \$165.056.248     | \$1.099.079.623           | \$1.464.992.655           | \$-233.647.576      | \$61.799.045        | 16    | 54     | 242                                   | \$391.979.258 |
| 52 %    | \$181.590.234 | \$104.189.355      | \$183.799.602      | \$55.100.000 | \$266.675.800            | \$510.383.792            | \$90.516.495      | \$165.867.084     | \$1.238.523.834           | \$1.600.262.985           | \$-373.061.788      | \$-73.561.284       | 32    | 54     | 322                                   | \$484.232.558 |

Tabla 7.17: Instalaciones óptimas de híbrido ante una la demanda actual.

| Demanda | C.I.          | C.O. <sub>P</sub> | C.O. <sub>S</sub> | C.E.         | Ahorro Comb <sub>P</sub> | Ahorro Comb <sub>S</sub> | C.M. <sub>P</sub> | C.M. <sub>S</sub> | Costo Global <sub>P</sub> | Costo Global <sub>S</sub> | Ahorro <sub>P</sub> | Ahorro <sub>S</sub> | JXSOL | Allrun | Potencia Instalada [kW <sub>h</sub> ] | C.A.          |
|---------|---------------|-------------------|-------------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-------|--------|---------------------------------------|---------------|
| 5%      | \$5.797.206   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$3.900.000  | \$13.089.925             | \$25.052.458             | \$65.361.866      | \$119.772.448     | \$525.096.863             | \$826.683.001             | \$-124.098.484      | \$-119.284.991      | 3     | 0      | 15                                    | \$123.982.550 |
| 6%      | \$7.729.608   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$5.200.000  | \$17.453.233             | \$33.403.278             | \$64.798.621      | \$118.740.329     | \$529.168.563             | \$826.298.316             | \$-128.170.183      | \$-118.900.306      | 4     | 0      | 20                                    | \$129.748.400 |
| 7%      | \$9.662.010   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$6.500.000  | \$21.811.526             | \$41.744.497             | \$64.235.377      | \$117.708.211     | \$533.245.278             | \$825.923.230             | \$-132.246.898      | \$-118.525.220      | 5     | 0      | 25                                    | \$135.514.250 |
| 8%      | \$9.662.010   | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$6.500.000  | \$21.811.526             | \$41.744.497             | \$63.551.177      | \$116.454.448     | \$532.561.078             | \$824.669.466             | \$-131.562.698      | \$-117.271.456      | 5     | 0      | 25                                    | \$135.514.250 |
| 9%      | \$11.594.412  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$7.800.000  | \$23.886.252             | \$49.543.007             | \$62.987.982      | \$115.422.330     | \$536.921.359             | \$824.837.091             | \$-135.922.980      | \$-117.439.081      | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 10%     | \$11.594.412  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$7.800.000  | \$23.886.252             | \$49.543.007             | \$62.303.732      | \$114.168.566     | \$536.237.159             | \$823.583.327             | \$-135.238.780      | \$-116.185.317      | 6     | 0      | 30                                    | \$141.280.100 |
| 11%     | \$13.526.814  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$9.100.000  | \$29.115.658             | \$55.728.681             | \$61.740.488      | \$113.136.448     | \$541.442.760             | \$825.368.787             | \$-140.444.381      | \$-117.970.777      | 7     | 0      | 35                                    | \$147.045.950 |
| 12%     | \$15.459.216  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$10.400.000 | \$31.733.597             | \$60.734.086             | \$61.177.243      | \$112.104.330     | \$547.259.828             | \$828.324.516             | \$-146.261.449      | \$-120.926.506      | 8     | 0      | 40                                    | \$152.811.800 |
| 13%     | \$17.391.618  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$11.700.000 | \$34.230.856             | \$65.513.522             | \$60.613.999      | \$111.072.211     | \$553.197.377             | \$831.511.213             | \$-152.199.198      | \$-124.113.203      | 9     | 0      | 45                                    | \$158.577.650 |
| 14%     | \$19.324.022  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$13.000.000 | \$36.688.718             | \$70.217.559             | \$60.050.764      | \$110.040.093     | \$559.174.722             | \$834.773.309             | \$-168.176.343      | \$-127.375.299      | 10    | 0      | 50                                    | \$164.343.500 |
| 15%     | \$21.256.422  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$14.300.000 | \$39.094.288             | \$74.821.514             | \$59.487.509      | \$109.007.975     | \$565.204.160             | \$838.135.488             | \$-164.205.781      | \$-130.737.478      | 11    | 0      | 55                                    | \$170.109.350 |
| 16%     | \$23.188.824  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$15.600.000 | \$41.314.078             | \$79.069.913             | \$58.924.265      | \$107.975.856     | \$571.419.377             | \$841.853.224             | \$-170.420.098      | \$-134.455.214      | 12    | 0      | 60                                    | \$175.875.200 |
| 17%     | \$25.121.226  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$16.900.000 | \$43.168.258             | \$82.618.578             | \$58.361.020      | \$106.943.738     | \$578.000.205             | \$846.270.692             | \$-177.001.825      | \$-138.872.682      | 13    | 0      | 65                                    | \$181.641.050 |
| 18%     | \$28.986.030  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$19.500.000 | \$46.024.567             | \$88.085.191             | \$57.918.731      | \$106.133.265     | \$592.698.111             | \$857.990.109             | \$-191.699.732      | \$-150.592.099      | 15    | 0      | 75                                    | \$193.172.750 |
| 19%     | \$32.850.834  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$22.100.000 | \$48.190.312             | \$92.230.152             | \$57.476.442      | \$105.322.791     | \$608.086.581             | \$871.031.179             | \$-207.088.202      | \$-163.633.169      | 17    | 0      | 85                                    | \$204.704.450 |
| 20%     | \$35.924.248  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$19.200.000 | \$50.851.279             | \$97.322.907             | \$57.539.859      | \$105.438.999     | \$602.664.202             | \$863.229.804             | \$-201.665.823      | \$-155.831.794      | 14    | 4      | 82                                    | \$201.706.208 |
| 21%     | \$40.074.305  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$21.000.000 | \$53.346.666             | \$102.098.761            | \$57.254.235      | \$104.915.608     | \$615.173.926             | \$873.221.292             | \$-214.175.547      | \$-165.823.282      | 15    | 5      | 90                                    | \$211.046.885 |
| 22%     | \$44.509.615  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$21.500.000 | \$56.035.703             | \$107.245.239            | \$57.125.277      | \$104.679.298     | \$624.440.894             | \$879.923.469             | \$-223.442.514      | \$-172.525.459      | 15    | 7      | 96                                    | \$218.196.539 |
| 23%     | \$48.944.925  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$22.000.000 | \$58.582.842             | \$112.120.139            | \$56.996.318      | \$104.442.987     | \$633.849.761             | \$886.897.223             | \$-232.851.382      | \$-179.499.213      | 15    | 9      | 102                                   | \$225.346.193 |
| 24%     | \$53.380.235  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$22.500.000 | \$60.957.534             | \$116.664.999            | \$56.867.360      | \$104.206.677     | \$643.431.074             | \$894.201.016             | \$-242.432.695      | \$-186.803.006      | 15    | 11     | 108                                   | \$232.495.847 |
| 25%     | \$58.100.798  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$21.700.000 | \$63.560.973             | \$121.647.652            | \$56.895.066      | \$104.257.449     | \$649.734.536             | \$908.148.329             | \$-248.736.157      | \$-190.750.319      | 14    | 14     | 112                                   | \$237.454.478 |
| 26%     | \$62.821.361  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$21.400.000 | \$66.003.398             | \$126.322.143            | \$56.922.773      | \$104.308.220     | \$656.699.012             | \$902.963.803             | \$-255.700.633      | \$-195.505.793      | 13    | 17     | 116                                   | \$242.413.109 |
| 27%     | \$69.189.073  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$23.200.000 | \$68.798.770             | \$131.672.132            | \$56.914.770      | \$104.293.555     | \$674.978.852             | \$918.622.364             | \$-273.980.473      | \$-211.224.354      | 14    | 19     | 127                                   | \$255.328.613 |
| 28%     | \$74.194.889  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$21.600.000 | \$71.145.589             | \$136.163.646            | \$57.099.142      | \$104.631.408     | \$678.989.830             | \$920.642.128             | \$-277.991.451      | \$-213.244.118      | 12    | 23     | 129                                   | \$258.096.221 |
| 29%     | \$80.562.601  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$23.400.000 | \$73.707.513             | \$141.066.843            | \$57.091.139      | \$104.616.743     | \$697.503.119             | \$936.807.482             | \$-296.504.740      | \$-229.409.471      | 13    | 25     | 140                                   | \$271.011.725 |
| 30%     | \$87.215.566  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$23.900.000 | \$76.307.248             | \$146.042.406            | \$57.239.802      | \$104.889.159     | \$712.929.492             | \$949.981.780             | \$-311.931.113      | \$-212.583.770      | 13    | 28     | 149                                   | \$281.736.206 |
| 31%     | \$93.868.531  | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$24.900.000 | \$78.758.568             | \$150.739.923            | \$57.388.464      | \$105.161.575     | \$729.004.580             | \$963.940.126             | \$-328.005.901      | \$-256.542.116      | 13    | 31     | 158                                   | \$292.460.687 |
| 32%     | \$100.806.749 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$24.600.000 | \$81.308.314             | \$155.613.514            | \$57.693.791      | \$105.721.073     | \$741.931.538             | \$974.791.409             | \$-340.933.159      | \$-267.939.964      | 12    | 35     | 165                                   | \$300.994.145 |
| 33%     | \$109.106.863 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$27.700.000 | \$83.785.951             | \$160.355.697            | \$57.806.747      | \$105.928.053     | \$769.648.322             | \$1.008.152.555           | \$-368.649.942      | \$-292.839.942      | 14    | 37     | 181                                   | \$319.675.499 |
| 34%     | \$116.330.334 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$26.100.000 | \$86.397.359             | \$165.653.602            | \$58.268.737      | \$106.774.633     | \$779.464.812             | \$1.008.152.555           | \$-378.466.433      | \$-300.754.545      | 12    | 42     | 186                                   | \$326.017.934 |
| 35%     | \$124.915.701 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$28.400.000 | \$88.899.483             | \$170.142.351            | \$58.538.354      | \$107.268.694     | \$804.608.003             | \$1.031.233.565           | \$-403.609.624      | \$-323.835.555      | 13    | 45     | 200                                   | \$342.508.265 |
| 36%     | \$133.786.321 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$29.400.000 | \$91.430.285             | \$174.985.985            | \$58.964.637      | \$108.049.837     | \$826.673.413             | \$1.051.341.002           | \$-425.675.033      | \$-343.942.992      | 13    | 49     | 212                                   | \$356.807.573 |
| 37%     | \$142.656.941 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$30.400.000 | \$93.838.277             | \$179.590.920            | \$59.390.920      | \$108.830.980     | \$848.861.632             | \$1.071.683.482           | \$-447.863.253      | \$-364.285.472      | 13    | 53     | 224                                   | \$371.106.881 |
| 38%     | \$166.131.018 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$44.700.000 | \$96.425.509             | \$184.546.211            | \$60.314.851      | \$110.524.038     | \$951.971.584             | \$1.173.198.159           | \$-550.973.205      | \$-405.800.149      | 24    | 54     | 282                                   | \$438.106.058 |
| 39%     | \$237.629.892 | \$68.925.266      | \$121.590.506     | \$27.800.000 | \$98.903.561             | \$189.288.888            | \$64.106.003      | \$117.471.139     | \$1.286.220.008           | \$1.508.337.907           | \$-885.221.629      | \$-800.839.897      | 61    | 54     | 467                                   | \$651.442.508 |

Tabla 7.18: Flujo de caja de proyecto social con un 100 % de financiamiento propio, ante el abastecimiento de una demanda futura constante con una potencia instalada de 45 [kw].

| Periodo                       | 0              | 1             | 2             | 3             | 4             | 5             | 6             | 7             | 8             | 9             | 10            | 11            | 12            | 13            | 14            | 15            | 16            | 17            | 18            | 19            | 20            |
|-------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Ingresos                      |                | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  | \$85.521.025  |
| Costos directos               |                | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 | \$-53.012.615 |
| Margen Bruto                  | 0              | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  |
| Costos indirectos             |                |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Utilidad Operacional          | 0              | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  | \$31.909.010  |
| Costos de Operación           |                | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 | \$-15.117.440 |
| Costos de Mantenimiento       |                | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 | \$-15.872.165 |
| Interés C.P.                  |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Interés L.P.                  |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Depreciación                  |                | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    | \$-807.821    |
| Valor libro activo            |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Pérdida Ej anterior           |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Utilidad antes de Impuestos   | 0              | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      | \$21.584      |
| Impuesto 27%                  | 0              | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      | \$-5.828      |
| Utilidad después de Impuestos | \$-            | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      | \$15.756      |
| Depreciación                  |                | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     | \$807.821     |
| Pérdida Ej anterior           |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Amortización C.P.             |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Amortización L.P.             |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Inversión Inicial             | \$-202.365.772 | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Valor libro activo            |                | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Flujo Caja ant. Impuesto      |                | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     |
| Préstamo L.P.                 | \$-            |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |
| Préstamo C.P.                 | \$-            | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           | \$-           |
| Flujo Caja desp. Impuesto     | \$-202.365.772 | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     | \$913.577     |

[illegible]

# Bibliografía

- [1] Asociación danesa de la industria eólica . [www.windpower.org](http://www.windpower.org), Mayo de 2013. [3.7.2](#)
- [2] Banco Central de Chile. <https://si3.bcentral.cl/estadisticas>, 2017. [3.7](#)
- [3] Atlas Copco. Generadores de la gama gas. *La potencia de la conectividad*. [2.1.3](#)
- [4] Consortium On Rural Technology CORT. Biogas from human waste. *Workshop held in Delhi. August 22-23. 1986*. [3.1.1](#), [5](#)
- [5] Ministerio de Desarrollo Social. Pobreza y distribución de ingresos año 2017. *Presentación de resultados, 21 de Agosto de 2018*. [2](#)
- [6] Ministerio de Energía Gobierno de Chile. *Balance Nacional de Energía 2015*. Documento de Distribución gratuita, Santiago de Chile, 1a. edition, Marzo 2017. [\(document\)](#), [3.1](#)
- [7] Servicio de Evaluación Ambiental. Guía metodológica para determinar el caudal ambiental para centrales hidroeléctricas en el seia. *Gobierno de Chile, 2016*. [4.3](#)
- [8] Dirección de Obras Hidráulicas. Instalación sistema de agua potable rural. Technical report, Subdirección de Agua Potable Rural, 2016. [2](#), [2.1.1](#)
- [9] Ministerio de Obras Públicas y Cade-Idepe. Diagnostico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad de río loa. *Diciembre de 2004*.
- [10] Guevara Díaz and José Manuel. Cuantificación del perfil del viento hasta 100 m de altura desde la superficie y su incidencia en la climatología eólica. *Terra nueva etapa*, 29(46), 2013. [3.4.1](#), [3.4.1](#), [3.4.1](#)
- [11] Explorador DAANC. <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/DAANC/>, Agosto de 2014. [\(document\)](#), [3.3](#), [7.4](#), [7.3](#)
- [12] Luis Mariano Faiella, A Gesino, and Asociación Argentina de Energía Eólica. Gestión de variables meteorológicas y mapeo eólico. *Asociación Argentina Eólica*, 2002. [3.4.2](#)
- [13] Ingeop. Plan de desarrollo comunal de maría elena 2015-2019. *Ilustre Municipalidad de María Elena*, 2016. [2](#)

- [14] Muy interesante. ¿cuanta caca produce una persona cada día? *Curiosidades*. 3.1.1
- [15] Soteris A Kalogirou. *Solar energy engineering: processes and systems*. Academic Press, 2013. 3.5, 3.5.2
- [16] Javier Méndez and Rafael Cuervo. Energía solar fotovoltaica. *Fundación Confemetal, Madrid*, pages 27–28, 2007.
- [17] MIDEPLAN. Cálculo de la tasa social de descuento. *Ministerio de Desarrollo Social*, 2002. 3.7
- [18] Ministerio de Energía. <http://www.minenergia.cl/exploradorsolar/>, Mayo de 2018. 3.3, 3.5
- [19] Jaime Moragues and Alfredo Rapallini. Energía eólica. *Instituto Argentino de la Energía “General Mosconi*, page 3, 2003. 3.4.4
- [20] Norma Chilena Oficial NCh. 409/1. *Of. 2005 Agua Potable-Parte*. 2
- [21] Edgar Ortégón, Juan Francisco Pacheco, and Horacio Roura. *Metodología general de identificación, preparación y evaluación de proyectos de inversión pública*, volume 39. United Nations Publications, 2005. 3.7.1, 3.7.2, 3.7.2
- [22] Mukund R Patel. *Wind and solar power systems: design, analysis, and operation*. CRC press, 2005. 3.4.3
- [23] J Perez. Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. *Universidad de Chile. Facultad deficiencias físicas y matemáticas Departamento de Ingeniería Mecánica. Santiago de Chile*, 201, 2010. (document), 3.1, 7.6
- [24] Hydroelectric Power. A guide for developers and investors. *International Finance Corporation. World Bank Group*, 2015. (document), 7.2
- [25] Alejandro Castillo Ramírez, Fernando Villada Duque, and Jaime Alejandro Valencia Velásquez. Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 18(39):77–93, 2014. 3.7.2
- [26] Nicolás Gálvez Soto. Experiencia en remoción de arsénico en sistemas de agua potable rural. Technical report, Subdirección de Agua Potable Rural, 2017.
- [27] Jon Wieringa et al. New revision of davenport roughness classification. In *Proceedings of the 3rd European & African Conference on Wind Engineering, Eindhoven, Netherlands*, volume 8, 2001. (document), 7.3